

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

F. P. Arsenà, A. Focaracci, P. Lunardi, A. Volpe

LA PRIMA APPLICAZIONE IN ITALIA DEL PRETAGLIO MECCANICO

FIRST APPLICATION IN ITALY OF MECHANICAL PRE-CUTTING

ESTRATTO/REPRINT

ATTI
PROCEEDINGS

VOL. II

LA PRIMA APPLICAZIONE IN ITALIA DEL PRETAGLIO MECCANICO

FIRST APPLICATION IN ITALY OF MECHANICAL PRE-CUTTING

Francesco Paolo Arsenà, Ente Ferrovie dello Stato, Roma, Italia
Alessandro Focaracci, Rocksoil S.p.A., Milano, Italia
Pietro Lunardi, Università di Parma, Parma, Italia
Antonio Volpe, Rodio S.p.A., Milano, Italia

Nel seguito gli autori descrivono l'esperienza acquisita dall'applicazione del pretaglio meccanico a piena sezione nella realizzazione delle gallerie della linea ferroviaria Sibari-Cosenza, a semplice binario.

Tunneling in coherent, semi-coherent or loose saturated soils, especially if alterable by air, has always been very difficult either during excavation or as far as the long-term stabilization of the work is concerned. Timing and cost estimation have always been very difficult if not impossible.

The application of the mechanical pre-cut technique in tunnelling along Sibari-Cosenza Railway line solved the static and stability problems of the work. It has been the first application of the mechanical pre-cut technique in Italy and the very first application in the full section excavation of a 10 m diameter tunnel. Clay of pleocenico-calambriano era has been found during excavation. The pre-cut technique is applied where the clay alluvium prevails.

By means of a numerical calculation the best geometrical configuration for the pre-cut tile has been defined.

Suitable tests on spritz-beton samples resulted has given useful information on the stress-strain behaviour of the mass and structure. The static effect of the pre-cut tile was also confirmed.

Convergence values had been kept within acceptable levels.

Numerical controls of convergence, which had been standardized by experimental data, resulted in line with the actual behaviour of the cavity.

It has been possible to program timing and cost of realization thanks to a daily regular progress of work.

During the operative phase the necessary safety has been guaranteed.

Since its first application, the mechanical pre-cut technology, combined with fiberglass nail preconsolidation of the face and tunnel drainage have been applied in important works, which have been constructed in Italy

1. GENERALITÀ

Il progetto della variante della linea ferroviaria a semplice binario Sibari-Cosenza, tra le stazioni di "S. Marco Roggiano" e "Mongrassano-Cervicati", prevede la realizzazione di 4 gallerie per uno sviluppo totale in sotterraneo pari a 4000 m, di cui più di 3000 m sono già stati realizzati.

Lo scavo delle gallerie ha dovuto affrontare diversi problemi a causa delle scadenti caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati. Oltre a problematiche di tipo statico e operativo, l'avanzamento in terreni sciolti o coesivi secondo metodi tradizionali, come inizialmente previsto dal capitolato nel caso in esame, avrebbe comportato una difficile pianificazione dei lavori, rendendo impossibile una previsione attendibile in termini di tempo e di costi di esecuzione con il pericolo di frequenti dissesti, con lavorazioni in condizioni di sicurezza precarie. L'adozione delle più moderne tecnologie di scavo ha permesso di superare le problematiche imposte dal caso in esame, garantendo il mantenimento di precise scadenze temporali. In particolare è stata adottata, per la prima volta in Italia,

