



Il caso della galleria Cavallo

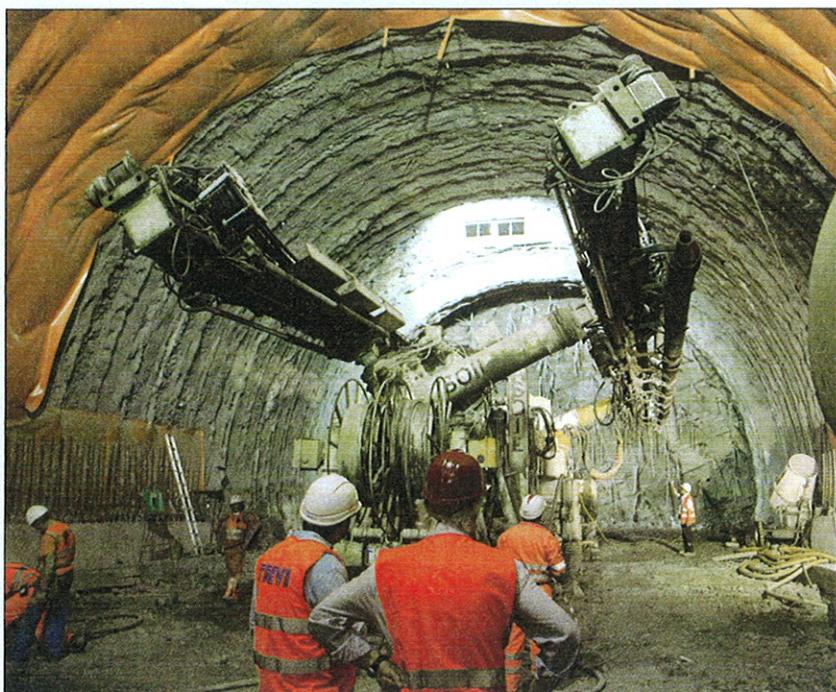


Leggi i contenuti multimediali su www.stradeeautostrade.it
Segui le istruzioni di pag. 4.

SISTEMI INNOVATIVI DI CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO PER GALLERIE IN ARGILLA SULLA AUTOSTRADA A14 "ADRIATICA", NELLA TRATTA ANCONA NORD-SENIGALLIA

Giuseppe Lunardi*
Fabrizio Carriero**

Andrea Magliocchetti***
Daniele Vanni****

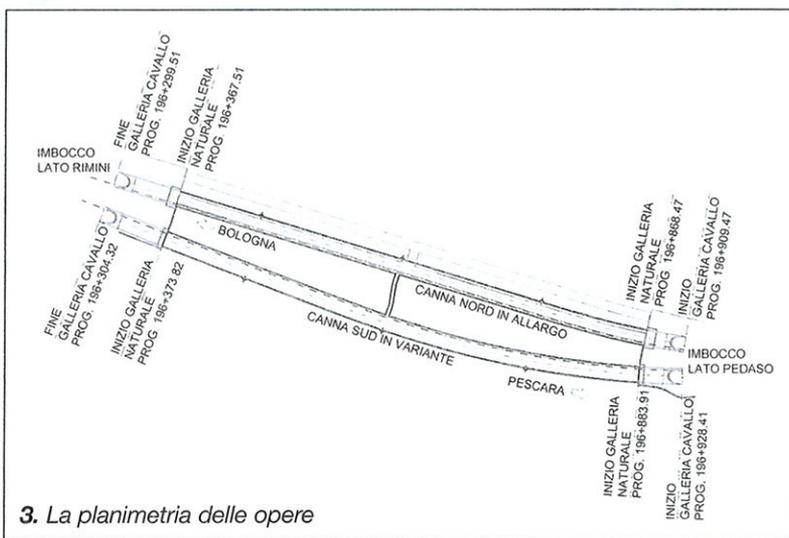


1. Il rinforzo del nucleo-fronte con elementi strutturali in vetroresina cementati

La galleria Cavallo fa parte del Lotto 4 dei lavori di realizzazione della terza corsia dell'Autostrada A14, nell'ambito dei quali è prevista la costruzione di un terzo fornace ex novo e l'allargamento di uno dei due esistenti.

La formazione interessata dallo scavo è costituita da argille pleistoceniche e da una coltre di alterazione superficiale.

Nel presente articolo si illustrano le principali problematiche affrontate per la progettazione costruttiva, dove alla necessità di garantire la stabilità degli scavi si è aggiunta l'esigenza di ridurre al minimo i risentimenti superficiali sulle preesistenze. In particolare, saranno descritte le scelte progettuali e tecnologiche che hanno consentito di proporre una variante ex art. 11, realizzando la galleria con tempi e costi inferiori alle previsioni del Progetto Esecutivo, eliminando in particolare i consolidamenti da piano campagna in corrispondenza dei fabbricati, il cui sottopasso è potuto avvenire in assenza di danni rilevabili. Il progetto di variante si è avvalso dell'esperienza della Rocksoil SpA e, per i consolidamenti mediante jet-grouting, di una in-





novativa tecnologia con monitor ad alta efficienza ETJ, sistema brevettato dalla Trevi SpA. Ciò ha consentito la realizzazione in argille compatte di colonne in jet-grouting di elevato diametro e resistenza, senza la creazione di sovrappressioni pericolose per i fabbricati sovrastanti.

Nell'ambito delle attività da svolgere legate al IV atto aggiuntivo alla concessione per l'esercizio di tratte autostradali tra Autostrade per l'Italia SpA e ANAS, è previsto l'ammodernamento e l'ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada A14 Bologna-Bari-Taranto, comunemente denominata "Adriatica", nel tratto compreso tra gli svincoli di Rimini Nord e Porto Sant'Elpidio.

All'interno del più esteso intervento di ampliamento ed ammodernamento dell'Autostrada A14 sopra richiamato, si inserisce il progetto esecutivo di ampliamento alla terza corsia della tratta Senigallia-Ancona Nord (Lotto 4), dalla p.k. 194+800 alla p.k. 213+740 (progressiva riferita all'asse carreggiata Sud), per una lunghezza complessiva di 18,940 km circa. In particolare, l'intervento ha inizio in corrispondenza del rettilineo posto all'altezza dello svincolo esistente di Senigallia e termina in posizione immediatamente successiva (procedendo in direzione Sud) allo svincolo esistente di Ancona Nord.

