

Il metodo Nazzano tra passato e futuro

Storia e risultati della prima sperimentazione mondiale del sistema di ampliamento delle gallerie in presenza di traffico

Pietro LUNARDI

Studio di progettazione Lunardi

Mario CANGIANO

Direttore dei Lavori, Stone S.p.A.

Andrea BELFIORE

Direttore Operativo, Rocksoil S.p.A.

Benché il mondo del sotterraneo si contraddistingua per la continua ricerca di innovazione da parte degli operatori del settore per far fronte alle sfide da affrontare quotidianamente, è tuttavia poco consueto che un'opera si caratterizzi, sin dall'iniziale concepimento, per la pervicace ricerca di soluzioni nuove, atte a rispondere alle peculiari esigenze del Committente. Ancor più rara è la realizzazione di un'opera che, oltre a definire una metodologia operativa rivoluzionaria, al contempo fornisca nuove possibilità a chi deve pianificare il potenziamento di infrastrutture in sotterraneo inserite in contesti territoriali molto complessi. Questo articolo vuole raccontare la storia dell'ampliamento in sede di una galleria autostradale a due fornici, la galleria Nazzano, realizzato, senza interrompere il traffico veicolare in transito nella galleria, tra il 2003 e il 2007, attraverso molte vicissitudini spesso non correlate agli aspetti tecnici ed operativi dell'opera stessa, grazie a una metodologia originale ideata dal Prof. Pietro Lunardi a metà degli anni 1990.

1. L'ideazione del sistema di ampliamento in sede

L'esigenza di individuare un sistema di ampliamento in sede di una sezione stradale in galleria, che consentisse di mantenere il traffico in esercizio, nacque all'inizio degli anni 1990, nell'ambito degli studi per il potenziamento dell'autostrada A1 Milano-Napoli, nel tratto di circa 40 Km tra Orte e Fiano Romano, presso Roma (figura 1).

Nel tratto autostradale in questione, infatti, era presente una galleria naturale a due fornici, di lunghezza pari a 337 m, ubicata in corrispondenza del comune di Nazzano. Al momento di definire le modalità di superamento di questo punto singolare ci si dovette confrontare con alcuni vincoli ineludibili che riducevano le possibilità di scelta progettuale.

In primo luogo non era possibile, in con-

siderazione dei volumi di traffico già presenti, pensare di chiudere, seppur temporaneamente, una carreggiata dell'autostrada in esercizio deviandone il traffico su quella adiacente

D'altra parte, la situazione esistente rendeva oltremodo problematico solo pensare di realizzare una variante di tracciato, poiché tale circostanza avrebbe richiesto di scavare almeno un terzo fornice da adibire al transito veicolare, con importanti variazioni di tracciato dell'Autostrada

proprio a ridosso della Riserva Naturale Tevere-Farfa, (figura 2).

L'unica strada percorribile era quindi quella di trovare un sistema per potenziare la capacità della galleria esistente ampliandola in sede, senza però interromperne l'esercizio, in modo da potervi ospitare una carreggiata allargata a tre corsie + corsia di emergenza per ogni senso di marcia (sagoma stradale netta di 14 m di larghezza per 4,5 m di altezza).

La sfida che attendeva i progettisti non era quindi semplice: occorreva individuare un sistema costruttivo che consentisse di ese-



Fig. 1 – Localizzazione del sito.



Fig. 2 – Il tracciato Autostradale in corrispondenza dell'abitato di Nazzano e della Riserva Naturale.

guire le lavorazioni necessarie per potenziare la capacità di una galleria esistente, garantendo, da un lato, il mantenimento, anche in corso d'opera, del livello di servizio dell'infrastruttura e, dall'altro lato, la totale sicurezza per gli utenti, che avrebbero dovuto transitare, a tutti gli effetti, attraverso il cantiere di una complessa opera in sotterraneo in fase di costruzione.

