

# **CSC** CANTIERI STRADE COSTRUZIONI

LUGLIO - AGOSTO 2010 anno XXVII n. 240

**INTERTUNNEL  
Torino 2010**

**a MISANO  
i Batman  
RENAULT**

Mensile - Poste Italiane S.p.A. - Spediz. in abb. postale - art. 2, comma 20/b Legge 66/95 - Filiale di Milano - In caso di mancato recapito restituire all'ufficio CMP Roserio. Il mittente si impegna a pagare i diritti fissi di restituzione.

**CAMPO PROVE  
PALA GOMMATA DOOSAN DL420**

**PROVE SU STRADA  
FIAT DOBLÒ CARGO/MULTIJET 1.6**

**LO STATO DELLA GOMMA**

## GALLERIE | CASE HISTORY



# IMPRESA RIUSCITA

**Il più grande scavo urbano mai eseguito a piena sezione, quello della galleria Cassia, è stato progettato con il metodo Adeco-RS e realizzato utilizzando una speciale tecnica di consolidamento con Jet Grouting firmata Trevi.**

La galleria Cassia fa parte dei lavori di ripristino e miglioramento del Grande Raccordo Anulare di Roma, con la costruzione di una terza corsia. Il tunnel è a due canne e ha una lunghezza di alcune centinaia di metri: ciascuna galleria misura 22 m di larghezza e 14 m di altezza, con una copertura che varia tra i 4 m e i 30 m. L'ambiente costruttivo è tipicamente urbano e comprende l'attraversamento di alcune strutture pre-esistenti. Tra queste, alcune hanno un alto valore strategico (la nuova via Cassia e le rampe adia-

centi), mentre altre hanno un notevole valore archeologico (l'antica via Cassia e i resti di una antica villa romana, che si trova ad appena 5 metri al di sopra della galleria). Nonostante le dimensioni spettacolari (da un minimo di 229 a un massimo di 258 metri quadrati), la galleria Cassia è stata scavata a sezione piena, quindi semplificando molto le fasi di esecuzione rispetto alle soluzioni tradizionali di scavo parzializzato. Per ragioni amministrative, è stata eseguita per prima la canna esterna nel 2007 e aperta al traffico nel 2008. La seconda

GALLERIE

## CASE HISTORY

grouting armato ed elementi strutturali in vetroresina, lo scavo è stato eseguito in sezioni della lunghezza di sei metri, installando ogni metro centine e spritz-beton. L'arco rovescio e le murette laterali sono state gettate a una distanza massima di 9 m dall'avanzamento della galleria.

### IL NUOVO APPROCCIO

Le dimensioni del fronte di scavo, le scadenti caratteristiche meccaniche del terreno e l'importanza delle strutture sovrastanti avevano indotto inizialmente il progettista ad applicare la tecnica tradizionale degli scavi parzializzati. Analizzando il problema con il metodo di progettazione Adeco-RS e utilizzando i sistemi più innovativi e all'avanguardia di consolidamento del terreno, è stato possibile affrontare lo scavo a sezione piena. Il sostegno allo scavo è stato fornito dall'azione combinata del consolidamento in avanzamento e del pre-rivestimento (costituito dalla combinazione di shotcrete e centine sulla volta e dall'arco rovescio), costruiti a breve distanza e in anticipo rispetto al fronte di scavo. Questa tecnica di avanzamento ha ridotto le deformazioni all'esterno dallo scavo e ha minimizzato i cedimenti in superficie limitando il rilassamento del terreno. Grazie a questa soluzione è stato possibile incrementare la sicurezza dei lavoratori, migliorare i tempi e ridurre i costi. Ovviamente lo scavo a sezione piena comporta una semplificazione delle operazioni da eseguire ed è più controllabile rispetto alle tecniche di scavo in più fasi. Il metodo Adeco-RS (cioè Analisi delle Diformazioni COntrollate nelle Rocce e nei Suoli,) è basato sul controllo di

