



Qualcosa di nuovo in galleria

PIETRO LUNARDI*
ALESSANDRO FOCARACCI*



Foto 11 - Volta della galleria ultimata.



La nuova impostazione progettuale e costruttiva adottata nella realizzazione delle gallerie Madonna del Carmine e San Francesco, ha consentito di operare senza "sorprese" e di contenere entro limiti prefissati i tempi e i costi di costruzione

*Rocksoil s.p.a. - Milano.



Collegamento Bari-Taranto

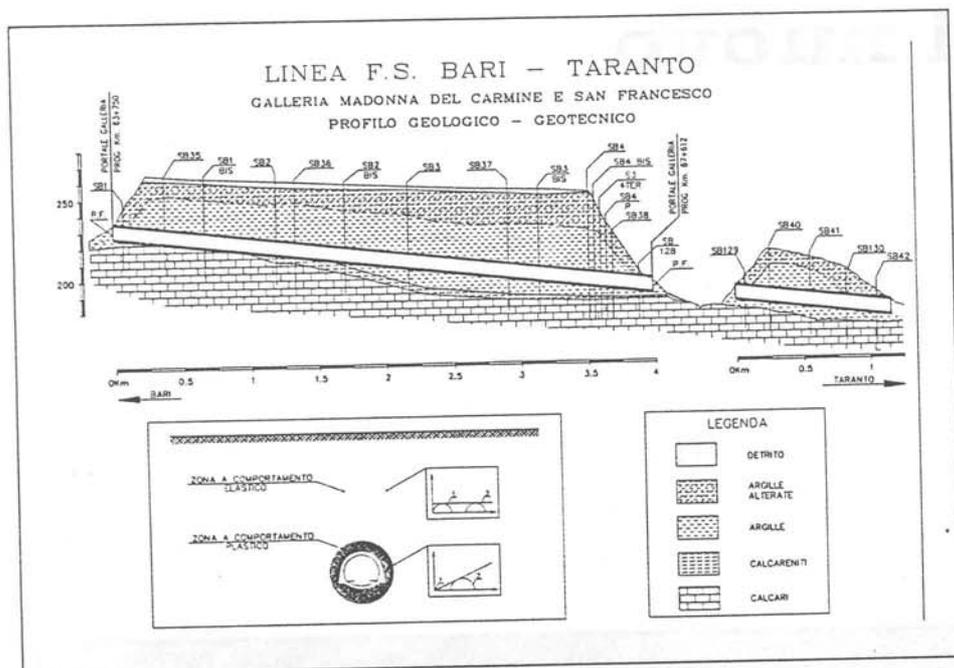


Fig. 1 - Profilo geologico-geotecnico della galleria Madonna del Carmine e San Francesco.

ASPETTI GENERALI DELL'OPERA

Nella tratta compresa tra le stazioni di Gioia del Colle e Palagianò il tracciato esistente si presenta estremamente tortuoso e acclive per scendere dall'altopiano di Gioia alla pianura di Palagianò.

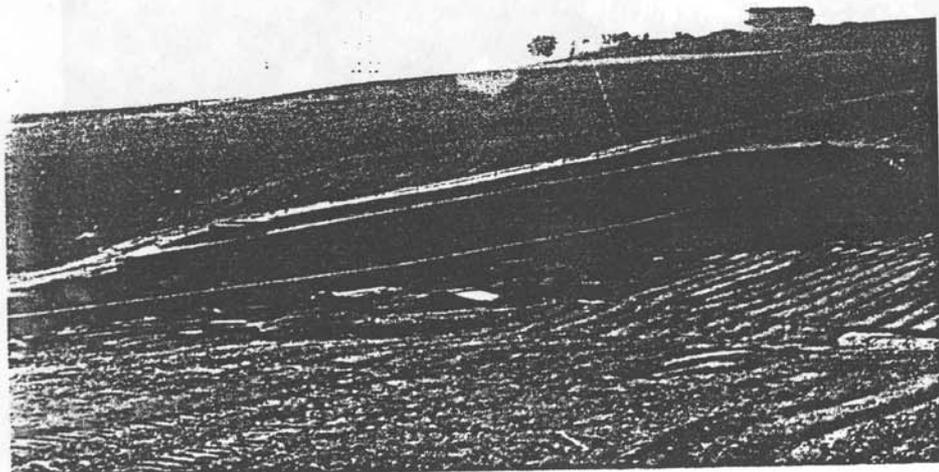
In questa tratta il nuovo progetto, per mantenere pendenze non superiori all'1,2% e raggi di curvatura minimi di 1.100 m, prevede numerose opere d'arte

