

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

G. Biagi, V. Pellegrini, P. Lunardi

**L'APPLICAZIONE DEL SISTEMA JET - GROUTING NEL PROGETTO E NELLA
COSTRUZIONE DELLE GALLERIE DELL'AUTOSTRADA LIVORNO - CIVITAVECCHIA**

***APPLICATION OF THE JET - GROUTING TECHNIQUE IN THE PROJET AND
CONSTRUCTION OF THE TUNNELS ALONG THE LIVORNO - CIVITAVECCHIA MOTORWAY***

ESTRATTO/REPRINT

ATTI
PROCEEDINGS

VOL. II

L'APPLICAZIONE DEL SISTEMA JET - GROUTING NEL PROGETTO E NELLA COSTRUZIONE DELLE GALLERIE DELL'AUTOSTRADA LIVORNO - CIVITAVECCHIA

APPLICATION OF THE JET - GROUTING TECHNIQUE IN THE PROJET AND CONSTRUCTION OF THE TUNNELS ALONG THE LIVORNO - CIVITAVECCHIA MOTORWAY

Guido Biagi, Sotecni S.p.A., Roma, Italia
Vittorio Pellegrini, Sotecni S.p.A., Roma, Italia
Pietro Lunardi, Rocksoil S.p.A., Milano, Italia

L'applicazione della tecnica del jet-grouting subverticale nella realizzazione degli imbocchi e del jet-grouting suborizzontale quale intervento di preconsolidamento nello scavo della galleria ha permesso di risolvere agevolmente le problematiche statiche ed ambientali imposte dalla realizzazione di tre gallerie lungo il tracciato dell'Autostrada Livorno-Civitavecchia, scavo caratterizzato, tra l'altro, da ridotte coperture e da terreni di natura incoerente.

The project of the Livorno-Civitavecchia includes the construction of three tunnels along the Livorno-Cecina section. The excavation was carried out in soils of different nature which ranged from semicoherent to uncoherent causing different statical and executive problems.

A "traditional way" of excavating in those difficult kind of soils would have made timing and cost unforeseeable.

Cavity landslides are frequent in similar conditions.

Moreover, the motorway goes through a territory which is under environmental protection.

Static and environmental problems had been solved by means of technical innovations. The opening cowlings were carried out by means of subvertical jet-grouting technique. The walls mostly of consolidated soil have been planimetrically and altimetrically adjusted, in order to reduce the covering of tunnels as much as possible.

Once the work is finished up the artificial part of the opening will be covered by the excavated material.

Along the bord of the excavation and in work progress consolidated soil arches had been created by means of the sub-orizontal jet-grouting technique. In this way it was possible to reduce the covering of tunnels.

The preconsolidation made in advance with respect to the excavation site contributes to the static of the structure.

A series of trials and controls during excavation allows us to set up the intervention and to verify the stress-strain behaviour of the mass and structure. The results obtained confirmed the hypothesis made during the project stage.

1. GENERALITÀ

Il progetto e la costruzione delle gallerie Malenchini, Rimazzano e Pipistrello, previste sulla tratta Livorno-Cecina dell'Autostrada Livorno-Civitavecchia, hanno dovuto affrontare, tra l'altro, due diverse problematiche: una di carattere statico, connessa con il superamento in sotterraneo di terreni a natura da semicoerente ad incoerente; l'altra di natura ambientale, legata ai vincoli paesistici gravanti sul territorio interessato dal tracciato autostradale. Il ricorso ad una nuova impostazione progettuale, mirata a far collaborare il terreno alla stabilità degli scavi, ed a tecniche di preconsolidamento del terreno, di recente messa a punto e già largamente adottate, ha consentito di risolvere brillantemente i problemi statici e ambientali.

2. QUADRO GEOLOGICO-GEOTECNICO

La zona interessata dal tracciato in esame è caratterizzata dall'affioramento di terreni alloctoni dei bacini liguri, di natura sciolta o lapidea, e principalmente di terreni appartenenti alle serie marine neoautoctone dei cicli neogenici e quaternari.

Per quanto riguarda la natura dei terreni interessati dal tracciato autostradale, se ne esaminano di seguito le caratteristiche litostratigrafiche in relazione alle singole gallerie (fig. 1).