### DESCRIZIONE DEI LAVORI

*La galleria Cassia, nel tracciato esterno, ha una lunghezza totale di 232 m mentre quello interno è lungo 124 m. Le gallerie hanno un'ampia sezione di circa 260 metri quadrati (22 m di larghezza e 14 m di altezza). Per entrambe le canne i terreni interessati erano una combinazione di strati sabbiosi incoerenti e limo-argillosi consistenti. La canna esterna sottopassa la attuale strada statale Cassia ed i resti di una antica villa romana; in aggiunta la canna interna fiancheggia le vecchie gallerie del Grande Raccordo Anulare.*

Con la tecnica di rotoiniezione messa a punto da Trevi, la fase di iniezione viene eseguita in avanzamento e contemporaneamente alla fase di perforazione.

un unico parametro comune a tutti gli scavi, vale a dire il comportamento tenso-deformativo del sistema nel "fronte del nucleo di avanzamento dello scavo" e l'introduzione del concetto di pre-contenimento della galleria e dei "sistemi conservativi".

Il progetto si sviluppa in più fasi: una fase conoscitiva, durante la quale il progettista ha eseguito la caratterizzazione del terreno interessato dalla galleria in termini di parametri geotecnici; una fase di diagnosi, durante la quale sono state elaborate le previsioni teoriche relative al comportamento deformativo del terreno in conseguenza dell'azione di scavo; una fase di terapia, durante la quale (a seguito delle previsioni fatte in fase di diagnosi) il progettista sceglie il tipo di azioni da fornire (pre-contenimento o contenimento semplice) e i necessari interventi al fine di ottenere la stabilizzazione della galleria. La composizione appropriata delle sezioni longitudinali standard e le dimensioni delle sezioni sono valutate usando strumenti computazionali. L'analisi nelle fasi della diagnosi ha portato alla conclusione che era necessario stabilizzare il fronte di scavo, per mezzo di un adeguato consolidamento del terreno (eseguito in anticipo) per produrre in modo artificiale l'effetto ad arco nel profilo dello scavo.

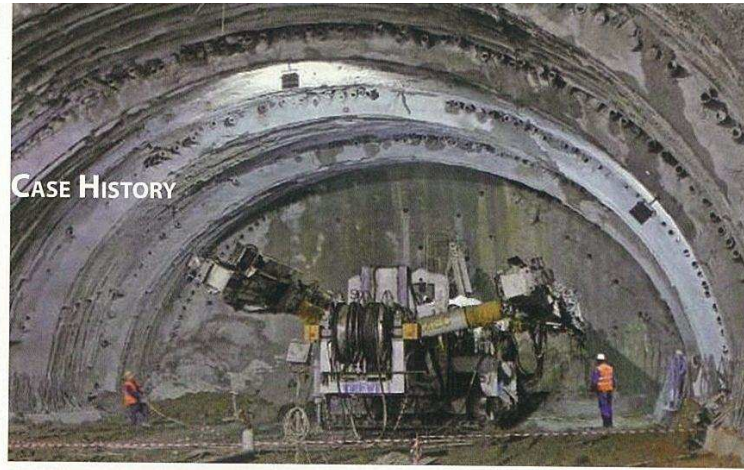
### LA TECNICA DI ROTOINIEZIONE PER L'ESECUZIONE DELL'ARCO CONSOLIDATO

La formazione limo-argillosa in cui è stato installato l'arco portante della galleria Cassia si distingue per l'alta coesione, poiché ha una resistenza alla penetrazione statica compresa tra 15 e 20 MPa e valori del penetrometro tascabile tra 0,2 e 0,5 MPa. Con la consistenza di questo materiale sarebbe stato difficile ottenere colonne jet suborizzontali con un diametro

canna è stata appaltata successivamente e separatamente e verrà inaugurata nei prossimi giorni. Quindi un altro problema è stato quello legato all'interferenza tra le due gallerie, a causa della distanza molto breve (pochi metri) tra la canna in esercizio e quella in costruzione. Entrambe le canne sono state progettate seguendo il metodo "Analisi di deformazione controllata nelle Rocce e nei Terreni - ADECO-RS" che si basa sull'analisi e il controllo delle deformazioni sia del contorno che del fronte della galleria. Previo consolidamento con jet

