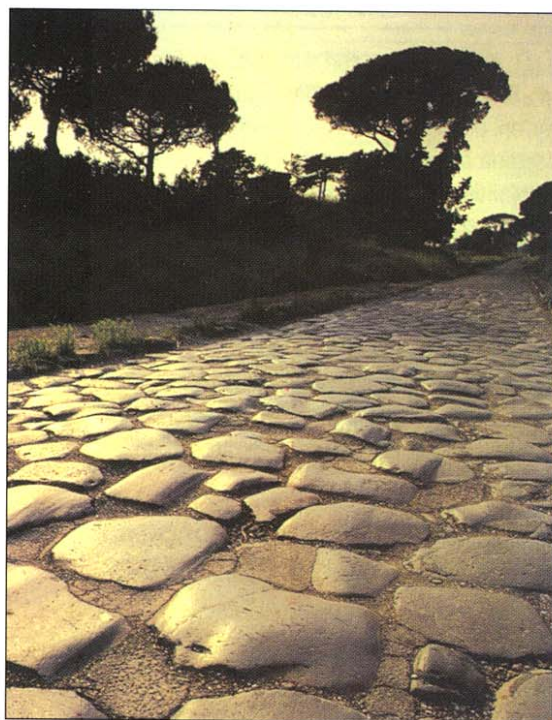
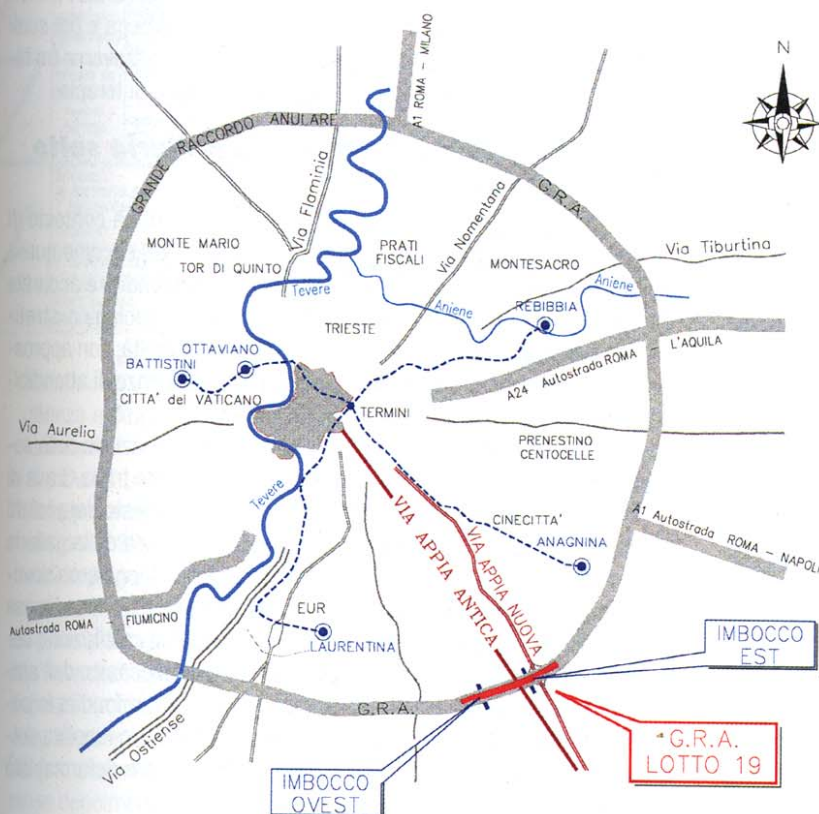




LA GALLERIA DI SOTTOPASSO DELLA STRADA CONSOLARE ROMANA "APPIA ANTICA"

Prof. Ing. Pietro Lunardi*
Dott. Ing. Michele Minenna**



GALLERIA DELL'APPIA ANTICA

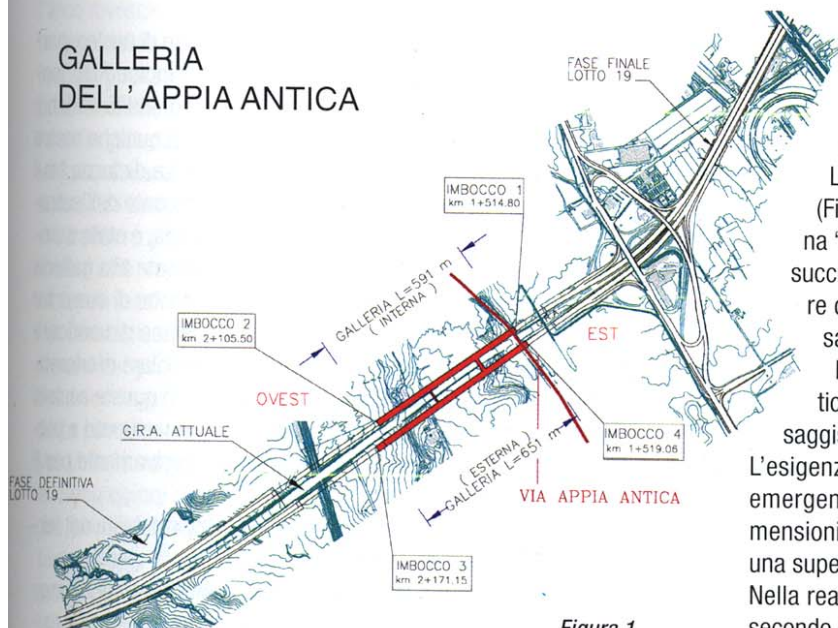


Figura 1

GENERALITÀ

La galleria sotto l'Appia Antica è componente essenziale del progetto d'allargamento a tre corsie per ogni senso di marcia del Grande Raccordo Anulare (Fig. 1).

