

La galleria “Tartaiguille”, ovvero l’applicazione dell’approccio ADECO-RS per la realizzazione di un tunnel “impossibile”

Pietro LUNARDI

Studio di progettazione Lunardi, Milano

La galleria Tartaiguille (180 m² di sezione), della nuova linea ferroviaria TGV Méditerranée che collegherà Lione a Marsiglia si sviluppa per un tratto di circa 900 m entro una formazione di argille caratterizzata da un elevato contenuto di minerali rigonfianti (75%). L'avanzamento a mezza sezione con i sistemi tradizionali in questo tipo di materiale risultava subito inadeguato, costringendo il cantiere a sospendere i lavori. La SNCF, per individuare una soluzione che permettesse di realizzare la galleria in sicurezza e in tempo utile per non dover procrastinare l'apertura all'esercizio della nuova linea, costituiva un gruppo di studio invitando a parteciparvi i più illustri esperti di tunnelling europei. Dall'esame delle diverse proposte, l'unico progetto che è apparso in grado di soddisfare le garanzie richieste è stato quello italiano basato sui principi dell'A.DE.CO.-RS, suggerito dall'autore ed elaborato dalla Rocksoil S.p.A. di Milano, che prevedeva di avanzare a piena sezione previo consolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina. L'adozione di questo progetto, con l'assistenza tecnica in cantiere dei tecnici della Rocksoil S.p.A. ha permesso di realizzare la difficile galleria senza inconvenienti, con fenomeni deformativi ridottissimi e con tempi e costi addirittura inferiori alle previsioni.

1. Introduzione

La galleria Tartaiguille, della lunghezza di 2330 m e circa 180 m² di sezione, è una delle sei gallerie della Linea TGV Méditerranée che collegherà Lione a Marsiglia su un percorso di circa 250 km (fig. 1). Il tracciato si sviluppa attraverso più formazioni cretache che, in direzione Nord - Sud, possono così essere descritte:

- calcari dello Stampien superiore più o meno fratturati;
- argille marnose dello Stampien inferiore;
- alternanza di marne blu dell'Aptien e di arenarie dell'Albien.

In particolare, la formazione dello Stampien inferiore, all'interno della quale è stato applicato il progetto qui presentato, è costi-

tuita da un'alternanza stratificata di livelli di marne, argille e limi con presenza di calcare. Lo spessore di ciascuno strato può variare da pochi centimetri ad alcuni metri, con discontinuità principali costituite dalla stessa stratificazione. Detta formazione è estremamente sensibile alla presenza dell'acqua che, al contatto, determina un'alterazione molto rapida delle caratteristiche di resistenza del terreno, con immediata perdita di consistenza ed attivazione di fenomeni di rigonfiamento, per l'elevata percentuale di materiali rigonfianti presenti all'interno della componente argillosa (75% di montmorillonite).

La copertura massima assoluta della galleria è pari a 137 m, quella relativa alla tratta nelle argille marnose è pari a 106 m.

2. Breve storia dello scavo

Le operazioni di scavo sono iniziate su entrambi gli imbocchi (Nord e Sud) nel febbraio 1996.

Il sistema d'attacco prevedeva di avanzare a sezione parzializzata, scavando la mezza sezione superiore con un'attrezzatura ad attacco puntuale e lo strozzo, circa 200 m più indietro, con impiego di martellone. Per la stabilizzazione a breve e a lungo termine dello scavo il progetto prevedeva sezioni tipo di differente importanza in funzione delle condizioni geologiche e geotecniche riscontrate, tutte comunque costituite da spritz-beton, centine reticolari e bulloni radiali ad ancoraggio puntuale di 4 m di lunghezza.

Per l'attraversamento della tratta di 900 m nelle argille dello Stampien, esso prevedeva, in particolare, l'applicazione di una sezione tipo costituita da 25 cm di spritz-beton, centine HEB 240 poste a passo 1,5 m e fondate su micropali, bulloni ad ancoraggio puntuale dopo lo scavo di ribasso alla piena sezione (L = 4 m, uno ogni 3 ÷ 4 m²), quindi getto delle murette e dell'arco rovescio. Qualora esigenze di sicurezza al fronte di scavo lo avessero richiesto, era previsto anche l'impiego di chiodi tubolari di vetroresina per migliorarne le condizioni di stabilità. La definitiva stabilizzazione della galleria si sarebbe quindi ottenuta con il getto in volta, dopo aver posato l'impermeabilizzazione, del rivestimento di calcestruzzo (spessore 70 cm).

Alla fine del Settembre 1996, le convergenze al fronte Sud, durante lo scavo nelle marne dell'Aptien, si incrementavano ben oltre i valori previsti dal progetto, fino a raggiungere, nel corso dello scavo della mezza sezione superiore, i 60 mm e, durante lo scavo dello strozzo, i 150 mm. L'incremento delle convergenze si manifestava con fessurazioni importanti dello spritz-beton e splaccaggi dello stesso, che oltre a ingenti interventi di disaggio imponevano di procedere alla messa in opera di rete elettrosaldata in volta e al raddoppio della bullonatura prevista inizialmente.

A seguito di questi fatti, i responsabili dei lavori, preoccupati anche per l'imminente attraversamento delle argille dello Stampien, ritenevano opportuno avviare una campagna geognostica integrativa, onde verificare i parametri geomeccanici di pro-

getto. La novità più significativa che si evidenziò, furono valori del coefficiente di spinta a riposo K_0 assai superiori a quelli che erano stati assunti. I nuovi calcoli, eseguiti con i parametri corretti, mentre da un lato spiegavano i valori di convergenza osservati nelle marne, dall'altro lato evidenziavano l'impossibilità di procedere nelle argille dello Stampien coi sistemi d'attacco previsti, perché ciò avrebbe comportato fenomeni deformativi d'entità inaccettabile.

Per giungere a una soluzione che consentisse di superare il problema, la SNCF (Société National du Chemin de Fer), all'inizio del 1997, costituiva un gruppo di studio ("Comité de pilotage") formato dagli stessi tecnici delle Ferrovie Francesi, dal consorzio tra le imprese Quillery e Demathieu & Bard, dai consulenti delle Ferrovie Coyne et Bellier, dai consulenti geotecnici del consorzio Terrasol e Simecsol e da CETU. Detto gruppo consultava a sua volta i maggiori esperti di *tunnelling* europei, invitandoli a predisporre una soluzione progettuale che consentisse l'attraversamento della tratta

argillosa in sicurezza e nel rispetto dei tempi contrattuali.

Una prima proposta (francese) (fig. 2a) suggeriva di avanzare a mezza sezione adottando una sezione tipo notevolmente irrigidita rispetto a quella prevista nel progetto iniziale, sia attraverso l'aumento del numero dei bulloni radiali operati al contorno del cavo sia attraverso la messa in opera di un prerivestimento più pesante in termini di armatura e in termini di spessore. La realizzazione di questa soluzione, però, avrebbe comportato tempi esecutivi eccessivamente lunghi e perciò fu subito scartata.

La seconda proposta (svizzera) valutata dal gruppo di studio (fig. 2b) prevedeva ancora di avanzare a mezza sezione adottando speciali centine deformabili per il prerivestimento della mezza sezione superiore. Ciò avrebbe consentito all'ammasso di liberare parte dell'energia potenziale immagazzinata attraverso lo sviluppo di deformazioni importanti in assenza di contrasto. L'esecuzione di un consolidamento del fronte di scavo mediante tubi di vetroresina di lun-

ghezza ridotta avrebbe garantito la necessaria sicurezza alle maestranze. Le numerose incertezze legate alla difficoltà di modellare nel calcolo il comportamento delle centine deformabili e soprattutto i lunghi tempi necessari per realizzare la galleria con questo tipo di avanzamento (il getto del rivestimento definitivo sarebbe dovuto avvenire una volta stabilizzate le forti convergenze permesse dalle centine deformabili, quindi almeno a 6 mesi dallo scavo) portarono a scartare anche questa proposta.

