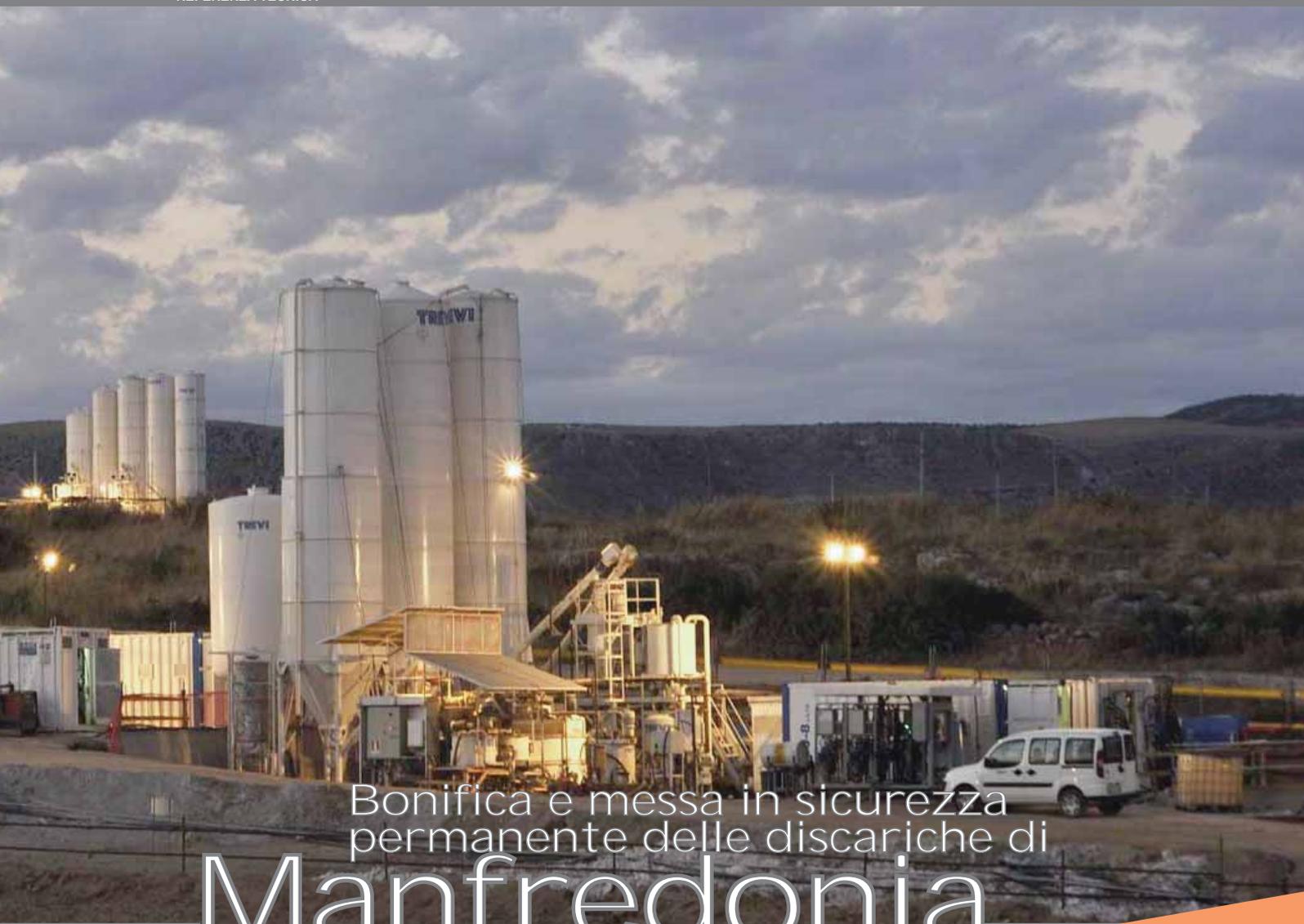


leader mondiale nell'ingegneria delle fondazioni



REFERENZA TECNICA



Bonifica e messa in sicurezza
permanente delle discariche di

Manfredonia

Italia

Perforazioni direzionate



Cliente :
Owner :

Uff. Comm. Delegato per la bonifica di discariche pubbliche di Manfredonia

Contrattista principale :
Main Contractor :

ATI - Mandataria Mucafer (CCC Cons.Coop. Costruzioni)
(Progetto esecutivo: SI-Sviluppo Italia Engineering-Consulenza Geotecnica Studio Sintesi)

Durata dei lavori :
Duration of work :

2010 - 2011

Introduzione

Trevi spa, divisione di ingegneria del sottosuolo del Gruppo Trevi, ha operato a Manfredonia con tecniche innovative per la messa in sicurezza permanente di due aree contaminate utilizzate come discariche di rifiuti solidi urbani.

