

SOCIETÀ ITALIANA GALLERIE



**IL CONSOLIDAMENTO DEL SUOLO E DELLE ROCCE
NELLE REALIZZAZIONI IN SOTTERRANEO**

***SOIL AND ROCK
IMPROVEMENT IN UNDERGROUND WORKS***

Milano, 18-20 Marzo 1991

P. Lunardi

L'IMPIEGO DEL JET-GROUTING PER L'ATTACCO DI GALLERIE IN TERRENI SOFFICI

APPLICATION OF JET-GROUTING FOR TUNNEL ACCESS IN SOFT GROUNDS

ESTRATTO/REPRINT

ATTI
PROCEEDINGS

VOL. II

L'IMPIEGO DEL JET-GROUTING PER L'ATTACCO DI GALLERIE IN TERRENI SOFFICI

APPLICATION OF JET-GROUTING FOR TUNNEL ACCESS IN SOFT GROUNDS

Pietro Lunardi, Università di Parma, Italia

Il problema della costruzione di opere d'imbocco di gallerie in terreni soffici può essere risolto vantaggiosamente mediante l'impiego della tecnologia "jet-grouting" di consolidamento del terreno. Questa tecnologia permette la realizzazione di gusci di terreno consolidato mediante colonne di jet-grouting prima ancora di procedere allo scavo dell'imbocco.

La notte illustra questa metodologia che si è imposta nel corso degli ultimi anni per i numerosi vantaggi che offre rispetto ai sistemi tradizionali.

The construction of a tunnel access often requires remarkable earthworks which are not difficult to perform in rocks but are extremely complicated in soft grounds. As a matter of fact, decompression in a scarcely cohesive ground, can easily and rapidly involve the inner part of the ground mass if the mass is not adequately confined, and it can even compromise the entire slope.

The only way to prevent the decompression of the ground mass is to create a containing structure in front of the excavation site, before the decompression takes places, in order to keep the pre-existing natural balance.

This target can be met by means of the jet-grouting technique, used to construct, before the excavation, a subvertical-columns arched wall of treated soil surrounding the area where the open-air tunnel is placed, the top of the columns is linked by a r.c. beam.

In this way, a large area of improved soil, whose strength is within the required level, can be obtained.

Once the excavation for the tunnel access is performed, the intervention should be completed as follows:

- casting of spritz-beton on the open-air part of the wall;
- positioning of subhorizontal drainage tubes through the consolidated soil, in order to prevent the formation of remarkable posterior water heads.

The construction of this kind of walls is strictly linked with the construction of the of the tunnel access using subhorizontal jet-grouting.

By means of this technique it is possible to start the tunnel excavation under low overburden with obvious advantages for the environment.

The first opening ever made by this technique was the opening T1 on Pontebba side of the St.Leopoldo tunnel along the Pontebba-Tarvisio railway line.

It showed the validity of the new technology for the successful solution of the problems of tunnel openings in difficult and saturated soils.

This technique was successfully applied in many others works.

1. GENERALITÀ

La realizzazione di opere d'imbocco di gallerie comporta spesso la necessità di risolvere problemi progettuali e costruttivi strettamente connessi alla morfologia del versante da attaccare, all'eventuale esistenza di costruzioni nelle vicinanze, alla geometria delle opere da realizzare ed al tipo di materiale in gioco. La preparazione del piazzale d'imbocco e della parete da scavare richiede infatti assai spesso l'esecuzione di sbancamenti importanti, che se non destano particolari preoccupazioni operando in roccia, si presentano assai problematici nel caso di terreni soffici, specie se di tipo sciolto.

In un terreno scarsamente coesivo, la decompressione provocata con lo scavo, se non adeguatamente contenuta, rischia facilmente di propagarsi con rapidità all'interno del mezzo mettendo in crisi l'intero versante.

L'unico sistema per poter scavare il piazzale d'imbocco di una galleria senza decomprimere l'ammasso è evidentemente quello di creare una struttura di precontenimento del terreno a monte del futuro scavo, capace di conservare gli equilibri naturali preesistenti.

Sino a pochi anni fa, gli unici sistemi disponibili per raggiungere questo scopo erano l'esecuzione, in corrispondenza all'ingresso della galleria naturale, di:

- paratie di pali accostati di grande diametro, eventualmente tirantati;
- paratie tipo "berlinese";
- diaframmi in c.a.

La realizzazione di pali di grande diametro su versanti spesso prossimi all'instabilità risulta però spesso difficoltosa, se non impossibile, anche perchè sovente la morfologia dei pendii non permette l'uso di macchine operative di dimensioni e peso notevoli.

D'altra parte la labilità propria di strutture tipo berlinese, che affidano gran parte della loro efficacia a tiranti ancorati in zone stabili dell'ammasso, rende questo sistema non sempre sufficientemente affidabile.