L'intervento di ampliamento da due a tre corsie più emergenza della A14, tra gli svincoli di Senigallia ed Ancona Nord, prevede:

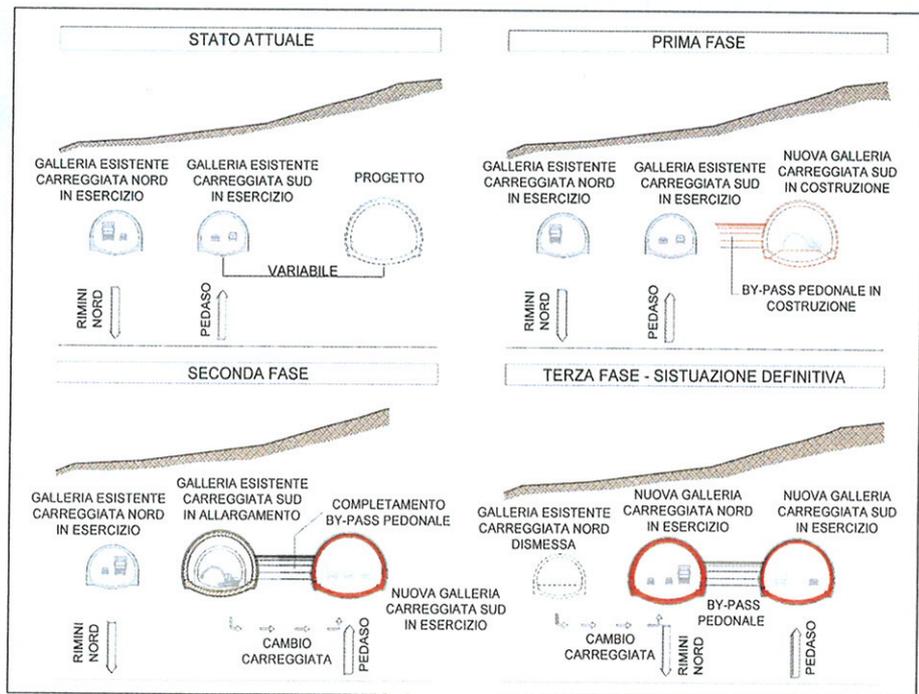
- ◆ l'ampliamento di quattro viadotti per una lunghezza di 820 m;
- ◆ l'adeguamento della galleria naturale Cavallo: realizzazione della nuova canna Sud in variante (510 m) e ampliamento dell'attuale canna Sud (523 m) da utilizzare in direzione Nord;
- ◆ l'ampliamento di 92 opere d'arte minori (tombini, sottovia, ponticelli, ecc.);
- ◆ la demolizione di nove cavalcavia e ricostruzione di otto;
- ◆ l'installazione di 14 km di barriere fonoassorbenti;
- ◆ la realizzazione del nuovo svincolo di Marina di Montemarciano, realizzato fra quello di Senigallia e quello di Ancona Nord per consentire una migliore accessibilità alla zona di Marina di Montemarciano e Falconara, evitando così la congestione sulla S.S. 16.

Caratteristiche generali e fasi esecutive

La nuova galleria Cavallo si estende in carreggiata Nord dalla p.k. 196+299,51 alla p.k. 196+ 909,47 e in carreggiata Sud dalla p.k. 196+304,32 alla p.k. 196+928,41.

In particolare, la carreggiata Sud è in galleria naturale per un tratto di circa 510 m. L'intervento prevede la realizzazione di un nuovo fornace in carreggiata Sud e l'allargamento dell'attuale galleria che, una volta allargata, sarà destinata al traffico in direzione Nord.

Il rimanente fornace esistente, che si trova lato mare, non sarà allargato, bensì dismesso da Autostrade per



4. Le fasi realizzative delle gallerie Cavallo Sud e Nord

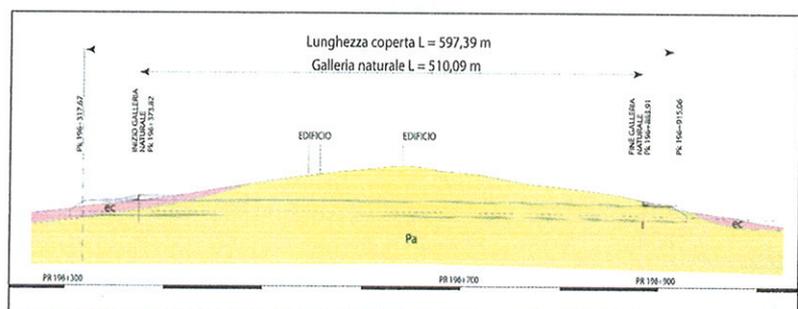
l'Italia e trasferito alle Amministrazioni Locali per il suo utilizzo nell'ambito della circoscrizione di Senigallia. La Figura 4 illustra sinteticamente le fasi esecutive dell'opera.

Il progetto prevede l'impiego di una sezione composta da tre corsie aventi larghezza pari a 3,75 m (due corsie di marcia ed una di sorpasso), dalla banchina in destra e sinistra di 0,70 m, e da marciapiedi, su ambo i lati, di larghezza minima di 0,90 m. Ne deriva la necessità di realizzare la galleria con un diametro di scavo pari a circa 18 m e sezione massima di circa 218 m².

L'inquadramento geologico e geotecnico

L'area risulta caratterizzata dalla presenza di litologie prevalentemente argilloso-limose appartenenti a depositi di Avanfossa adriatica. Lungo i fianchi dei rilievi collinari sono presenti abbondanti depositi colluviali appartenenti a successioni quaternarie costituiti da materiale argilloso-limoso-sabbioso.

Le gallerie naturali interessano interamente le argille; unicamente in corrispondenza dell'imbocco lato Rimini della canna Sud i primi campi di scavo attraversano anche i depositi eluvio-colluviali (Figura 5).