Le discariche Pariti 1-RSU e Conte di Troia, dismesse ormai da decenni, sono situate nel Comune di Manfredonia in provincia di Foggia, a circa 6 km a Sud-Ovest del centro urbano. I siti sfruttano il volume di due vecchie cave di calcarenite (arenarie calcaree tenere, giallastre, a struttura tufacea) e sono collocate, a quote diverse, rispettivamente alla destra e alla sinistra idrografica rispetto ad un piccola gravina che le divide, denominata Vallone di Mezzanotte (vedi foto). Le due discariche hanno un'area ciascuna di

Le caratteristiche dell'area e le indagini geognostiche

Le discariche sono situate in un'area caratterizzata da una marcata biodiversità, così come da una serie di gravine (*cioè piccoli canyon*) di origine erosiva che ospitano un ambiente rupestre di elevato interesse naturalistico. Questo territorio carsico si distingue per la quasi totale assenza di corsi d'acqua superficiali, a causa della permeabilità delle formazioni risalenti al periodo mesozoico. Una considerazione chiave per comprendere l'importanza dell'intervento di messa in sicurezza delle due discariche e la validità delle soluzioni individuate. L'area è stata indagata dal punto di vista geotecnico-idraulico a più riprese a partire dal 2003 fino al 2009. Le indagini hanno rilevato che il fondo su cui insiste la massa dei rifiuti non

Area generale di intervento



Vallone di Mezzanotte - Lato mare (a destra, il corpo della discarica Pariti 1)



Vallone di Mezzanotte - Lato monte

circa 25.000 m², il volume dei rifiuti abbandonati è complessivamente di 400.000 m³ con spessore massimo variabile da 16 m (*Conte di Troia*) a 25 m (*Pariti 1*).

Negli anni successivi alla dismissione, le analisi delle acque di falda nell'area del Comune di Manfredonia hanno mostrato tracce importanti di infiltrazione di percolati. Dopo una serie di vicissitudini di carattere legale con procedura di infrazione da parte della Commissione Europea, nel novembre 2008 la Corte di Giustizia emetteva sentenza di condanna per il mancato completamento della bonifica dei due siti con severe sanzioni. La disposizione veniva sospesa a seguito dell'impegno dallo Stato Italiano di sanare la situazione entro il 2010.

A seguito di un iter burocratico complesso che ha portato nel maggio 2009 alla dichiarazione di stato di emergenza, alla nomina di un Commissario delegato per la bonifica e di un Soggetto Attuatore, nei primi mesi del 2010 sono iniziati i lavori che permetteranno la messa in sicurezza permanente.

è regolare, ma caratterizzato dalla presenza di gradini dovuti al metodo di coltivazione tipico delle cave pre-esistenti. Dai dati ottenuti si è appurato che nell'area, per uno spessore di circa 25-40 metri, affiorano calcareniti neoceniche classificabili come rocce tenere; esse presentano una granulometria variabile da fine a grossolana, con grado di cementazione che varia da scarso ad elevato. La permeabilità primaria (*per porosità interstiziale*) delle calcareniti nel caso specifico, data l'omogeneità della formazione, risulta decisamente bassa e dell'ordine di $k = 10^{-8}$ cm/sec. Nondimeno, presumibilmente laddove si sono verificate azioni tettoniche o per altre motivazioni geomeccaniche, le calcareniti presentano macro fessurazioni la cui distribuzione è difficilmente ricostruibile, ma che determinano un notevole incremento (*locale*) di conducibilità dipendente dalla quantità e tipologia delle fessurazioni (*intercettate durante la prova*). Le calcareniti sovrastano una formazione di calcari biancastri o rosati (*calcolutiti*), ben stratificati ed intensamente fratturati, con fratture spesso allargate dalla dissoluzione carsica, di caratteristiche meccaniche decisamente più elevate. La permeabilità

di questi calcari risulta da elevata a molto elevata, ed è di tipo secondario, cioè dovuta esclusivamente a fessurazione e carsismo.