Né la realizzazione di diaframmi in c.a. può risolvere le situazioni più delicate: l'asportazione di terreno e l'apporto d'acqua portano con sé la riduzione di resistenza al taglio del terreno con conseguenze che in certe situazioni possono essere irrimediabili.

Questi inconvenienti venivano per giunta enfatizzati dal fatto che la mancanza di adeguate tecnologie di preconsolidamento del terreno e di adatti sistemi operativi, imponeva di attaccare la galleria naturale con copertura dell'ordine del raggio di scavo, il che costringeva ad asportare grandi porzioni d'ammasso ed a rischiare l'innescò di decompressioni difficili da contenere, come dimostrato dai numerosi insuccessi subiti nel passato (fig. 1).

La disponibilità del sistema jet-grouting di consolidamento del terreno, introdotto in Italia circa dieci anni fa, ha consentito allo scrivente di ideare e sperimentare una soluzione innovativa per realizzare in terreni sciolti o scarsamente coesivi, strutture di precontenimento di ca-

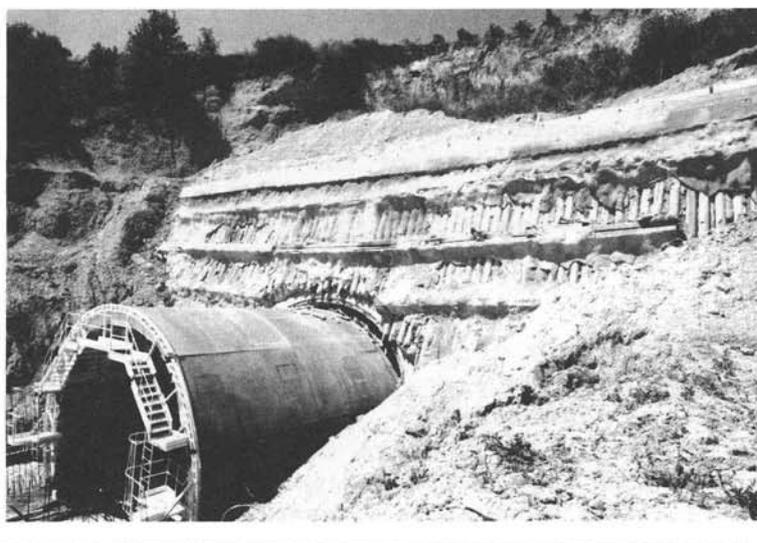
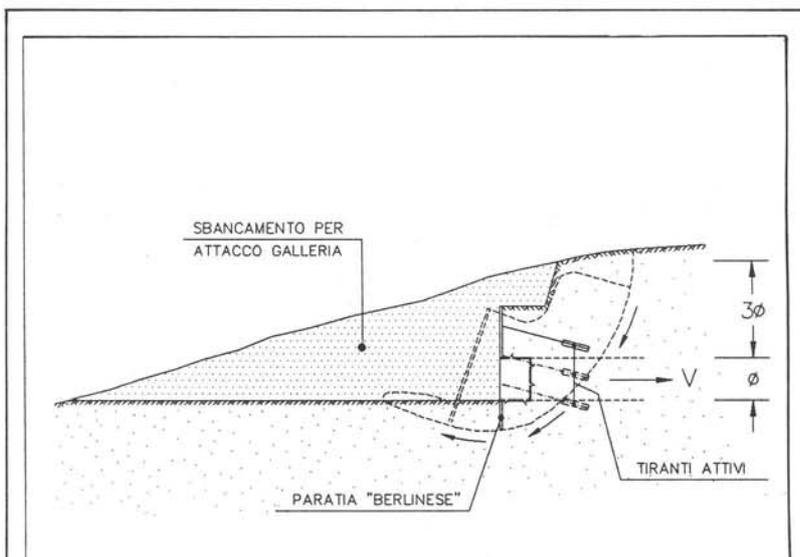


Fig. 1

ratteristiche tali da superare gli inconvenienti sopra citati.

Essa, pur avendo avuto una grande diffusione per i numerosi vantaggi offerti sui sistemi tradizionali, non è mai stata trattata in maniera adeguata in pubblicazioni dell'Autore.

Questa nota ha lo scopo di colmare la lacuna illustrandone brevemente i concetti informativi.

2. I GUSCI DI TERRENO CONSOLIDATO MEDIANTE JET-GROUTING

L'idea consiste nel realizzare, prima di eseguire lo scavo d'imbocco, un guscio di contenimento, costituito da più ordini di colonne di terreno consolidato mediante jet-grouting, che planimetricamente abbraccia il tratto di galleria artificiale (fig. 2).