5. Il profilo geologico di Progetto Esecutivo



6. Fronte di scavo nelle argille marnose

Le indagini e i rilievi condotti mostrano nell'area della galleria la seguente successione stratigrafica:

- ◆ strato superficiale di riporto (ec), sino a 4÷5 m di profondità
- ◆ argilla marrone, limosa, talvolta con livelli sabbiosi centimetrici, da 4÷5 m a 14÷15 m di profondità;
- ◆ argilla (ap) di colore grigio azzurrognolo, molto consistente con intercalazione di sottili livelli sabbiosi di pochi centimetri, oltre i 15 m di profondità.

La Figura 6 mostra in maniera evidente le argille marnose compatte e le stratificazioni limose nocciola a traverso-poggio. Dal punto di vista geotecnico le argille, che risultano sovraconsolidate, con variazione del parametro OCR da 2.7 (a p.c.) a 1.0 (a 60 m), sono caratterizzate in termini di resistenza e deformabilità in condizioni drenate dai parametri indicati in Figura 7.

Le interferenze

Le interferenze presenti lungo la carreggiata Sud sono le seguenti (Figure 8, 9 e 10):

- ◆ edificio 3, sito in prossimità della canna di variante, caratterizzato da una copertura di calotta nella zona in scavo pari a 23 m circa;
- ◆ edificio 2, sito planimetricamente fra la canna in variante e quella di allargo, caratterizzato da una copertura di calotta nella zona in scavo pari a 28 m circa, e la sua dipendenza (edificio 1), prossima alla posizione planimetrica della canna in allargo.

c'	10÷38 kPa
Φ'	20°÷23°
E'	40÷150 MPa

7. I principali parametri geotecnici argille (ap)

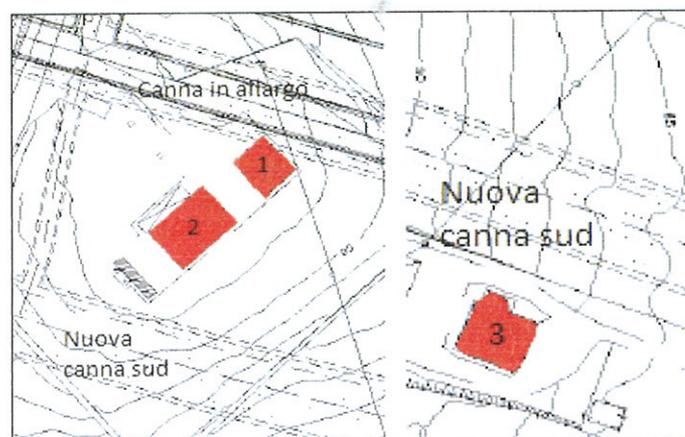
Il Progetto Esecutivo

Il Progetto Esecutivo redatto dalla Società SPEA seguendo i principi dell'approccio ADECO-RS (P. Lunardi, 2006) era articolato, in sintesi, su due tipologie di sezioni tipo:

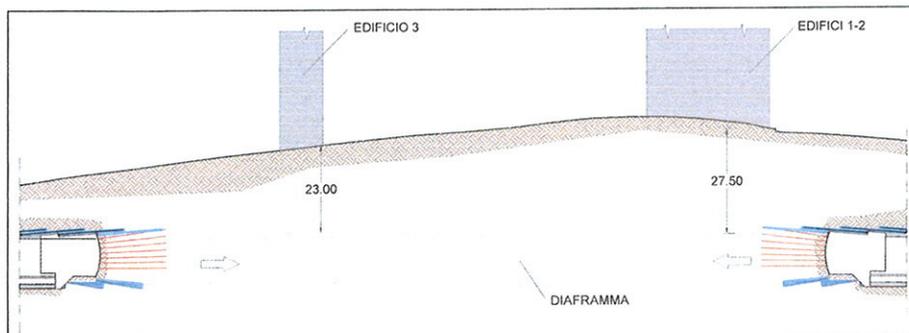
- ◆ la B2, che prevede il rinforzo del nucleo-fronte mediante elementi strutturali in VTR;
- ◆ le sezioni tipo C2a, C2b e C2c, che prevedono, oltre al trattamento del nucleo-fronte, il consolidamento al contorno del cavo sempre mediante elementi strutturali in vetroresina (VTR), in quest'ultimo caso valvolati, due vlv/m, ed iniettati con miscele cementizie.

Per le sezioni tipo C2a e C2b, da impiegarsi a basse coperture, in corrispondenza degli imbocchi, nei depositi sciolti e per le tratte di faglia, era inoltre previsto l'impiego di una coronella di tubi metallici in calotta, con campi di scavo rispettivamente pari a 6 e 9 m (Figure 11A e 11B).

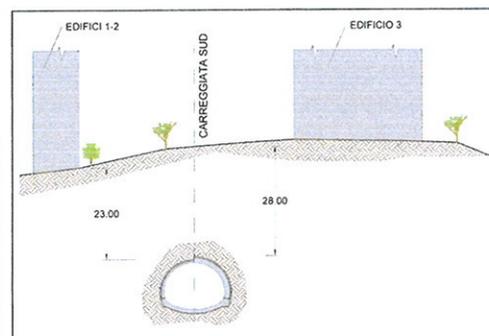
I rivestimenti di prima fase erano costituiti da centine 2 IPN240 o 2 IPN260 disposte a passo 1 m, inglobate in 30+5 cm di spritz-beton. Per i rivestimenti definitivi erano previsti spessori di 1,10 m in arco rovescio, realizzato in c.a., e da un minimo di 0,50 m a un massimo in calotta di 1,30 m per le sezioni tipo C2a e C2b.