A **Conte di Troia** lo spessore delle calcareniti sottostanti il fondo della discarica è dell'ordine della decina di metri; i campioni prelevati non presentano evidenze di contaminazione. Peraltro l'assenza di un livello misurabile di percolato è proprio indice della presenza di sistemi comunicanti di fratturazione che, pur non essendo stati individuati dalle indagini eseguite in sede di progetto, hanno senz'altro caratteristiche di permeabilità tali da permettere il totale drenaggio del percolato e delle acque meteoriche. Sotto il fondo della discarica Pariti, che si trova ad una quota altimetrica più bassa e dal lato opposto della Vallone Di Mezzanotte, lo spessore delle calcareniti sovrastanti i calcari è molto più esiguo, riducendosi in alcuni punti a pochi metri. Rispetto a Conte

e senza movimentare i rifiuti una efficace barriera, il progetto (*curato da Sviluppo Italia Engineering con la consulenza geotecnica dello Studio Sintesi*) ha dunque dovuto individuare una metodologia d'intervento capace di ridurre sostanzialmente la permeabilità secondaria (cioè quella dovuta a fratturazione) e, localmente, quella primaria (in presenza di calcareniti sciolte). La maggiore difficoltà tecnica era realizzare il tappo di fondo della discarica. Non essendo tecnicamente realizzabile uno schermo impermeabile con sostituzione dei materiali, si è scelto di intervenire con un trattamento impermeabilizzante di una fascia dell'ammasso roccioso sottostante i rifiuti mediante iniezioni di miscele cementizie e silicatiche in grado di saturare le fessure, le discontinuità e i vuoti che ne determinavano la permeabilità. È stato stimato come raggiungibile l'ottenimento di una permeabilità finale della fascia dell'ordine di 5 UL (*Unit Lugeon*).

Lo schermo è stato dimensionato per ricalcare il profilo di fondo delle



di Troia il grado di cementazione è risultato inferiore. Si sono inoltre riscontrate subito sotto i rifiuti porzioni alterate con presenza di strati a cementazione scarsa o nulla, permeabilità primaria apprezzabile ed evidente presenza di contaminazione. Si è anche ipotizzato, in alternativa, che questa situazione sia stata determinata dalla presenza di residui di coltivazione della cava che, nel tempo, si sono impregnati di percolato. I valori di resistenza UCS delle rocce sono risultati dell'ordine di 5-15 MPa per le calcareniti e di 20-35 MPa per le lutiti.

Il progetto

Una prima ipotesi progettuale prevedeva la totale rimozione dei rifiuti ed il loro trasferimento in altra discarica, in alternativa la loro ricollocazione provvisoria in un altro sito ed infine la ricollocazione nella stessa sede, previo adeguamento della stessa. Questa ipotesi veniva però scartata per motivi di costo, tempistica e di impatto ambientale. Per creare in opera

discariche, in modo da mantenersi ad una distanza di almeno 2.5-3 metri dal fondo dei rifiuti, ed intestandosi sulle barriere perimetrali, senza soluzione di continuità. Lo spessore della roccia interessata dal trattamento è stato fissato in 3 metri.

Per realizzare lo schermo con tecnologie tradizionali sarebbe stato necessario eseguire migliaia di perforazioni verticali attraversando la massa dei rifiuti per raggiungere gli strati di roccia sottostante da trattare con le iniezioni. Tutto questo avrebbe comportato costi, tempi e rischi ambientali elevatissimi. È stata pertanto messa a punto una soluzione innovativa, ispirata alla recente introduzione nel settore della geo-ingegneria delle tecniche di perforazione direzionata HDD (*Horizontal Directional Drilling*), largamente utilizzate nel settore petrolifero e nel settore della posa di servizi per attraversamenti urbani (*denominata No Dig Technology*). Opportunamente modificate ed integrate, queste tecniche (ribattezzate **TDDT : Trevi Directional Drilling Technology**) consentono l'esecuzione di perforazioni direzionate curvilinee sub orizzontali di elevata lunghezza (nel caso specifico fino a 180 m).