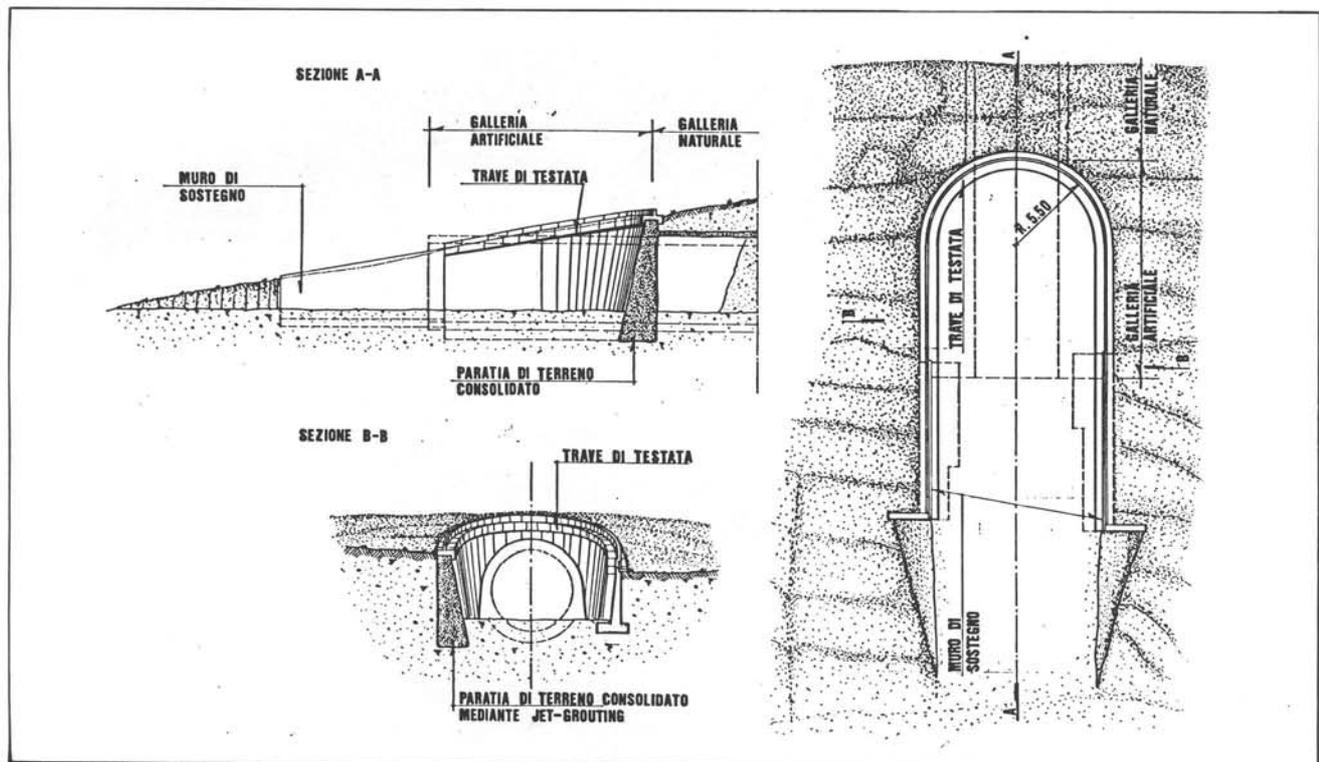


Fig. 2

L'intensità e la distribuzione del trattamento sono stabilite di volta in volta in funzione del contesto operativo e geotecnico.

Una trave superiore di c.a. immersa nella sommità delle colonne irrigidendo la struttura e favorendo la collaborazione tra i singoli elementi.

Una volta eseguito lo sbancamento per il piazzale d'imbocco, l'intervento viene completato con:

- il getto di un manto di spritz-beton su tutta la superficie esposta della paratia;
- la posa in opera di tubi drenanti suborizzontali attraverso il materiale consolidato per prevenire la formazione di battenti d'acqua importanti a tergo.

La struttura così costituita, lavorando secondo archi suborizzontali, risulta sollecitata principalmente a compressione e taglio.

