

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

A. Guglielmini, M. Pasquini, P. Lunardi, A. Focaracci

**IL RIPRISTINO DI GALLERIE COLLASSATE SULL'AUTOSTRADA MESSINA-PALERMO,
LOTTO 33 BIS, MEDIANTE ARMATURA RADIALE DEL TERRENO**

*THE RESTORATION OF THE COLLAPSED TUNNELS ON MESSINA-PALERMO HIGHWAY -
LOT 33 BIS - USING RADIAL GROUND REINFORCEMENTS*

ESTRATTO/REPRINT

ATTI
PROCEEDINGS

VOL. I

IL RIPRISTINO DI GALLERIE COLLASSATE SULL'AUTOSTRADA MESSINA-PALERMO, LOTTO 33 BIS, MEDIANTE ARMATURA RADIALE DEL TERRENO

THE RESTORATION OF THE COLLAPSED TUNNELS ON MESSINA-PALERMO HIGHWAY - LOT 33 BIS - USING RADIAL GROUND REINFORCEMENTS

Aldo Guglielmini, Pontello Costruzioni S.p.A., Firenze, Italia
Mario Pasquini, Pontello Costruzioni S.p.A., Firenze, Italia
Pietro Lunardi, Università di Parma, Parma, Italia
Alessandro Focaracci, Rocksoil S.p.A., Milano, Italia

Sul lotto 33 bis dell'Autostrada Messina-Palermo sono previste le gallerie Carbonara e S.Elia, a doppia corsia interessata di 22 m con un setto di terreno tra le due canne di circa 8 m.

Sulla galleria S.Elia tra le progressive 110 e 160 dell'imbocco lato Messina con 30+40 m di copertura, su entrambe le canne, e sulla galleria Carbonara tra le progr. 30 e 80 dell'imbocco lato Palermo, sulla canna di valle, a causa del collasso del setto di separazione, si sono osservati rotazioni e abbassamenti del rivestimento di prima fase della mezza sezione con convergenze fino ad 1.2 m.

Per poter procedere alla ribattitura del profilo deformato ed alla demolizione e asportazione delle centine e dello spritz-beton lesionato, si è creata, preventivamente attorno al cavo, una fascia di roccia armata mediante tubi metallici radiali valvolati ed iniettati con iniezioni di cemento a 30 bar.

Nella nota si descriveranno le caratteristiche dei terreni, i sistemi di consolidamento e le modalità operative impiegate, sia per le problematiche d'imbocco che per il ripristino delle gallerie dissestate, nonché gli aspetti teorici progettuali connessi alla stabilizzazione a lungo termine dell'opera.

The twin tubes of the Messina-Palermo highway tunnels "S.Elia" and "Carbonara" are separated by a distance of 8 m.

Pre-lining rotations, vertical displacements and convergences up to 1.2 m has been observed in the half sections of both tunnels, along the cortical area where the ground cover is 30+40 m.

The rock around the hole has been improved first using radial steel valve tubes and high pressure injections of concrete, to allow a safer demolition of the deformed lining and its subsequent restoration.

In the following paper it will be given a description of the ground characteristics and of the improvement methods chosen for the portal and for the collapsed tunnel, as well as a description of the long term design problems.

1. GENERALITÀ E QUADRO GEOLOGICO

La tratta in costruzione del 3° tronco dell'Autostrada Messina-Palermo compresa tra il Vallone Pisciotto ed il Torrente Marzo, per una lunghezza complessiva di circa 6170 m, è impostata interamente su terreni di origine sedimentaria nascosti da potenti coltri eluviali.

I lavori interessano le alternanze flyschiodi oligo-mioceniche appartenenti, nella parte iniziale, al Flysch di Reitano (solo la galleria S.Elia) e, dal vallone S.Olivo sino al termine del Lotto, al Flysch Numidico del complesso basale, con le gallerie Carbonara e Langenia ed i viadotti Carbone e Marzo.

La morfologia del territorio, interessata dal tracciato dell'autostrada, è piuttosto movimentata con pendii più o meno pronunciati, uniformemente ai tipi litologici presenti.

Le profonde incisioni che segnano il versante settentrionale segnano zone di intenso disturbo tettonico (Valloni S.Elia, Carbone, Mazzatore e Marzo).

Una spessa coltre detritica nasconde i terreni del substrato il quale, da un attento esame fotogeologico e di superficie e dalla esperienza acquisita con i consistenti scavi già eseguiti, risulta essere disturbato dagli effetti di un tettonismo piuttosto elevato che in tempi successivi e molto vicini ha modificato l'assetto giaciturale e l'aspetto fisico delle formazioni.