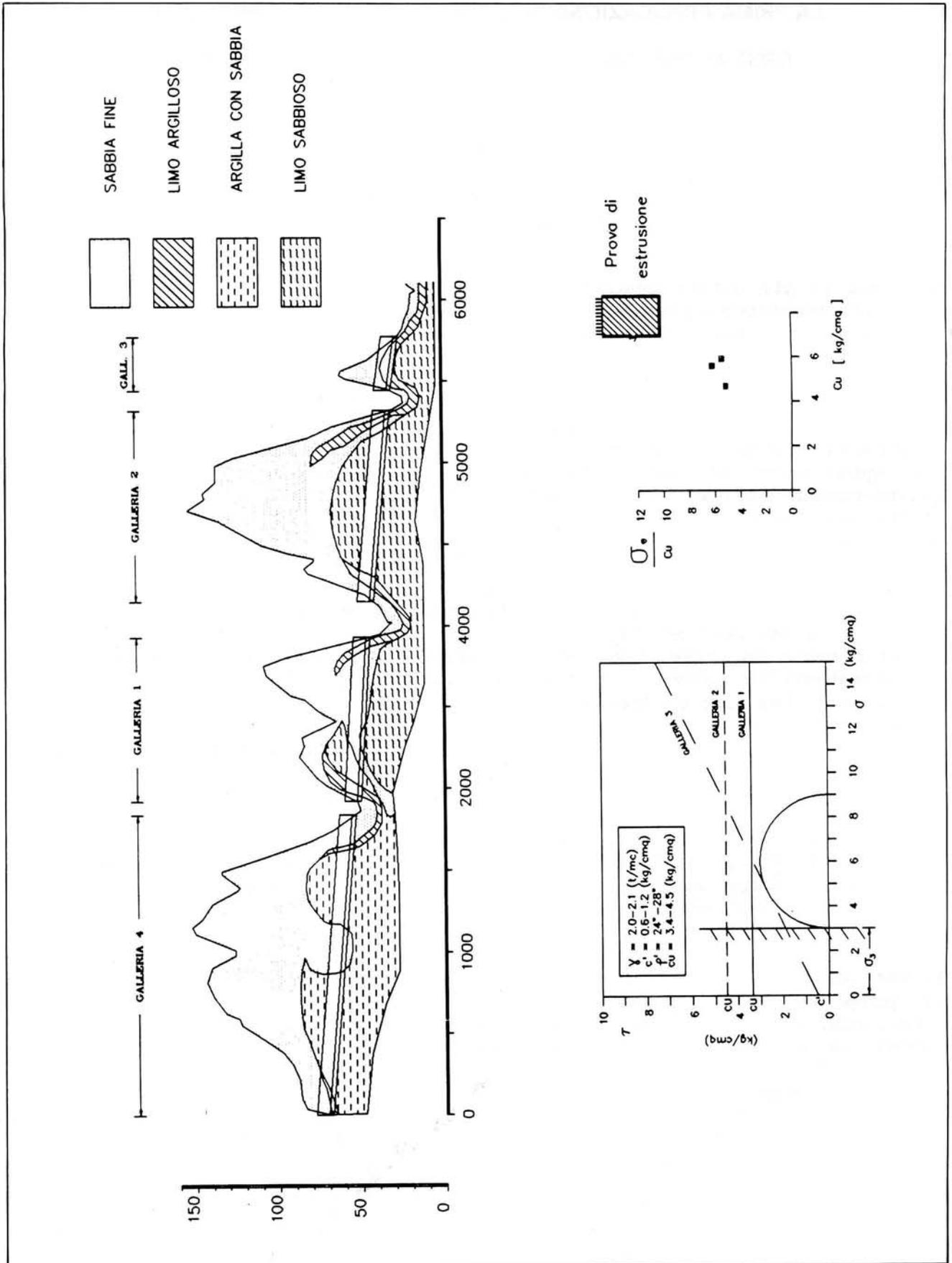


Fig. 1: Profilo geologico e geotecnico. Sibari-Cosenza railway stretch: geological and geotechnical profile.

la tecnica del "pretaglio meccanico". Già applicata con successo in Francia per terreni duri, tale tecnologia di scavo si è dimostrata ottimale anche per terreni di natura prettamente coesiva. I tempi esecutivi sono stati così ridotti rispetto a quelli prevedibili inizialmente, con fasi di avanzamento regolari e conseguenti vantaggi in termini di programmazione e costo dei lavori.

2. QUADRO GEOLOGICO

I terreni interessati dalle gallerie in oggetto appartengono alla formazione pliocenica-calabriana costituita da argille grigio-azzurrognole sormontate da sabbie gialle (cfr. fig.1).

Nella parte alta le argille presentano sottili livelli sabbiosi a delimitare i piani di stratificazione.

Procedendo verso l'alto, i livelli sabbiosi aumentano gradualmente di spessore e si alternano alle argille sotto forma di lenti irregolari, fino a diventare dominanti.