La galleria Pipistrello, con copertura massima di 50 m ed una lunghezza di 300 m, interessa diversi litotipi, generalmente aventi carattere da poco coesivo a lapideo. In particolare, agli imbocchi si incontrano argille sabbiose, compatte, poco plastiche, intercalate da gessi e sabbie o da trovanti calcarei.

Nella tratta centrale si attraversano calcari detritici, di origine organica, ed argilliti finemente fogliettate. Entrambi questi litotipi sono intensamente fratturati, a causa dell'intensa tettonizzazione subita dalla zona in esame. Per quanto riguarda la galleria Rimazzano, che si sviluppa per una lunghezza di circa 850 m con copertura massima di 28 m, più della metà del cavo interessa terreni prevalentemente incoerenti. Si rileva infatti, dall'imbocco Nord, una coltre superficiale, costituita da sedimenti prevalentemente ghiaiosi in matrice sabbioso argillosa e quindi dei livelli di sabbie limose addensate in argille limose che conferiscono una certa coesione d'ammasso. All'imbocco Sud si incontrano invece argille azzurre plioceniche molto consistenti e plastiche, leggermente sabbiose, debolmente attive.

Infine la galleria Malenchini con copertura massima di 20 m si intesta, per tutta la sua lunghezza di circa 450 m, in un litotipo sabbioso, a granulometria fine debolmente limosa, dal punto di vista geotecnico classificabile come sabbia mediamente addensata e dotata di una debole coesione apparente.

3. ASPETTI AMBIENTALI

Anche se non è inclusa nella perimetrazione delle zone protette, tuttavia l'area in esame ha un particolare valore paesistico e, in quanto tale, è soggetta a rigorosi vincoli che ne tutelano i valori naturali e faunistici. Tale aspetto non poteva quindi essere trascurato in ambito progettuale. Particolare riguardo è stato posto alle opere di imbocco, dove il tracciato autostradale si introduce in sotterraneo, cercando di ridurre il più possibile l'impatto dell'opera sul paesaggio.

4. SOLUZIONI PROGETTUALI

I problemi statici ed ambientali, che in passato hanno sempre costituito un grosso limite alla pianificazione della costruzione di gallerie in terreni incoerenti, sono stati agevolmente risolti con l'impiego della nuova tecnica del jet-grouting. Come è risaputo, tale tecnica è basata sull'iniezione ad alta pressione di boiaccia di cemento in modo da ottenere un rimescolamento del terreno circostante la perforazione. Si costituiscono quindi volumi colonnari di terreno consolidato, di forma e dimensioni controllate, conferendo al terreno trattato un'adeguata resistenza meccanica.

L'impiego della tecnica del jet-grouting sub-verticale per la realizzazione delle cuffie d'imbocco, ottenute mediante la creazione di un'ampia fascia di terreno consolidato a pianta arcuata a contenimento del versante prospiciente l'imbocco delle gallerie, e della tecnica del jet-grouting sub-orizzontale per la creazione di archi di terreno consolidato al perimetro degli scavi e capaci di svolgere un'efficace contenimento delle deformazioni sul fronte e al contorno del cavo, hanno consentito, nel caso in esame, di limitare al massimo il volume degli scavi di approccio per l'attacco delle gallerie naturali potendo contare, in condizioni di ridottissime coperture, su "effetti arco" creati artificialmente nel terreno in avanzamento già attivi all'atto dello scavo.