L'idrologia della zona presenta caratteri irregolari tanto in superficie che in profondità contribuendo, in senso negativo, ad accentuare i già precari equilibri esistenti nell'area.

La galleria S.Elia attraversa interamente la formazione marnoso-arenacea appartenente al Flysch di Reitano con due facies nettamente distinte:

- marne e marne argillose grigio-piombo in strati e livelli molto sottili, scagliettate, apparentemente molto dure, ma molto sensibili all'aria e maggiormente all'umidità;
- arenarie quarzose da grigie a giallastre in strati anche molto potenti (di 2 m) con intercalazioni di argilla.

Il litotipo si presenta molto fratturato, estremamente alterato con vistose patine di ossidazione. La formazione è interessata da numerose strutture tettoniche che hanno scompaginato l'assetto giaciturale ed originario della morfologia.

La galleria Carbonara attraversa invece per l'intero suo tratto la formazione denominata Flysch Numidico, costituita principalmente da quarzoareniti ed argilliti con quarzosiltiti (cfr fig. 1).

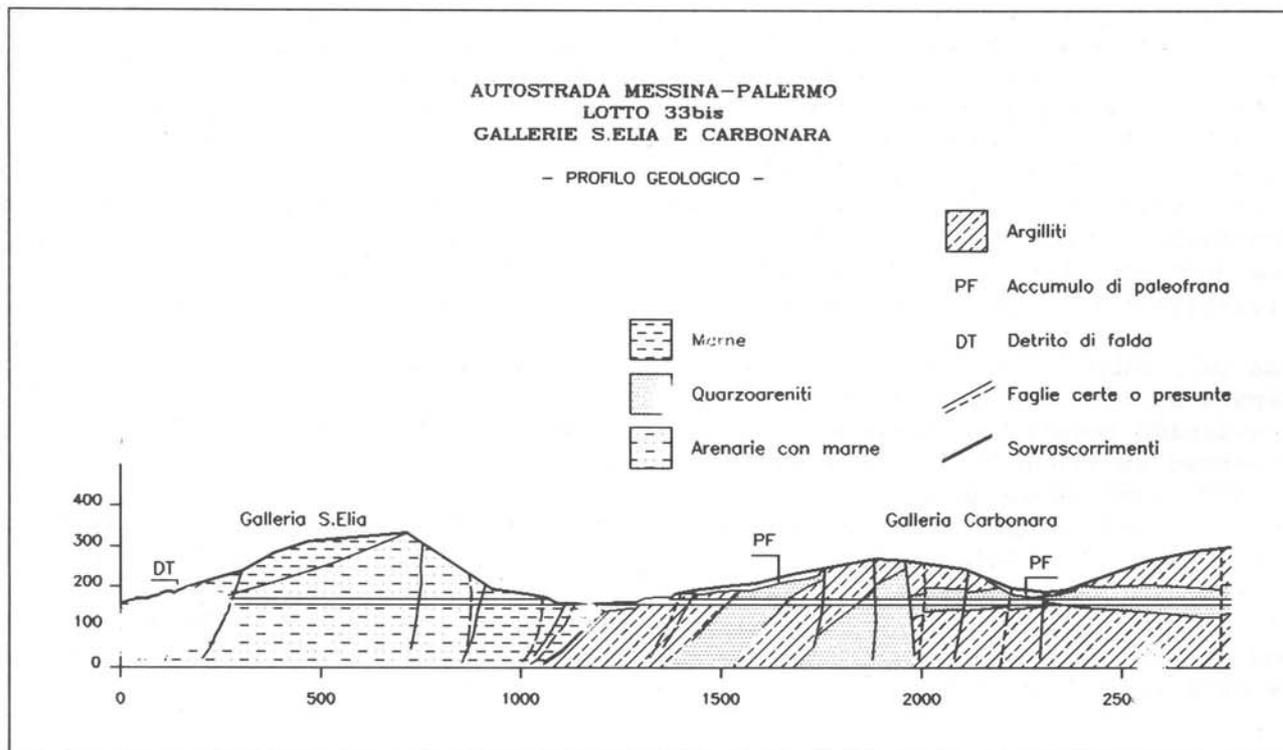


Fig. 1: Profilo geologico.
 Geological profile.

2. GALLERIA S.ELIA, IMBOCCO LATO MESSINA

L'imbocco della galleria interessa per uno sviluppo di circa 40 m, un deposito detritico costituito da elementi litoidi di varia pezzatura immersi caoticamente in una matrice limosa.

L'attacco e l'attraversamento di questo deposito, considerata la natura eterogenea ed incoerente del terreno, si preannunciavano piuttosto difficili, anche per la

presenza della strada provinciale che sovrappassa le gallerie proprio sopra la zona d'imbocco.