La SNCF, prima di rassegnarsi ad accettare una forte dilazione dei tempi previsti per l'apertura della nuova linea, invitava quindi lo scrivente a far conoscere anche il proprio parere riguardo a fattibilità, tempi esecutivi e costi dell'opera, inviando una propria proposta. Era giunta voce, infatti, dei significativi successi colti in Italia, nello scavo di alcune gallerie in condizioni molto difficili, applicando nuovi criteri progettuali e costruttivi. Conseguentemente, fu vagliata una terza proposta (italiana) (fig. 2c), radicalmente differente da quelle finora illustrate, che prevedeva un avanzamento a pie-

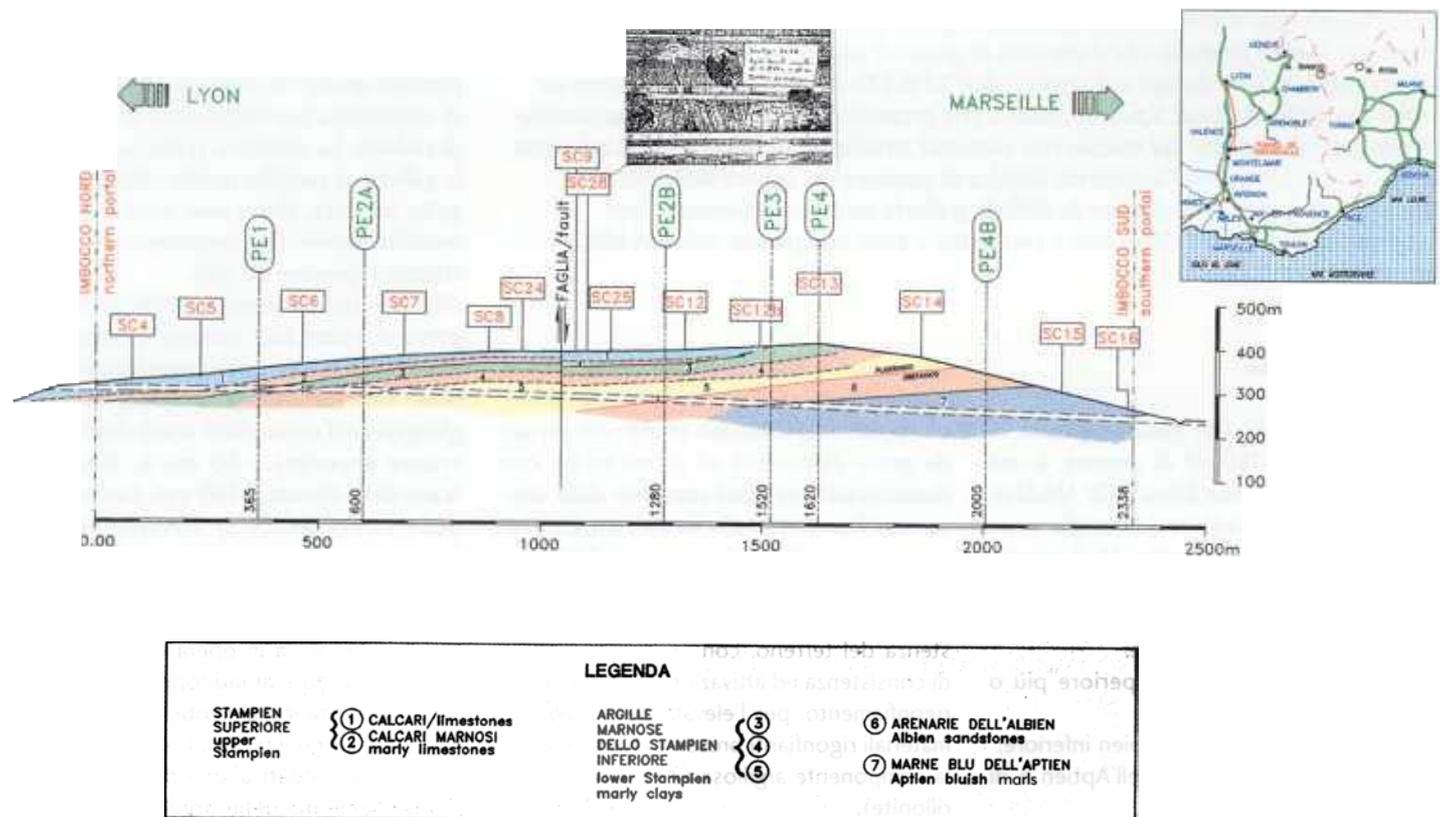


Fig. 1 - Corografia e profilo geologico longitudinale della galleria
 Fig. 1 - Chorography and longitudinal geological profile of the tunnel



Foto 1 - Fase di consolidamento del nucleo d'avanzamento
Photo 1 - Stage of advance core reinforcing



Foto 2 - Posa della centina
Photo 2 - Placing of steel rib

na sezione basata sulla regimazione dei fenomeni deformativi, ottenuta, come vedremo, attraverso un adeguato irrigidimento del nucleo d'avanzamento (approccio ADECO-RS [1], [2]). Confortata dai primi schemi di progetto presentati e dai tempi esecutivi ipotizzabili e garantiti dal progettista sulla base della documentazione prodotta su casi analoghi risolti con lo stesso sistema, la SNCF, nel marzo 1997, affidava alla Rocksoil S.p.A. la progettazione esecutiva degli 860 m di galleria da realizzare nelle argille dello Stampien.

3. Fase conoscitiva

La prima fase della progettazione della tratta di galleria nelle argille marnose dello Stampien inferiore è stata caratterizzata

dall'esame approfondito di tutto il cospicuo materiale geognostico già disponibile al momento dell'intervento di Rocksoil S.p.A.

In particolare, erano state eseguite numerose prove di laboratorio (prove di compressione triassiale CD, CU e UU, prove edometriche, prove di caratterizzazione chimico-fisica, prove di rigonfiamento, prove spettrofotometriche) e prove in situ (prove dilatometriche, prove pressiometriche con pressimetro autoperforante, prove di carico su piastra, prove di taglio diretto) per cui la caratterizzazione geomeccanica risultava pressoché definita (fig. 3). Nel corso di diverse riunioni del gruppo di studio con la partecipazione diretta della Rocksoil S.p.A., venivano collegialmente fissati i parametri da utilizzare nei calcoli e le principali ipotesi geotecniche da assumere:

- γ = peso di volume = 21,7 kN/m³ = 2,17 gr/cm³
- c_u = coesione non drenata = 1,2 MPa = 12 kg/cm²
- c' = coesione drenata = 0,2 MPa = 2 kg/cm²
- ϕ' = angolo d'attrito drenato = 27°
- E_u = modulo elastico non drenato = 400 MPa = 4.000 kg/cm²
- E = modulo elastico drenato = 200 MPa = 2.000 kg/cm²
- ν = modulo di Poisson = 0,4
- K_0 = coefficiente di spinta a riposo = 1,2
- p_g = pressione di rigonfiamento = 0,2 - 0,3 MPa = 2+3 kg/cm² (al di sotto dell'arco rovescio)
- *fluage* del terreno: simulabile attraverso una riduzione del 35% del modulo elastico drenato su uno spessore pari a un raggio di scavo (7,5 m) al contorno del cavo;