La galleria, a doppia canna di oltre 600 m di lunghezza (Fig. 2), sottopassa di pochi metri (da 1 a 18) l'antica via romana "Appia", la cui continuità risultava sino ad oggi interrotta dal succitato raccordo, e ripristina l'ambiente dell'antica via consolare con ampiezza sufficiente a ricreare la suggestione del paesaggio originario (Foto 1). Si tratta di una delle più moderne, larghe e lunghe gallerie stradali urbane del mondo, con la particolarità unica che, sopra essa, si è ricostruito un tessuto paesaggistico antico.

L'esigenza di ospitare nella galleria 3 corsie di marcia più quella di emergenza ha richiesto la costruzione a foro cieco di canne di dimensioni imponenti: 20,65 m di larghezza per 12,45 di altezza, per una superficie di scavo di ~204 mq.

Nella realizzazione della difficile opera è stato utilizzato l'approccio secondo l'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suo-

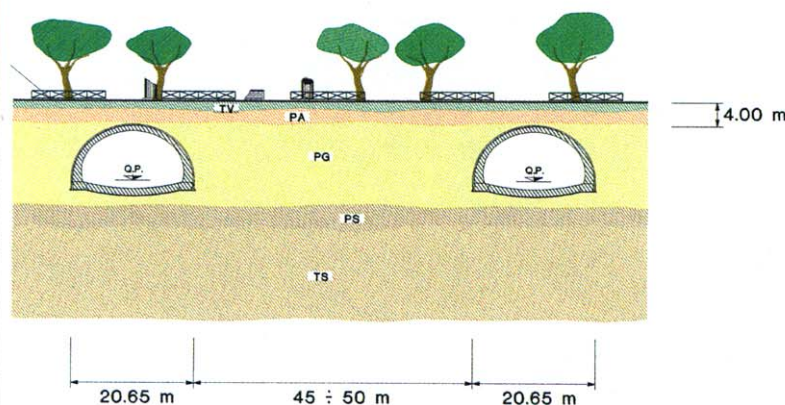
GALLERIA DELL'APPIA ANTICA
 SEZIONE TRASVERSALE


Figura 2

li [1], già impiegato con successo in altre complesse situazioni [2] [3] [4], il quale, come noto, propugna lo scavo a piena sezione anche nei terreni più scadenti, assicurando la stabilità del fronte di scavo (l'unica zona critica con questo tipo d'avanzamento) mediante opportuni consolidamenti. Grazie ai vantaggi statici conseguiti in questo modo e alla meccanizzazione spinta realizzata nei grandi spazi di lavoro resi disponibili dall'attacco a piena sezione, l'impiego di questo nuovo approccio ha permesso effettivamente di eseguire l'opera in sicurezza e nel pieno rispetto dei costi programmati.

Nelle pagine che seguono, dopo un breve inquadramento geologico-geomorfologico della zona, si illustreranno gli aspetti progettuali e costruttivi che hanno contrassegnato la sua realizzazione, commentando brevemente anche i risultati ottenuti, in termini tecnici e programmatici.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DELLA ZONA

L'Apparato vulcanico dei Colli Albani, nel cui settore NO si sviluppa il tratto di Grande Raccordo Anulare interessato dalle lavorazioni per la realizzazione della galleria sotto l'Appia Antica, sorge a cavallo delle strutture carbonatiche di piattaforma ("serie laziale - abruzzese") e di quelle di transizione ("serie umbro - sabina") e fa parte, con gli Apparati Sabatino e Vulsino, del cosiddetto "Vulcano Laziale", la cui storia geologica, iniziata circa 600.000 anni fa, è contrassegnata da tre fasi distinte, differenziate per tipologia eruttiva prevalente:

- Fase del Tuscolano - Artemisio, fase più importante sviluppatasi tra 600.000 e 300.000 anni fa;
- Fase dell'Edificio delle Faete, sviluppatasi tra 300 e 200.000 anni fa;
- Fase idromagmatica, sviluppatasi tra 200.000 e 20.000 anni fa.

Nel corso della fase del Tuscolano - Artemisio, in particolare, si sono deposte quattro distinte colate piroclastiche che in buona parte hanno raggiunto anche la città di Roma.

Il tracciato interessato dall'opera in esame interessa soprattutto i depositi piroclastici più recenti della quarta colata [l'ultima della Fase del Tuscolano - Artemisio, le cui datazioni assolute hanno fornito una età compresa tra i 330.000 ed i 280.000 anni fa (Pleistocene medio)]. Detti depositi, denominati "piroclastiti e scorie saldate sincalderiche", corrispondono a piroclastiti di ricaduta, ben stratificate, di colore variabile tra il giallo, l'avana, il grigio, il rosso-ocra ed il brunastro, la cui colorazione è da attribuire alla differente temperatura di emissione dei prodotti eruttivi. Alle piroclastiti si sovrappone la "Lava di Capo di Bo-

ve" (tefriti fonolitiche e leucititi), fessurata, che appartiene all'ultima fase eruttiva (Fase idromagmatica) e costituisce la colata più lunga del complesso giungendo ben dentro la città di Roma. I prodotti effusivi hanno colmato le paleodepressioni esistenti, disposte radialmente rispetto all'antico cratere ovvero trasversalmente rispetto al tracciato in esame; successivamente fenomeni erosivi hanno ancora modificato la morfologia locale. Da qui si è determinata la marcata eterogeneità intrinseca di questo tipo di terreni, costituiti dalle differenti fasi e dai differenti prodotti vulcanici che sono andati a colmare e modificare le precedenti morfologie, dando luogo a un'estrema complessità di contatti stratigrafici.