Dopo aver studiato accuratamente la situazione sia sotto il profilo morfologico che sotto quello geotecnico ed operativo, si è giunti alla conclusione che lo scopo di limitare il volume degli sbancamenti e non apportare varianti al tracciato della strada provinciale poteva essere ottenuto a patto di ricorrere ad adeguate e ben calibrate opere di intervento strutturale preventive, operando, cioè, in maniera da evitare di aprire degli scavi se non dopo averne stabilizzato le future pareti perimetrali.

In questa ottica, in considerazione della singolare situazione geo-morfologica si è previsto:

- per il fronte di attacco dei due fornici, di intervenire strutturalmente sul terreno eseguendo una paratia di colonne di terreno consolidato, che operasse da contenimento dello scavo necessario per la preparazione dei portali di accesso al tunnel, evitando così decompressioni del versante in adiacenza alla strada provinciale;
- per il perimetro di scavo delle due canne, di intervenire strutturalmente sulla fascia di terreno all'estradosso del profilo teorico di scavo in modo da impedire convergenze eccessive del cavo, evitando così anche il pur minimo cedimento del corpo stradale.

Particolarmente vantaggioso per raggiungere lo scopo è stato l'impiego della tecnica jet-grouting che bene si è adattata per realizzare sia la paratia di testata dei tunnel sia la fascia di intervento strutturale dei cavi per l'avanzamento nel deposito detritico.

La paratia è stata ottenuta per accostamento di colonne di terreno consolidato $\varnothing 650$ mm, compenstrate e di lunghezza massima dell'origine di 15 m.

Eseguito l'intervento strutturale si è potuto procedere allo sbancamento, spinto fino al piano di lavoro previsto per l'avanzamento in galleria. La paratia così

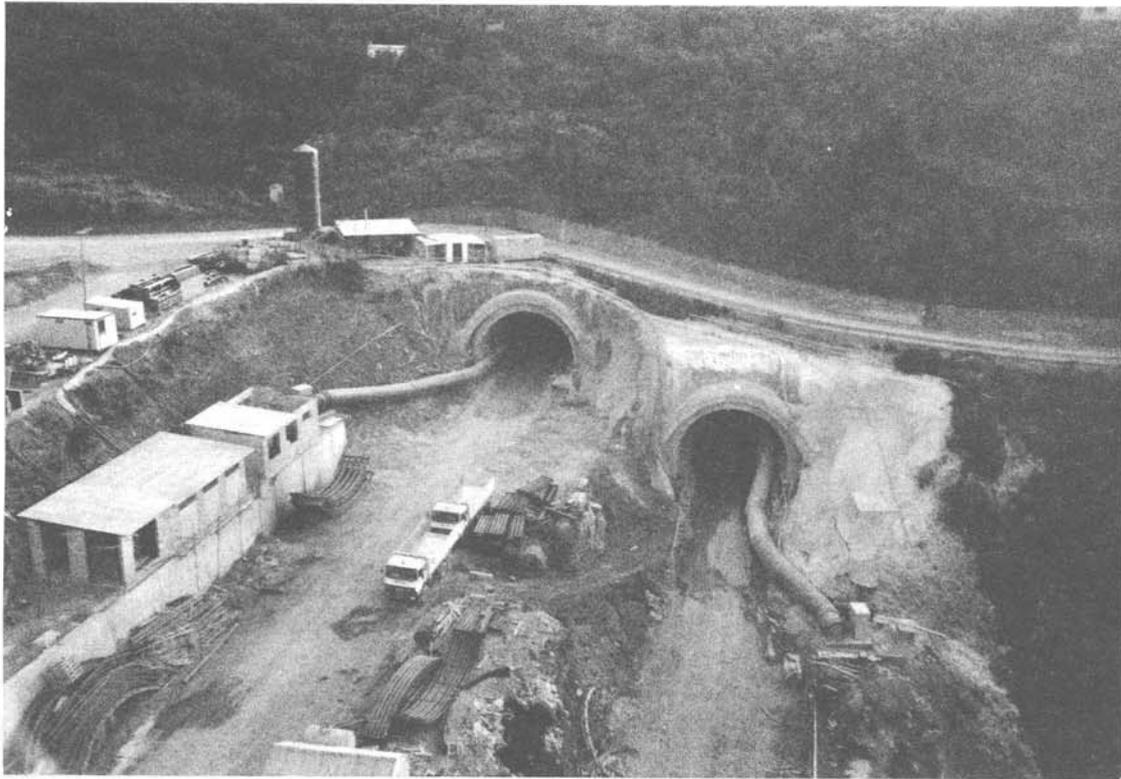


Fig. 2: Imbocco galleria S. Elia: paratia di terreno consolidato mediante il sistema jet-grouting.