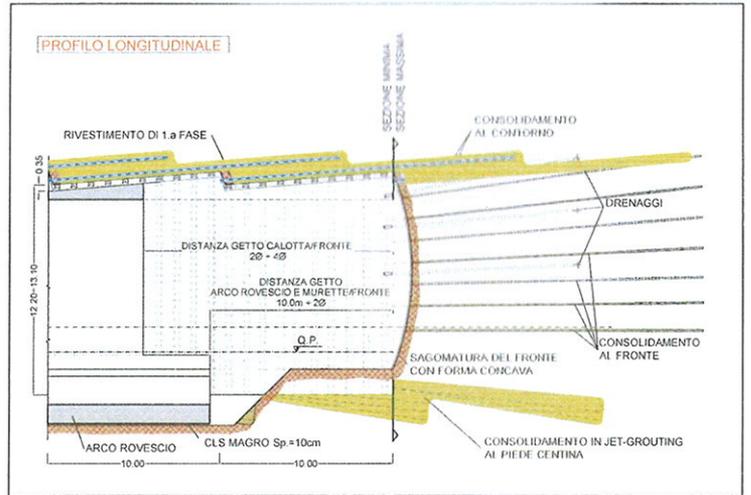
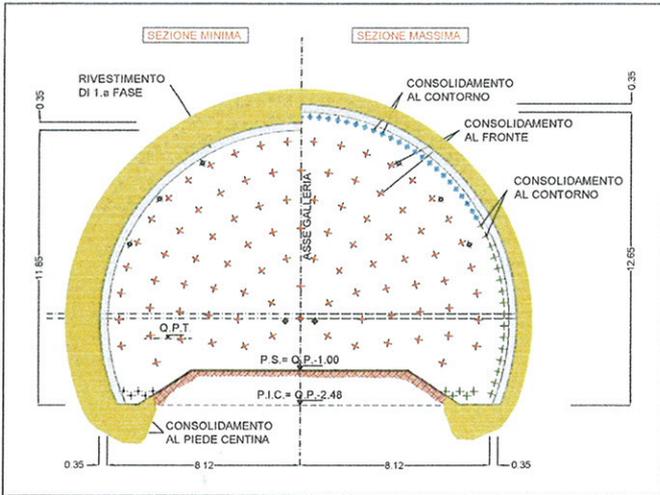
8. Le planimetrie dell'ubicazione degli edifici



9. Il profilo dell'ubicazione degli edifici



10. Le sezioni tipo dell'ubicazione degli edifici



13A e 13B. Sezione tipo C1 ETJ di variante

- ◆ al contorno: n° 47 trattamenti in jet-grouting ETJ di 17 m di lunghezza, armati, per necessità esecutive, con tubi metallici;
- ◆ al contorno: n° 16+16 trattamenti in jet-grouting ETJ (L = 17 m);
- ◆ al piede centina n° 5+5 trattamenti in jet-grouting ETJ (L = 10/12 m) (C1ETJ/C1ETJb);
- ◆ nel nucleo-fronte: n°90 tubi in vetroresina cementati (L = 18 m).

Il profilo riportato nella Figura 14 mostra la distribuzione delle sezioni tipo lungo il tracciato della galleria; a parte i primi metri, realizzati con le sezioni tipo C2 previste dal Progetto Esecutivo, prima dell'approvazione della variante, il principio generale di applicazione è stato il seguente:

1. sezione di scavo tipo C1 ETJ (campo da 8 m)/C1 ETJb (campo da 10 m);
- ◆ area di imbocco a bassa copertura;

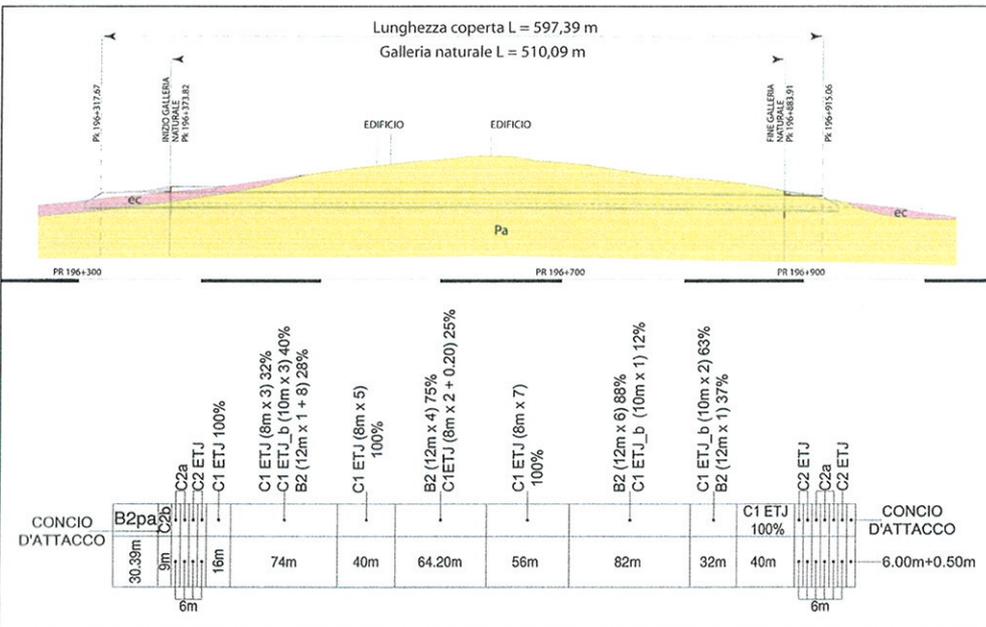
- ◆ sotto-attraversamento degli edifici.
- 2. sezione di scavo tipo B2 (invariata rispetto al PE);
- ◆ medio-alte coperture;
- ◆ assenza di edifici a piano campagna.

Per dimostrare l'efficacia in termini deformativi della sezione tipo C1 ETJ, sulla base di quanto previsto in sede di diagnosi, si è sviluppata una analisi numerica 2D (Figura 14) che modella:

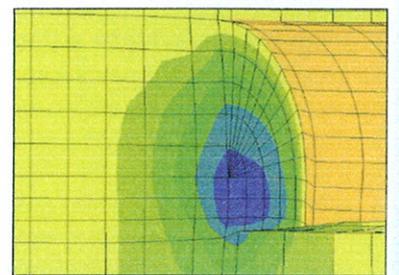
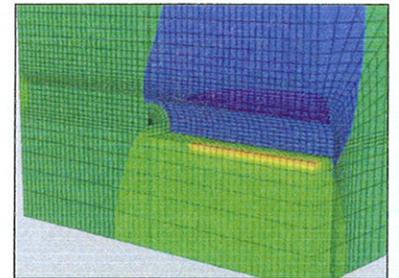
- ◆ l'effetto dei consolidamenti al contorno in avanzamento (jet-grouting ETJ);
- ◆ le fasi di scavo che prevedono l'installazione dei rivestimenti ravvicinata al fronte;
- ◆ l'interazione con gli edifici attraverso una modellazione schematica dei medesimi.