3. ASPETTI PROGETTUALI

Come abbiamo accennato, l'opera è stata realizzata secondo i principi dell'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (A.DE.CO.-RS), che sviluppa il momento progettuale attraverso tre fasi principali: fase conoscitiva, fase di diagnosi e fase di terapia.

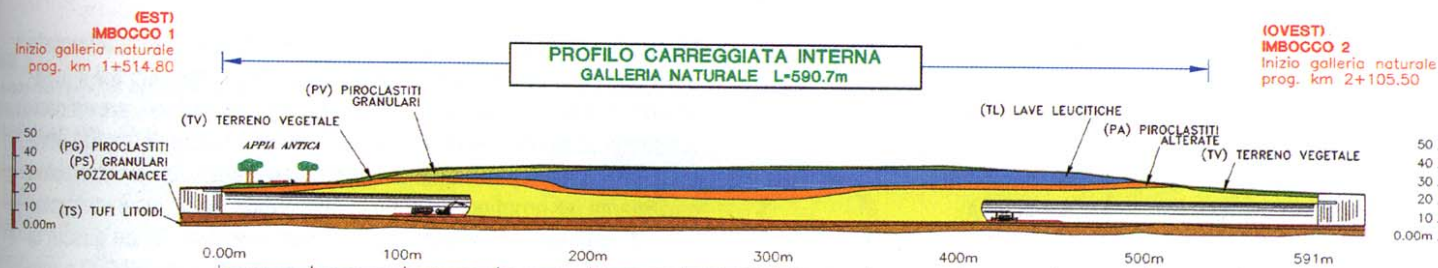
3.1 La fase conoscitiva per la galleria sotto l'Appia Antica

L'importanza e la delicatezza dell'opera, a fronte di un contesto di estrema eterogeneità di terreni e di contatti stratigrafici come quello in esame, hanno richiesto l'esecuzione di un'approfondita e accurata campagna geognostica per giungere a un quadro geologico-stratigrafico e geotecnico, il più possibile aderente alla realtà, con approssimazione comunque rapportata alle particolari esigenze di attendibilità della progettazione.

La campagna è stata mirata in primo luogo all'individuazione delle superfici di contatto tra i diversi depositi e in particolare tra la "Lava di Capo di Bove" e i materiali piroclastici sottostanti: questo dato infatti avrebbe influenzato in maniera determinante la statica della galleria e le modalità costruttive da considerare. In secondo luogo essa doveva permettere di individuare le zone a prevalente costituzione limosa e quelle a prevalente costituzione sabbiosa, poiché la costituzione determina, come noto, il tipo di comportamento geomeccanico dell'ammasso. In terzo luogo essa doveva consentire di approfondire le conoscenze sull'idrogeologia della zona e di determinare in maniera sufficientemente corretta le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni interessati.

A questo scopo si sono eseguiti:

- 30 sondaggi geognostici verticali, parte a distruzione di nucleo, parte a carotaggio continuo con determinazione dell'indice RQD (soprattutto nei materiali piroclastici), spinti fino a profondità variabili tra 20 e 35 m, in modo da indagare i terreni sino a qualche metro sotto il piano d'imposta della galleria da scavare. La distanza tra i diversi sondaggi, in direzione longitudinale, tenuto conto dell'estrema variabilità dei contatti stratigrafici e della litologia, è stata mantenuta mediamente pari a 50 m circa. Trasversalmente alla galleria si sono indagate cinque sezioni mediante l'esecuzione di due o tre sondaggi in corrispondenza di ciascuna canna, al fine di verificare puntualmente la disposizione dei terreni, con particolare riferimento alla zona corrispondente alla base dei piedritti. In queste sezioni i sondaggi sono stati attrezzati con inclinometri, assestimetri e piezometri, in modo da poterli utilizzare anche successivamente per il monitoraggio in corso d'opera;
- 5 prove sismiche "down-hole" per valutare la deformabilità dei terreni piroclastici a scala d'ammasso;
- 15 prove pressiometriche (otto lungo la canna esterna e sette lungo quella interna), per indagare direttamente le caratteristiche di resi-



FASCE CONOSCITIVA	COPERTURE (m)												COPERTURE (m)
	4.20	6.30	11.20	14.40	16.40	15.90	16.90	17.30	18.00	12.20	7.80	5.30	
STUDIO GEOLOGICO	VULCANITE DEI COLLI ALBANI												
	LITOTIE (PREVALENTI)												
STUDIO GEOTECNICO GEOMECCANICO	PES. DI VOLUME (KN/m ³)												
	COESIONE (MPa)												
	ANG. D'ATTR. (°)												
	MOD. DEF. (MPa)												
PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DELLA GALLERIA secondo il METODO ADECO-RS DEL CAVO	FRONTE STABILE A BREVE TERMINE (B)												
	FENOMENI DEFORMATIVI DI TIPO ELASTOPLASTICI												
INTERVENTI DI PRECONSOLIDAMENTO E PRECONTENIMENTO	N. 76 Chiodi in Vetrosina o Iniezioni di consolidamento al fronte												
	Jet Grouting												
INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO E CONTENIMENTO	Spritz beton al fronte												
	Spritz beton al contorno del cavo Spessore 25 cm												
RIVESTIMENTO DEFINITIVO	Centine metalliche passo 100 cm												
	Impermeabilizzazione sul contorno del cavo												
Rivestimento della galleria solo con "arco rovescio" armato													
"arco rovescio e calotta armati"													

Figura 3

stenza e deformabilità dell'ammasso e tarare le prove sismiche di cui sopra;

- 4 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile, per indagare la permeabilità dei terreni in sito a quota galleria;
- 61 prove SPT per stimare le caratteristiche di resistenza dei materiali in posto.