e due gallerie a foro cieco "Madonna del Carmine" di circa 4.000 m e "S. Francesco" di circa 900 m.

Le due gallerie procedono in discesa, andando da Bari verso Taranto e sottopassano i rilievi collinari di età pliocenica a profondità massime di circa 60 m.

Allo sbocco verso Taranto la galleria "Madonna del Carmine" sottopassa a circa 10 m di profondità, l'attuale linea ferroviaria il cui esercizio è stato mantenuto per tutta la durata dei lavori.

Foto 2 - L'imbocco della galleria Madonna del Carmine (lato Bari).



QUADRO GEOLOGICO GEOTECNICO

Durante la fase conoscitiva, condotta in accordo con i tecnici Fs coordinati dal geologo dott. Briganti, sono stati raccolti i principali dati geologico-geotecnici poi confermati, nelle linee fondamentali, durante il corso dei lavori.

I dati di progetto sono scaturiti da campagne geognostiche condotte in più fasi attraverso indagini in situ (geofisica, sondaggi a carotaggio continuo in cui sono stati installati piezometri e inclinometri in zona d'imbocco gallerie, prove dilatometriche in foro) e prove di laboratorio. Nel programma di prove di laboratorio, oltre a quelle destinate a individuare le principali caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni, sono state inserite prove di rigonfiamento e numerose prove di estrusione (Boms-Benemark, 1967) per la valutazione del prevedibile comportamento del fronte di scavo in argilla.

Durante il corso dei lavori sono stati prelevati campioni di terreno presso il fronte di scavo al fine di valutare la rispondenza tra quanto stimato in sede di caratterizzazione dei terreni e quanto realmente riscontrato in situ.

Sia in fase di indagine che durante il corso dei lavori è stata eseguita una campagna di rilevamento della presenza di gas, resasi necessaria per la verifica di manifestazioni incontrate durante l'esecuzione dei sondaggi, del resto prevedibile per la natura delle formazioni interessate.

Il profilo geologico-geotecnico delle gallerie è riportato sinteticamente in Fig. 1. Da esso si evince che l'opera in sotterraneo attraversa in massima parte la formazione delle "Argille Subappenniniche" con eccezione di un primo tratto di 1.300 m ca. a partire dall'imboccato Bari dove sono presenti, all'altezza del piano dei centri, le "Calcareniti di Gravina".

Le argille hanno resistenze d'ammasso dell'ordine di $0,7 \div 1,1$ MPa, le prove triassiali hanno messo in evidenza un comportamento a rottura elastoplastica di un'argilla sovraconsolidata. La deformabilità è di tipo anelastico non reversibile. Le deformazioni di carattere differito sono principalmente dovute a cedimenti per consolidazione che avvengono per espulsione di acqua dai pori sotto l'effetto di una compressione.

La struttura dell'ammasso si presenta in prima analisi omogenea-localmente,



per cui ci si può attendere una rete di fessurazioni capillari più o meno diffusa che, in fase di scavo provoca, per effetto dell'acqua, un decremento delle caratteristiche di resistenza a taglio del terreno: in natura tale alterazione è stata riscontrata per uno spessore da 8 a 15 metri dalla superficie.