L'idea progettuale per la risoluzione delle difficoltà di un progetto di questo genere fu perfezionata e messa a punto dal Prof. Pietro Lunardi durante la realizzazione, allora in atto, della stazione sotterranea a volta unica Baldo degli Ubaldi, afferente al prolungamento della linea A della Metro-

politana di Roma tra Ottaviano e Battistini (progetto Rocksoil S.p.A.). In particolare, il sistema costruttivo adottato per lo scavo di calotta della galleria (circa 20,5 m di larghezza per 9 m d'altezza) si caratterizzava per due importanti novità:

- da un lato, la pratica del preconsolidamento del nucleo-fronte con elementi strutturali di vetroresina in accoppiamento con la tecnologia del pretaglio meccanico e del rivestimento a "volta attiva";
- dall'altro lato, l'estrema industrializzazione delle lavorazioni ottenuta attraverso una spinta meccanizzazione delle operazioni.

Per quanto riguarda il primo punto, è utile chiarire che quando si parla di "volta

attiva" s'intende un rivestimento che produce un'azione immediata di contenimento al terreno circostante, senza attendere che questo, deformandosi, inizi a spingere sull'estradosso. Un tale rivestimento è costituito dall'assemblaggio di un arco di conci prefabbricati di c.a. (figura 4), che è reso immediatamente portante attraverso l'azione di due martinetti piatti contrapposti, inseriti nel concio di chiave, con cui viene applicata artificialmente all'arco la sollecitazione di compressione assiale necessaria a contrastare opportunamente i carichi applicati.

Riguardo invece al secondo punto, occorre spiegare che, per fondere tutte le suddette tecnologie in un sistema costruttivo unico, altamente efficiente, era stata realizzata e resa operativa un'apposita macchina (figura 4), costituita da un grande portale metallico, geometricamente rispondente al profilo di calotta della galleria di stazione, appoggiato, all'interno delle gallerie di piedritto, tramite stabilizzatori posti su longheroni, in modo da consentirne la traslazione longitudinale. Sul portale, oltre all'attrezzatura necessaria per l'esecuzione dei gusci di pretaglio meccanico, era montata anche quella che serviva per la movimentazione e il montaggio dei conci prefabbricati del rivestimento definitivo a "volta attiva".

Grazie all'impiego di tale macchina e delle attrezzature accessorie, si poteva osservare che, durante le operazioni di costruzione della volta, il volume costituente lo strozzo della futura galleria di stazione, per una sezione trasversale paragonabile a quella

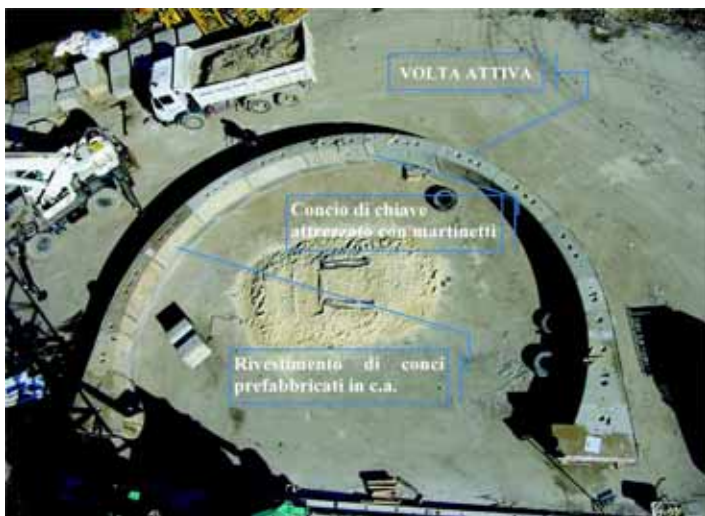


Fig. 3 – Rivestimento a "volta attiva" assemblato fuori opera.



Fig. 4 – Stazione Baldo degli Ubaldi (progetto Rocksoil S.p.A.): la macchina multifunzione per pretaglio e posa conci.