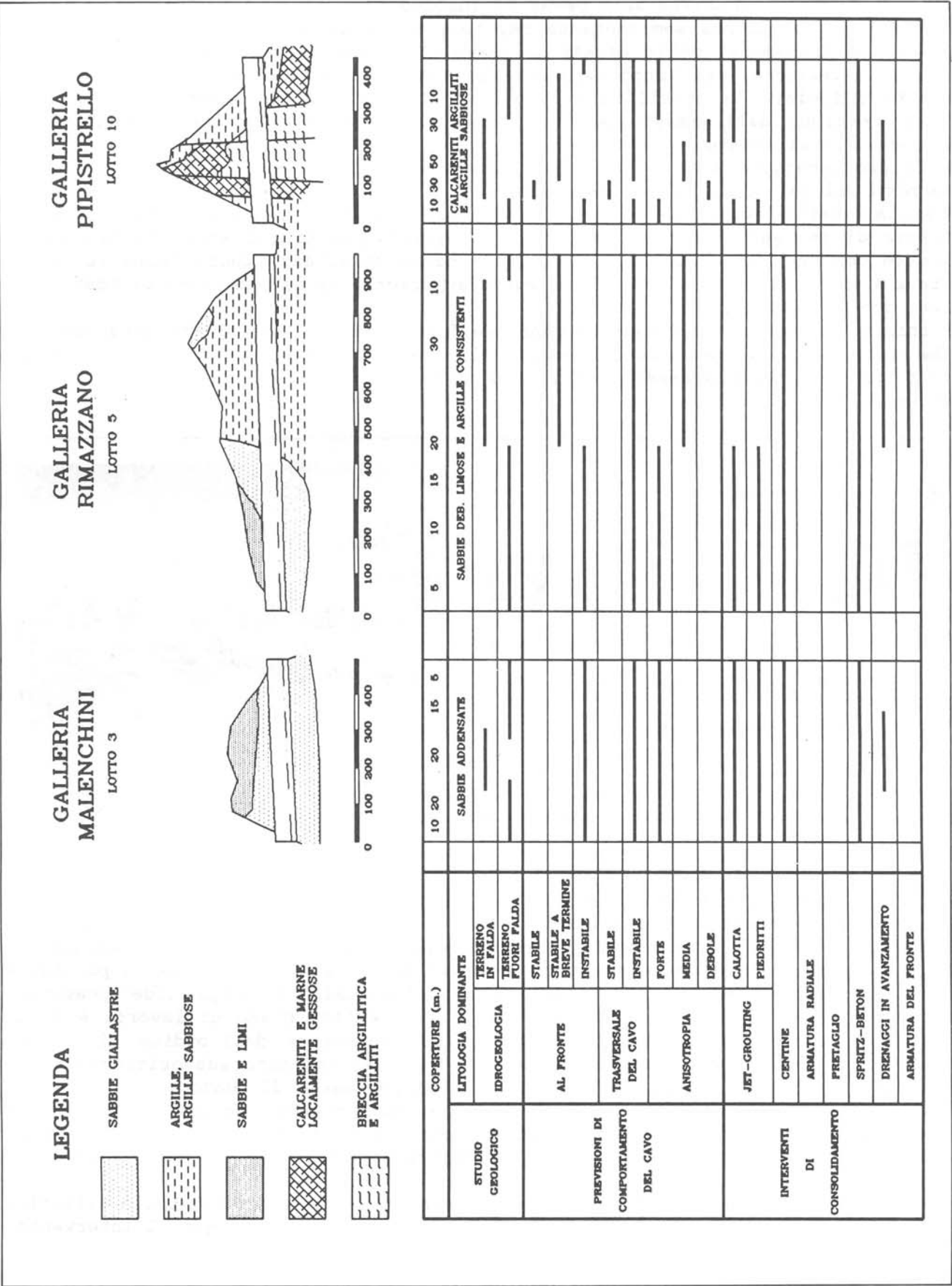


Fig. 1: Profilo geologico-geotecnico.
Geological-geotechnical profile.

5. PROBLEMATICHE RELATIVE ALLE OPERE DI IMBOCCO

Considerata la natura semicoerente del terreno in posto, era necessario evitare rilasci e franamenti delle pareti di scavo all'imbocco, evitando così di indurre la mobilitazione, nel lungo termine, di un'ampia fascia di versante che avrebbe potuto inficiare la stabilità dell'opera. Era altresì fondamentale non indurre decompressioni nell'ammasso per non procedere allo scavo della galleria in un terreno già allentato.

Tali problematiche sono state risolte, nel caso in esame, con l'impiego della tecnica del jet-grouting subverticale.

È stata infatti realizzata una paratia arcuata, ottenuta con la creazione di un'ampia fascia di terreno trattato, realizzata eseguendo più ordini sfalsati di colonne armate con un tubo d'acciaio. Le paratie hanno un'altezza fuori terra variabile tra i 4 m e i 12 m circa e sono collegate superiormente da una trave di testata in c.a. con funzione irrigidente.

Planimetricamente, esse sono in generale formate da due tratti di curva convessa che abbracciano il portale d'imbocco sull'area di scavo collegati da un tratto rettilineo ma possono essere realizzate anche in modo da seguire l'andamento del terreno (figg. 2 e 3).