S. Elia mouth portal: diaphragm wall obtained with jet-grouting soil improvement before excavation

realizzata è stata munita di opportuni fori che impedivano l'accumulo di acqua a tergo, capace di provocare l'insorgere di dannose spinte idrostatiche (cfr. fig. 2). L'avanzamento in naturale è stato invece condotto realizzando preventivamente una coronella di terreno consolidato, per una lunghezza di 13 m oltre il fronte di scavo, ottenuta compenetrando le colonne di jet-grouting $\varnothing 600$ mm sulla mezza sezione di scavo.

Al termine di tale fascia veniva eseguito lo scavo d'avanzamento per una lunghezza massima di 10 m, con immediata posa in opera di centine e spritz-beton, procedendo in seguito al consolidamento della mezza sezione inferiore mediante colonne di terreno consolidato con il sistema jet-grouting disposte a quinconce, prima dello scavo di ribasso (cfr. fig. 3).

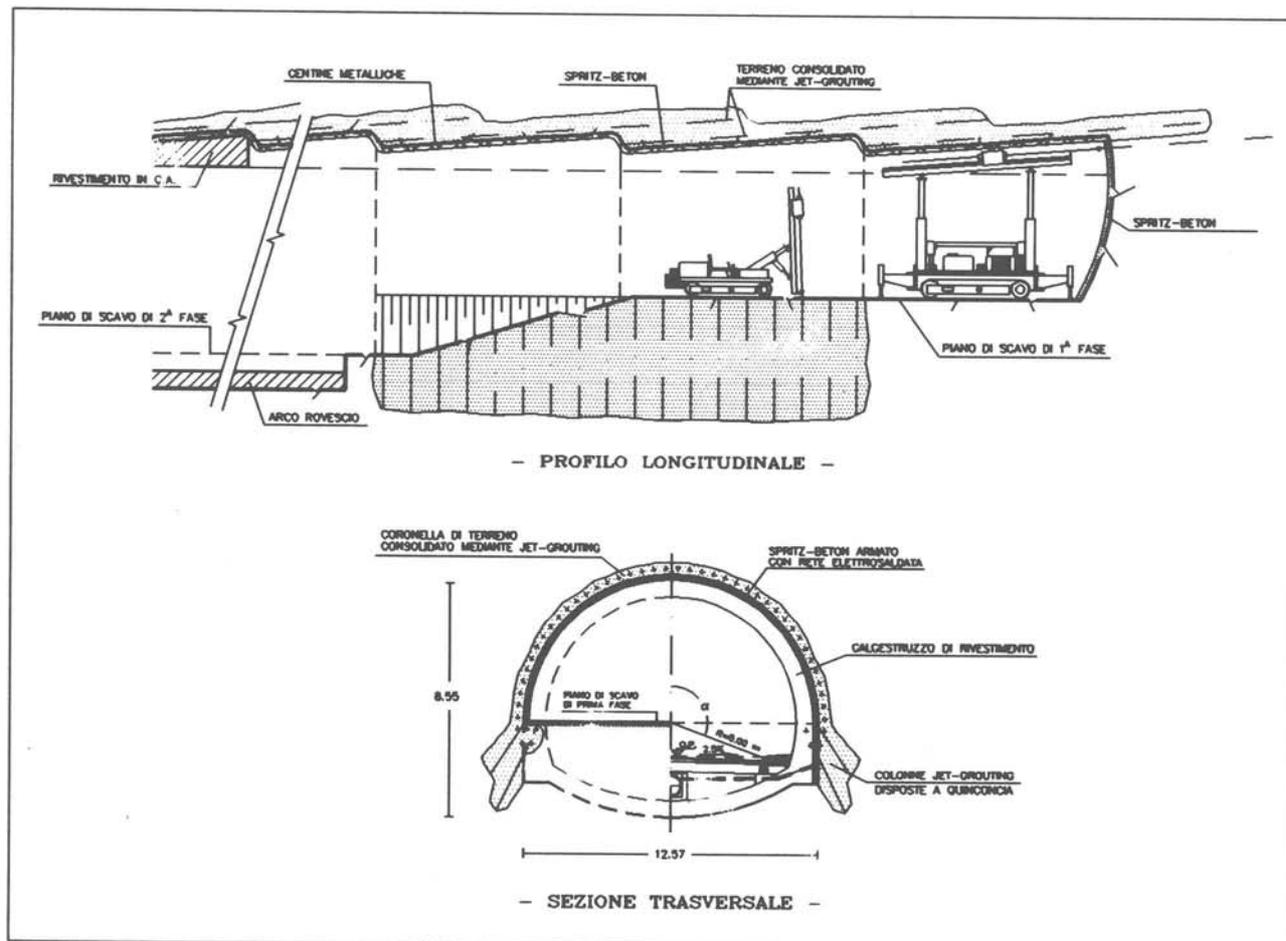


Fig. 3: Avanzamento nella tratta d'imbocco: consolidamento con jet-grouting sub-orizzontale e sub-verticale.