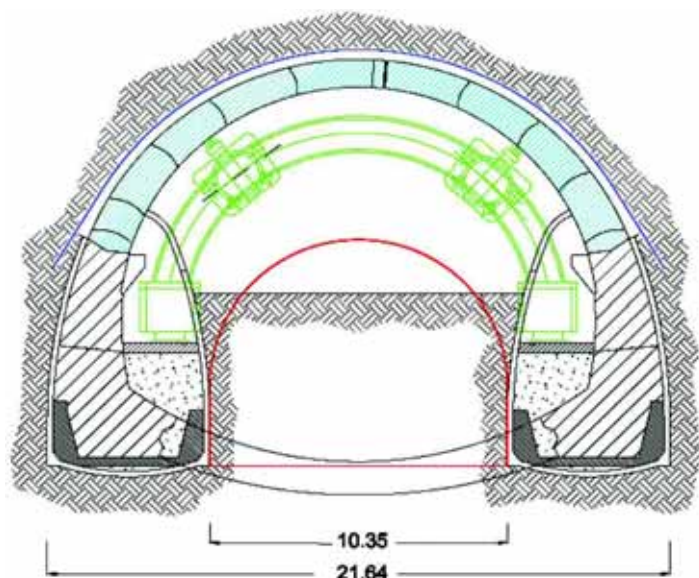


Fig. 5 – Galleria di stazione "Baldo degli Ubaldi" (progetto Rocksoil S.p.A.): in rosso il volume di strozzo non interessato dalle operazioni costruttive.

di una normale galleria autostradale o ferroviaria, non era minimamente interessato dalle operazioni costruttive (figura 5), che avrebbero potuto svolgersi in maniera del tutto analoga all'estradosso di una galleria già esistente al fine di allargarla senza necessità di chiuderla al traffico, a patto naturalmente di attuare appropriate misure di sicurezza a salvaguardia degli utenti. Dallo studio del progetto e della realizzazione della Stazione Baldo degli Ubaldi della metropolitana di Roma emergeva dunque con chiarezza che le tecnologie per realizzare l'ampliamento di una galleria mantenendone l'esercizio, almeno in termini di preconsolidamento e rivestimento del cavo di prima fase e definitivo, erano disponibili. Rimaneva l'esigenza di trovare un idoneo sistema di protezione degli utenti in transito sulla sede autostradale, al di sotto del cantiere di ampliamento. Questo doveva principalmente separare il cantiere dal traffico per proteggere, nella sostanza, sia gli utenti in transito dalle interferenze con le lavorazioni sia le maestranze ed i mezzi di cantiere che avrebbero operato in adiacenza ad una sede stradale ad alto scorrimento, con gli evidenti problemi di sicurezza tipici delle lavorazioni "su strada".

A tale scopo si pensò di predisporre un controtunnel di acciaio di circa 60 m, denominato "Scudo di Protezione del Traffico", posto all'interno della galleria esistente e

di caratteristiche strutturali idonee. Questo sistema avrebbe garantito i requisiti prestazionali necessari per la sicurezza del traffico e delle maestranze, separando di fatto l'area dei lavori, dalla sede stradale.

Il traffico veicolare dell'Autostrada sarebbe quindi potuto scorrere al di sotto dello scudo di protezione in direzione opposta a quello dell'avanzamento dei lavori di ampliamento in modo da non produrre per gli utenti fastidiose sensazioni di restringimento del campo visivo passando dal tratto di galleria ampliata a quello ancora da ampliare.

Una volta individuati i cardini dell'idea alla base di un ampliamento in sede senza interruzione del traffico, ovvero il sistema di protezione del traffico e le tecnologie operative idonee a consentire le lavorazioni operando esclusivamente all'esterno di tale sistema di protezione, senza interferire con

il traffico, si è potuto dar corso alla progettazione vera e propria della globalità delle opere costituenti il progetto d'ampliamento del tratto autostradale interessato dalla galleria Nazzano.