PRINCIPALI PROBLEMATICHE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE

Sin dal momento della progettazione, in fase di diagnosi (ovvero di previsione del comportamento dell'ammasso allo scavo), si era compreso che intervenendo con opportuni sistemi di stabilizzazione, tali da ostacolare la tendenza del terreno a sviluppare deformazioni, si potevano contenere i fenomeni deformativi entro limiti accettabili. Si impediva così l'innesco di fenomeni secondari, quali quelli conseguenti all'alterazione chimico-fisica dell'argilla, che potevano incidere negativamente e in maniera imprevedibile sul comportamento a lungo termine della struttura. Dallo studio con le "linee caratteristiche" si è potuto constatare che a breve termine la galleria era globalmente stabile anche se, evolvendo il terreno verso condizioni drenate, i fenomeni di plasticizzazione al contorno del cavo si incrementavano fino a interessare una fascia rapportabile al raggio di scavo.

Ciò fu sufficiente per avvertire che non era possibile lasciare i profili scavati non prontamente contenuti. A lungo termine, a galleria completamente rivestita, si potranno anche alleggerire le pressioni sul rivestimento mediante opportuni drenaggi.

Sia nel caso di comportamento elastico, che elasto-plastico delle argille, ma soprattutto in quest'ultimo, si è tenuto conto che potremmo trovare, come carico agente sul rivestimento, la pressione di rigonfiamento. Questa pressione è provocata dalla distensione dell'ammasso in cui sono contenuti componenti mineralogici che si alterano al contatto con l'atmosfera. Il meccanismo che provoca il rigonfiamento delle argille è legato alla percolazione delle acque interstiziali che fluiscono dalla zona sottoposta a carico più elevato, nella direzione delle masse che hanno subito una distensione. L'entità della spinta di rigonfiamento delle argille è spesso imprevedibile e il tempo neces-

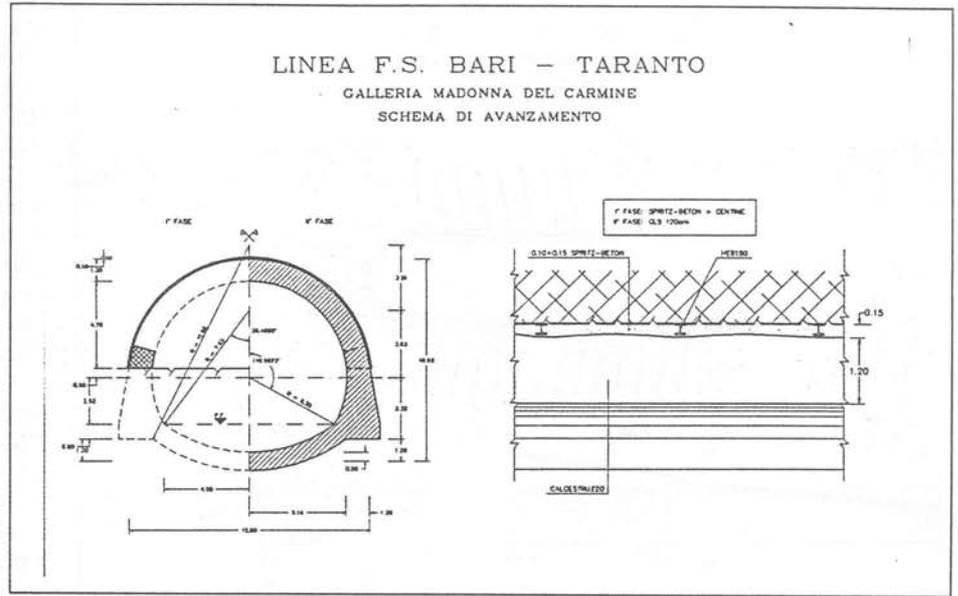


Fig. 2 - Schema di avanzamento dei lavori nella galleria Madonna del Carmine.