La realizzazione di gusci di questo tipo è strettamente abbinata alla successiva esecuzione dell'attacco della galleria mediante il sistema jet-grouting in orizzontale. Grazie alle caratteristiche di questo sistema di preconsolidamento del terreno, che esige per l'esecuzione coperture di minima entità, è possibile

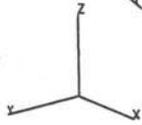
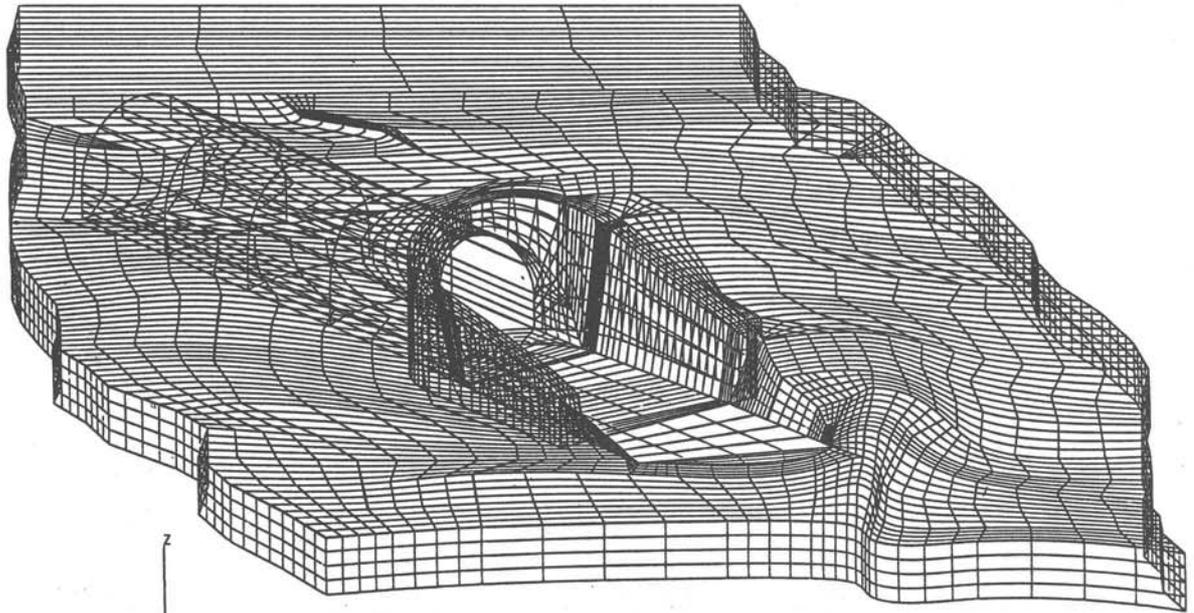


Fig. 3

ratteristiche tali da superare gli inconvenienti sopra citati.

Essa, pur avendo avuto una grande diffusione per i numerosi vantaggi offerti sui sistemi tradizionali, non è mai stata trattata in maniera adeguata in pubblicazioni dell'Autore.

Questa nota ha lo scopo di colmare la lacuna illustrandone brevemente i concetti informativi.

2. I GUSCI DI TERRENO CONSOLIDATO MEDIANTE JET-GROUTING

L'idea consiste nel realizzare, prima di eseguire lo scavo d'imbocco, un guscio di contenimento, costituito da più ordini di colonne di terreno consolidato mediante jet-grouting, che planimetricamente abbraccia il tratto di galleria artificiale (fig. 2).