Per quanto concerne gli edifici si sono adottate le seguenti schematizzazioni:

- ◆ l'edificio è considerato proiettato perpendicolarmente al tracciato della galleria;



14. Il profilo geomeccanico di variante



15A e 15B. La sezione tipo C1 ETJ - analisi numeriche 3D - comportamento del fronte di scavo



- ♦ è considerata la condizione di fondazione isolata (più gravosa per l'analisi) ipotizzando una spaziatura media dei pilastri di circa 4 m;
- ♦ le caratteristiche elastiche degli elementi "beam" con cui si sono modellati i telai sono state scalate per tenere conto della spaziatura media di cui al punto precedente presente fuori dal piano dell'analisi.

Le simulazioni tridimensionali (Figure 15A e 15B) nella zona del fronte di scavo hanno consentito la verifica dell'intervento di rinforzo del nucleo-fronte e la taratura dei rilasci parziali delle forze nell'ambito delle analisi bidimensionali, utilizzate in fase di terapia per le verifiche strutturali e l'analisi di danno sui fabbricati.

Il cedimento massimo per gli edifici 1 e 2 è risultato pari a circa 4 cm (Figure 16A, 16B e 16C) con un volume perso pari a circa l'1%. La valutazione del danno potenziale secondo Rankine (1988) ha mostrato, per gli edifici interessati, l'appartenenza al massimo alla classe di rischio 2 (danno leggero).

Durante la costruzione della galleria, il monitoraggio ha consentito di verificare le ipotesi progettuali e tarare localmente il progetto (cadenze di avanzamento e fasi esecutive). Alcuni esempi di buona rispondenza delle ipotesi progettuali con quanto effettivamente misurato in cantiere sono rappresentati nelle Figure 17A, 17B e 17C.

I consolidamenti in jet grouting: tecnica della rotoiniezione con monitor ad alta efficienza ETJ

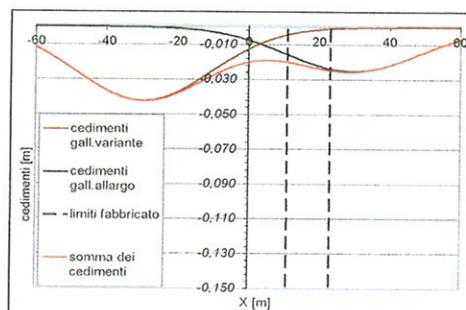
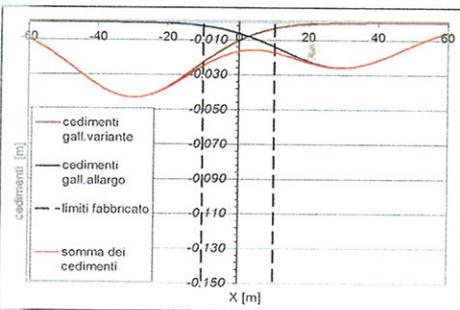
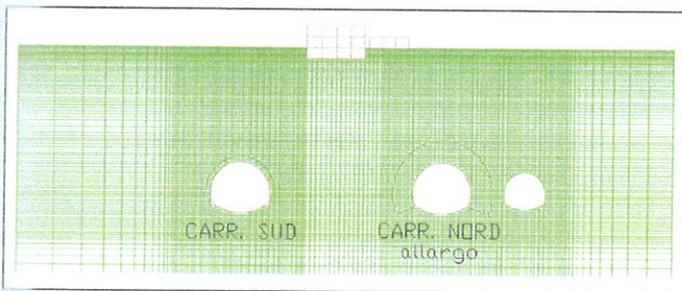
Come illustrato nei paragrafi precedenti, i problemi tecnologici da risolvere connessi alla realizzazione del consolidamento in avanzamento con jet-grouting erano, nel caso specifico, essenzialmente tre:

- ♦ a causa della presenza di edifici si doveva individuare una modalità esecutiva tale da consentire il controllo e la minimizzazione dei sollevamenti del suolo causati dalle sovrappressioni del jet;

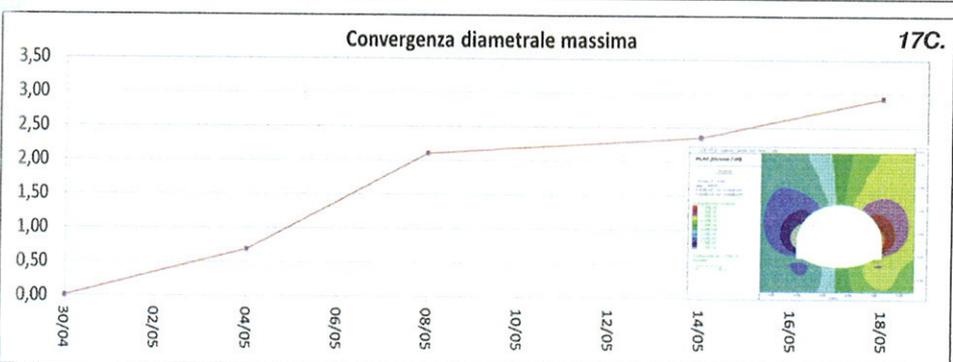
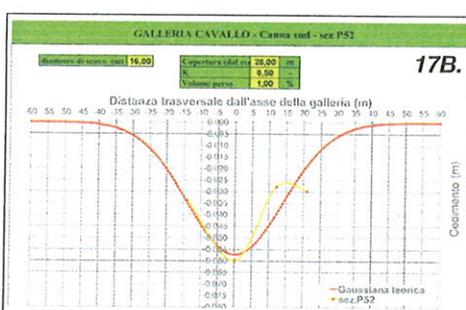
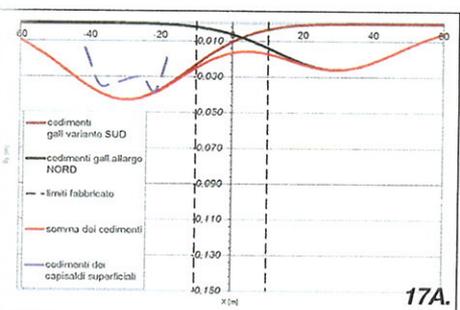
il campo prove iniziale infatti aveva evidenziato che un jet-grouting (per altro verticale) eseguito con modalità "standard" non consentiva questo controllo. È noto, infatti, che nei terreni coesivi lo spurgo generato dal pompaggio di boiaca ad altissima pressione risulta particolarmente denso e difficile da evacuare attraverso lo spazio anulare presente tra perforazione e batteria di iniezione. La soluzione: uso della tecnologia della rotoiniezione in avanzamento con spurgo assicurato dalla presenza del casing unitamente all'utilizzo di speciali parametri esecutivi;