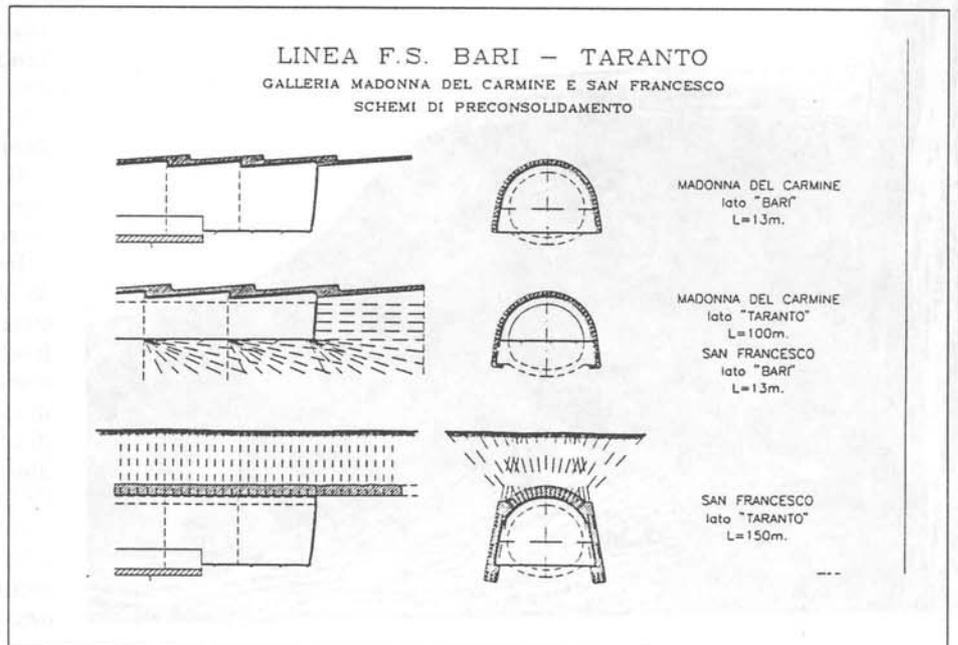
sario perché arrivi al termine della sua evoluzione può variare da qualche ora a qualche mese.

Tratte correnti

Sulla base degli elementi acquisiti in fase di diagnosi, lo scavo in sotterraneo all'interno delle argille grigio azzurre non alterate, compresa la tratta interferente con le calcareniti, è stato condotto

a sezione parzializzata con la messa in opera di centine HEB 180, 10x15 cm di spritz-beton e murette in cls armato a una distanza dal fronte di circa un diametro di scavo. Il rivestimento definitivo in cls, di 120 cm di spessore, è stato prima completato con il getto della calotta, successivamente con quello dei piedritti eseguiti per sottomurazione, e infine dell'arco rovescio di circa 1 m di spessore (Fig. 2).

Fig. 3 - Schemi di preconsolidamento della galleria Madonna del Carmine e San Francesco.





LINEA F.S. BARI - TARANTO GALLERIA MADONNA DEL CARMINE IMBOCCO LATO BARI

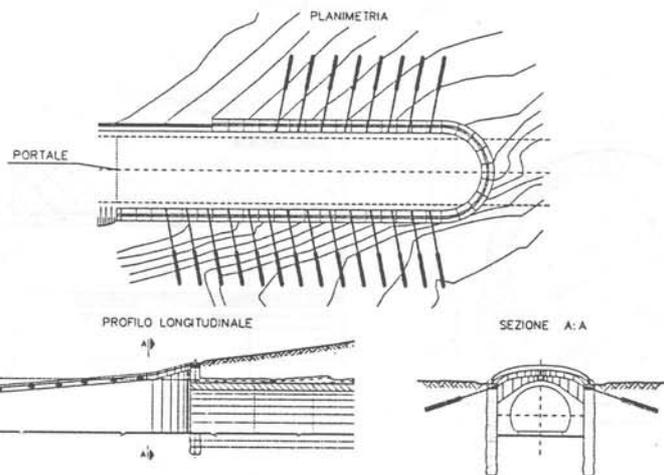


Fig. 4 - Planimetria, profilo longitudinale e sezione dell'imbocco lato Bari della galleria Madonna del Carmine.

Tratte d'imbocco

Le tratte d'imbocco hanno certamente presentato le più delicate problematiche progettuali e realizzative.

La presenza infatti di terreni fortemente alterati fino a 15 m di profondità, ha dato luogo a una configurazione

geomorfologica dei versanti caratterizzata da instabilità generalizzata. Le scelte progettuali si sono quindi orientate verso tecniche di preconsolidamento, a quel tempo nuove e ancora in fase sperimentale, che permettono di eseguire gli scavi di approccio e di attacco delle gallerie all'interno di gusci di ter-

reno in situ preconsolidato. Così operando si sono limitate pericolose decompressioni dei versanti, che si potevano tradurre, nel tempo, in fenomeni franosi sui pendii sovrastanti la nuova linea.