In estrema sintesi si è evidenziato quanto segue (Fig. 3).

La galleria avrebbe interessato esclusivamente i terreni riconducibili alla fase del Tuscolano - Artemisio, attraversando prevalentemente i depositi piroclastici della quarta colata (piroclasti pozzolanacei, talvolta alterate, costituite da scorie e lapilli classificabili, dal punto di vista granulometrico, in limi argillosi PA, sabbie ghiaiose PG e sabbie limose debolmente ghiaiose PS) e solo marginalmente, nella zona dell'arco rovescio, la piroclastite pseudocoerente ("Tufo Lionato" TS) della terza colata, costituita da scorie, pomici, litici lavici e fenocristalli di leucite, pirosseni e mica. Il basalto TL della "Lava di Capo di Bove", prodotto della fase delle Faete, avrebbe costituito i terreni di copertura della galleria.

La falda si sarebbe mantenuta sempre al di sotto della quota d'estradosso dell'arco rovescio, per cui gli eventuali stillicidi durante gli scavi sarebbero stati esclusivamente riconducibili a percolazioni di acque meteoriche, con percorsi di filtrazione piuttosto brevi, in presenza di materiali localmente assai permeabili.

Per caratterizzare dal punto di vista geomeccanico i diversi materiali, si sono eseguite numerose prove di laboratorio su campioni prelevati dai sondaggi. Purtroppo la natura dei terreni ha determinato una ridotta percentuale di recupero di campioni indisturbati e ha reso impossibile la sagomatura di provini idonei per le prove in cella triassiale. Sono quindi state eseguite esclusivamente prove di taglio diretto che, come noto, sovrastimano i valori dell'angolo d'attrito.

Tenuto conto di ciò e della globalità dei risultati emersi dalla campagna geognostica, ai diversi litotipi si sono attribuiti i parametri riportati sinteticamente in tabella.

TERRENO	γ [t/m ³]	c' [MPa]	ϕ [°]	E [MPa]	v	k [cm/s]
Basalto TL	2,7	20	45	8.000	0,25	/
Piroclastiti sabbio-ghiaiose PS-PG	1,85	0,01	35	110	0,35	1,25x10 ⁻⁴
Piroclastiti limo-argillose debolmente sabbiose PA	2,04	0,03	24	100	0,35	7,5x10 ⁻⁵
Piroclastite pseudo coerente (Tufo Lionato) TS	1,8	0,2	35	200	0,35	/

3.2 La fase di diagnosi per la galleria sotto l'Appia Antica

In fase di diagnosi il progettista, sulla base degli elementi raccolti in fase conoscitiva, fa previsioni sul comportamento tenso-deformativo della galleria a breve e a lungo termine, nell'ipotesi di assenza d'interventi di stabilizzazione. È noto che detto comportamento è strettamente legato alla formazione di un effetto arco, la cui presenza e posizione, rispetto al profilo di scavo della galleria, sono segnalate dalla risposta deformativa del mezzo all'azione dello scavo.

In particolare, l'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli evidenzia che l'elemento centrale da considerare per compiere un'analisi corretta dell'evoluzione dei fenomeni deformativi e quindi, in definitiva, una valutazione attendibile delle condizioni di stabilità della galleria da realizzare, è il comportamento tenso-deformativo del nucleo al fronte di scavo in assenza di opere di stabilizzazione. Questo comportamento è condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso, connesse con le varie strutture geologiche interessate dagli scavi;

- i carichi litostatici conseguenti alle coperture in gioco e alle coazioni di origine tettonica;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- le modalità d'avanzamento.

Si possono avere tre diversi tipi di comportamento:

- Fronte stabile (categoria di comportamento A);
- Fronte stabile a breve termine (categoria di comportamento B);
- Fronte instabile (categoria di comportamento C).

Nel caso della galleria in esame, lo studio di diagnosi evidenziava un comportamento a fronte instabile nelle zone d'imbocco, dove le modestissime coperture non avrebbero permesso in alcun caso la formazione dell'effetto arco per via naturale, e un comportamento a "fronte stabile a breve termine" nella parte restante del tunnel, dove l'effetto arco si sarebbe creato naturalmente vicino contorno dello scavo, per poi allontanarsi progressivamente da esso al progredire del fenomeno di plasticizzazione del terreno, che, in assenza di adeguati interventi, si sarebbe inevitabilmente innescato con negative conseguenze per la stabilità a lungo termine della galleria e delle opere soprastanti (cedimenti in superficie).

3.3 La fase di terapia per la galleria sotto l'Appia Antica

La fase di terapia è quella in cui il progettista, a seguito delle previsioni fatte in fase di diagnosi, opera la scelta del tipo di azione da esercitare (precontenimento o semplice contenimento) e degli interventi necessari per ottenere la completa stabilizzazione della galleria. In questo ambito si sono definiti quindi gli interventi necessari per la stabilizzazione degli scavi, le fasi di messa in opera degli stessi, le modalità d'avanzamento da attuare per garantire la stabilità dell'opera a breve e a lungo termine. Come conseguenza del differente tipo di comportamento previsto in fase di diagnosi, gli interventi sono stati differenti per le zone d'imbocco e per la galleria corrente.