- ♦ la formazione di cavità nel terreno a fine trattamento; è noto, infatti, che il materiale che rimane in sito generato dal trattamento jet-grouting nei terreni coesivi risulta relativamente fluido; operando in sub-orizzontale c'è il rischio che una fuoriuscita (anche molto limitata) di materiale a fine trattamento induca la formazione di cavità nella parte terminale superiore del trattamento. La soluzione: uso della rotoiniezione in avanzamento con tubo di acciaio lasciato in opera come armatura di rinforzo;

- ♦ difficoltà a ottenere un diametro delle colonne di almeno 60 cm in terreni coesivi molto consistenti e con le resistenze UCS previste. Questo aspetto risultava determinante per permettere la formazione dell'effetto arco al



16A, 16B e 16C. La sezione C1 ETJ: le analisi numeriche 2D per la stima dei cedimenti



17A, 17B e 17C. Il confronto tra misure ed ipotesi di progetto: i cedimenti e le convergenze

contorno del cavo previsto in progetto. La geometria sub-orizzontale del trattamento imponeva inoltre che questi diametri colonnari fossero raggiunti senza esasperare i tempi esecutivi; è noto, infatti, che nei terreni coesivi tanto maggiori sono i tempi di trattamento, tanto maggiore risulta l'effetto di sostituzione del terreno presente con la boiaccia pompata. Nel caso specifico, utilizzando monitor "normali" (a bassa efficienza e quindi con raggio di disgregazione inferiore) e tempi di risalita "standard" si sarebbero ottenute colonne di diametro insufficiente (30-40 cm), come verificato nel campo prova. Dilatando i tempi di risalita invece, oltre a non ottenere comunque il diametro previsto, si sarebbe ottenuto come risultato un eccesso di frazione di terreno in sito sostituita rispetto a quella miscelata e quindi sarebbe risultata incontrollabile la formazione di "scavernamenti". La soluzione: l'uso della tecnologia Trevi ETJM (Enhanced Trevi Jet Monofluido), che grazie all'utilizzo di componenti a maggiore efficienza energetica consente, nel caso specifico, la formazione del diametro prefissato senza alterare il rapporto tra il terreno in sito sostituito e quello miscelato.

In definitiva, la chiave di volta per realizzare un consolidamento di caratteristiche tali da soddisfare le esigenze progettuali: di rendere superfluo il ricorso a trattamenti da piano campagna, in corrispondenza dei fabbricati, di garantire nello stesso tempo la stabilità dello scavo a basse coperture e un avanzamento più veloce, oltre che più sicuro, è stata l'adozione della tecnica jet-grouting con impiego di monitor ad alta efficienza ETJ.

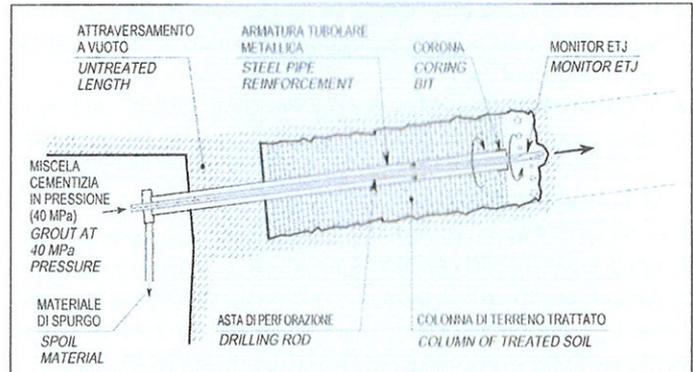
Il jet-grouting in avanzamento

Questa tecnica di esecuzione del jet-grouting prevede l'impiego di una attrezzatura di perforazione (posizionatore) dotata di mast con doppia rotory, azionante (Figura 18) una doppia batteria di perforazione (aste jet/rivestimento) contro-rotante. Le aste interne sono costituite dalla batteria jetting, attrezzata (nel caso specifico) con monitor autoproforante ad alta efficienza ETJ. Il tubo di rivestimento al termine del trattamento viene lasciato in opera come armatura definitiva e va dimensionato in funzione del diametro delle aste jet.

La posizione della batteria interna (aste jet) può essere regolata in modo da poter fuoriuscire o meno rispetto al casing esterno. Durante il trattamento, lo spurgo del materiale viene convogliato nello spazio anulare fra le aste e il tubo di rivestimento, in modo da verificarne e controllarne la continuità di flusso e impedire lo svuotamento della colonna al termine del trattamento.

Tra i vantaggi della metodologia si sottolinea la possibilità di controllare efficacemente lo spurgo.

Questo, infatti, fluendo entro lo spazio anulare tra aste e rivestimento non è più soggetto a interruzioni e blocchi, dato che si trova un canale di flusso sempre aperto ed è inoltre favorito dalla contro-rotazione delle aste. Nel jet tradizionale, invece, lo spurgo avviene tra aste di iniezione e superficie non rivestita della perforazione, per cui è frequente l'occlusione di questo canale ingenerando facilmente rilevanti fenomeni di sollevamento del terreno e dei manufatti soprastanti.