Gli attacchi delle gallerie interessano zone in cui è presente la formazione delle sabbie fini e limose.

Superati i primi metri, il tracciato, in maniera analoga per le gallerie 1, 2 e 3, si addentra nella formazione argillosa, con locali livelli sabbiosi, presenti in particolar modo in corrispondenza della galleria 3.

La falda è presente lungo tutto il tracciato delle gallerie 2 e 3, con carichi idrostatici variabili da qualche metro fino a qualche decina di metri. Le coperture massime superano i 100 metri nella galleria 2.

3. INTERVENTI DI CONTENIMENTO

In fase di progettazione, lo studio delle gallerie è stato condotto con il metodo delle linee caratteristiche (cfr. fig.2).

Tale analisi ha portato a prevedere fenomeni deformativi consistenti che, se non regimati con opportuni interventi di contenimento, sarebbero stati inaccettabili ed avrebbero portato al crollo della galleria.

Di conseguenza sono state definite le metodologie di avanzamento da adottare nello scavo delle gallerie.

Viste le caratteristiche dell'ammasso ed il suo comportamento allo scavo, si è optato per alcuni interventi di preconsolidamento in avanzamento rispetto al fronte di scavo.

Nelle zone a comportamento argilloso è stata adottata la tecnica del pretaglio meccanico, mentre nelle tratte dove prevale la componente sabbiosa si è utilizzato il sistema del jet-grouting sub-orizzontale.

Entrambe le tecnologie sono state integrate da drenaggi strutturali in avanzamento per ridurre le pressioni interstiziali al fronte di scavo.

L'intervento con pretaglio è stato il primo in assoluto a piena sezione per una galleria di 10 m di diametro e si inserisce nell'evoluzione, attualmente in atto, dei tradizionali metodi di scavo verso soluzioni in grado di determinare la creazione di "effetti arco" artificiali quale elemento fondamentale per il superamento dei problemi connessi alla stabilità delle gallerie in terreni difficili.

4. SCAVO A PIENA SEZIONE CON PRETAGLIO MECCANICO

Come è noto il pretaglio meccanico consiste nel praticare sul fronte di scavo un taglio, di spessore e lunghezza predeterminati, che segue il profilo di estradosso della galleria.

Il taglio viene riempito immediatamente dopo l'esecuzione con una opportuna miscela di spritz-beton fibrorinforzato.

In questo modo si ottiene una canalizzazione del flusso delle tensioni che si instaura al contorno attraverso una struttura in grado di scaricare all'imposta

COMMITTENTE: ASFALTI SINTEX S.P.A.
 ELABORAZIONE: ROCKSOIL S.r.l.
 P.zza S. MARCO 1 - MILANO

GALLERIA N. 2 - MAX COPERTURA
 AVANZAMENTO CON PRE-TAGLIO MECCANICO

LINEE CARATTERISTICHE PER GALLERIA CIRCOLARE
 CON PRESSIONE IDROSTATICA ALLO STATO NATURALE

F.S. LINEA SIBARI-COSENZA

--- Uf = SPOSTAMENTO RADIALE AL FRONTE
 U = SPOSTAMENTO RADIALE LONTANO DAL FRONTE (DIL. = 0.10 %)
 - - - Rp/Ro = RAPPORTO RAGGIO ZONA PLASTICA/RAGGIO GALLERIA

DATI

RAGGIO 4.94 m
 COPERTURA 115 m
 PESO DI VOLUME 2.1 t/m³
 MODULO DI POISSON .3
 VALORI GEOTEKNICI
 ZONA PLASTICA
 PHI = 25.00 G. SES. CO = 6.00 t/mq E = 20000. t/mq
 ZONA ELASTICA
 PHI = 27.00 G. SES. CO = 10.00 t/mq E = 20000. t/mq

RISULTATI

RESISTENZA 1/2 NUCLEO
 P = 9.42 t/mq
 FORZA MINIMA DI SOSTEGNO
 P = .12 t/mq U = 135.092 cm
 LIMITE PER CASO ELASTICO IDEALE
 P = 122.95 t/mq U = 9.807 cm