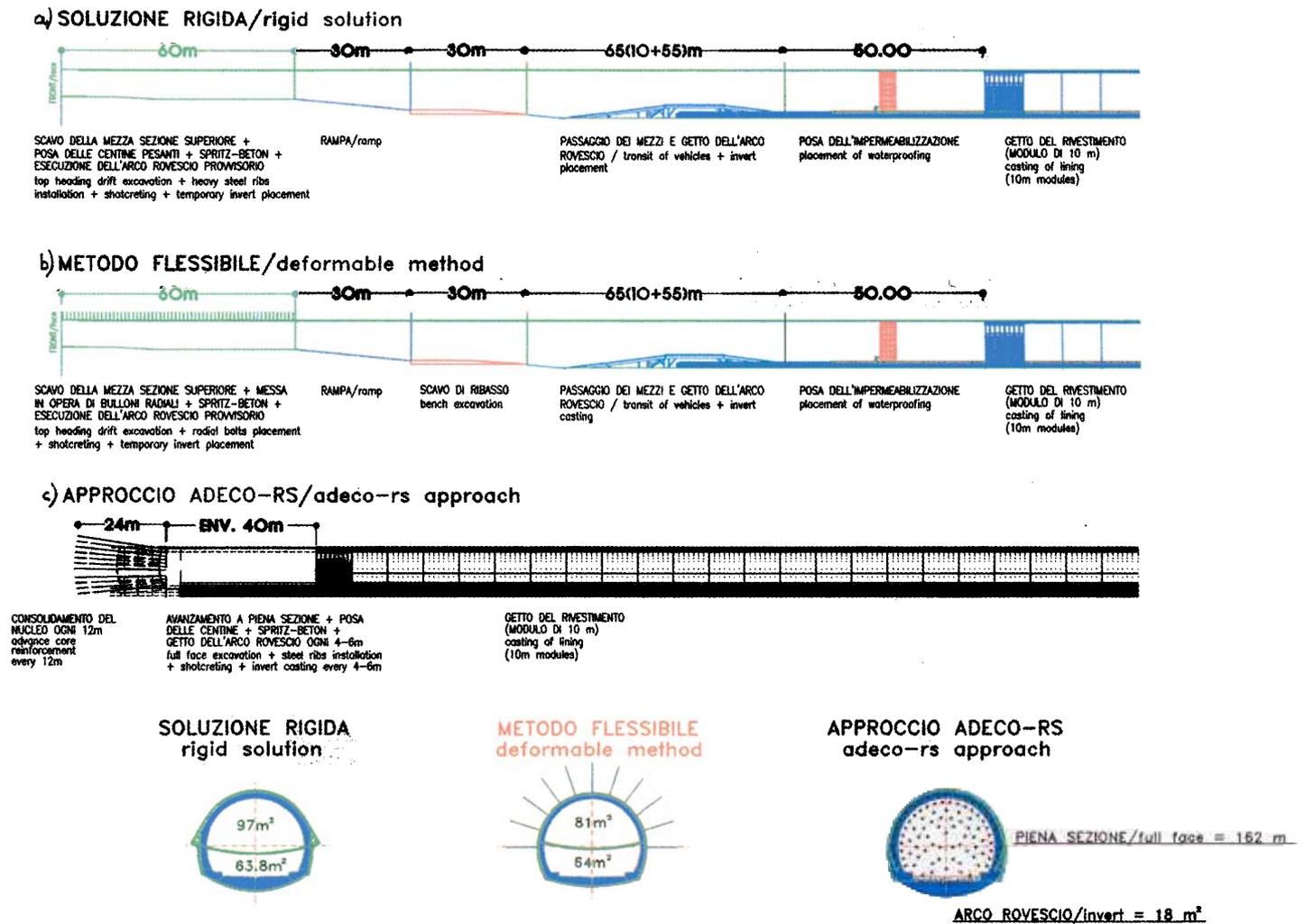


Fig. 2 - Le tre soluzioni esaminate (francese, svizzera, italiana)
Fig. 2 - The three proposals examined (French, Swiss, Italian)

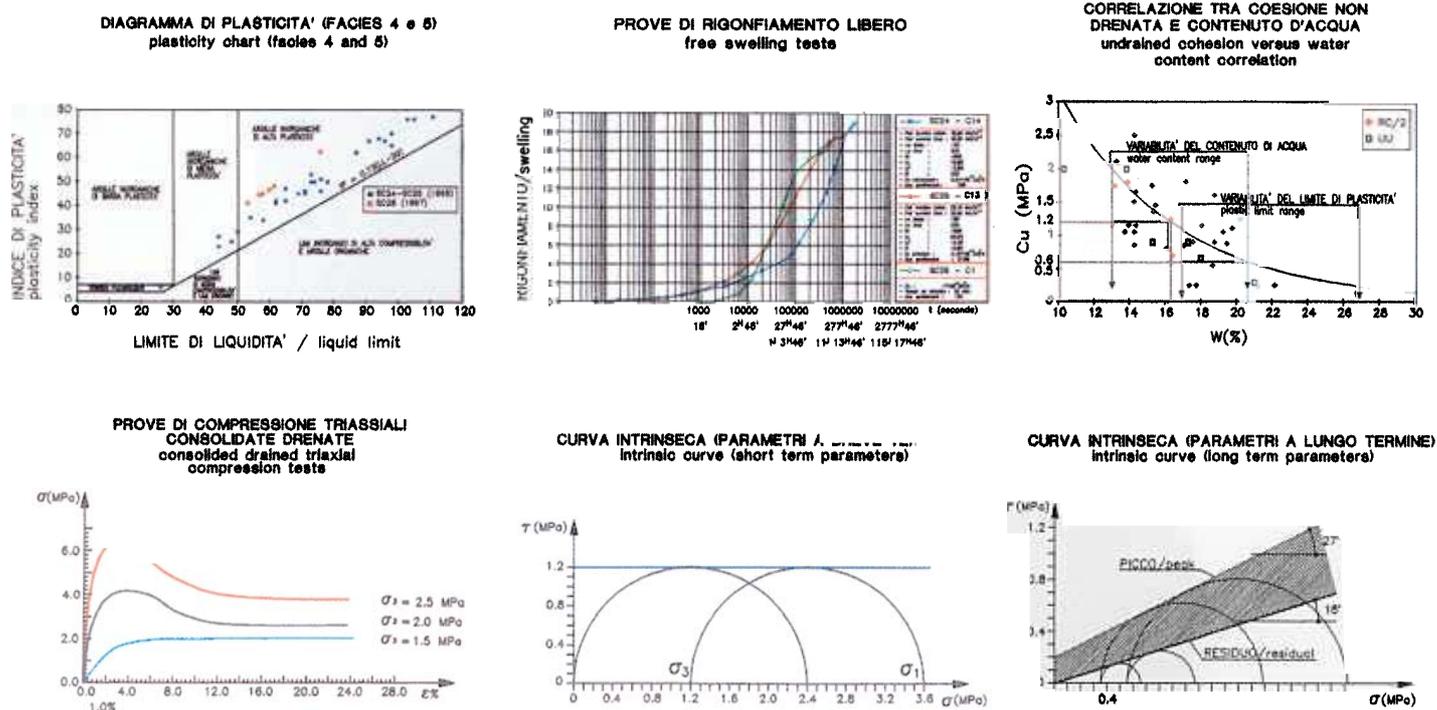


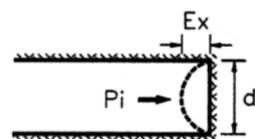
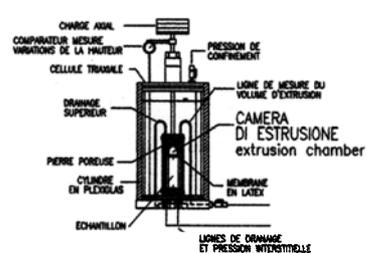
Fig. 3 - Risultati delle prove eseguite in laboratorio sull'argilla dello Stampien
 Fig. 3 - Results of laboratory tests on Stampien clay

falda acquifera: circa 25 m al di sopra della calotta della galleria.

Al termine dell'esame del materiale geognostico disponibile, la Rocksoil S.p.A. richiedeva l'esecuzione di quattro prove di estrusione in cella triassiale per poter studiare il comportamento del terreno allo scavo, simulando in laboratorio lo scarico tensionale prodotto nel terreno dall'avanzamento della galleria.

In questo tipo di prove il campione di terreno viene inserito in una cella triassiale, che è portata in pressione fino a ricostituire lo stato tensionale naturale dell'ammasso. Grazie alla pressione di un fluido, detto stato tensionale viene riprodotto anche all'interno di un particolare volume cilindrico (che simula la galleria nella zona del fronte di avanzamento) ricavato prima della prova all'interno del provino e coassiale ad esso. Mantenendo lo stato tensionale al contorno del campione e riducendo progressivamente la pressione del fluido all'interno del volume cilindrico, è possibile simulare la modifica tensionale presso il fronte indotta dallo scavo, ottenendo una valutazione dell'entità del fenomeno estrusivo al fronte in funzione del tempo.

PROVE DI ESTRUSIONE IN CELLA TRIASSIALE
 triaxial extrusion tests



$$\sigma_0 = \gamma H = 2 \text{ MPa}$$

→ Pi = PRESSIONE NELLA CAMERA DI ESTRUSIONE
 Pi = pressure inside the extrusion chamber

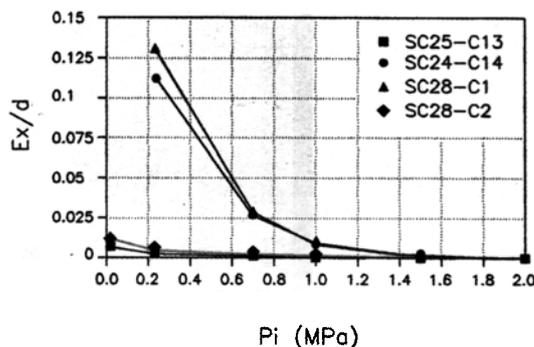
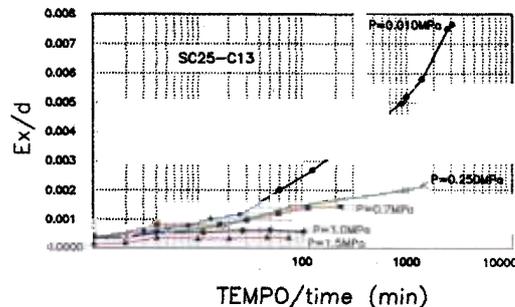


Fig. 4 - Prove di estrusione in cella triassiale
 Fig. 4 - Triaxial cell extrusion tests



Foto 3 - Fronte consolidato mediante elementi strutturali di vetroresina
Photo 3 - Face reinforced by means of fibre-glass structural elements



Foto 4 - Preparazione del getto dell'arco rovescio, si noti la *jambe de force*
Photo 4 - Preparation of casting of the invert, note the *«jambe de force»*

L'utilizzazione di queste prove è stata fondamentale per la messa a punto del progetto e delle fasi d'avanzamento.