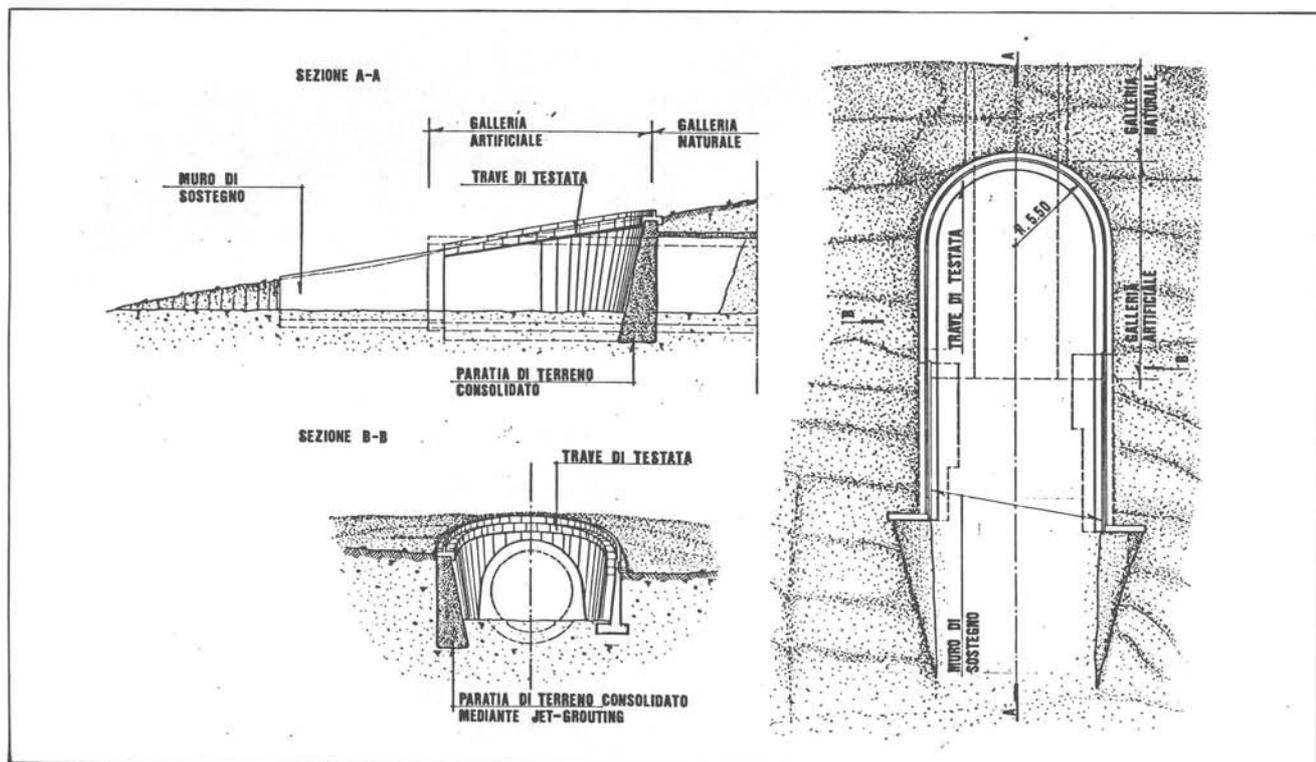


Fig. 2

L'intensità e la distribuzione del trattamento sono stabilite di volta in volta in funzione del contesto operativo e geotecnico.

Una trave superiore di c.a. immersa nella sommità delle colonne irrigidendo la struttura e favorendo la collaborazione tra i singoli elementi.

Una volta eseguito lo sbancamento per il piazzale d'imbocco, l'intervento viene completato con:

- il getto di un manto di spritz-beton su tutta la superficie esposta della paratia;
- la posa in opera di tubi drenanti suborizzontali attraverso il materiale consolidato per prevenire la formazione di battenti d'acqua importanti a tergo.

La struttura così costituita, lavorando secondo archi suborizzontali, risulta sollecitata principalmente a compressione e taglio.

La realizzazione di gusci di questo tipo è strettamente abbinata alla successiva esecuzione dell'attacco della galleria mediante il sistema jet-grouting in orizzontale. Grazie alle caratteristiche di questo sistema di preconsolidamento del terreno, che esige per l'esecuzione coperture di minima entità, è possibile

iniziare lo scavo della galleria naturale con ridottissimi valori di ricoprimento, con notevoli vantaggi dal punto di vista dell'inserimento ambientale (vedi fig. 3).

3. APPLICAZIONI

La prima applicazione di colonne subverticali "jet-grouting" poste a precontenimento di scavi fu realizzata nel 1980 a Sesto San Giovanni (MI), nell'area destinata a contenere una camera di ventilazione profonda 9.80 m del costruendo tratto della linea 1 della metropolitana.

Ma la prima vera applicazione per la realizzazione di opere d'imbocco avvenne cinque anni più tardi, per l'imbocco T1, lato Pontebba, della galleria "S. Leopoldo", sulla linea ferroviaria Pontebba-Tarvisio.

Il problema progettuale era costituito dalla presenza contemporanea, quasi a ridosso della progressiva d'imbocco, del rilevato dell'autostrada Carnia-Tarvisio, da sottopassare con la galleria, e della spalla del viadotto autostradale, che imponevano di avanzare senza indurre deformazioni nel terreno (vedi fig. 4).

Poichè ciò appariva impossibile con le tecniche tradizionali, fu deciso di impiegare la tecnologia jet-grouting.

Lo studio statico, condotto fin dall'inizio con l'ausilio dell'elaboratore elettronico su un modello agli elementi finiti, confermò la fattibilità dell'intervento, fornendo anche utili indicazioni per la messa a punto finale del progetto al fine di ottenere una struttura sollecitata da prevalenti azioni di compressione. Fu deciso alla fine di realizzare il guscio con un triplice ordine di colonne jet-grouting operate in sub-verticale secondo la geometria riportata in fig. 4 e di impiegare poi il sistema jet-grouting in orizzontale per l'attacco e l'avanzamento della galleria. È stato così possibile iniziare lo scavo in naturale sotto soli due metri di copertura.