3.3.1 Zone d'imbocco

Per scavare in sicurezza in condizioni di fronte instabile è stato necessario ricorrere a soluzioni atte alla creazione, in avanzamento, di effetti arco artificiali, in luogo di quello che, per la particolare situazione tenso-deformativa in cui si doveva operare, non poteva formarsi per via naturale. Sono stati eseguiti interventi di precontenimento del cavo atti a garantire la tenuta sia del fronte sia della fascia di terreno perimetrale alla cavità.

Mentre lo scavo agli imbocchi 1 e 2 (canna interna) veniva affrontato a sezione parzializzata, per la realizzazione degli imbocchi 3 e 4 (canna esterna) si è dato corso a un attacco a piena sezione, previo consolidamento del nucleo d'avanzamento e della fascia di terreno perimetrale al cavo rispettivamente con elementi strutturali di vetroresina e mediante jet-grouting eseguito in orizzontale. Lo scavo è stato stabilizzato con un rivestimento di prima fase costituito da un guscio di spritz-beton di 25 cm di spessore, armato con centine HEB 200 e rete elettrosaldata, chiuso con le murette e l'arco rovescio a non più di 14 m dal fronte. Di seguito si è provveduto con la posa dell'impermeabilizzazione e il getto del rivestimento definitivo di calcestruzzo armato.

3.3.2 Galleria corrente

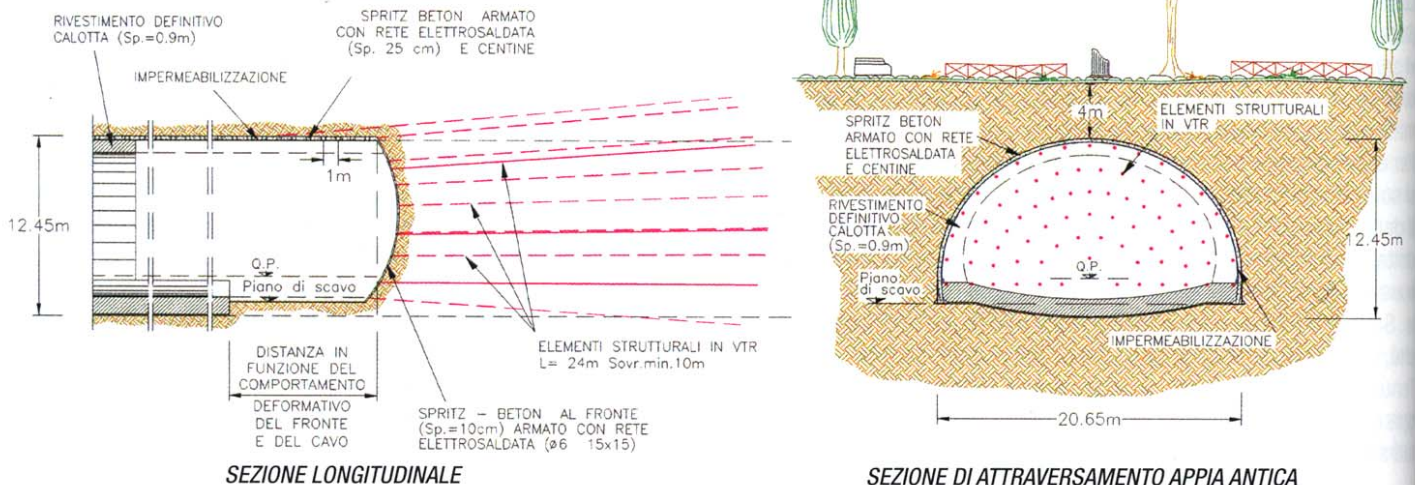
Operando in condizioni di fronte stabile a breve termine, per garantire la formazione e il mantenimento dell'effetto arco il più possibile vicino al profilo di scavo è stato indispensabile ricorrere a interventi di stabilizzazione in grado di contenere il fenomeno di plasticizzazione del terreno che si produce al fronte e al contorno dello scavo e i fenomeni deformativi ad esso conseguenti (estrusione del nucleo e convergenza del cavo).

Nel caso della galleria in oggetto, tenuto conto delle caratteristiche dei terreni da scavare, delle coperture e quindi degli stati tensionali in gioco, del tipo e dell'entità dei fenomeni deformativi da contrastare, previsti in fase di diagnosi, dell'esigenza di limitare i cedimenti in superficie entro i valori compatibili con la salvaguardia delle vestigia dell'antica via romana soprastante, si è deciso di avanzare a piena sezione di 194 mq, per sfondi di 1 m, previo consolidamento del nucleo d'avanzamento mediante elementi strutturali di vetroresina e sagomatura del fronte a forma concava. Ha avuto seguito l'immediata posa del rivestimento di prima fase, costituito da centine e spritz-beton e quella delle murette e dell'arco rovescio a breve distanza dal fronte stesso, in modo da assicurare un passaggio graduale e coerente dalla situazione statica, prima dello scavo, del terreno contenuto dalla presenza del nucleo rigido a quella, dopo lo scavo, dello stesso contenuto dal rivestimento di prima fase. La posa dell'impermeabilizzazione e del rivestimento definitivo di calcestruzzo ha completato l'opera.