4. Fase di diagnosi

In fase di diagnosi lo studio dei risultati delle prove di rigonfiamento e di estrusione (figg. 3 e 4) e delle linee caratteristiche del nucleo e della cavità in corrispondenza del fronte e lontano da esso (fig. 5), evidenziava da subito una singolare improvvisa, rapida perdita di consistenza del materiale in fase di decompressione, ponendo l'accento sulla necessità di intervenire in maniera adeguata già a monte del fronte di scavo per impedire, attraverso l'esercizio di un'energica azione di precontenimento del cavo in grado di contrastare le deformazioni prima del loro innesco, lo sviluppo al contorno della galleria di un'importante fascia di materiale a comportamento plastico che, considerata anche la rilevante presenza nel terreno di minerali rigonfianti, era da rite-

nersi la causa principale dei disastrosi fenomeni deformativi verificatisi e degli eccessivi carichi sui rivestimenti osservati.

5. Fase di terapia

A partire dalle evidenze ottenute in fase di diagnosi, si è stabilito di adottare, per l'attraversamento dello Stampien inferiore, una sezione tipo che prevedesse lo scavo a piena sezione con fronte sagomato a forma concava, previo consolidamento del nucleo d'avanzamento, e la chiusura quasi immediata del priverivestimento con l'arco rovescio. L'intervento di consolidamento progettato per il nucleo d'avanzamento prevedeva (fig. 6) l'impiego di (mediamente) 90 elementi strutturali di vetroresina di 24 m di lunghezza, iniettati con miscele espansive. Prevedeva, inoltre, di scavare e gettare l'arco rovescio per campioni di 4 o 6 m a ridosso del fronte, e di realizzare il rivestimento definitivo entro 20÷40 m dal fronte di scavo.

Il priverivestimento sarebbe stato costituito da 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato, armato con centine HEB 300 poste ad interasse di 1,33÷1,50 m. Per venire incontro alla necessità, da parte dell'Impresa, di mantenere i casseri già utilizzati per la tratta di galleria già scavata (il che avrebbe impedito di realizzare murette di altezza adeguata per il contenimento delle elevatissime spinte orizzontali) si decideva, infine, di dotare le centine di un elemento strutturale (*jambe de force*) in grado di riportare i carichi provenienti dal priverivestimento sull'arco rovescio e viceversa (foto 4).

Il dimensionamento degli interventi di consolidamento del nucleo d'avanzamento è stato eseguito, in prima analisi, attraverso la rielaborazione delle prove di estrusione (fig. 7) e attraverso il metodo delle linee caratteristiche, quindi lo stesso si è verificato attraverso modelli agli elementi finiti 2D e 3D in campo elastoplastico (fig. 8), con cui è stato possibile verificare il priverivestimento ed il rivestimento definitivo anche sotto l'effetto di *stress-path*

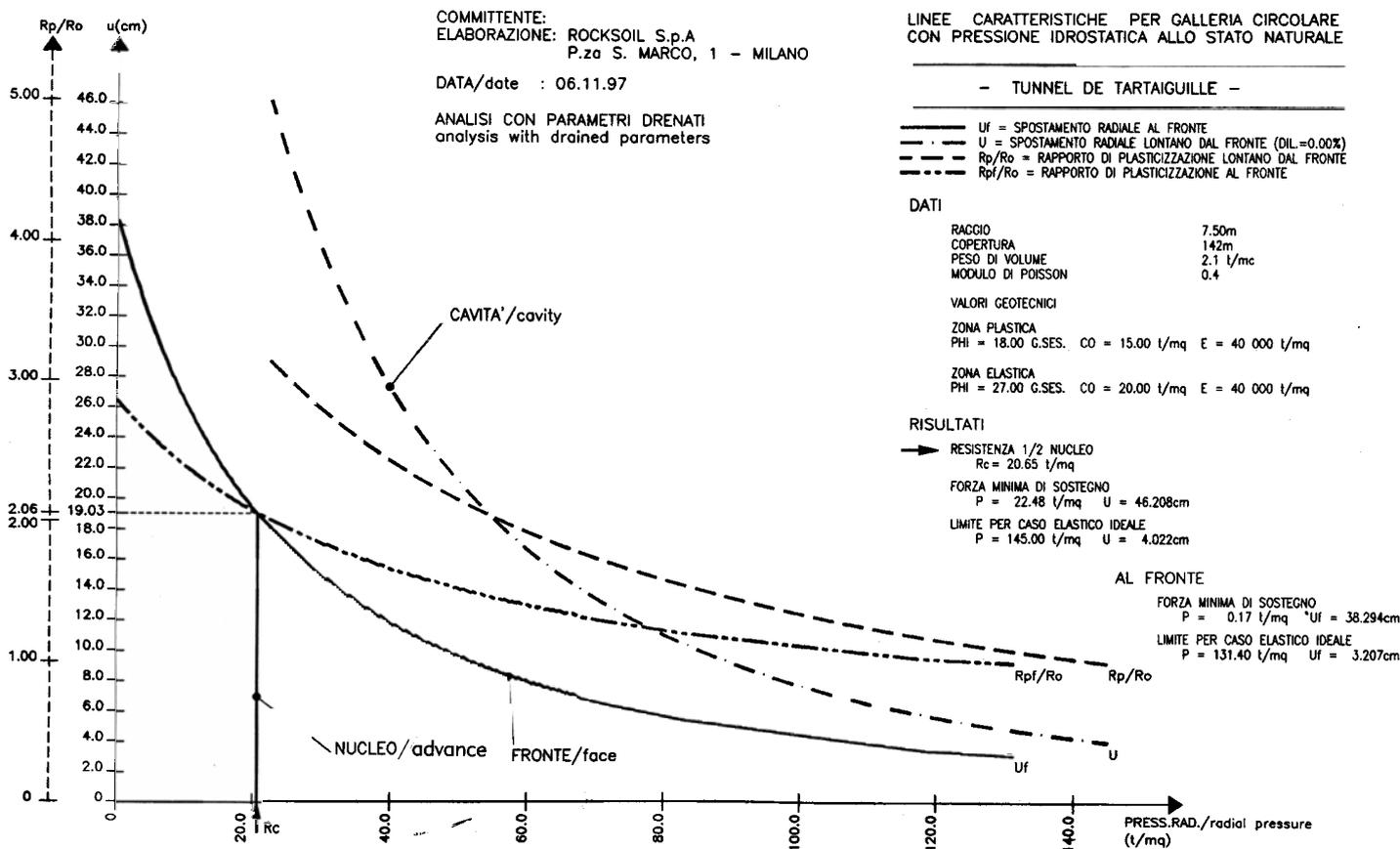
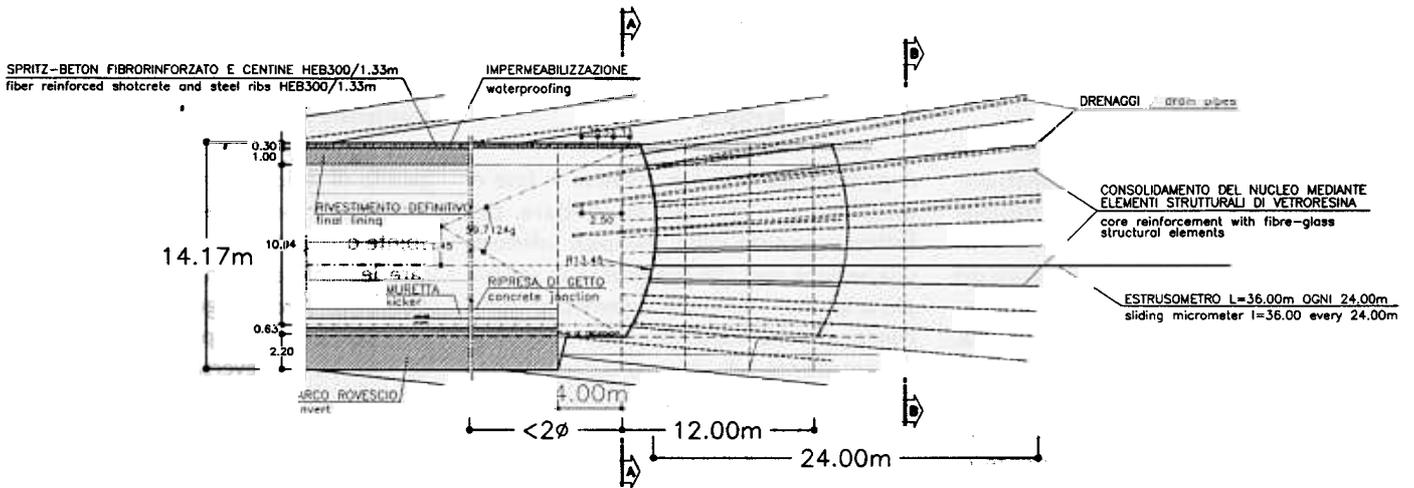