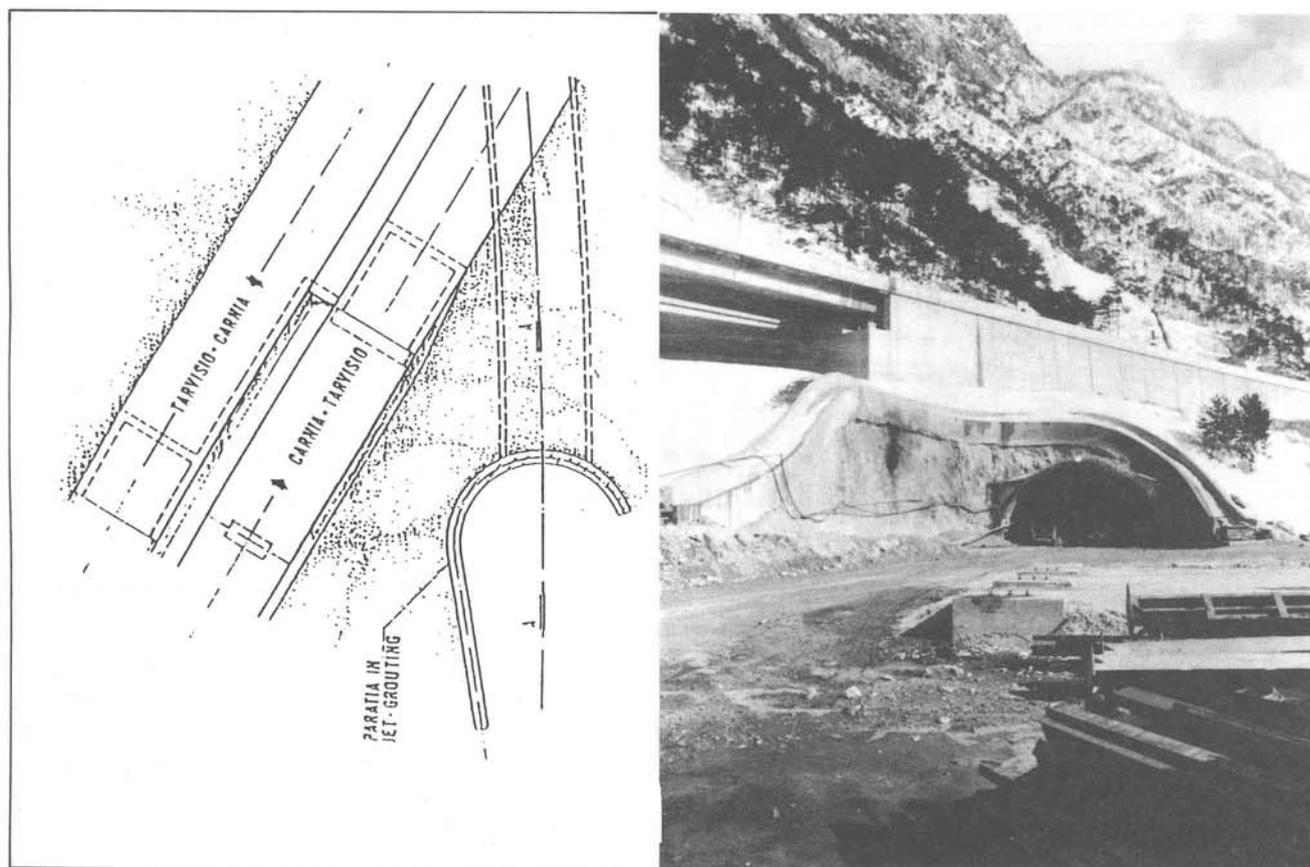


Fig. 4

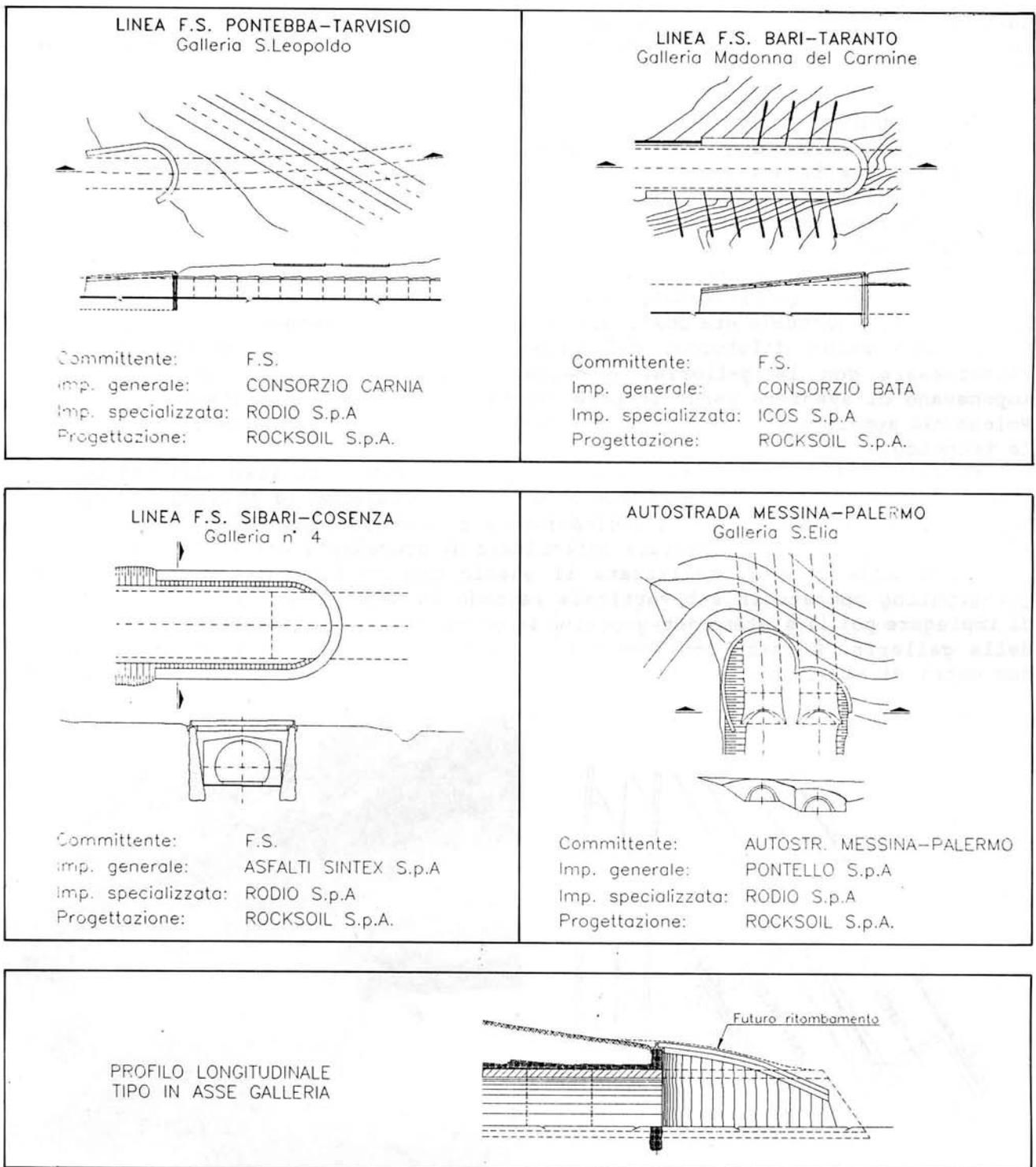


Fig. 5a

I lavori furono eseguiti senza particolari difficoltà e senza danno alcuno per il rilevato né per la spalla del viadotto autostradale. Il successo conseguito diede il via a numerose nuove applicazioni del medesimo tipo, realizzate in terreni di varia natura. Le figg. 5a e 5b riassumono sinteticamente quelle principali.