In figura 3 sono riportate le sezioni tipo adottate nelle tratte corticali. Da esse si evince come l'arco di terreno consolidato al contorno del cavo sia stato eseguito con geometrie diverse a seconda delle differenti condizioni operative previste in cantiere.

In figura 4 è riportato lo schema d'imbocco adottato per l'attacco della galleria "Madonna del Carmine" lato Bari. Per gli altri tre attacchi sono stati eseguiti schemi analoghi.

Nuova e di grande efficacia statica e operativa è risultata la soluzione adottata all'uscita della galleria S. Francesco, lato Taranto, in cui per i 150 m finali a basse coperture (7÷3 m) si è scelto di preconsolidare il terreno al contorno di scavo dall'esterno, senza così interferire con le successive fasi di scavo e rivestimento, che altresì hanno proceduto senza soluzione di continuità.

Particolare interesse presenta la tratta corticale che sottopassa la vecchia ferrovia Bari-Taranto, in corrispondenza dello sbocco lato Taranto della galleria "Madonna del Carmine". Poiché l'esercizio della linea non poteva essere interrotto si è ricorsi a tecniche di preconsolidamento che agissero in maniera conservativa garantendo cedimenti compatibili con l'esercizio ferroviario (Fig. 5).

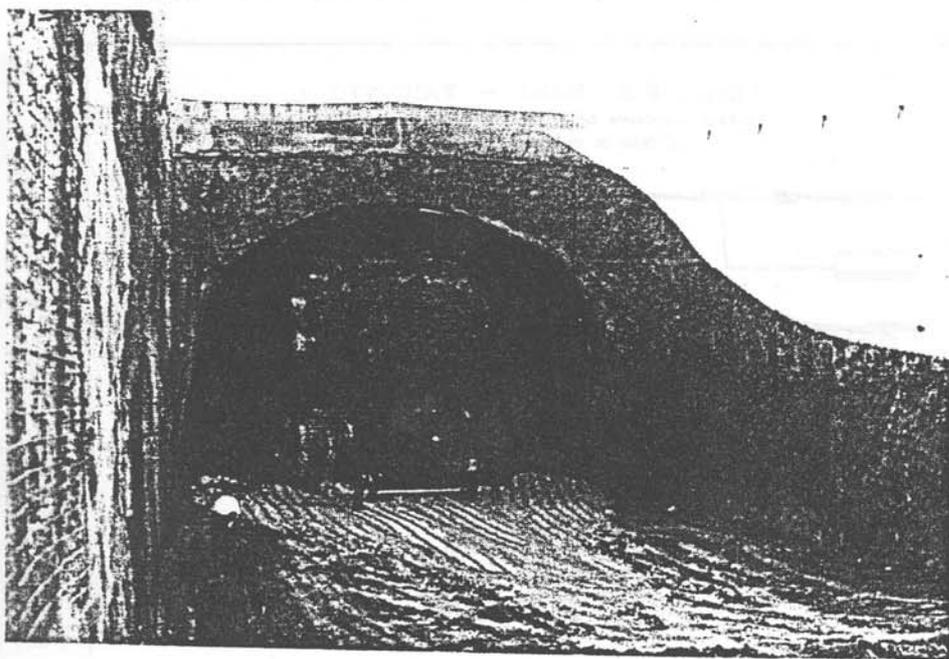
Il rivestimento di prima fase è stato realizzato per mezzo di un arco di terreno consolidato di spessore medio 35 cm, rinforzato con 20 cm di *spritz-beton* armato con rete elettrosaldata e centine.

Il rivestimento definitivo è realizzato con 100 cm di cls armato, chiuso con arco rovescio pure di 100 cm.

In sede di progetto, al fine di valutare lo stato di sforzo nei singoli elementi strutturali e il cedimento in superficie al livello del piano d'imposta del binario, si è studiato un modello agli elementi finiti, in cui si sono simulate le principali fasi di scavo e di costruzione del tunnel: i cedimenti massimi calcolati sono risultati dell'ordine di 5 mm.