Fig. 5 - Linee caratteristiche (fase di diagnosi)
Fig. 5 - Characteristic lines (diagnosis phase)

SEZIONE LONGITUDINALE / longitudinal section



SEZIONE A-A / A-A section

SEZIONE B-B / B-B section

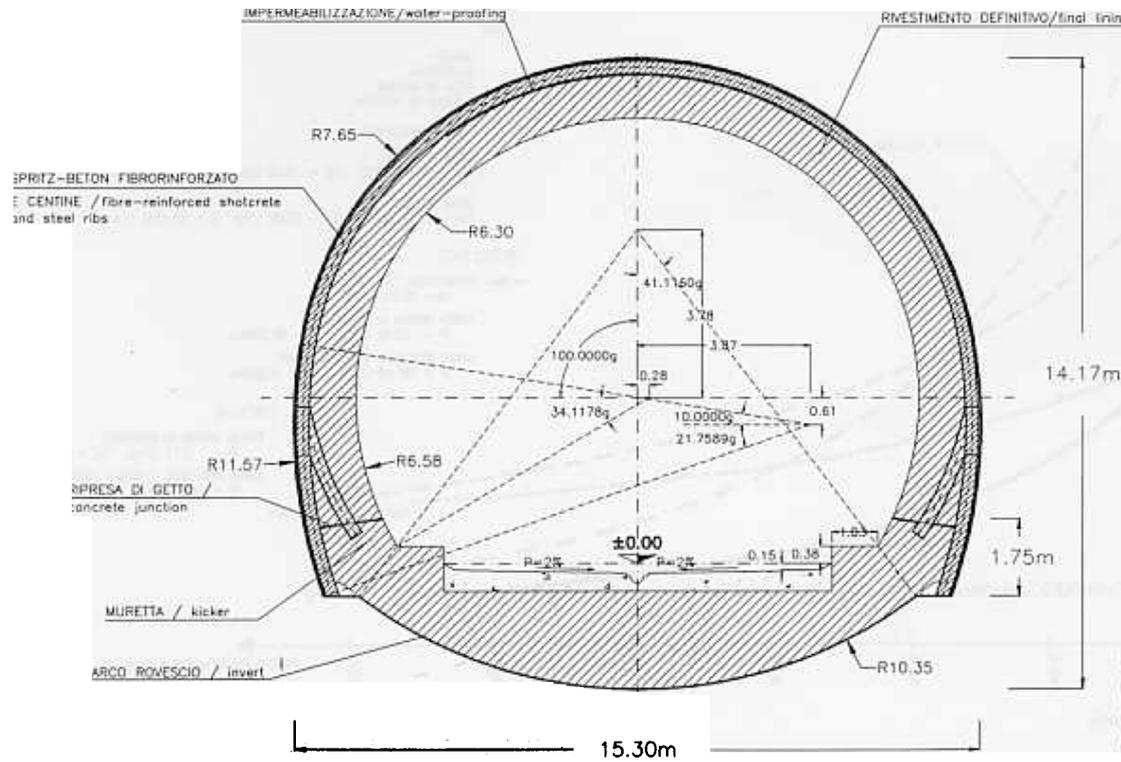
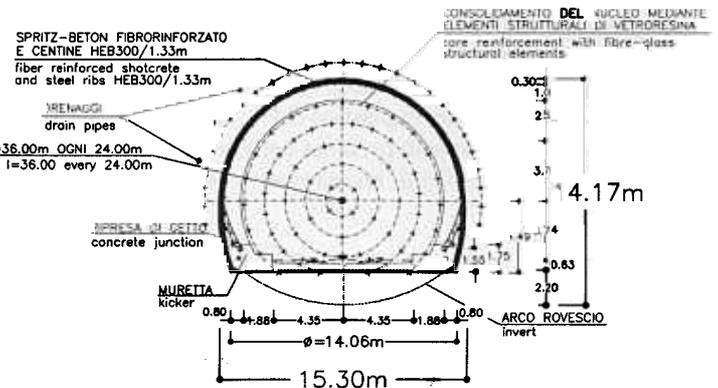
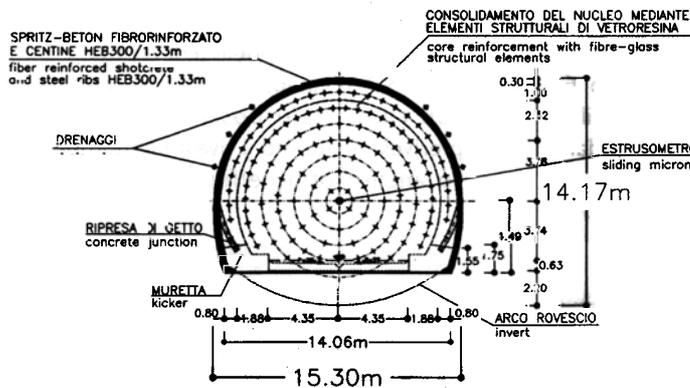


Fig. 6 - Interventi di consolidamento e di rivestimento
Fig. 6 - Ground improvement and lining placement

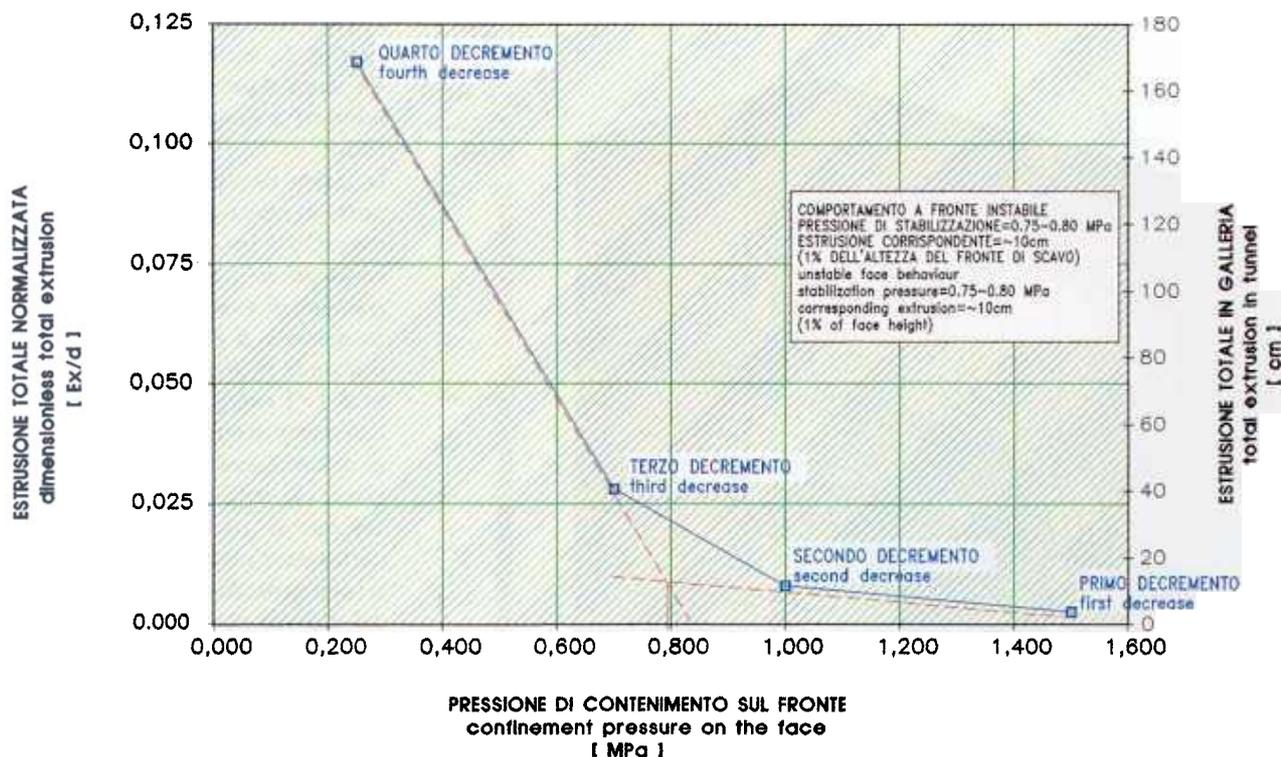


Fig. 7 - Rielaborazione delle prove di estrusione per il dimensionamento dell'intervento di consolidamento del nucleo
 Fig. 7 - Reprocessing of extrusion tests to calculate the intensity of ground improvement of the advance core

complessi, come quelli dovuti al *fluage* e al rigonfiamento (fig. 9).

6. Fase operativa in corso d'opera

La sezione di scavo completa della galleria "Tartaiguille", come abbiamo detto, è stata di circa 180 m²; ciascuna centina (HEB300) pesava circa 5 t, il volume di spritz-beton posto in opera al contorno del cavo è stato di 13,3 m³/m e ogni intervento di consolidamento del nucleo d'avanzamento ha comportato la messa in opera di almeno 2160 m di elementi strutturali di vetroresina.