3.3.3 Calcoli di dimensionamento

Dopo un primo dimensionamento degli interventi condotto con l'impiego di metodi di calcolo semplificati, gli stessi sono stati verificati con esito positivo, utilizzando modelli numerici agli elementi finiti bi-

Figura 4





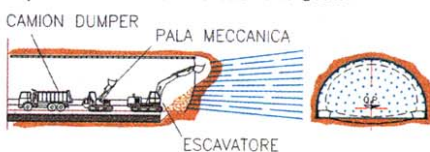
FASE 1

Preconsolidamento del nucleo con n. 76 Elementi Strutturali in VTR L=24 m sovr. min. 10 m



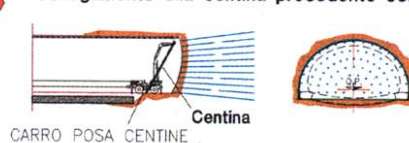
FASE 2

Esecuzione dello scavo di avanzamento a piena sezione con sfondi 1 m ±10%



FASE 3

Posa in opera della centina metallica (2 IPN 220) passo 1m±10% sotto lo scavo eseguito in fase 2 (collegamento alla centina precedente con catene)



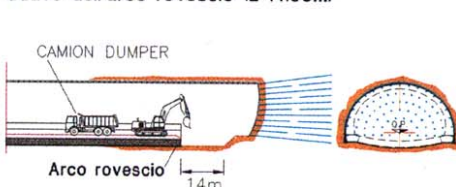
FASE 4

Esecuzione priverivestimento in spritz-beton armato (rete el. o fibre metalliche) spessore 25 cm



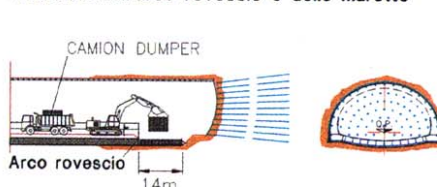
FASE 5

Scavo dell'arco rovescio (L=14.00m)



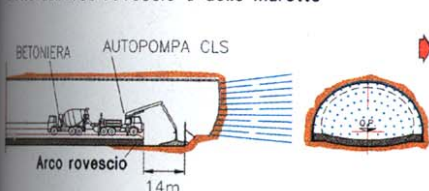
FASE 6

Armatura dell'arco rovescio e delle murette



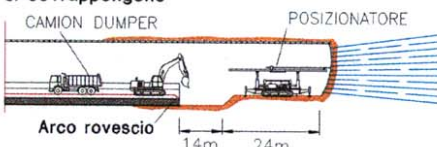
FASE 7

Getto dell'arco rovescio e delle murette



FASE 7b

Nel caso di distanza dell'arco rovescio dal fronte ≥ 14 m le fasi 1 e 5-7 si sovrappongono



FASE 8

Impermeabilizzazione e getto del rivestimento definitivo

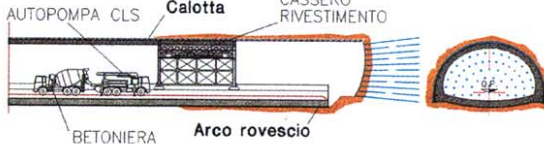


Figura 5

dimensionali e tridimensionali, in campo non lineare. I calcoli svolti, oltre a rassicurare sulla correttezza e fattibilità del tipo di approccio considerato, hanno fornito anche preziose indicazioni in termini di previsione di fenomeni deformativi (estrusioni, convergenze, cedimenti in superficie) e stati tensionali nelle strutture di rivestimento a breve e a lungo termine per diverse ipotesi operative (per esempio: variabilità della distanza di posa dell'arco rovescio dal fronte), permettendo di progettare opportunamente e completamente l'esecuzione dell'opera, anche nei suoi dettagli geometrici e operativi (forma della sezione, fasi e cadenze di scavo, ecc.).

In definitiva, il progetto messo a punto per la galleria corrente ha previsto (Fig. 4):

- per il controllo della risposta deformativa a monte del fronte di scavo: la messa in opera di 76 elementi strutturali di vetroresina (VTR) di 24 m di lunghezza con 10 m di sovrapposizione minima;
- per il controllo della risposta deformativa a valle del fronte di scavo: l'esecuzione di un rivestimento di prima fase costituito da centine IPN220 doppie e spritz-beton di 25 cm di spessore, armato con rete elettrosaldata e chiuso da un arco rovescio di cemento armato di 1,20 m di spessore, posato a distanza dal fronte variabile, a giudizio del progettista, tra 14 e 38 m, in funzione dei valori delle misure d'estrusione;
- per la stabilizzazione a lungo termine del cavo: un rivestimento definitivo di calcestruzzo di spessore minimo, in calotta, 0,90 m.

4. ASPETTI COSTRUTTIVI

La costruzione dell'opera, secondo l'approccio

A.DE.CO.-RS, ha inizio solo dopo che si è esplicitato completamente l'intero iter progettuale. Il momento della costruzione comprende le fasi operative e di verifica.

4.1 La fase operativa per la galleria sotto l'Appia Antica

Lo scavo delle due canne della galleria è proceduto contemporaneamente da tutti e quattro gli imbobbi. Le lavorazioni si sono svolte ciclicamente secondo l'approccio a piena sezione con lo schema riassunto in Fig. 5. L'abbattimento per sfondi di un metro è stato eseguito mediante un ripper montato su escavatore, curando sistematicamente la corretta sagomatura del fronte di scavo. Globalmente, la produzione è stata pari a circa 65 m/settimana di galleria finita, in media 2,3 m/giorno per fronte, e tale si è mantenuta dall'inizio alla fine dei lavori, con picchi di 3,3 m/giorno per fronte, mettendo in risalto