Nel caso in esame, le perforazioni HDD sono state progettate per essere lanciate da uno dei lati della discarica, ed al di sotto della stessa in modo da sotto-attraversarla completamente intersecando nel contempo i due lati dello schermo perimetrale verticale .

La richiesta progettuale era di raggiungere una accuratezza nel direzionamento delle perforazioni dell'ordine di 30 cm. All'interno dei fori è stata prevista la posa di canne valvolate di acciaio per l'esecuzione di iniezioni cementizie e silicatiche.

Analoga soluzione è stata adottata in fase esecutiva anche per la realizzazione del contenimento perimetrale; in questo caso sono state utilizzate perforazioni rettilinee disposte su due file ed inclinate di 15° (in senso opposto per ogni fila) rispetto alla verticale in modo da intercettare, con la perforazione e la miscela cementizia, la totalità delle fessure presenti. Una terza fila centrale di perforazioni verticali, iniettati con miscele silicatiche durevoli, ha il compito di "rifinitura" dell'intervento.

l'inamovibile termine di ultimazione.

L'opera è stata appaltata nel ottobre 2009; la gara ha visto i lavori aggiudicati ad una ATI avente CCC come mandataria e Coop Mucafer come assegnataria. I lavori sono eseguiti con la supervisione del Soggetto Attuatore e la Direzione Lavori di SOGESID SpA. Trevi SpA (divisione ingegneria del sottosuolo del Gruppo Trevi) ha operato quale subappaltatrice per i lavori specialistici di perforazione ed iniezione, mentre Mucafer ha provveduto a tutte le attività preliminari e di assistenza (piste, tracciamenti, spostamento parziale di rifiuti, la loro copertura e le corree perimetrali) ed alla realizzazione del "capping finale" (cioè il rimodellamento della massa dei rifiuti e la copertura definitiva con geotessile e con terreno vegetale).

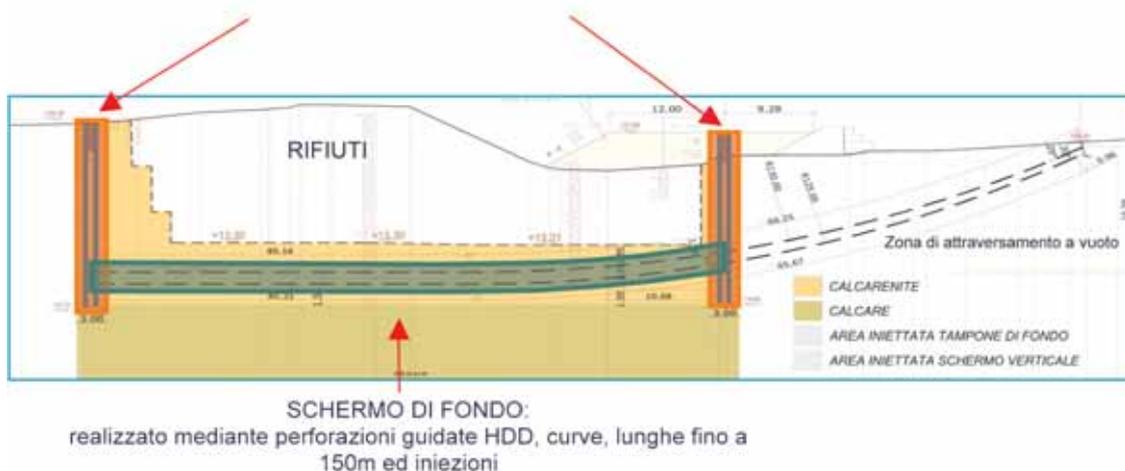
Attivit Preliminari

In fase d'opera, per consentire la elaborazione del progetto costruttivo,

SCHEMA 1

DIAFRAMMA PERIMETRALE:
realizzazione tramite perforazioni subverticali ed iniezioni

SEZIONE DI PROGETTO SCHEMATICO



PRIMA

DOPO



FOTO 1

FOTO 2

FOTO 5

FOTO 6

La soluzione individuata per la realizzazione della barriera di fondo della discarica si distingue perché innovativa, economica ed assolutamente non impattante dal punto di vista ambientale dato che il rifiuto non viene mai interessato dalle attività; risulta pertanto applicabile a tutte le discariche che presentano problematiche simili a quelle di Manfredonia.