Malgrado le consistenti quantità qui brevemente riportate, il sistema d'avanzamento proposto (vedi schema in fig. 10) ha consentito di rispettare i tempi contrattuali di consegna dell'opera con produzioni che, grazie all'industrializzazione delle varie fasi operative, hanno raggiunto 1,7 m/giorno (fig. 11), addirittura superando gli 1,4 m/giorno medi garantiti dalla Rocksoil S.p.A., permettendo di ultimare la galleria dopo un solo anno dall'avvio dei lavori col sistema a piena sezione (fine luglio 1997), con circa

1 mese e mezzo d'anticipo sul programma previsto.

7. Fase di verifica in corso d'opera

La messa a punto della sezione di progetto in termini di:

- numero di elementi strutturali di vetroresina al fronte (90÷150);
- lunghezza di sovrapposizione degli stessi (9÷12m);
- lunghezza dei campi di arco rovescio (4÷6 m);
- spaziatura delle centine (1,33÷1,50 m);
- distanza del getto della calotta del rivestimento definitivo dal fronte (20÷40 m);

è avvenuta attraverso l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio e in particolare delle misure sistematiche di estrusione del nucleo d'avanzamento e di convergenza del cavo.

Queste, in condizioni d'avanzamento a regime, hanno evidenziato (figg. 12 e 13) valori medi di estrusione intorno ai 3÷4 cm e di convergenza diametrale intorno ai 5÷7 cm (dopo il getto dell'arco rovescio).

Dall'esame, in particolare, delle curve di

estrusione risulta che l'ampiezza della zona di influenza del fronte varia tra gli 8 ed i 13 m, deducibile dall'apprezzabile cambio di pendenza che le curve mostrano a questa profondità. Inoltre, si osserva che lo scavo degli ultimi 6 m produce estrusioni di 15÷18 mm, comparabili con quelle dei primi 6 m e che quindi il nucleo, grazie al consolidamento, si comporta elasticamente, a conferma che il numero degli elementi strutturali di vetroresina posti in opera è stato ben calibrato.

Le curve di estrusione ottenute in laboratorio indicavano infatti, che il terreno, soprattutto nella sua frazione argillosa, tende a perdere bruscamente le sue caratteristiche di resistenza e che, affinché lo scavo potesse avvenire in condizioni di sicurezza, era necessario operare in modo da limitare al massimo le deformazioni. Come già osservato, questo è il principio che ha guidato fin dall'inizio la progettazione e che è stato sempre mantenuto anche nella fase di messa a punto della sezione d'avanzamento in corso d'opera.

Le stazioni di convergenza sono state poste in opera ogni 6 m, con punti di rilevamento costituiti da 7 mire ottiche, inserite sia di-

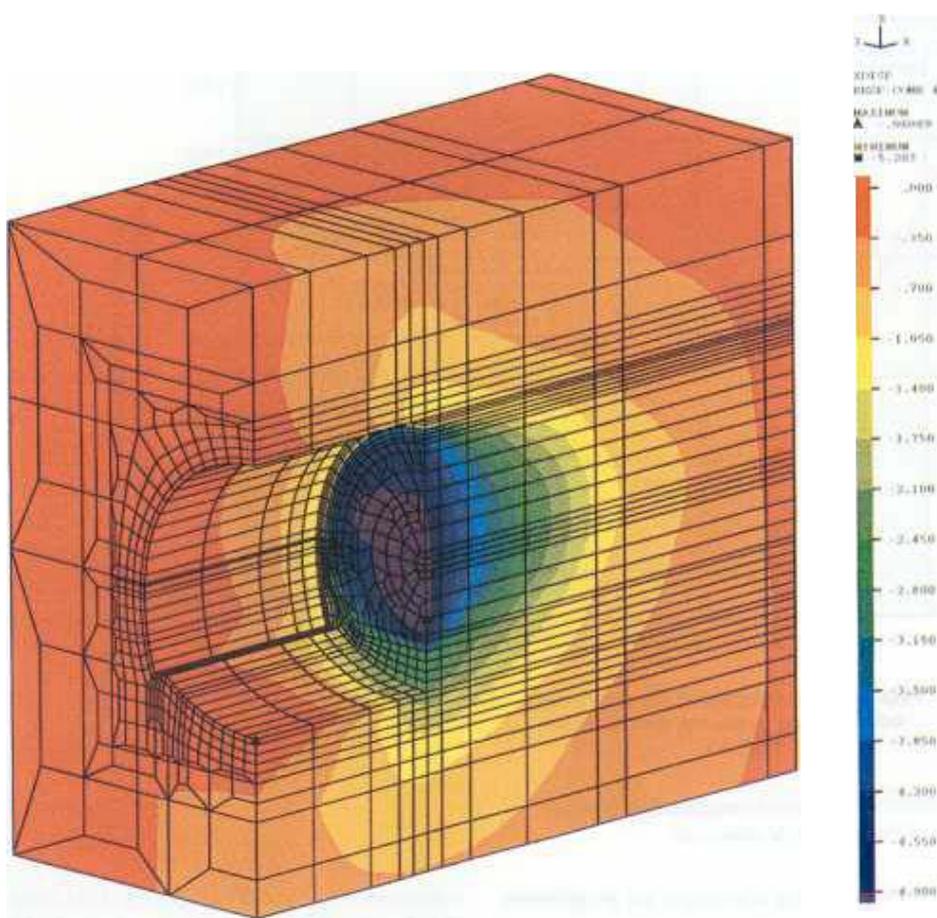


Fig. 8 - Risultati del modello FE.M. 3D riguardo alle estrusioni al fronte di scavo (valori in cm)
 Fig. 8 - Results of 3D FE.M. modelling with specific reference to extrusion at the face (values in cm)

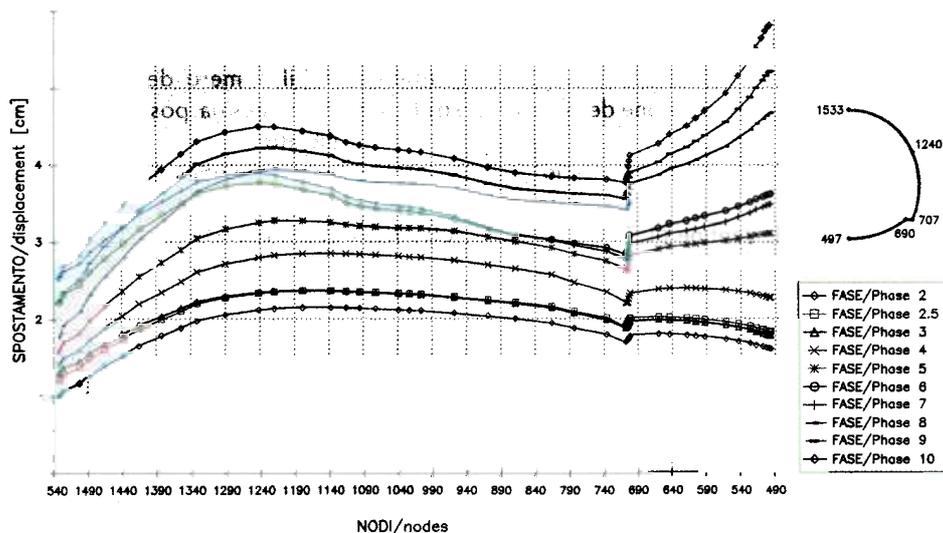


Fig. 9 - Risultati del modello 2D riguardo agli spostamenti radiali
 Fig. 9 - Results of 2D modelling with specific reference to radial movements

rettamente nello spritz-beton che sulle centine. Le misure ottenute su queste ultime sono state mediamente del 60÷70% inferiori a quelle ottenute sullo spritz-beton.

Le sezioni di misura in cui le mire sono state poste in opera prima dello scavo dell'arco rovescio hanno fornito indicazioni di convergenze dell'ordine di 2 o 3 cm, con gradienti di 4÷6 mm/g fino al getto dell'arco rovescio. Il gradiente dopo la chiusura dell'anello di priverivestimento, invece, è stato di 1÷3 mm/g.

Dall'esame di questi dati risulta dunque che le deformazioni (convergenze-estrusioni), grazie alle sostanziali limitazioni poste allo sviluppo di una fascia di materiale a comportamento plastico al contorno del cavo, si sono generalmente mantenute all'interno del dominio elastico caratteristico del terreno. Ciò conferma l'efficacia dell'intervento proposto e adottato sia in termini di consolidamento che di modalità operative.