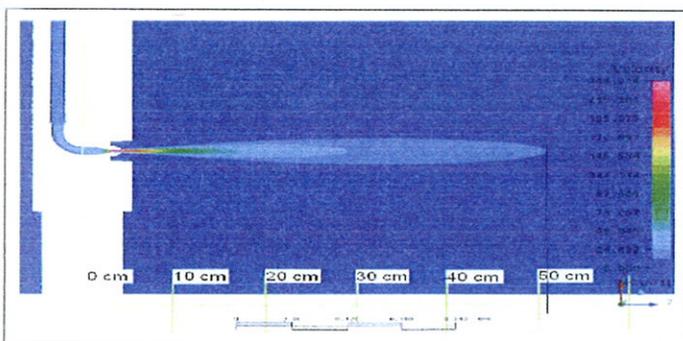
18. Lo schema funzionale rotiniezione in avanzamento

Quanto sopra a maggior ragione considerando che nel caso della galleria Cavallo era necessario preservare le importanti preesistenze in superficie. Nel suo complesso, la tecnica del jet-grouting in avanzamento con tecnologia ETJ può suddividersi nelle seguenti fasi operative:

- ◆ Fase 1: perforazione sino alla profondità di progetto della batteria di aste di perforazione e contemporanea iniezione di acqua ad alta pressione attraverso gli ugelli posti sul "monitor" jet (fase di "pre-cutting"). Si deve avere cura di lasciare una zona di attraversamento a vuoto di un metro circa ad inizio perforazione, con funzione di "tenuta" del terreno trattato lato fronte. Arretramento dal fondo del foro, sino a ridosso del fronte di attacco;
- ◆ Fase 2: passaggio da acqua a miscela cementizia e avanzamento nel foro sino alla quota di progetto a velocità di avanzamento e rotazione controllate e contemporanea iniezione ad alta pressione, con inserimento del tubo di armatura;
- ◆ Fase 3: giunti alla profondità di progetto, arretramento della batteria jet, inghisaggio del casing a secco entro il terreno vergine in modo da occluderne il passaggio ed evitare il fenomeno di svuotamento, distacco del tubo di armatura dalla testa di rotazione ad esso connessa che rimane come armatura della colonna jet e recupero della batterie di aste jet.

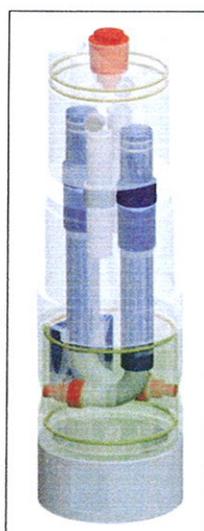
La tecnologia jet-grouting con sistema ETJ in funzione della litologia dei terreni interessati

La geologia in cui si sviluppa la galleria Cavallo è costituita, come detto, da litotipi prevalentemente argillosi e limosi, con intercalazioni sabbiose ad elevata coesione. I sondaggi condotti dalla superficie hanno consentito di verificare che questi terreni coesivi sono caratterizzati da elevati valori di resistenza al taglio, in condizioni non drenate, crescenti al variare della copertura, con valori di C_u compresi tra 200 e 350 kPa. In considerazione dell'elevata consistenza del terreno da trattare, è stato previsto l'impiego di un sistema jet-grouting monofluido "ottimizzato" dal punto di vista energetico denominato ETJ (Enhanced Trevi Jet). Questa tecnologia utilizza una serie di dispositivi (teste di alimentazione, condotti, monitor, ugelli) particolarmente studiati per conservare l'energia del fluido iniettato ad altissima velocità e concentrare la forma del getto stesso dopo l'uscita dall'ugello. In questo modo è possibile aumentarne il potere disgregante a parità di energia impiegata. La tecnologia deriva da esperienze giapponesi e francesi ed è stata mes-



19. La velocità di penetrazione del fluido acqua in acqua per monitor ETJ a 300 bar

sa a punto da Trevi dopo un lungo periodo di test, condotti in collaborazione con l'Università di Bologna, per individuare le geometrie ottimali. Cuore del sistema è il monitor: quelli "tradizionali" non sono altro che cilindri cavi con una o più aperture su cui sono ricavate le sedi per ugelli forzatamente "inefficienti".



20. Lo schema del monitor ETJ

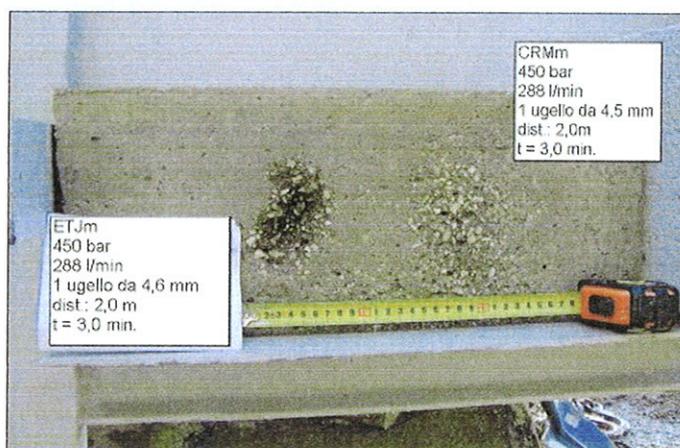
Il monitor ETJ (Figura 20) consente invece di "accompagnare" il getto verso ugelli di dimensioni "ottimali". Il risultato in termini di capacità di disaggregazione e coerenza del getto è apprezzabile dalle Figure 21 e 22, in cui è stata fotografata la conformazione dei getti nei due casi (monitor tradizionale ed ETJ) nonché dal risultato di test di erosione su campioni di calcestruzzo prefabbricato (Figura 23).

Il sistema monofluido (ETJM) consente un miglioramento delle prestazioni compreso tra il 60% e oltre il 100% in termini di volume trattato a parità di energia specifica impiegata.

Mediante il guadagno in termini di diametro raggiungibile rispetto al tradizionale è di circa il 33%.



21. La conformazione del getto con monitor ETJM



23. Il test di disagregazione con monitor ETJ e con monitor "tradizionale"

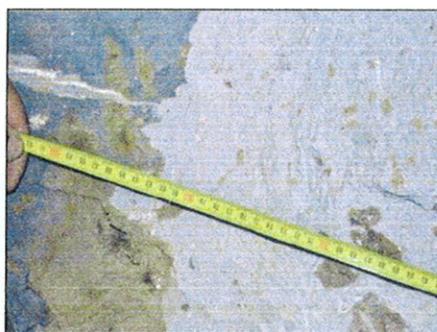


22. La conformazione del getto con monitor "tradizionale"

L'esito del campo prova jet-grouting

In corrispondenza del concio di attacco lato Pedaso sono state realizzate nove colonne jet secondo il metodo del jet-grouting ad alta efficienza ETJ. Tutte le colonne sono state eseguite a partire da fori carotati sulla paratia dell'imbocco. L'esecuzione di ogni colonna è stata preceduta da una fase preliminare di pretaglio con acqua. Sono stati testati dei set di parametri, andando ad interessare sia lo strato più superficiale ed alterato delle argille (per il quale risulta critico il controllo dell'iniezione per evitare fuoriuscite indesiderate) sia lo strato più consistente inferiore, allo scopo di verificare l'ottenimento del diametro previsto.