Tunnel advance in the cortical area: soil improvement with sub-horizontal and sub-vertical jet-grouting.

Gli avanzamenti eseguiti hanno messo in evidenza la validità di tale metodo che si basa su criteri progettuali rigorosi che hanno permesso di risolvere i problemi statici e di stabilità dell'opera, realizzando lo scavo senza innescare eccessivi fenomeni deformativi al contorno, a tutto vantaggio degli interventi successivi per la stabilizzazione definitiva del cavo e della sicurezza nelle lavorazioni.

3. STABILITÀ GLOBALE DELLE GALLERIE

L'apertura di una cavità, comporta in generale una redistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle

tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo. Il campo tensionale così generatosi dà luogo a fenomeni deformativi che tendono a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una situazione di equilibrio diversa dalla preesistente.

Inoltre quando entro un ammasso roccioso si aprono due gallerie adiacenti, come nel caso della galleria S.Elia e Carbonara, è noto che si induce nel setto roccioso, che le separa, uno stato tensionale la cui entità cresce al diminuire dell'interasse tra i cavi.

Se la distanza tra i due cavi è tale da comportare la plasticizzazione dell'intero setto di separazione esso può offrire un contributo di resistenza trascurabile. Ciò comporta una deviazione del flusso degli sforzi indotti all'esterno del complesso individuato dall'insieme delle due cavità. Si forma così una fascia a comportamento plastico che è unica per le due gallerie, le quali in definitiva si comportano come una cavità singola, di dimensioni maggiori e capace di innescare fenomeni deformativi in grado di giungere sino in superficie.

Il caso delle gallerie in esame è emblematico, nel senso che fin dall'inizio i due cavi hanno mostrato di risentire l'uno della presenza dell'altro (ci riferiamo per esempio alle rotazioni subite dalle canne verso l'interno), contribuendo in maniera determinante ai gravi dissesti verificatisi nelle due gallerie.

D'altra parte i calcoli di verifica dei manufatti di rivestimento, previsti per le varie classi di terreno del progetto ufficiale, trascurano la presenza del secondo fornice, che invece, alla luce del comportamento mostrato dalla galleria durante gli scavi, sembra opportuno considerare, verificando la stabilità globale dell'opera.

Ciò in effetti è stato eseguito mediante il metodo dell'"Area Indice" (Lunardi Fattore 1974) adottando il programma di calcolo "ARIND" (Lunardi-Bindi 1986) utilizzando parametri geotecnici medi dedotti da prove di laboratorio, dimostrando nel caso in oggetto l'inadeguatezza del setto di separazione a sopportare lo stato tensionale che si induce a seguito dello scavo delle due canne (cfr. fig. 4).

Nel seguito, verranno descritti i dissesti verificatisi nelle due gallerie e gli interventi studiati per il ripristino dei cavi e assicurare allo stesso tempo un adeguato margine di sicurezza nei confronti della stabilità.