# GALLERIE

## CASE HISTORY



medio di 600 mm in questo tipo di terreno. Adottando un jet monofluido "convenzionale" (un solo fluido con boiaccia con trattamento disgregante durante la fase di risalita) si sarebbe generato quasi sicuramente il sollevamento del terreno soprastante, rischio incompatibile alle esistenti strutture sovrastanti (strade e villa romane). Anche l'utilizzo di una fase preliminare di pre-cutting con acqua (in modo da produrre una fuoriuscita costante di materiale di risulta durante il trattamento) avrebbe comunque generato non la formazione di una colonna di terreno consolidato, ma una cavità cilindrica piena di fango cementizio a bassa densità che (a causa dell'inclinazione sub-orizzontale verso il basso) inevitabilmente sarebbe defluito da bocca foro.

Per risolvere il problema è stata proposta la tecnica brevettata di rotoiniezione TREVI. Con questo sistema la fase di iniezione viene eseguita in avanzamento contemporaneamente alla fase di perforazione; viene inoltre utilizzato un rivestimento esterno in acciaio che può essere lasciato a perdere come armatura. Il metodo si avvale di una batteria di perforazione-iniezione composta da due tubi coassiali (aste e rivestimento) che ruotano in senso opposto. La batteria interna è composta da aste di iniezione e da monitor auto-perforante, mentre quella esterna è costituita da un tubo di acciaio di adeguato diametro che agisce come rivestimento protettivo durante la fase di perforazione. Il tubo viene lasciato sul posto come rinforzo finale alla fine del trattamento. Le due batterie sono messe in rotazione contemporaneamente da due teste motrici ("doppia testa di perforazione") coassiali. La testa inferiore (situata verso il fronte del tunnel) applica la rotazione al rivestimento ed ha un passaggio interno cavo che permette l'inserimento della batteria di iniezione jet azionata dalla testa di rotazione superiore. La posizione reciproca delle due teste motrici può essere regolata continuamente ed è generalmente adattata per mantenere costantemente il monitor (posizionato sulla punta della batteria di

iniezione interna) leggermente in avanzamento rispetto alla scarpa del rivestimento esterno. Usando questo sistema, il materiale di risulta prodotto durante il trattamento di iniezione viene convogliato nello spazio anulare tra la batteria interna di iniezione e il rivestimento. In questo modo viene assicurata e controllata la continuità del flusso di materiale di risulta. Questo controllo è fondamentale per la riuscita del consolidamento e per impedire la formazione di quelle pericolose sovrappressioni che sono la causa dei noti fenomeni di sollevamento sperimentati quando si esegue l'iniezione jet-grouting in terreni coesivi. Terminata la formazione della colonna in avanzamento, la batteria interna viene fermata mentre il rivestimento può essere fatto avanzare a secco, in modo da intestarsi nel terreno non trattato e così impedire il defluire del materiale disgregato alla fine del consolidamento.

Il diametro interno del rivestimento viene scelto considerando le condizioni del terreno, le geometrie e i parametri di iniezione. In questo caso specifico, il rivestimento aveva un diametro di circa 150 mm.