Durante il corso dei lavori particolare cura è stata posta alla taratura dei parametri del trattamento mediante *jet-grouting* per la realizzazione dell'arco di ter-

Foto 3 - Portale d'ingresso della galleria Madonna del Carmine (lato Bari).





per cui ci si può attendere una rete di fessurazioni capillari più o meno diffusa che, in fase di scavo provoca, per effetto dell'acqua, un decremento delle caratteristiche di resistenza a taglio del terreno: in natura tale alterazione è stata riscontrata per uno spessore da 8 a 15 metri dalla superficie.

PRINCIPALI PROBLEMATICHE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE

Sin dal momento della progettazione, in fase di diagnosi (ovvero di previsione del comportamento dell'ammasso allo scavo), si era compreso che intervenendo con opportuni sistemi di stabilizzazione, tali da ostacolare la tendenza del terreno a sviluppare deformazioni, si potevano contenere i fenomeni deformativi entro limiti accettabili. Si impediva così l'innescio di fenomeni secondari, quali quelli conseguenti all'alterazione chimico-fisica dell'argilla, che potevano incidere negativamente e in maniera imprevedibile sul comportamento a lungo termine della struttura. Dallo studio con le "linee caratteristiche" si è potuto constatare che a breve termine la galleria era globalmente stabile anche se, evolvendo il terreno verso condizioni drenate, i fenomeni di plasticizzazione al contorno del cavo si incrementavano fino a interessare una fascia rapportabile al raggio di scavo.

Ciò fu sufficiente per avvertire che non era possibile lasciare i profili scavati non prontamente contenuti. A lungo termine, a galleria completamente rivestita, si potranno anche alleggerire le pressioni sul rivestimento mediante opportuni drenaggi.

Sia nel caso di comportamento elastico, che elasto-plastico delle argille, ma soprattutto in quest'ultimo, si è tenuto conto che potremmo trovare, come carico agente sul rivestimento, la pressione di rigonfiamento. Questa pressione è provocata dalla distensione dell'ammasso in cui sono contenuti componenti mineralogici che si alterano al contatto con l'atmosfera. Il meccanismo che provoca il rigonfiamento delle argille è legato alla percolazione delle acque interstiziali che fluiscono dalla zona sottoposta a carico più elevato, nella direzione delle masse che hanno subito una distensione. L'entità della spinta di rigonfiamento delle argille è spesso imprevedibile e il tempo neces-

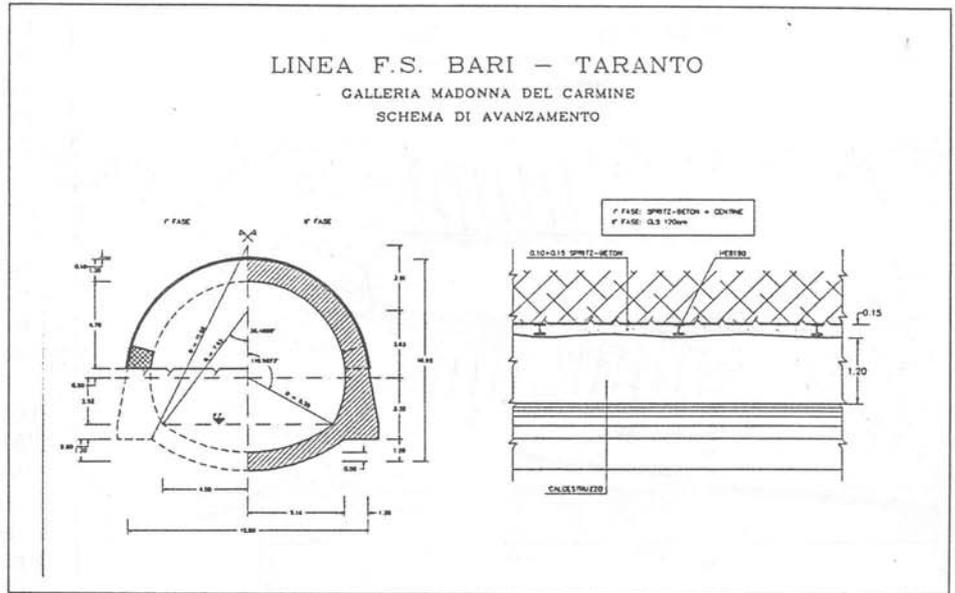


Fig. 2 - Schema di avanzamento dei lavori nella galleria Madonna del Carmine.