AL FRONTE

FORZA MINIMA DI SOSTEGNO
 P = 0 t/mq Uf = 47.239 cm
 LIMITE PER CASO ELASTICO IDEALE
 P = 111.11 t/mq Uf = 2.964 cm

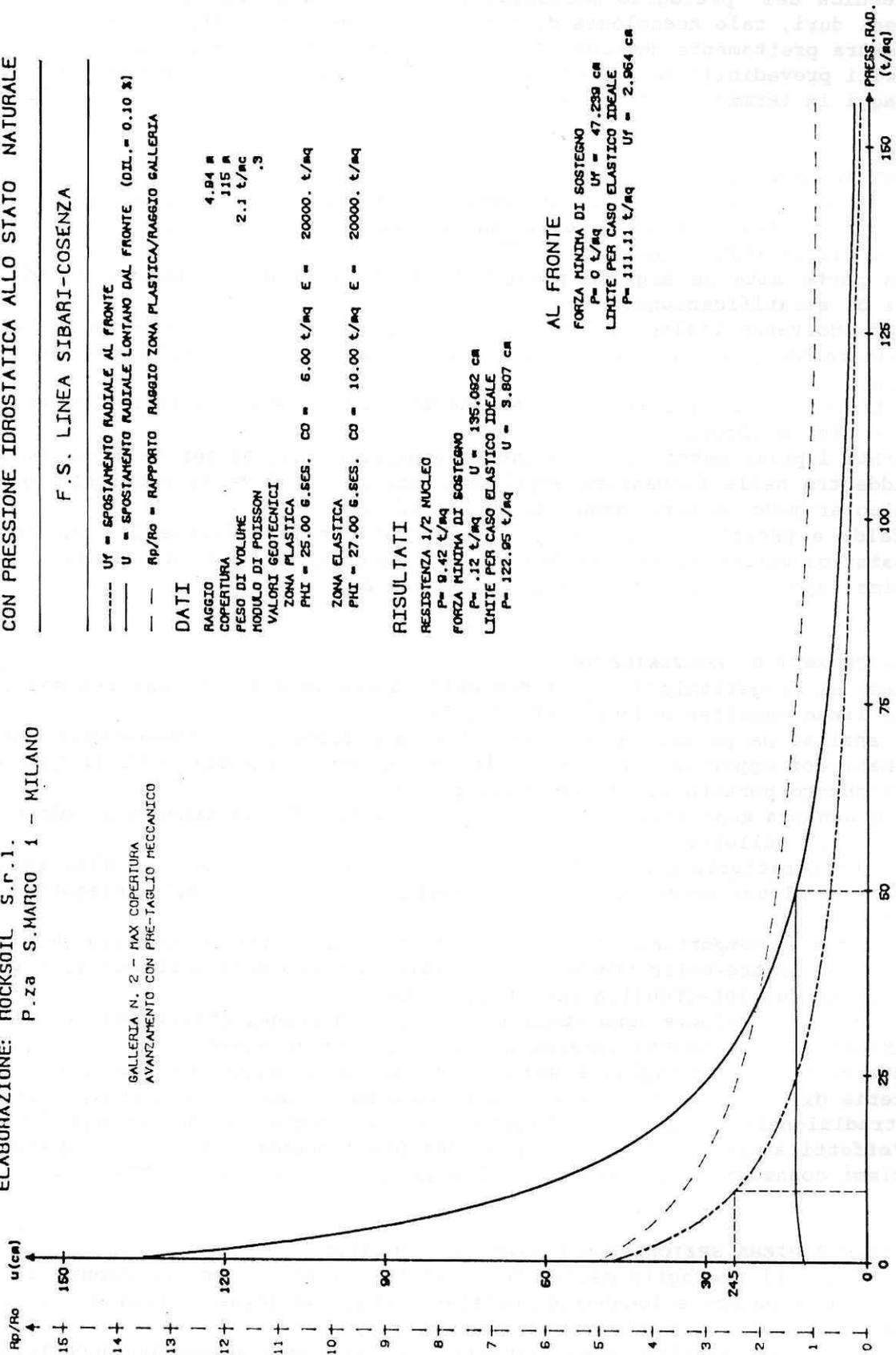


Fig. 2: Linee caratteristiche.
 Characteristic lines.

sollecitazioni altrimenti incompatibili con la resistenza intrinseca dell'ammasso, garantendo la stabilità del fronte di scavo e della cavità.