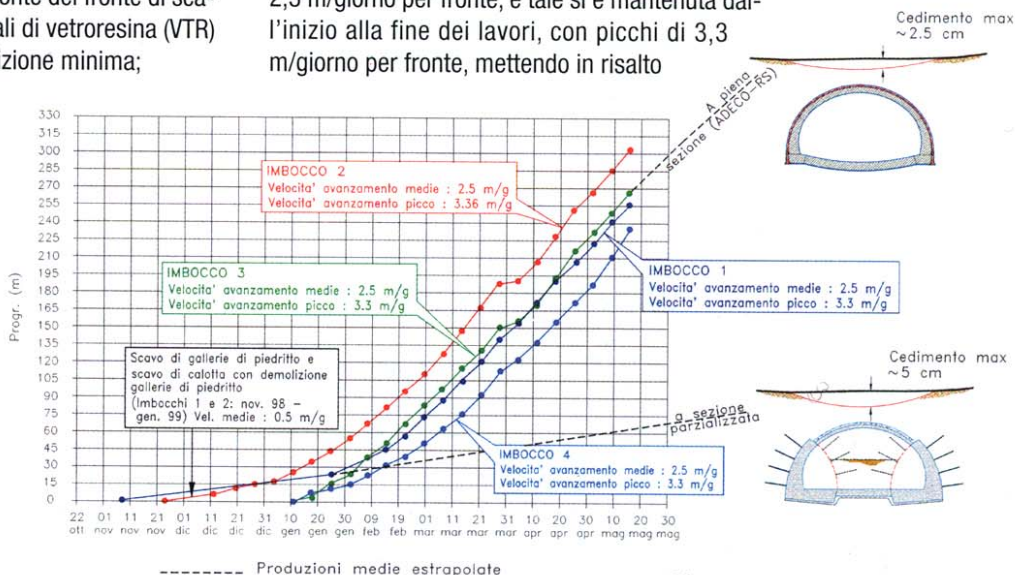


Figura 6



Foto 1: Vista dell'antica via romana "Appia" in prossimità del Grande Raccordo Anulare (G.R.A.) di Roma

l'elevato grado d'industrializzazione raggiunto (Fig. 6). La velocità d'avanzamento è evidenziata nella stessa figura 6 dalla pendenza delle curve di produzione relative.



Foto 2: Galleria dell'Appia Antica: panoramica dell'imbocco 4, sulla destra si vede il Grande Raccordo Anulare e trasversalmente sullo sfondo, a sinistra dell'imbocco, la traccia alberata dell'antica via Appia interrotta dal Raccordo

Per scavare i 1.242 m di percorso sotterraneo sono stati sufficienti poco più di sei mesi. Durante le operazioni di scavo è stata dedicata una particolare attenzione al mantenimento della corretta distanza tra il fronte e l'attivazione dell'arco rovescio, tarandola di volta in volta in funzione delle misure d'estrusione. Ritardare eccessivamente l'irrigidimento dell'anello di rivestimento su una luce di oltre 20 m, oltre a vanificare i vantaggi conseguiti attaccando a piena sezione in presenza di nucleo rigido, avrebbe potuto compromettere seriamente non solo il rispetto dei valori ammessi per i cedimenti in superficie ma addirittura la stabilità di tutta l'opera!



Foto 3: Galleria dell'Appia Antica: fase di consolidamento del fronte mediante elementi strutturali di vetroresina

4.2. La fase di verifica in corso d'opera per la galleria sotto l'Appia Antica

Al fine di controllare in fase costruttiva l'effettiva rispondenza dei comportamenti tenso-deformativi del fronte e del cavo a quelli previsti dai calcoli eseguiti in fase di progettazione, si è predisposta un'approfondita campagna di monitoraggi comprendente misure d'estrusione, di convergenza e di cedimenti superficiali.

Il confronto tra defor-

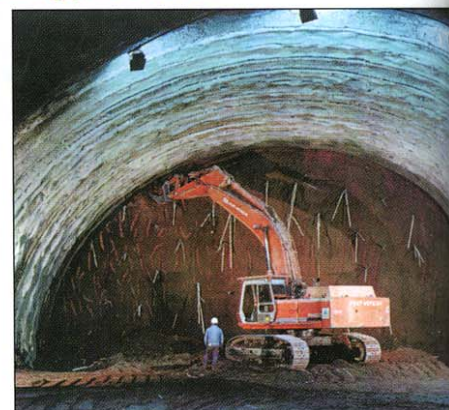


Foto 4: Galleria dell'Appia Antica: scavo a piena sezione previo consolidamento del nucleo d'avanzamento mediante elementi strutturali di vetroresina

mazioni calcolate e deformazioni misurate ha permesso, infatti, di vagliare immediatamente il grado di attendibilità del progetto e di tarare opportunamente la sua messa a punto in corso d'opera relativamente alle variabilità espresse dal progettista (es. distanza dal fronte del getto dell'arco rovescio e delle muricette).

Appare interessante riportare qualche dato: durante l'applicazione dell'avanzamento a piena sezione di 194 mq, con una luce di oltre 20 m, si sono misurati valori massimi di estrusione e convergenza dell'ordine di 1,5 cm, mentre i cedimenti superficiali, malgrado le ridottissime coperture e la scarsa qualità dei ter-

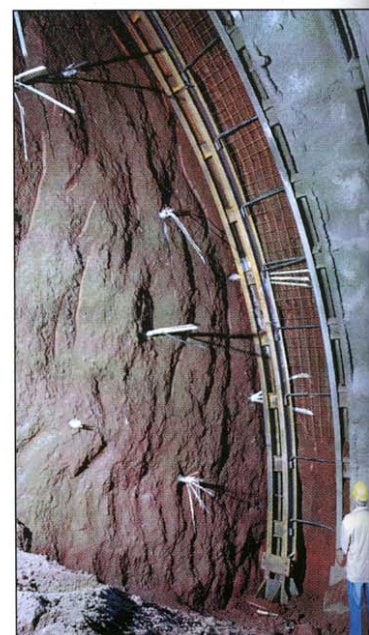


Foto 5: Galleria dell'Appia Antica: scorcio del fronte consolidato e della centina messa in opera in sua prossimità