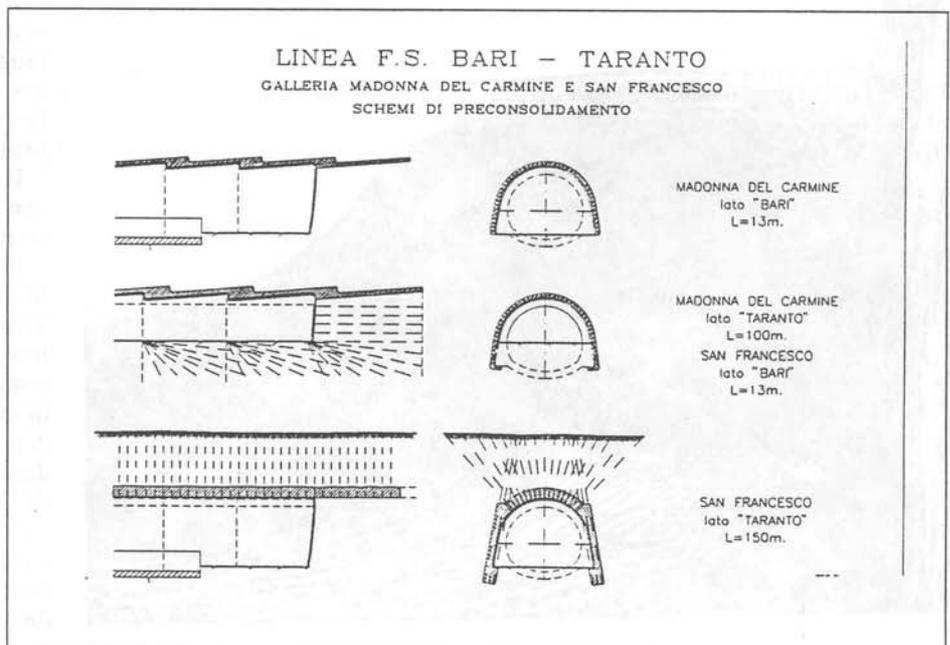
sario perché arrivi al termine della sua evoluzione può variare da qualche ora a qualche mese.

Tratte correnti

Sulla base degli elementi acquisiti in fase di diagnosi, lo scavo in sotterraneo all'interno delle argille grigio azzurre non alterate, compresa la tratta interferente con le calcareniti, è stato condotto

a sezione parzializzata con la messa in opera di centine HEB 180, 10÷15 cm di spritz-beton e murette in cls armato a una distanza dal fronte di circa un diametro di scavo. Il rivestimento definitivo in cls, di 120 cm di spessore, è stato prima completato con il getto della calotta, successivamente con quello dei piedritti eseguiti per sottomurazione, e infine dell'arco rovescio di circa 1 m di spessore (Fig. 2).

Fig. 3 - Schemi di preconsolidamento della galleria Madonna del Carmine e San Francesco.