2. Il primo progetto (1996-1998)

2.1. Generalità

Il lotto, afferente alla tratta Orte-Fiano Romano dell'autostrada A1 Milano-Napoli, si estende per 1200 m tra il Km 522.000 ed il Km 523+200 (figura 6) e si caratterizza per la presenza, oltreché della citata galleria, anche di opere minori tra cui due gallerie artificiali d'imbocco per ciascuna carreggiata, opere di presidio idraulico, paratie di contenimento degli scavi presso gli imbocchi, muri di sostegno, rilevati, trincee e opere ausiliarie d'accesso alle aree di lavoro (piazzi di cantiere). I lavori d'ampliamento prevedevano anche la riqualificazione dello spartitraffico tra le due carreggiate e gli impianti di illuminazione e di servizio alla gestione del traffico autostradale.

2.2. Geologia del Sito

Il terreno attraversato dalla galleria Nazzano è sostanzialmente costituito da sabbie

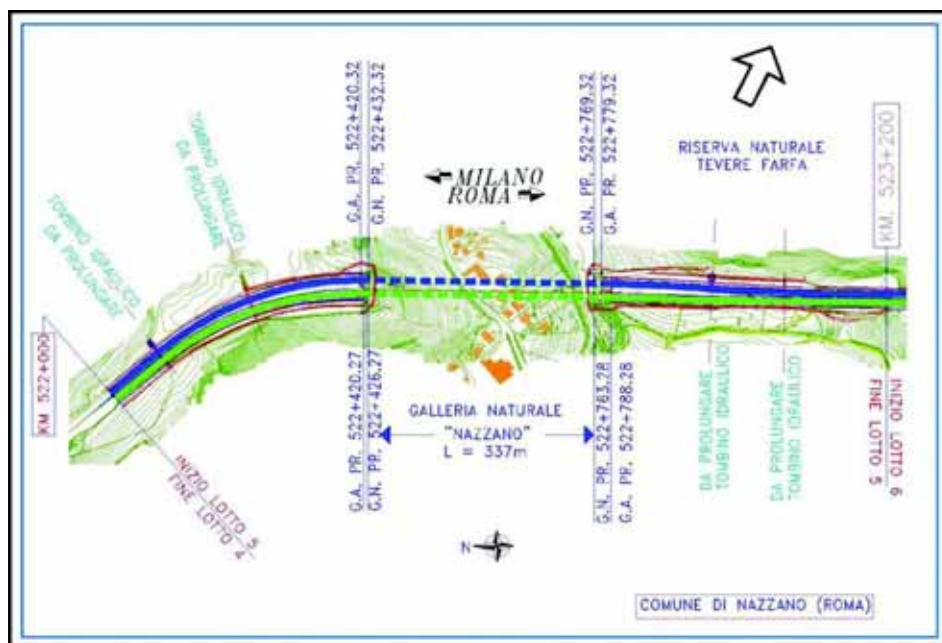


Fig. 6 – Planimetria del Lotto 5 della Tratta Orte-Fiano Romano.