La cantierizzazione dei lavori e la logistica

Cantierizzazione

La soluzione progettuale ha offerto il vantaggio di una rapida cantierizzazione, ha permesso di operare contemporaneamente con più squadre in diversi settori delle due discariche e di ottenere un'ampia flessibilità esecutiva, consentendo pertanto di fare fronte agli inevitabili imprevisti, con modifiche al programma dei lavori e/o alla tecnologia esecutiva, in modo da rispettare



è stato necessario eseguire una nuova campagna di indagini, sia sul perimetro (*una perforazione ogni circa 30 m*), sia nell'area interna delle due discariche, con carotaggi, video ispezioni e prove di permeabilità delle zone interessate dall'eseguendo trattamento. Inoltre si è dato seguito ad una serie di campi prova per mettere a punto i dettagli tecnologici ed operativi e testare il raggiungimento degli obiettivi progettuali.

Tecnologie Adottate in Opera

Le attività preliminari, oltre a ridefinire con esattezza le geometrie della discarica ed a mettere in evidenza alcune situazioni anomale, hanno evidenziato sul 20-30% delle perforazioni eseguite la presenza di macro-fessure di dimensioni da centimetriche a pluridecimetriche, tra loro interconnesse. L'entità delle fessurazioni è tale da assorbire tutto il volume di acqua immesso durante le prove, rendendo impossibile la



misura della permeabilità (*valore di UL non misurabile*). Questa situazione, confermata anche dalle video ispezioni (**foto 1 e 2**) condotte entro le perforazioni, ha reso necessaria una integrazione alle modalità di perforazione ed iniezione previste da progetto sia per i fori perimetrali che per quelli HDD. In particolare le perforazioni sono state suddivise in primarie, secondarie e terziarie, restringendo via-via l'interasse delle stesse. In presenza di perdita di circolazione (*fenomeno molto comune nei fori primari*) è stata messa a punto una procedura (*denominata □down-stage□*) che prevede l'interruzione della perforazione, l'intasamento delle cavità con speciali miscele cementizie espanse, ed infine la ripresa della perforazione (*previa riperforazione del tratto iniettato*). L'uso delle miscele espanse ha consentito di limitare l'area di influenza delle iniezioni alla fascia di interesse e quindi contenere assorbimenti, tempi e costi.

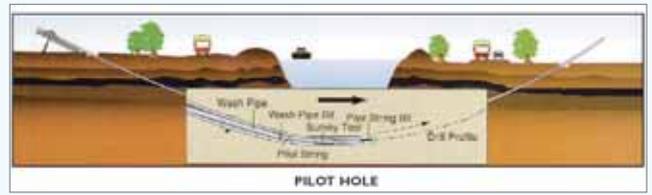
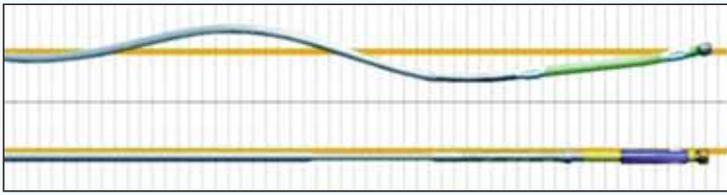
Realizzato in questo modo l'intasamento preliminare, le iniezioni successive sono state condotte con la tecnica prevista in progetto,



adatta per le formazioni litoidi, denominata MPSP (*Multi Packers Sleeved*).

Questa tecnica prevede, quale veicolo per l'iniezione, l'utilizzo di apposite canne valvolate attrezzate con sacchi otturatori. Una volta gonfiati i sacchi, l'area da trattare risulta sezionata in tratti, da iniettare separatamente con le pressioni di progetto.

Per la messa a punto delle perforazioni HDD è stata condotta una serie di test, al fine di individuare il sistema di guida ottimale. Si è dovuto scartare la tradizionale tecnica di rilievo della posizione della



Con l'acronimo **TDDT (Trevi Directional Drilling Technology)** si indica una serie di tecnologie che consentono l'esecuzione di perforazioni di piccolo diametro (50-200 mm) e di elevata lunghezza (in genere da 25-30 ml fino ad alcune centinaia di metri) con una elevata precisione di posizionamento (10-30 cm) per applicazioni varie nel campo della ingegneria delle fondazioni.