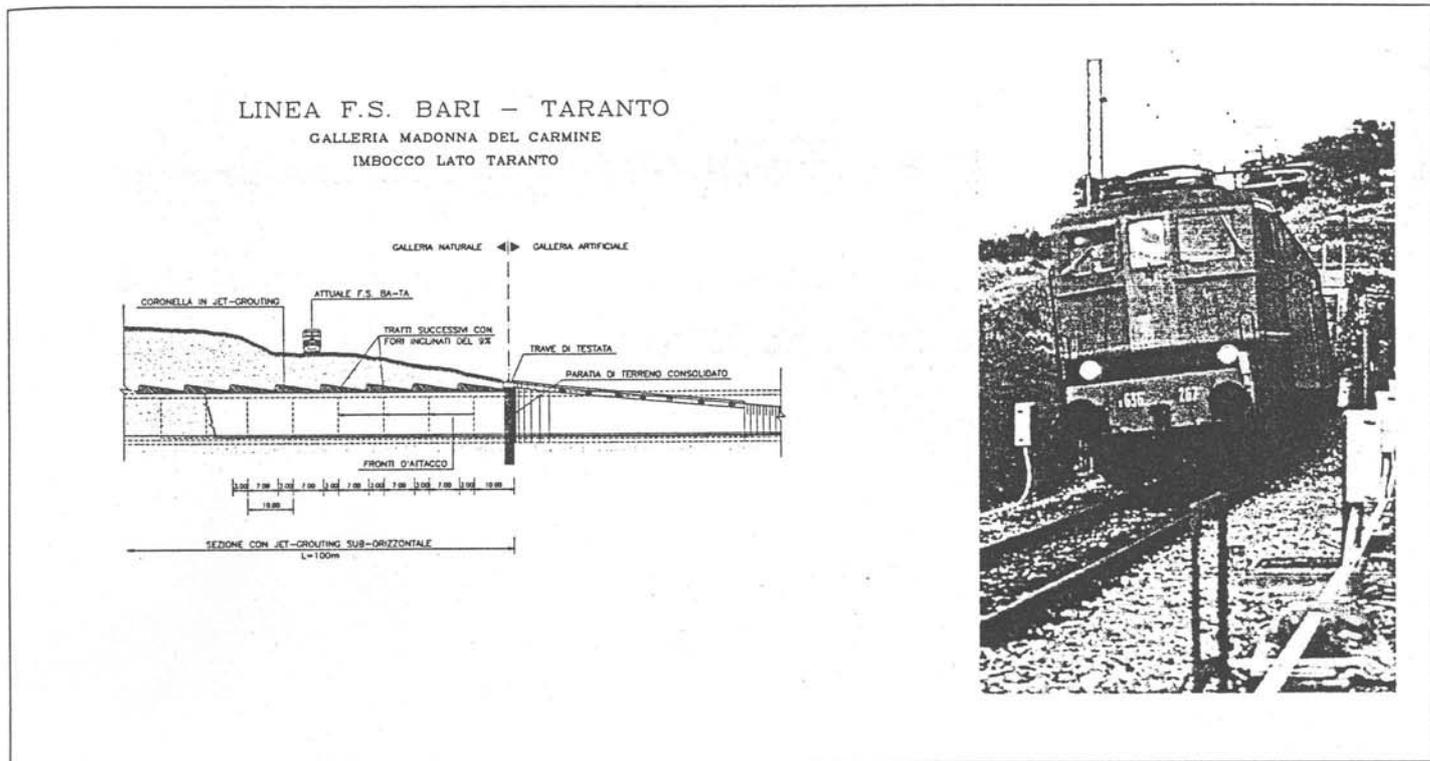


Fig. 5 - Imbocco lato Taranto della galleria Madonna del Carmine.

Foto 4 - Mezzi d'opera al fronte di avanzamento.



reno preconsolidato. I sollevamenti del terreno per effetto della proiezione di miscela legante ad altissima pressione sono stati controllati mediante catene livello-metriche tarate su alcuni millimetri di spostamento.

In fase di scavo, fino al completo rivestimento del tunnel, il cedimento complessivo registrato non ha raggiunto il centimetro, a riprova della buona riuscita delle tecniche costruttive impiegate. □

BIBLIOGRAFIA

- P. LUNARDI, *Gallerie Madonna del Carmine e San Francesco*, Relazione Rocksoil, Milano (non pubblicata), 1985.
 M. GUSMAN, R. BRIGANTI, C. CAPRIATI, A. FOCARACCI, *Impostazione progettuale e tecniche di esecuzione previste per la realizzazione della Galleria a foro cieco "Madonna del Carmine nella variante di tracciato Gioia-Palagiano della linea Bari-Taranto*, Congresso "Grandi opere in sotterraneo" Firenze, 1986.