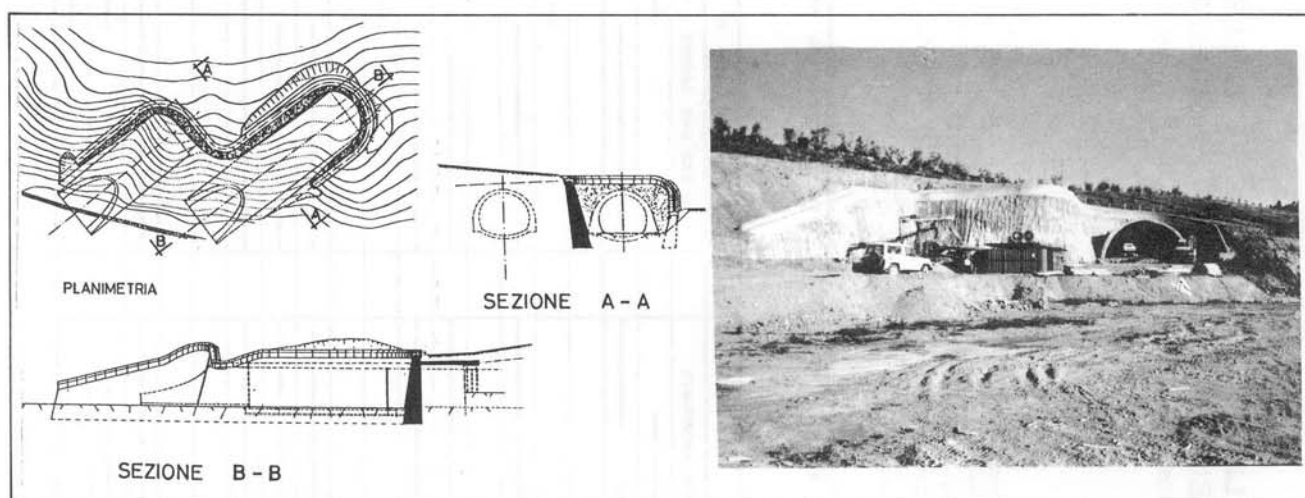


Fig. 2: Galleria "Malenchini", imbocco Sud.
Malenchini tunnel south opening.

Altimetricamente, le quote di testa della paratia consentono d'imboccare la galleria con la minima copertura possibile.

Eseguito lo scavo, l'intervento, ove necessario, può essere completato con la costituzione di uno strato di spritz-beton su tutta la superficie della paratia e con l'installazione di tubi drenanti suborizzontali a tergo onde prevenire l'insorgere di spinte idrostatiche. Giunti al previsto piano di lavoro, è stato possibile attaccare la galleria naturale con coperture dell'ordine di 2÷4 m, realizzando una tratta intermedia di 13 m di consolidamento sub-orizzontale con colonne armate con tubi in acciaio su tutto il perimetro di scavo.

Gli interventi sono stati realizzati senza particolari problemi, confermando l'azione statica della paratia e delle coronelle di terreno trattato che hanno impedito allentamenti nell'ammasso e pericolose ripercussioni in superficie e sui pendii naturali.

Una volta realizzato il portale d'imbocco, terminata la costruzione della galleria, si ritornerà il tratto di artificiale, "mimetizzando" completamente l'intervento.



Fig. 3: Galleria "Rimazzano, imbocco Nord.
Rimazzano tunnel North opening.

6. PROBLEMATICHE RELATIVE ALLE GALLERIE NATURALI

Dal quadro geologico-geotecnico illustrato nel precedente paragrafo, si rileva come, per tratte anche molto estese, lo scavo abbia interessato terreni di tipo incoerente o semicoerente, a volte saturi, con basse coperture. L'avanzamento dello scavo in materiali di questo tipo presenta normalmente notevoli difficoltà in quanto si verificano, all'apertura della cavità, importanti fenomeni deformativi che possono causare il crollo della galleria. Oltre ad un prevedibile rischio per le maestranze durante la realizzazione della galleria, i numerosi imprevisti solitamente connessi all'avanzamento in terreni difficili con metodi tradizionali rendono impossibile qualsiasi pianificazione in termini di tempi realizzativi e costi. Inoltre i controlli sui trattamenti e sul comportamento tenso-deformativo della struttura e dell'ammasso sono spesso difficoltosi e di incerta interpretazione, così che risultano inevitabili eventi franosi anche di notevoli dimensioni. Nel caso in esame, si è proceduto alla preventiva creazione, attorno al futuro scavo, di una fascia di terreno consolidato costituito da colonne jet suborizzontali intersecantesi (fig. 4).