Ogniquilvolta si è scavato il terreno per una maggiore ampiezza rispetto alla sezione corrente, come richiesto, ad esempio, per la realizzazione in spessore di nicchie, al conseguente maggior detensionamento del materiale seguiva un significativo incremento delle deformazioni (fino al 60%), a conferma dell'estrema sensibilità del terreno e dell'importanza che ha avuto l'operare in modo da ridurre al massimo le decompressioni ed i tempi di messa in opera dei rivestimenti.

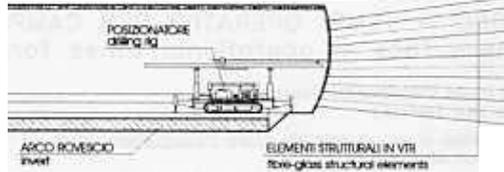
Conclusioni

La realizzazione della tratta centrale della galleria "Tartaiguille" (180 m² di sezione) nella formazione delle argille dello Stampien ha causato notevoli preoccupazioni ai progettisti e alle imprese coinvolti, essendosi ben presto evidenziata l'inadeguatezza dei sistemi progettuali e costruttivi adottati (NATM) a garantire la fattibilità e la sicurezza degli scavi con produzioni accettabili, a fronte degli importanti fenomeni di rigonfiamento caratteristici del terreno da scavare. In seguito a ciò, la SNCF, per individuare una soluzione che permettesse di realizzare la galleria in sicurezza e in tempo utile per non dover procrastinare l'apertura all'esercizio della nuova linea, costituiva un gruppo di studio invitando a parteciparvi i più illustri esperti di *tunnelling* europei. Dal-

FASE ESECUTIVE/construction phases

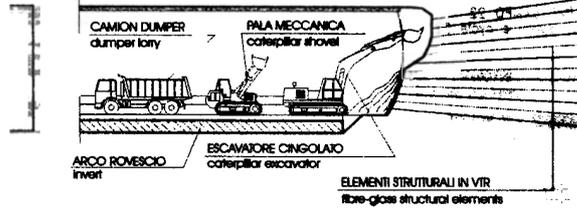
FASE/phase 1

CONSOLIDAMENTO DEL NUCLEO CON ELEMENTI STRUTTURALI IN VETRORESINA
Ground reinforcement in the core using fibre-glass structural elements



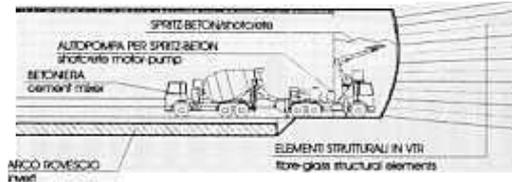
FASE/phase 2

ESECUZIONE DELLO SCAVO D'AVANZAMENTO A PIENA SEZIONE
Full face excavation



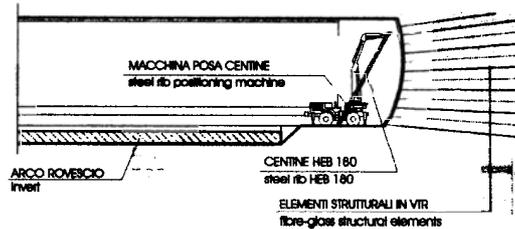
FASE/phase 3

ESECUZIONE DELLO SPRITZ-BETON SUL FRONTE E AL CONTORNO DELLA CAVITA' A PROTEZIONE DELLE PARETI DI SCAVO (S=5CM)
Spraying of the shotcrete on to the face and around the tunnel (th.=5cm)



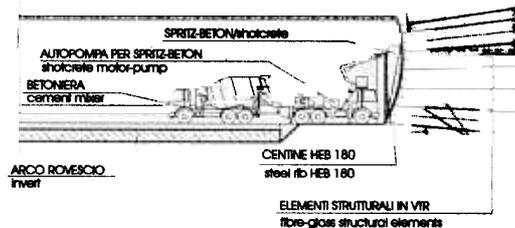
FASE/phase 4

MESSA IN OPERA DELLE CENTINE SOTTO LO SCAVO ESEGUITO NELLA FASE 2 (COMPRESA LA MESSA IN OPERA DELL'ARMATURA DI COLLEGAMENTO)
Placing of steel rib



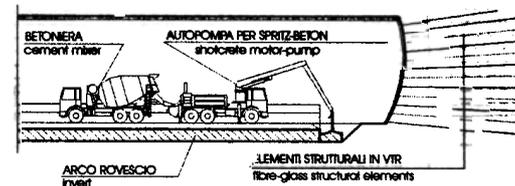
FASE/phase 5

REALIZZAZIONE DEL RIVESTIMENTO DI SPRITZ-BETON ARMATO (SP=35CM)
Completing of shotcrete reinforced pre-lining (th.=35cm)



FASE/phase 6

SCAVO, ARMATURA E GETTO DELL'ARCO ROVESCIO E DELLE MURETTE
Excavation, reinforcement and casting of the invert and the kickers



FASE/phase 7

SUCCESSIVO GETTO DEL RIVESTIMENTO
Casting of the final lining

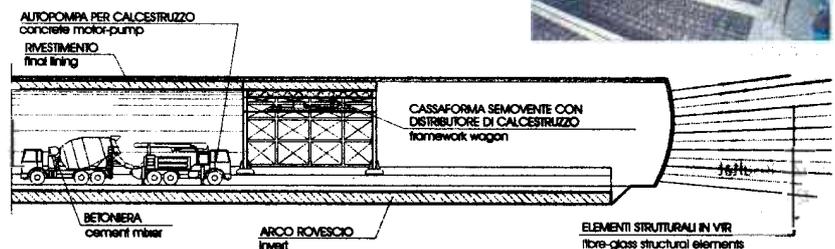


Fig. 10 - Fasi operative
Fig. 10 - Operational phase

FRONTE NORD – TEMPI OPERATIVI PER CAMPO D'AVANZAMENTO northern face – operational times for advance cycle

CAMPO D'AVANZAMENTO=12m (CAMPI D'AVANZAMENTO 1+9=11m)
advance cycle=12m (advance cycle 1+9=11m)

GETTO ARCO ROVESCIO PER CAMPIONI DI 4m : 3 GETTI PER CAMPO D'AVANZAMENTO (A,B,C)
4m invert step : 3 steps for each advance cycle (A,B,C)

GETTO ARCO ROVESCIO PER CAMPIONI DI 6m : 2 GETTI A PARTIRE DAL CAMPO 10 (A,B)
6m invert step : 2 steps for each advance cycle 10 (A,B)

CAMPI D'AVANZAMENTO 9 e 14 : NICCHIE STRAORDINARIE
advance cycles 9 and 14 : special recesses

SFONDO : 1.50m A PARTIRE DAL CAMPO 22
advance length : 1.50m after advance cycle 22