A tergo dell'ultimo concio di pretaglio eseguito, sono state immediatamente poste in opera delle centine metalliche ed un ulteriore strato di spritz-beton a rinforzo del concio stesso. Per garantire la stabilità nei confronti delle spinte laterali, ad una distanza dal fronte non superiore a 1.5 diametri è stato effettuato il getto delle murette e dell'arco rovescio, completando in seguito il rivestimento definitivo (fig. 4). Al fine di ottenere la deviazione del flusso delle tensioni indotte nell'ammasso dallo scavo, creando al meglio l'effetto arco artificiale, è stato particolarmente accurato lo studio della configurazione geometrica dei conci di pretaglio. Si è rilevato che nella sezione con piedritti curvi il carico risulta più centrato rispetto al caso con piedritti rettilinei, con un miglioramento dello stato di sforzo nella struttura. Le caratteristiche di resistenza dello spritz di riempimento del taglio devono essere adeguate alle sollecitazioni agenti. Per questo motivo sono state eseguite delle prove su vari tipi di impasti variando genere e quantità di legante, fibre e additivi. In particolare, per il caso in esame, dopo 6÷8 ore dal getto lo spritz doveva fornire mediamente il 70% della resistenza finale, pari a 300 Kg/cm^2 .

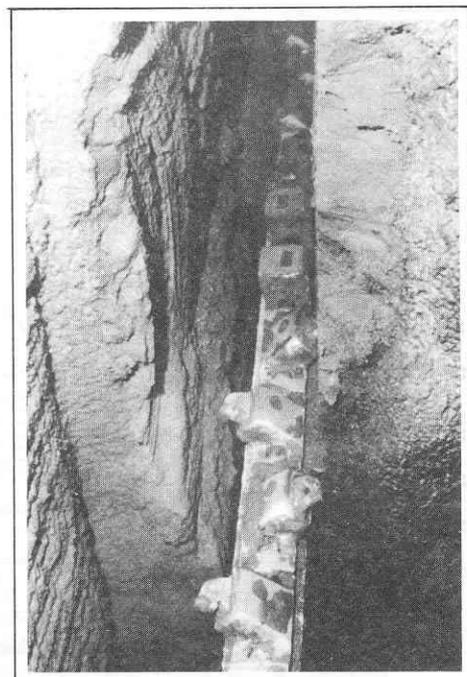


Fig. 3: Fase di taglio.
Cutting.

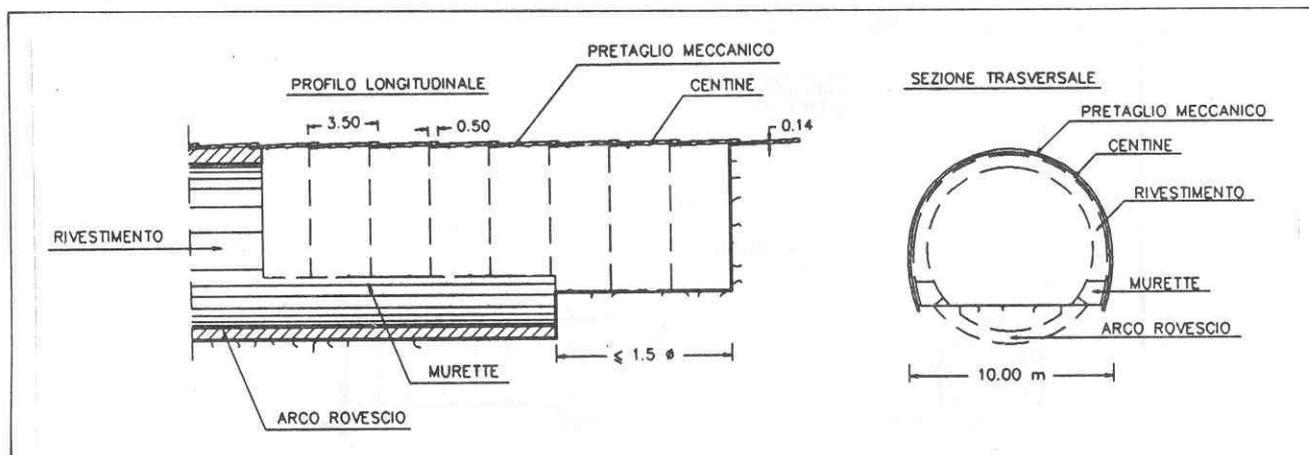


Fig. 4: Sezione tipo con pretaglio
Mechanical pre-cutted standard section.