Compatibilmente con diametri e spessori delle aste/tubazioni utilizzate, le perforazioni possono essere rettilinee o curve, eseguite in tutte le direzioni (incluso verticale ed orizzontale), e in tutti i tipi di terreno (coesivi od incoerenti), comprese le rocce.



perforazione mediante emettitore radio e ricevitore superficiale, poiché la si distanza dalla superficie delle perforazioni orizzontali (fino a 30-35 m da pc) non consentiva la trasmissione del segnale. La tecnica prescelta consente la localizzazione dell'andamento delle perforazioni tramite la misura di campi magnetici artificiali, preventivamente predisposti nel sito, per mezzo di speciali sensori installati sulla batteria di perforazione. I dati, trasmessi in superficie in tempo reale, vengono elaborati da un software e confrontati con quelli relativi all'andamento teorico della perforazione pre-calcolati. In caso di supero della tolleranza di scostamento, si interviene per correggere l'andamento con appositi utensili eccentrici in modo da mantenersi entro il range di deviazione previsto. Le perforazioni HDD sono state realizzate su due file sub orizzontali a quinconce con interasse pari a 1,8 metri. I fori e le iniezioni sono stati eseguiti secondo una successione messa a punto nei campi prova.

In entrambe i siti, i fori vengono realizzati con perforatrici Soilmec

(divisione industriale del Gruppo Trevi per la produzione di macchine ed attrezzature per le fondazioni e i consolidamenti), che operano al di fuori del perimetro dei rifiuti. Le iniezioni sono effettuate collegando con speciali doppi otturatori le canne di iniezione a centrali di iniezione (sempre fornite da Soilmec) in cui operano decine di iniettori controllati da un sofisticato sistema di controllo e registrazione dati. Infine in adiacenza alle centrali di iniezione sono installate le centrali di miscelazione ed i serbatoi di stoccaggio dei materiali. La gestione di questo complesso di impianti richiede un alto grado di organizzazione e l'assidua presenza di personale specializzato. Dalla qualità e rispondenza alle specifiche di capitolato delle varie miscele (volume delle iniezioni, percentuali di componenti in funzione di parametri esterni quali temperatura, distanza, profondità ecc) dipende infatti il raggiungimento degli standard di permeabilità previsti e quindi la perfetta tenuta idraulica nel tempo dello schermo.