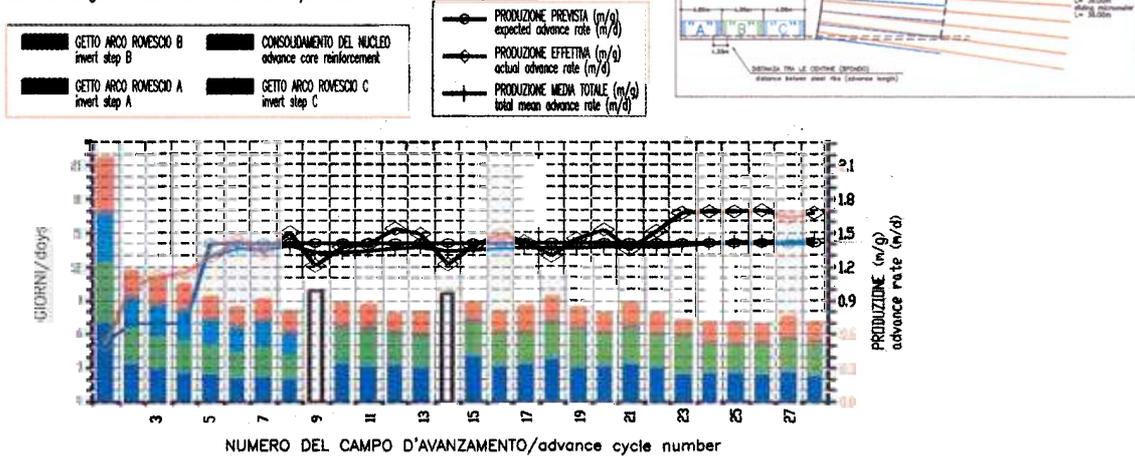


Fig. 11 - Diagrammi di produzione
Fig. 11 - Advance rate curves

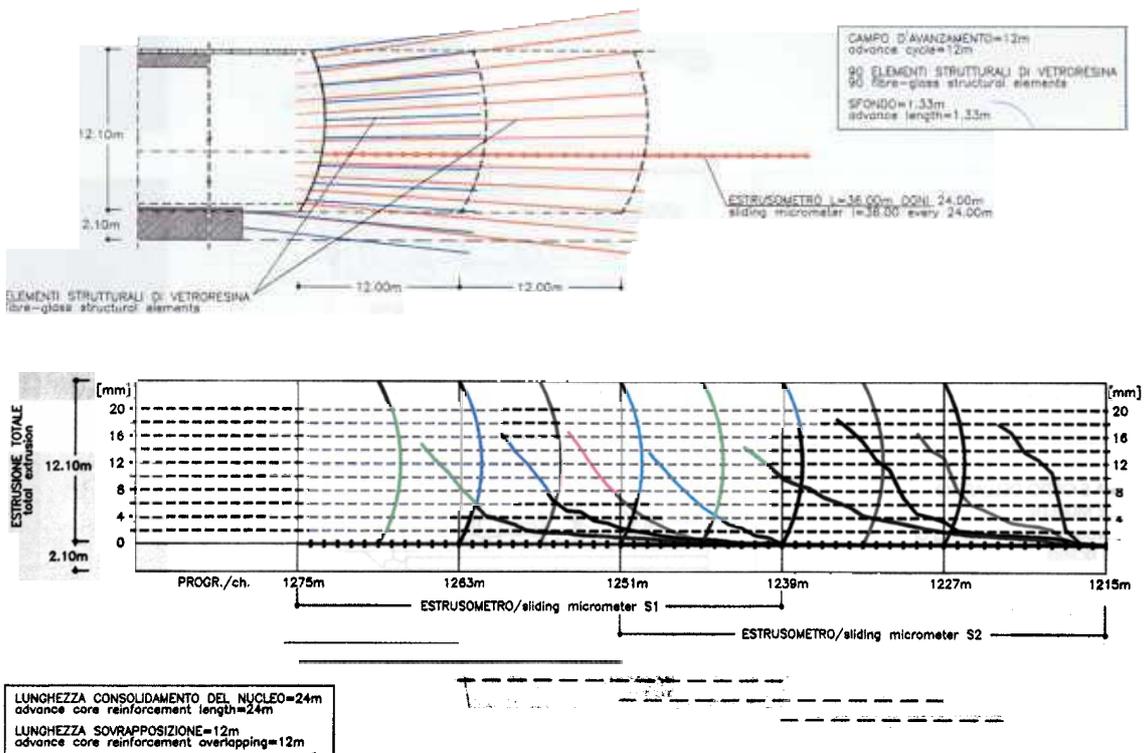


Fig. 12 - Risultati delle misure d'estrusione
Fig. 12 - Results of extrusion measurements

STAZIONE DI CONVERGENZA S99+S100 (CENTINA) A PROGR. 180m S99+S100 (rib) convergence station at chainage 1180m

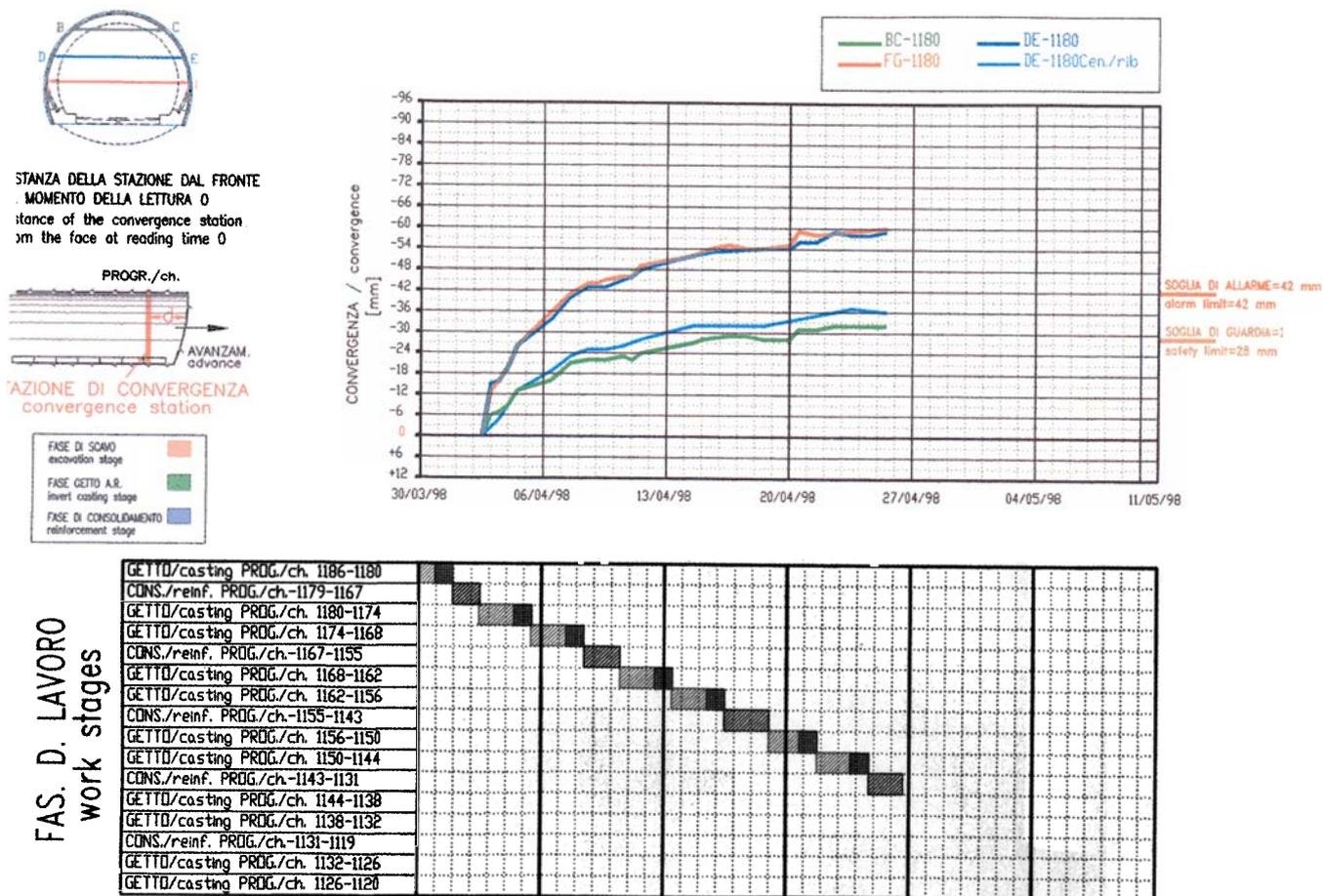


Fig. 13 - Risultati delle misure di convergenza
Fig. 13 - Results of convergence measurements

l'esame delle diverse proposte, l'unico progetto che è apparso in grado di soddisfare le garanzie richieste è stato quello italiano basato sui principi dell'A.DE.CO.-RS, suggerito dall'autore ed elaborato dalla Rocksoil S.p.A. di Milano, che prevedeva di avanzare a piena sezione previo consolidamento del nucleo con elementi strutturali di vetroresina. L'adozione di questo progetto, con l'assistenza tecnica in cantiere dei tecnici della Rocksoil S.p.A., ha permesso di realizzare la difficile galleria senza inconvenienti, con fenomeni deformativi ridottissimi e con tempi e costi addirittura inferiori alle previsioni.

Il notevole risultato conseguito ha destato grande effetto e un certo stupore in Francia, la cui stampa specializzata ha tributato numerosi riconoscimenti a quanti: progettista, tecnici e imprese italiani hanno forni-

to il know how necessario per portare a termine l'opera nei tempi previsti ["Débuté en juillet, le chantier, qui fait travailler 200 personnes, posait principalement des difficultés liées aux pressions exercées par la montagne. Une nouvelle méthode a donc été instaurée, sur l'idée d'un ingénieur italien: le percement en pleine section (plutôt qu'en demi-section)"] (Tunnels et ouvrages souterrains, gennaio/febbraio 1998); "Lorsqu'elle en prend les moyens, l'Italie peut réaliser des travaux à faire pâlir les entreprises françaises"] (Le Moniteur, 20 febbraio 1998); "Le creusement du tunnel de Tartaguille a été très difficile, en raison notamment de convergences inattendues du terrain, qui ont nécessité un changement de méthode en cours de chantier: le professeur italien Pietro Lunardi a convaincu la SNCF de travailler à la pelle en

pleine section dans les argiles, en boulonnant le front sur 24 m"] (Le Moniteur, 7 agosto 1998)]. Si è trattato, dunque, di un importante successo, tale da stabilire una leadership italiana in tema di opere sotterranee in condizioni tenso-deformative difficili.

Bibliografia

- [1] LUNARDI P. "Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli" (articolo in tre parti), Quarry and Construction, marzo 1994, marzo 1995, aprile 1996.
- [2] LUNARDI P., "L'importanza del precontenimento del cavo in relazione ai nuovi orientamenti in tema di progetto e costruzione di gallerie", Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 45 anno 1995.