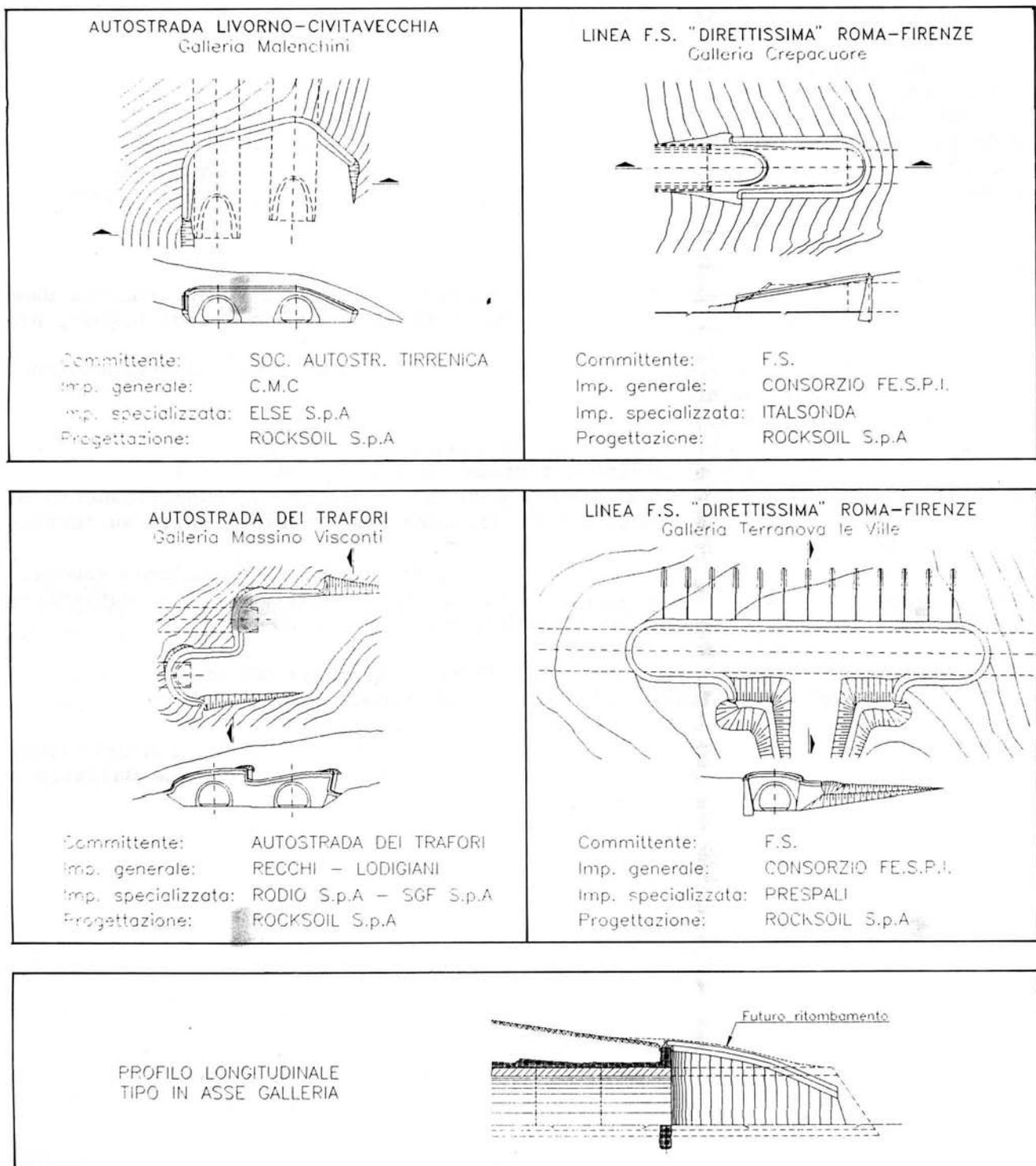


Fig. 5b

4. NOTE CONCLUSIVE

La realizzazione di gusci di terreno preconsolidato con il sistema jet-grouting permette di risolvere in maniera vantaggiosa i tipici problemi d'imbocco delle gallerie in terreni difficili e saturi d'acqua.

Le numerose opere sin qui realizzate dimostrano che in questo modo è possibile attaccare una galleria anche in versanti costituiti da terreni incoerenti o scarsamente coerenti senza causare praticamente movimento alcuno nel terreno circostante.

A questo si sommano altri vantaggi che si sono evidenziati con l'applicazione di questa metodologia:

- la grande duttilità nell'adeguarsi a qualsiasi situazione morfologica;
- la rapidità esecutiva;
- i costi concorrenziali.

Abbinando a questa tecnica quella del jet-grouting in orizzontale è possibile iniziare lo scavo in naturale con ridottissime coperture, si minimizzano così i problemi d'inserimento del nuovo manufatto nel quadro ambientale preesistente.

Bibliografia

- Lunardi P. (1982) - Nouvelle méthode de construction des écrans d'étanchéité dans les barrages en remblai, XIV Congresso Internazionale su "Le Grandi Dighe", Rio de Janeiro
- Louis C., Lunardi P. (1984) - Consolidation des sols par la technique de jet-grouting: état des connaissances et expériences, Colloque International "Reinforcement en place des sols et des roches", Paris
- Lunardi P., Louis C. (1984) - Méthodes de présoutènement et pré-étanchement pour les travaux en souterrain, Journées d'Etudes Internationales, Lione
- Faoro L., Lunardi P., Pasquini M. (1986) - Il jet-grouting nel consolidamento di imbocchi di gallerie autostradali, Atti del Congresso Internazionale su "Grandi Opere Sotterranee", Firenze
- Balossi Restelli A., Colombo A., Gervaso F., Lunardi P. (1986) - Tecnologie speciali per il sostegno di scavi nelle alluvioni di Milano in occasione della costruzione della linea 3 della metropolitana milanese, Atti del Congresso Internazionale su "Grandi Opere Sotterranee", Firenze
- Lunardi P., Mongilardi E., Tornaghi R. (1986) - Il preconsolidamento mediante jet-grouting nella realizzazione di opere in sotterraneo, Atti del Congresso Internazionale su "Grandi Opere Sotterranee", Firenze
- Camargo Guazzelli J.L., Lunardi P. (1988) - Tunnel de Campinas: evolución del diseño y problemas de operación, Atti del Congresso Internazionale su "Le Gallerie e l'Acqua", Madrid