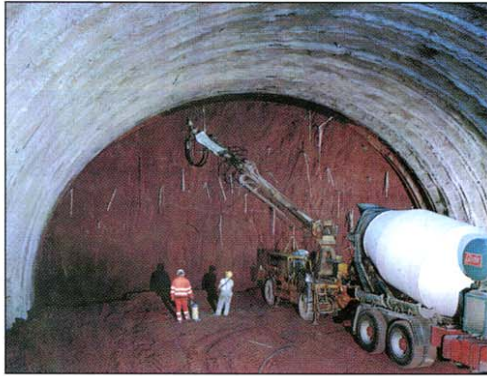


Foto 6: Galleria dell'Appia Antica: esecuzione dello spritz-beton



Foto 7 e 8: Galleria dell'Appia Antica: l'armatura e il getto dell'arco rovescio avvengono entro 14 m dal fronte mentre contemporaneamente viene operato il consolidamento del nucleo d'avanzamento con elementi strutturali di vetroresina

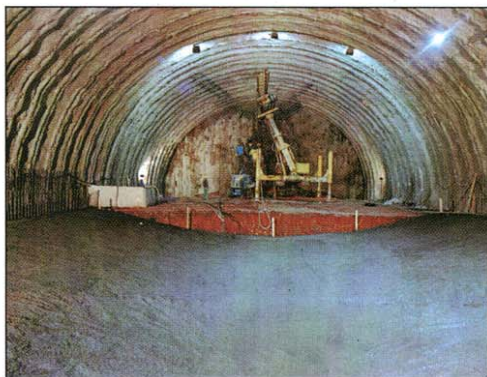
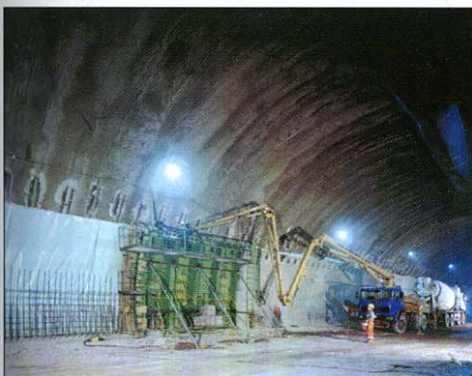


Foto 9: Galleria dell'Appia Antica: getto del pedritto del rivestimento definitivo



reni in gioco, non hanno mai superato i $2 \div 2,5$ cm. Questi valori, assolutamente in linea con quelli previsti nei calcoli di progetto, confermano che il terreno, grazie al precontenimento esercitato dal nucleo d'avanzamento irrigidito dagli interventi di preconsolidamento, si è mantenuto in campo pressoché elastico, permettendo di sviluppare in assoluta sicurezza eccellenti velocità d'avanzamento.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli eccellenti risultati ottenuti durante la costruzione della galleria sotto l'Appia Antica, a fronte di un contesto assai difficile per tipo di terreni da scavare, esiguità delle coperture in gioco, eccezionalità della geometria e dell'ampiezza della sezione di scavo, dimostrano l'estrema flessibilità, affidabilità e, in definitiva, universalità dell'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli. I suoi principi costruttivi (scavo a piena sezione previo consolidamento del nucleo d'avanzamento anche nei terreni più difficili) sono risultati validi anche per la realizzazione, sotto ridottissima copertura, di una galleria urbana di oltre 20 m di luce e 204 mq di sezione come quella sotto l'Appia Antica, senza cedimenti apprezzabili in superficie e hanno consentito di conseguire notevoli vantaggi economici e programmatici.

* Studio di Progettazione Lunardi - Milano

** Direttore Uff. Speciale Infrastrutture ANAS - Roma

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., "La stabilité du front de taille dans les ouvrages souterrains en terrain meuble: études et expériences sur le renforcement du noyau d'avancement", Symposium international "Renforcement des sols: expérimentations en vraie grandeur des années 80", Parigi, 18 Novembre 1993
- [3] LUNARDI P., "L'influenza della rigidità del nucleo d'avanzamento sulla sicurezza degli scavi in galleria", Gallerie e grandi opere sotterranee, n° 52, 1997
- [4] LUNARDI P., "Storia del collegamento ferroviario tra Bologna e Firenze - Aspetti progettuali e costruttivi delle opere in sotterraneo", Gallerie e grandi opere sotterranee, n° 54, anno 1998
- [5] ANDRE D., DARDARD B., BOUVARD A., CARMES J., "La traversée des argiles du tunnel de Tartaignille", Tunnels et ouvrages souterrains, n° 153, Maggio-Giugno 1999
- [6] LUNARDI P., "La galleria "Tartaignille", ovvero l'applicazione dell'approccio A.DE.CO.-RS per la realizzazione di un tunnel "impossibile", Gallerie e grandi opere sotterranee, n° 58, Agosto 1999
- [7] MARTEL J., ROUJON M., MICHEL D., "TGV Méditerranée - Tunnel de Tartaignille: méthode pleine section", Proceedings of the International Conference on "Underground works: ambitions and realities", Parigi, 25 ÷ 28 October 1999
- [8] LUNARDI P., "L'influenza della rigidità del nucleo d'avanzamento sulla stabilità degli scavi in galleria", Gallerie e grandi opere sotterranee, n° 59, 1999

Autostrada del Grande Raccordo Anulare
Adeguamento a tre corsie per ogni senso di marcia - Lotto 19
Galleria sotto l'Appia Antica
Committente: A.N.A.S.
Progettazione costruttiva:
Prof. Ing. Pietro Lunardi - ROCKSOIL SpA (Milano)
Impresa: SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA SpA