L'avanzamento, avvenuto a mezza sezione, viene preceduto dal trattamento per 13 m, oltre il fronte, con un ordine di colonne inclinate del 6÷9% rispetto all'asse della galleria, aventi interasse medio di 45 cm, realizzate dal fronte di scavo, con una sonda diretta con strumenti ottici. Ciò si è tradotto in una maggiore sicurezza operativa, oltre che in un risparmio nel dimensionamento delle opere di rivestimento definitivo, in quanto il terreno consolidato collabora attivamente alla statica della galleria, riducendo le sollecitudini sul rivestimento definitivo. I fenomeni deformativi, solitamente accentuati già al fronte di scavo, sono stati ridotti e mantenuti entro valori accettabili, impedendo pericolosi detensionamenti all'interno dell'ammasso. Le modalità esecutive del trattamento di preconsolida-

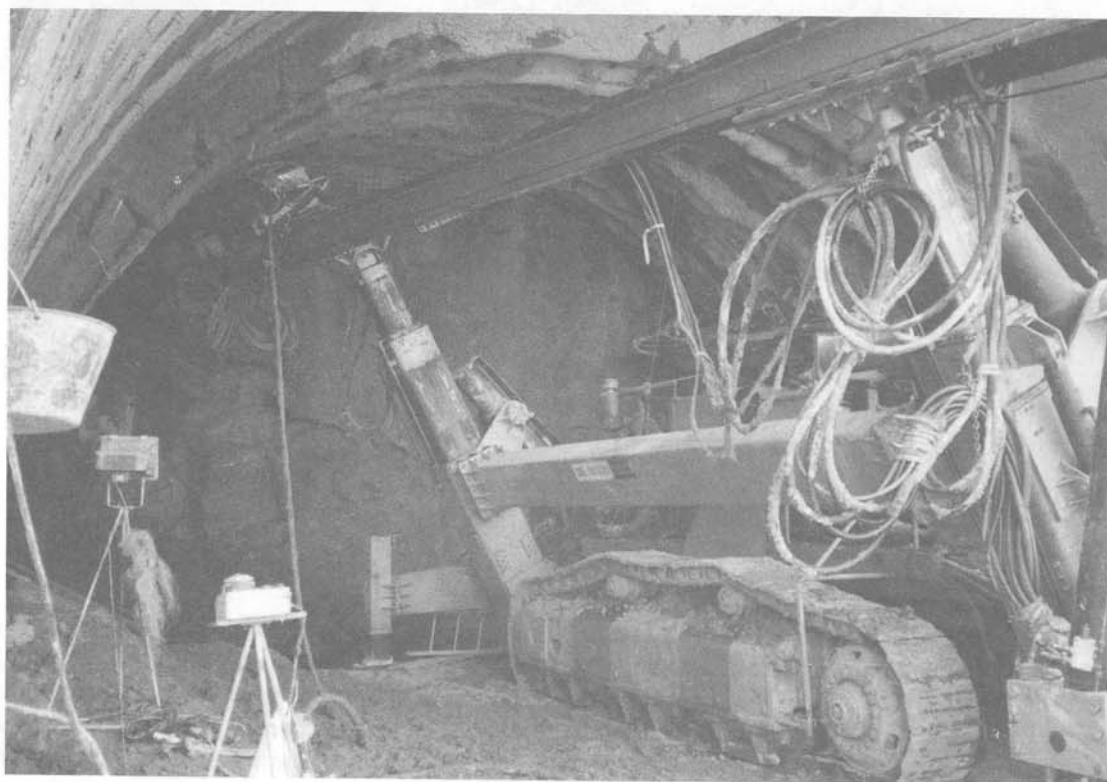
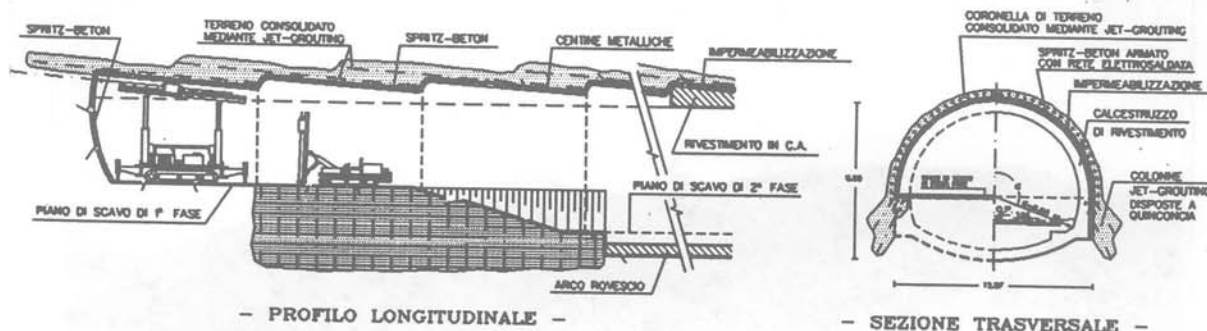