Le fasi di costruzione sono pertanto invertite rispetto all'iniezione jet convenzionale, e possono essere così riassunte:

- disgregazione del terreno per mezzo di pre-cutting in avanzamento usando la doppia batteria, lasciando un tappo di terreno non trattato nella parte anteriore di almeno 2 m che, a causa del contenimento del rivestimento esterno, ha la funzione di bloccare il materiale di risulta. Il pre-cutting viene eseguito per mezzo del pompaggio di acqua eventualmente additivata con prodotti fluidificanti nei confronti dell'argilla;
- dopo il completamento del pre-cutting, estrazione della batteria doppia, finché gli ugelli del monitor sono al margine del tappo di terreno non trattato lato fronte galleria;
- ulteriore avanzamento della batteria doppia e contemporaneo trattamento di iniezione usando boiaccia iniettata con la tecnologia monofluido;
- alla fine della fase di iniezione, il rivestimento viene fatto avanzare di almeno pompaggio, per inserire la parte terminale del rivestimento nel terreno non trattato. In questo modo viene impedito il deflusso del materiale disgregato e cementato, ma ancora semi-liquido, attraverso il rivestimento esterno;
- alla fine, il rivestimento viene svitato e lasciato sul posto come rinforzo in acciaio mentre la batteria interna di iniezione jet viene ritirata.

### PERFORAZIONE E INIEZIONE

Tutte le apparecchiature impiegate per le attività di consolidamento sono state prodotte da SOILMEC, la divisione di costruzione metalmeccanica del Gruppo TREVI. Date le caratteristiche uniche della galleria, sono state usate le attrezzature più performanti, in particolare:

- Impianti di miscelazione GM20
- Pompe ad alta pressione SOILMEC 7T-450
- Posizionatore a doppio braccio di perforazione per galleria tipo SOILMEC SM605 DT (Figura 16)

### ETJ (ENHANCED TREVI-JET)

Oltre all'introduzione della tecnologia a rotoiniezione, nelle due gallerie sono state applicate altre innovazioni e miglioramenti. Tra questi:

- uso di parametri di lavorazione "speciali" per l'iniezione, per generare un flusso di materiale di risulta continuo e fluido, evitando la formazione di residui di spurgo grossolani che avrebbero provocato l'ostruzione dell'area di fuoriuscita.
- uso della tecnologia speciale ETJ (Enhanced Trevi Jet) che prevede, tra l'altro, l'impiego di monitor energeticamente ottimizzati in grado di concentrare e mantenere coerente il getto ad alta velocità e quindi aumentare il potere disgregante dello stesso, a parità di energia impiegata.
- grazie all'uso della "doppia rotary", un sistema appositamente progettato e costruito in stretta collaborazione con SOILMEC per raccogliere e trasportare il materiale di risulta dalla testa motrice alla fossa di raccolta temporanea ricavata nella parte anteriore della perforatrice vicino al fronte della galleria. In questo modo il piano di lavoro è stato mantenuto perfettamente pulito, con ovvi vantaggi per la sicurezza.

### CONCLUSIONI

Nel presente articolo sono stati illustrati gli aspetti più importanti relativi alla progettazione e gli aspetti tecnologici relativi alla costruzione delle due canne della galleria Cassia facente parte dei lavori per l'ampliamento a tre corsie del Grande Raccordo Anulare di Roma. Le dimensioni del fronte di scavo, le modeste caratteristiche geo-meccaniche dei terreni attraversati e il valore delle strutture soprastanti avevano suggerito inizialmente di affrontare l'esecuzione per mezzo di una serie di scavi parzializzati. L'approccio al problema per mezzo del metodo di progettazione ADECO-RS ed il monitoraggio auto-eseguito, assieme al supporto fornito dal Gruppo TREVI sia in termini di innovazione tecnologica che di personalizzazione delle apparecchiature speciali, ha reso possibile il completamento di un progetto totalmente sicuro, con uno scavo a sezione piena di dimensioni eccezionali. Questo approccio progettuale e metodologico non solo ha permesso di ridurre notevolmente la durata e i costi rispetto all'approccio tradizionale, ma ha minimizzato gli effetti prodotti sui terreni circostanti la galleria e quindi i cedimenti superficiali e sulle strutture esistenti. CSC