Controlli e Test

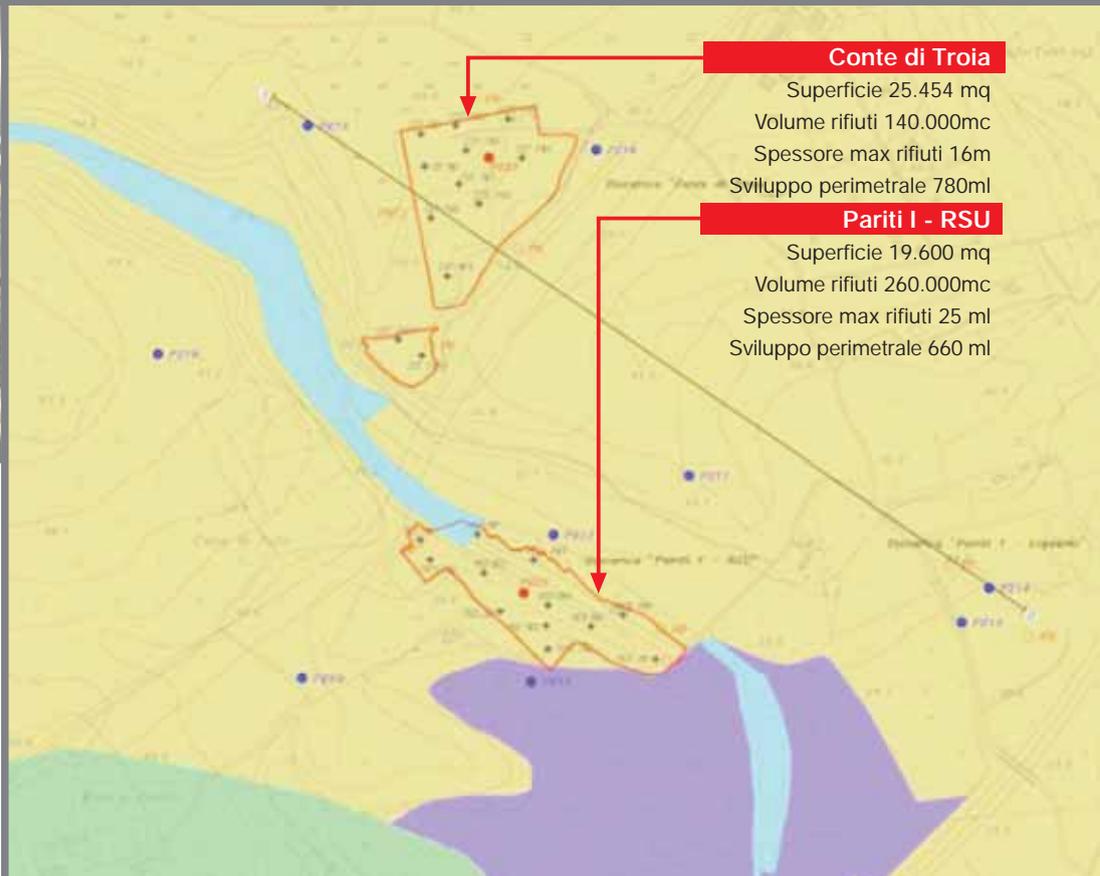
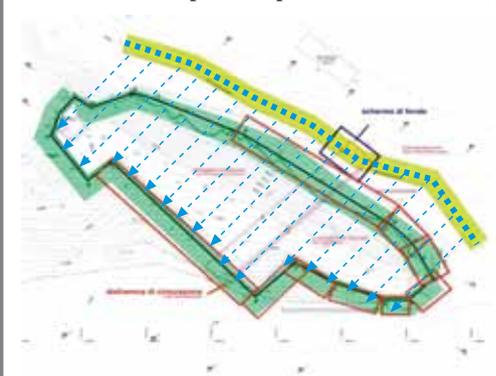
Controlli in corso d'opera

Gli assorbimenti di miscela sono stati accuratamente registrati, suddivisi per aree omogenee di assorbimento e riportati in tavole per una valutazione complessiva.

A titolo di esempio si riporta lo schema (*planimetria interventi a Conte di Troia*), che illustra con scala colorimetrica le percentuali di assorbimento di miscela, rispetto al volume teorico di competenza nelle varie aree omogenee (*schermo verticale ed orizzontale*). Si nota una buona corrispondenza con i valori stimati in progetto (21%)



Area di partenza perforazioni HDD



Carotaggi e video ispezioni

Completati gli interventi, a distanze regolari e secondo indicazioni della D.L. sono state effettuate carotaggi con video ispezioni dirette in foro. Le fotografie (*foto 4,5 e 6*) ben documentano la qualità del risultato finale ottenuto.

Quantità perforazioni eseguite- discariche Conte di Troia e Pariti (escluso riperforazioni down stage)

Perforazioni sub-verticali per schermo perimetrale	N. fori 2350	per ml. 49.170 (L media 21 ml)
Perforazioni suborizzontali per tampone di fondo (escluso riperforazioni down stage)	N. fori 565	per ml 58.380 (L media 103 ml)



Hanno detto del **Progetto Manfredonia**:

Stefania Prestigiacomo - Ministro dell'Ambiente

"Dopo Pioltello Rodano ,oggi l'Italia mostra nuovamente e, nell'arco di pochi giorni, all'Europa di sapere fare le bonifiche, di saperle fare bene ed in tempi rapidi"

" In un solo anno è stato fatto quello che non si era riusciti a fare in quasi 15 anni"

Nichi Vendola - Presidente Regione Puglia

"Siamo di fronte ad un risultato straordinario" e a un "caso di scuola europeo"

Angelo Riccardi - Sindaco di Manfredonia

"celerità dell'intervento, tecnologie moderne utilizzate per la prima volta in Italia ...questa bonifica ha dato lavoro per 18 mesi a 125 persone"

"Penso che la Puglia oggi possa presentare un risultato di eccellenza di cui vantarsi"



5819, via Dismano - 47522 **Cesena** (FC) - Italy
Tel. +39.0547.319311 - Fax +39.0547.318542
e-mail: segreteriaitalia@trevispa.com
www.trevispa.com