5. CONTROLLI IN SITU

A fronte della assoluta novità dell'intervento per sezioni di queste dimensioni ed in terreni coesivi di caratteristiche scadenti, è stato predisposto un adeguato programma di controlli e misure in posto.

In corso d'opera si è pertanto effettuato un attento controllo dei movimenti superficiali e profondi in corrispondenza dell'avanzare del fronte della cavità. L'esame delle letture estensimetriche e delle convergenze ha permesso di ottenere preziose informazioni sul comportamento della cavità.

In particolare (cfr. fig. 5), in corrispondenza dello scavo con pretaglio, si osserva che i movimenti si sviluppano durante il passaggio del fronte e raggiungono il 50% del valore finale nel corso dei 3+4 giorni successivi al passaggio del fronte sotto la stazione di misura. Il massimo gradiente di deformazione è stato raggiunto durante lo scavo dell'arco rovescio il cui getto determina una immediata stabilizzazione della cavità.

Per quanto riguarda le misure di convergenza, in generale sono state registrate, in corrispondenza della sezione con jet-grouting sub-orizzontale, dei valori di deformazione notevolmente superiori a quelli misurati nelle sezioni realizzate con pretaglio.

Tale misure hanno inoltre messo in evidenza l'effetto di un fermo prolungato del fronte in rapporto ai fenomeni deformativi. In particolare, nella galleria 1 si sono misurate deformazioni diametrali pari indicativamente al doppio di quelli solitamente misurati.

6. VERIFICHE NUMERICHE

Come ulteriore verifica del comportamento del sistema struttura-terreno, è stato messo a punto un modello agli elementi finiti non lineare.

Il calcolo è stato calibrato sulla base delle prove desunte dai controlli in situ, stimando la validità della schematizzazione adottata attraverso un confronto tra i risultati numerici ed i dati sperimentali.

Per quanto riguarda gli sforzi nel terreno, la realizzazione del guscio di pretaglio in avanzamento, con la conseguente creazione dell'effetto arco artificiale, ha permesso di ridurre il disturbo arrecato all'ammasso. Il calcolo ha messo in evidenza delle plasticizzazioni locali in corrispondenza dell'appoggio del guscio di betoncino proiettato, confermando l'ottimo funzionamento della struttura di