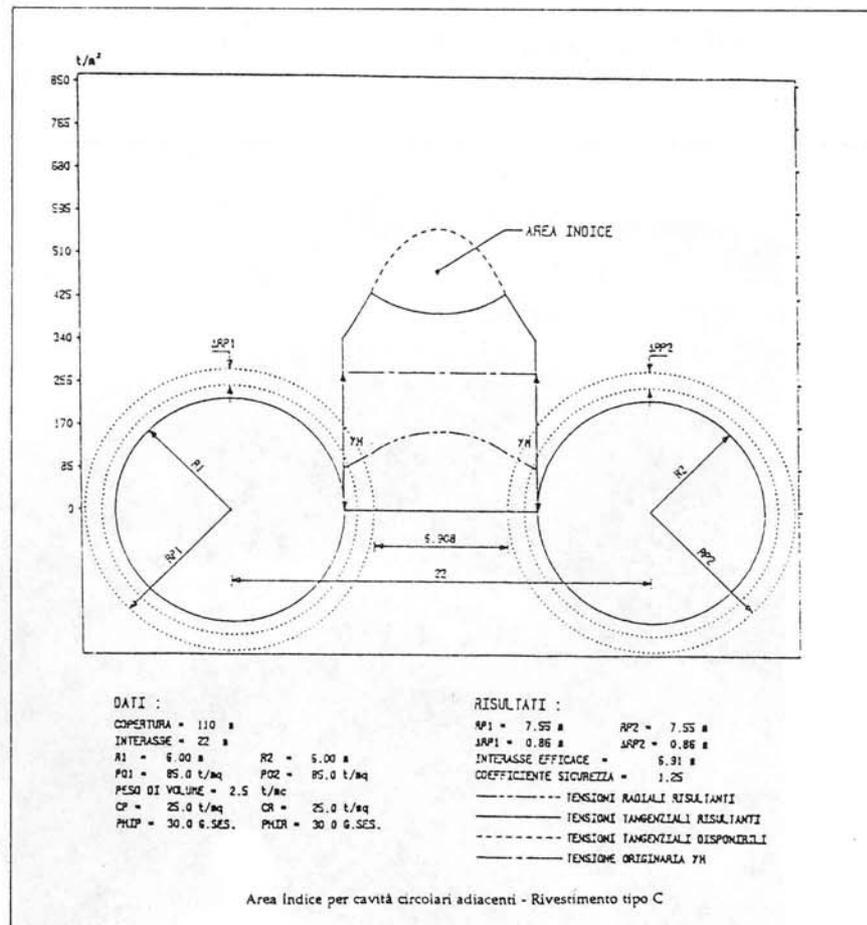
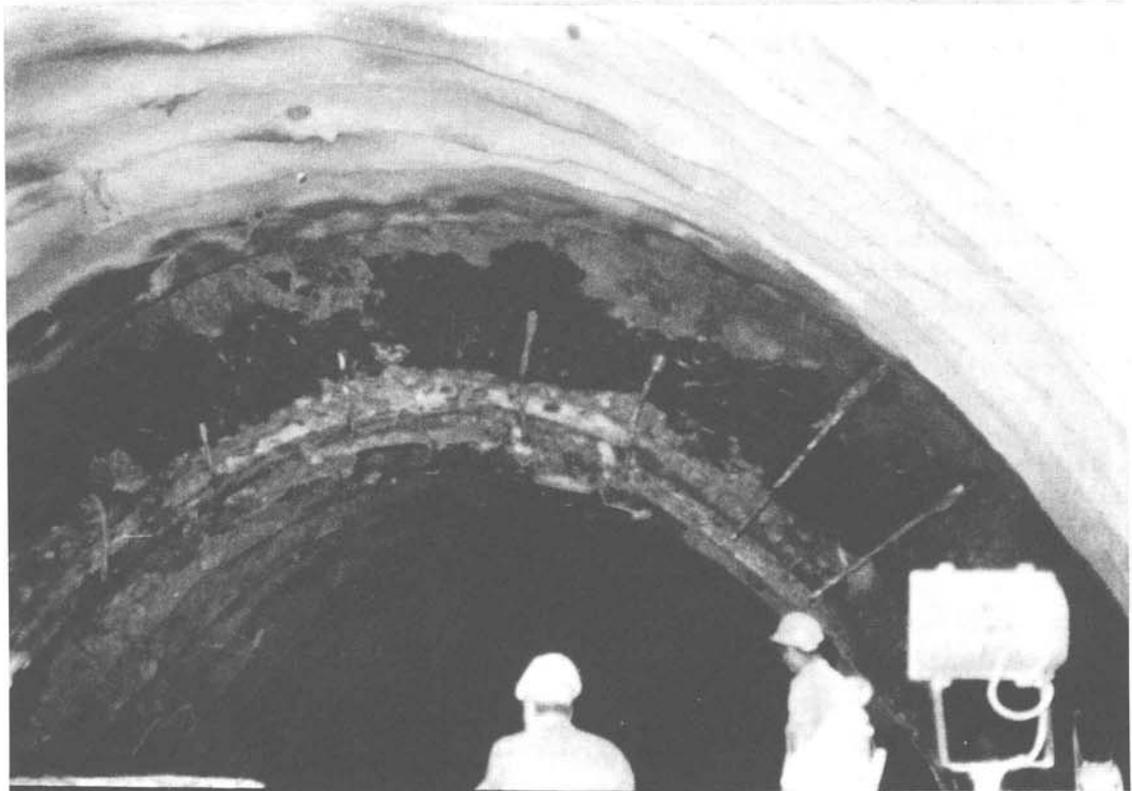


Fig. 4: Metodo dell'"area indice" per cavità circolari adiacenti.

"Index area" method for twin circular tunnels.