La fase di pretaglio è stata eseguita senza rivestimento, consentendo quindi una maggiore sezione di evacuazione allo spurgo. In questa fase lo spurgo è risultato piuttosto liquido e a bassa viscosità. Durante tutta l'esecuzione del trattamento si è costantemente tenuto sotto controllo il volume di spurgo, sia quello proveniente da bocca foro, sia quello dal convogliatore della rotary del rivestimento.



24A e 24B. Foto rappresentative delle colonne in jet-grouting ottenute nel campo prova

La qualità e quantità dello spurgo è apparsa buona. Durante l'esecuzione delle colonne non si sono segnalate fuoriuscite di miscela o spurgo in superficie, che avrebbero rappresentato un segnale di indesiderata idrofratturazione. Durante lo scavo della galleria è stato misurato il diametro delle colonne di prova (Figure 24A e 24B).

I diametri rilevati hanno ampiamente soddisfatto le aspettative, risultando sempre al di sopra del diametro nominale di 600 mm.

Le colonne eseguite nelle argille grigie inferiori, rappresentano il test più significativo per giudicare la fattibilità tecnica dell'intervento nella geologia in esame. Come testimoniato dalle Figure 24A e 24B il diametro trasversale misurato è risultato ben oltre 700 mm.

I campioni di colonna prelevati durante lo scavo sono stati sottoposti a prove di schiacciamento ed hanno fornito valo-

ri di resistenza adeguati allo scopo del trattamento: la resistenza media a compressione a 28 giorni richiesta in progetto è pari a 4 MPa.

Conclusioni

La variante proposta per la galleria Cavallo Sud, unitamente alla tecnica innovativa del jet-grouting ad alta efficienza con sistema ETJ, ha raggiunto gli obiettivi prefissati consentendo:

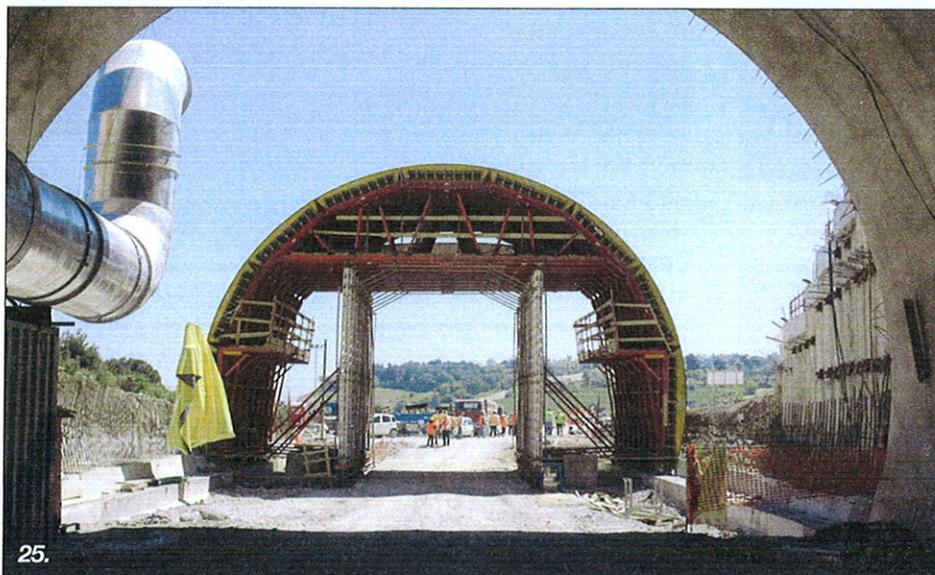
- ◆ l'avanzamento comunque in condizioni di sicurezza anche per le tratte a bassa copertura;
- ◆ il contenimento dei cedimenti in corrispondenza dei fabbricati e l'eliminazione di eventuali effetti indesiderati nell'esecuzione dei consolidamenti;
- ◆ il mantenimento di produzioni adeguate, in rapporto alle dimensioni della galleria (1 m/giorno circa di avanzamento) con una riduzione dei tempi di consolidamento pari al 40% rispetto a quanto previsto nel Progetto Esecutivo. ■

* *Dottore Ingegnere Amministratore Delegato della Rocksoil SpA*

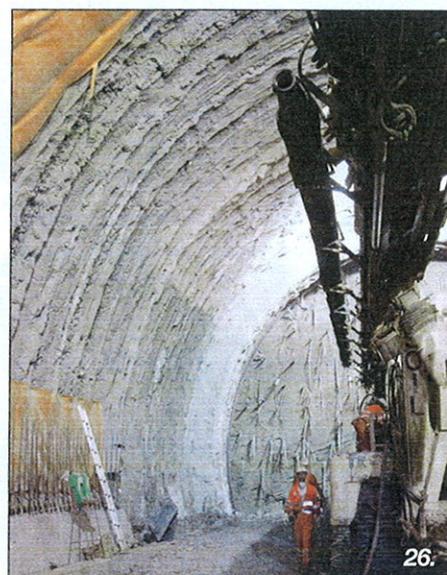
** *Dottore Ingegnere Project Manager della Rocksoil SpA*

*** *Dottore Ingegnere Responsabile di Commessa della Rocksoil SpA*

**** *Dottore Ingegnere Responsabile Servizio Progetti R&S della Trevi SpA*



25.



26.

RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento va agli Ingg. G. Scotti Lavina (Autostade SpA), A. Selleri (SPEA), C. Lombardi (SPEA), A. Delle Chiaie (SAMAC), M. Claps (SAMAC) e al Dott. Luca Rosiello (Rocksoil SpA).

BIBLIOGRAFIA

- [1]. P. Lunardi - "Progetto e costruzione delle gallerie. Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e Suoli (ADECO-RS)", Editore Hoepli, 2006.
- [2]. P. Lunardi, G. Cassani, M. Tanzini - "Lo scavo di gallerie di grandi dimensioni nei terreni a grana fine strutturalmente complessi", Gallerie e Grandi Opere in Sottoterraneo, n° 4 Ottobre/Dicembre 2009.