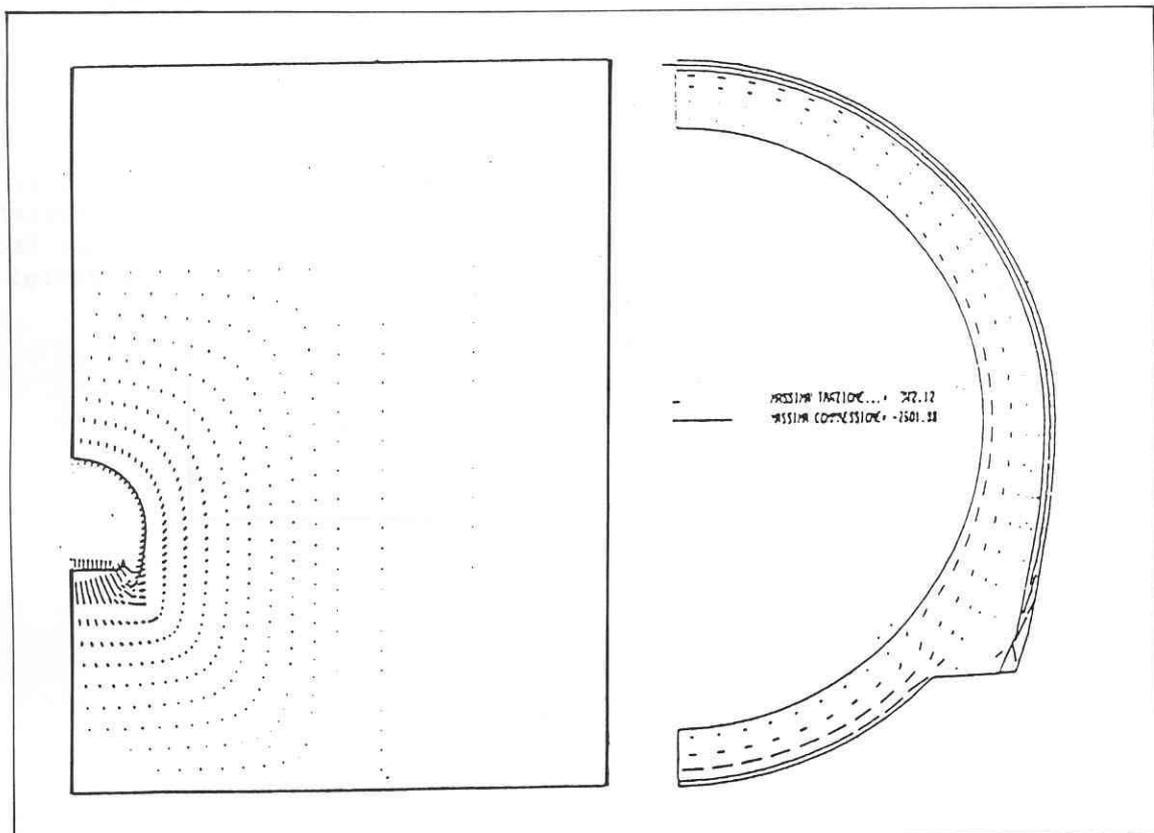


Fig. 6: Calcolo numerico.
Numerical calculation.

preconsolidamento (fig. 6). È da rilevare la tendenza al rifluimento del terreno in corrispondenza della parte inferiore dello scavo.

Risulta quindi fondamentale assicurare una appropriata base di appoggio al guscio di pretaglio per evitare possibili punzonamenti del terreno che comprometterebbero l'efficacia del sistema.

7. CONCLUSIONI

Malgrado la natura dei terreni incontrati durante lo scavo delle gallerie, notoriamente difficili, per lo scavo di gallerie, le opere sono state realizzate nei tempi previsti e con una sufficiente sicurezza operativa. Ciò è stato reso possibile dall'efficacia del pretaglio meccanico per lo scavo in terreni coesivi, anche in presenza di falda, e dalla corretta impostazione del progetto, nonché dalla organizzazione dei lavori in sotterraneo.

La novità dell'impostazione dell'intervento descritto, a livello sia progettuale sia esecutivo, ha permesso quindi di raggiungere risultati non trascurabili. In particolare, sono stati valorizzati gli interventi di stabilizzazione di prima fase quali elementi strutturali indispensabili per regimare i fenomeni deformativi. L'estrema regolarità dei tempi di avanzamento giornalieri, stabilizzatisi su valori medi dell'ordine di 3.00 metri/giorno, ha permesso di pianificare interventi, tempi e costi di costruzione che solitamente, nei terreni di questo genere e con metodi tradizionali di avanzamento, sono sempre risultati imprevedibili e oggetto di contenzioso tra la Direzione Lavori e le Imprese costruttrici per le notevoli difficoltà che normalmente si incontrano nell'avanzamento, a scapito anche della sicurezza in fase esecutiva.

Anche i problemi di ordine statico sono stati brillantemente risolti con la nuova impostazione del progetto, in quanto l'ottimizzazione degli interventi di preconsolidamento e la definizione delle fasi esecutive hanno ridotto il disturbo al terreno e quindi le spinte agenti sulla struttura nel lungo termine.

BIBLIOGRAFIA

- Lunardi P. (1988) - ADECO-RS - Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nel suolo. Conferenza ISMES, Bergamo, Novembre '88.
- Lunardi P., Bindi R., Focaracci A. (1989) - Nouvelles orientation pour le projet et la construction des tunnels dans des terrains meubles. Etudes et experiences sur le preconfinement de la cavite et la preconsolidation du noyau au front. colloque International "Tunnels et micro-tunnels en terrain meuble", Parigi.

Lavoro:	Linea F.S. Sibari-Cosenza
Committente:	Ente Ferrovie dello Stato
Impresa generale:	Asfalti Sintex S.p.A.
Impresa specializzata:	Rodio S.p.A.
Progettazione esecutiva:	Rocksoil S.p.A.