3.1. GALLERIA S.ELIA, SUPERAMENTO DEL FORNELLO ALLA PROGR. 160

La concentrazione dei carichi prodottasi a seguito dell'esiguità del setto di separazione, incapace di resistere a così elevate sollecitazioni, unitamente al richiamo di acqua prodotto dagli scavi d'avanzamento, ha determinato una forte decompressione dell'ammasso innescando una serie di movimenti dell'intero pendio, culminati con il fornello alla progr. 160, che ha determinato il blocco dei lavori (cfr. fig. 5 e 6).



Figg. 5 e 6: Galleria S. Elia: convergenza del cavo a seguito del dissesto alla progr. 160.

S. Elia Tunnel: tunnel collapse followed by a 1.2 m.

Gli interventi necessari al superamento del fornello e al proseguo dello scavo in sicurezza possono essere così schematizzati:

- esecuzione di uno strato di spritz-beton sul materiale proveniente dal fornello;
- posizionamento di materiale arido che permetta un buon drenaggio delle acque;
- realizzazione, a ridosso del fornello, di un tampone in calcestruzzo;
- esecuzione dall'alto dell'intasamento del vuoto creatosi per mezzo di iniezioni a bassa pressione di malta espansiva additivate con polveri di alluminio;
- esecuzione, dopo il completamento dell'intasamento, di una doppia coronella di terreno consolidato con iniezioni ad alta pressione mediante tubi metallici valvolati da eseguirsi in avanzamento per tratta di 15 m fino al completo superamento della zona decompressa.

Inoltre, a causa delle forti deformazioni subite dal cavo nel tratto precedente è stato indispensabile creare un intervento di consolidamento radiale in grado di contenere la plasticizzazione in atto e impedirne l'ulteriore estensione.

A tale scopo è stato necessario consolidare l'ammasso roccioso intorno al cavo in maniera da creare una fascia armata equivalente capace di fornire una pressione di contenimento sufficiente a garantire la stabilità del cavo.

L'intervento di preconsolidamento previsto tra le progr. 114 e 160 della pista per Messina e tra le progr. 132 e 185 della pista per Palermo, ha lo scopo di migliorare le caratteristiche intrinseche dell'ammasso. In particolare, in queste zone si è eseguito un trattamento di

iniezioni ad alta pressione mediante tubi metallici valvolati radiali della lunghezza di 10.50 m adottando una maglia 1.20x1.20 disposta a quinconce, garantendo così la formazione di un anello di terreno consolidato che collabora alla statica del rivestimento definitivo (fig. 7). All'atto dello scavo di ribasso, il concio di arco di calotta sotto cui viene asportato il terreno potrà contare, oltre che sul normale effetto tridimensionale di redistribuzione dei carichi dei conci limitrofi, sul vincolo costituito dalle colonne di terreno consolidato coagenti con la struttura tramite una barra di acciaio messa in trazione.

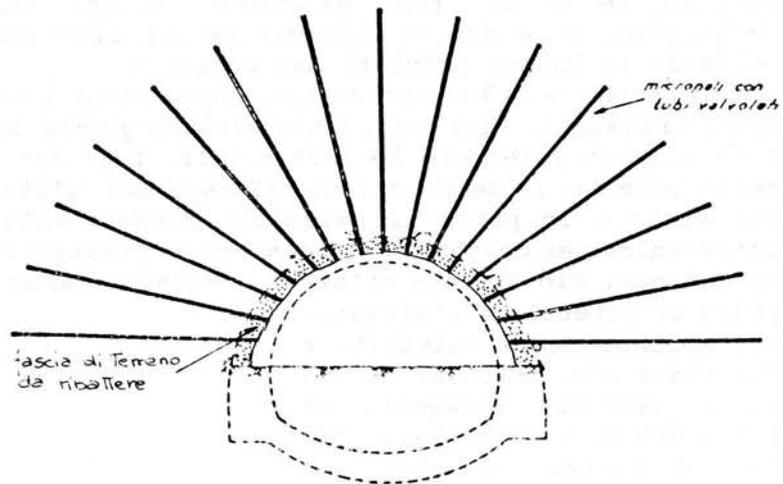


Fig. 7: Galleria S.Elia: consolidamento radiale con tubi metallici valvolati ed iniettati ad alta pressione.

S.Elia Tunnel: radial improvement with steel valve tubes high pressure injected.

3.2. GALLERIA CARBONARA

In fase di avanzamento è stato possibile fare le seguenti osservazioni:

- i termini rigidi, intensamente fratturati con alterazione spinta del litotipo, presentavano un elevato grado di disarticolazione e quindi di mobilità;
- i termini plastici, evidenziavano una deformabilità della massa rocciosa tanto maggiore quanto più elevata è la frazione argillosa della matrice.

- L'avanzamento ha fatto registrare inoltre la presenza di numerosi livelli acquiferi con scarso carico idrostatico lungo i livelli quarzosiltitici che, penetrando all'interno della compagine argillitica, causavano una rapida plasticizzazione della matrice argillosa.