Fig. 4: Sezione tipo, schema di avanzamento ed esecuzione jet-grouting sub-orizzontale.
Standard section, progress scheme and sub-orizontal jet-grouting treatment.

mento hanno permesso l'esecuzione di adeguati controlli in corso d'opera, così come precisato al capitolo successivo.

I risultati ottenuti hanno confermato completamente le previsioni adottate in fase progettuale. L'avanzamento dello scavo è avvenuto senza incidenti di rilievo con cadenze regolari sia nelle varie fasi di lavoro, sia in termini di resa finale. Sono stati quindi superate le problematiche precedentemente individuate, relative alla programmazione dei lavori e quindi alle previsioni economiche.

7. CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

La validità degli interventi eseguiti è stata confermata in corso d'opera da una serie di misurazioni eseguite sia in fase esecutiva, sia sull'opera finita. In particolare, i controlli seguono due distinte direzioni: da una parte, il controllo

di qualità sui materiali e sui singoli interventi di consolidamento e contenimento; dall'altra, il monitoraggio delle deformazioni del cavo e nell'ammasso.

Preliminarmente all'inizio dei lavori, è stato eseguito un campo prove realizzando alcune colonne di terreno consolidato variando parametri esecutivi e tipi di miscela. Sulle colonne del campo prova e su alcuni trattamenti delle paratie d'imbocco sono state eseguite prove soniche per verificare la continuità del trattamento ed il miglioramento delle caratteristiche del terreno consolidato. Ciò ha permesso di procedere ad una prima taratura dell'intervento in relazione al tipo di terreno trattato ed ai risultati ottenuti.

L'esame visivo delle colonne ha permesso di controllare la geometria del trattamento ed il rispetto delle tolleranze ammesse, verificando la compenetrazione dei trattamenti e procedendo tempestivamente ad eventuali correzioni di intervento. Si è proceduto anche al carotaggio di alcune colonne prelevando un certo numero di carote per l'invio in laboratorio e l'esecuzione di opportune prove.

Per verificare l'idoneità degli interventi adottati, si è quindi provveduto a predisporre un adeguato sistema di controllo delle deformazioni subite dalla cavità prima, durante e dopo lo scavo.

Tale sistema è costituito da alcune stazioni di misura principali, composte generalmente da estensimetri multibase verticali e da un inclinometro, integrate da stazioni in galleria a più basi per la misura della convergenza con nastro invar. Attraverso la costante lettura delle strumentazioni è stato possibile entrare in possesso di maggiori informazioni sullo stato tenso-deformativo dell'ammasso, in funzione sia delle coperture in gioco, sia della posizione del fronte.

In alcuni casi si è altresì preceduto a monitorare, con misure inclinometriche, il comportamento deformativo delle paratie di imbocco.

8. CONCLUSIONI

La creazione di colonne di terreno consolidato con la tecnica del jet-grouting ha permesso di risolvere brillantemente le problematiche imposte nella realizzazione delle gallerie Malenchini, Rimazzano e Pipistrello in terreni ritenuti solitamente difficili per lo scavo di gallerie. L'impostazione progettuale adottata in questi casi ha permesso di mantenere i programmi prefissati in termini di tempi, costi e scadenze operative.

L'estrema flessibilità operativa, i risultati raggiunti in termini di aumento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati dal trattamento, nonché l'approccio progettuale innovativo hanno permesso di ridurre al minimo il disturbo arrecato al terreno sia nelle zone di imbocco sia lungo il tracciato della galleria. I lavori si sono quindi sviluppati in condizioni di elevata sicurezza per le maestranze, rendendo possibile un attento controllo in corso d'opera.