Esaminando i valori di deformazione misurati, si osserva una tendenza comune di entrambe le canne a manifestare maggiori deformazioni dal lato del setto di separazione delle due gallerie. Per la pista di valle si sono registrate rilevanti convergenze anche dopo il getto di rivestimento definitivo.

I forti fenomeni di convergenza che si sono potuti rilevare sono la conseguenza di uno stato tensionale, creatosi nell'ammasso roccioso in seguito all'apertura dei cavi, incompatibile con le caratteristiche di resistenza della roccia.

Questi fenomeni deformativi non sono contenibili o regimabili con la sola creazione di un confinamento del cavo; ne è la prova il fatto che un prerivestimento costituito da centine immerse in circa 30 cm di spritz-beton ha subito forti abbassamenti ed una rotazione relativa verso il setto.

È necessario chiamare allora in causa, nella stabilizzazione del cavo, il terreno al contorno come elemento portante conferendo ad esso la resistenza al taglio necessaria, intervenendo con consolidamenti che conferiscono ad una fascia di terreno la coesione sufficiente a garantire la tenuta dello scavo ed il contemporaneo contenimento dei fenomeni deformativi.

Gli interventi sono stati i seguenti:

- per il tratto già rivestito dalla canna di valle dove si sono manifestate in corrispondenza del rene di monte lesioni nella struttura di rivestimento definitivo, si è dovuto intervenire per ricondurre il grado di sicurezza della galleria ai valori previsti dal progetto.

A tale scopo è stato necessario consolidare l'ammasso roccioso intorno al cavo con l'impiego di tubi valvolati della lunghezza di circa 10 m disposti a quinconce e maglia non inferiore ad 1.20 m (cfr. fig. 8);

- nella zona ove le deformazioni del cavo sono state di entità tale da compromettere del tutto o in parte il getto del rivestimento definitivo è stato necessario intervenire per contenere il fenomeno di plasticizzazione ed impedirne l'ulteriore estensione. Ciò è stato ottenuto preconsolidando la roccia al contorno del cavo, prima di effettuare l'alesatura, mediante tubi valvolati e iniettati con funzione di tiranti passivi, integrati da barre $\varnothing 28$ sub-orizzontali fissate a corree colleganti le centine;

- alla luce del comportamento riscontrato nell'ammasso roccioso, nel tratto di galleria scavato è sembrato necessario prevedere, per la zona ancora da scavare, interventi di stabilizzazione con funzione di contenimento del fenomeno di plasticizzazione entro limiti accettabili, mediante la creazione di una fascia di roccia armata correttamente dimensionata, capace di svolgere adeguatamente anche questo compito.

In definitiva, gli interventi adottati sono consistiti nell'armare un anello di roccia di spessore adeguato mediante bul-

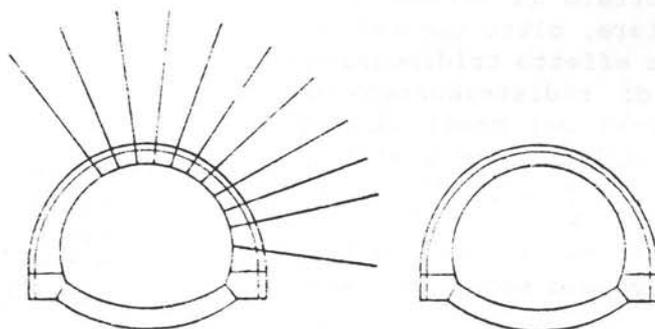


Fig. 8: Galleria Carbonara: consolidamento radiale con tubi metallici valvolati ed iniettati ad alta pressione.
Carbonara tunnel: radial improvement with steel valve tubes high pressure injected.

loni passivi cementati ad aderenza continua.

È evidente che gli interventi proposti rechino un beneficio a tutta la zona interessata dagli scavi. Ad integrazione di detti interventi sono stati messi in opera drenaggi sub-orizzontali lanciati ad ombrello dal paramento di monte della canna di monte per una lunghezza di circa 30 m.

Bibliografia

Lunardi P., Mongilardi E. Tornaghi R. - (1986) - Il preconsolidamento mediante jet-grouting nelle realizzazioni in sotterraneo - Congresso Internazionale su "Grandi Opere Sotterranee", Firenze.

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

Lavoro:	Sottopasso della Via C. Colombo - Roma
Committente:	Comune di Roma
Impresa generale:	Ferrocemento S.p.A.
Impresa specializzata:	Rodio S.p.A.
Progettazione esecutiva:	Rocksoil S.p.A.