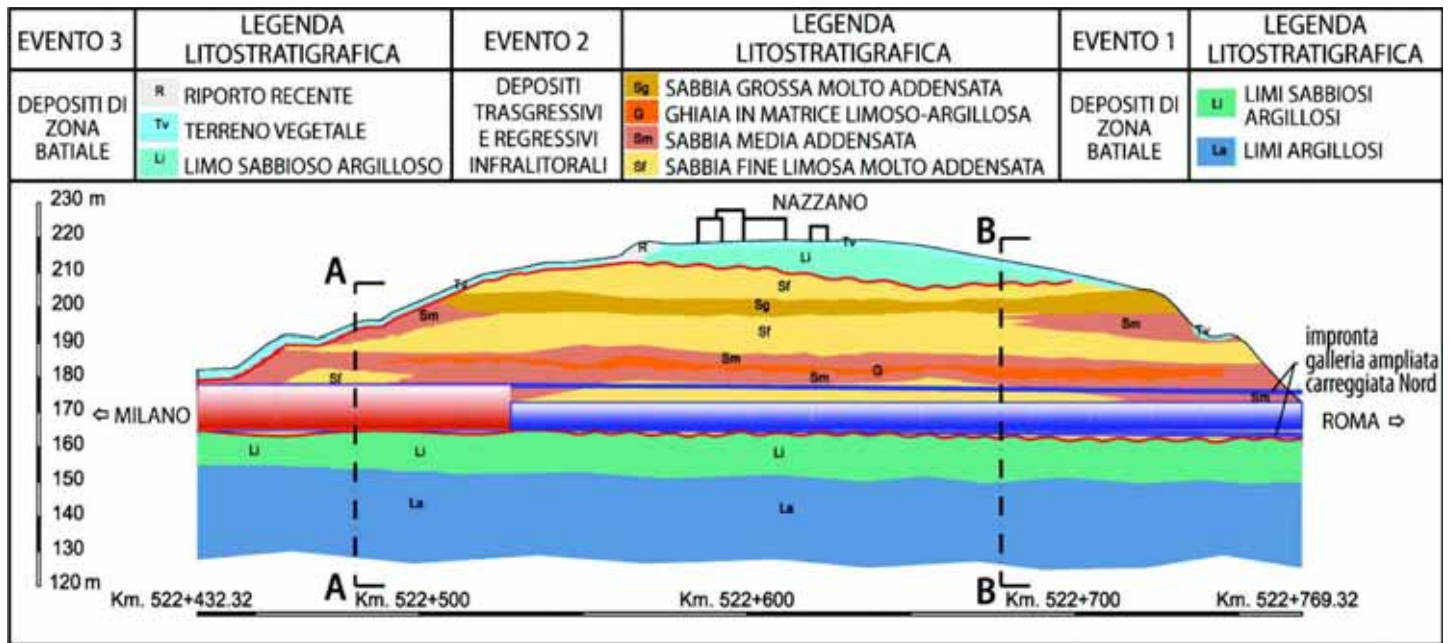


Fig. 7a – Profilo geologico di progetto.

gialle limose di origine marina, di granulometria da fine a media e stato di addensamento crescente con la profondità. Al di sotto della quota dell'arco rovescio è presente un livello di limi argillosi. Le coperture variano da pochi metri presso gli imbocchi fino ad un massimo di 45 m. La falda è localizzata, al netto delle oscillazioni stagionali, in corrispondenza del piedritto della galleria (figura 7). Dal punto di vista geotecnico la formazione sabbiosa principale si caratterizzava per valori dell'angolo di attrito superiori ai 30°

con valori massimi di 37°-38° e per una coesione di 0,02 Mpa, da correlare alla presenza della frazione limosa.

2.3. Fasistica dell'ampliamento

I lavori di ampliamento si sarebbero svolti secondo la seguente fasistica generale (figura 8). Per primo si sarebbe realizzato l'ampliamento, in presenza di traffico, di uno dei due forni della galleria (Fase 1); nella galleria ampliata si sarebbero poi deviate entrambe le correnti di traffico, in direzione

corsie di marcia e sorpasso da 3,75 a 3,25 m, si sarebbe costantemente mantenuto il livello di servizio preesistente all'avvio dei lavori, con due corsie per senso di marcia.

2.4. Descrizione delle Sezioni Tipo e del Ciclo Elementare d'Avanzamento

Per la realizzazione dell'ampliamento della galleria Nazzano, il progetto iniziale comprendeva due sezioni tipo: una sezione tipo principale, in cui era prevista l'esecuzione d'un intervento di preconsolidamento in avanzamento con la tecnologia del pretaglio meccanico ed una sezione tipo alternativa, dove l'intervento di preconsolidamento consisteva in una doppia coronella di jet-grouting in avanzamento al contorno del cavo. Quest'ultima si sarebbe potuta adottare se si fossero presentate problematiche di tenuta dell'incisione del pretaglio, possibili data la natura prevalentemente sabbiosa del terreno (figure 9 e 10).

In entrambi i casi, la sezione tipo era completata dall'installazione di un rivestimento definitivo costituito da 19 conci prefabbricati di c.a. di 1 m di lunghezza longitudinale, da assemblare entro breve distanza dal fronte di scavo (4 m).

L'avanzamento in galleria sarebbe quindi avvenuto secondo moduli ripetuti di lavorazioni elementari, definiti "cicli d'avanzamento", dove per ciclo di avanzamento s'intende

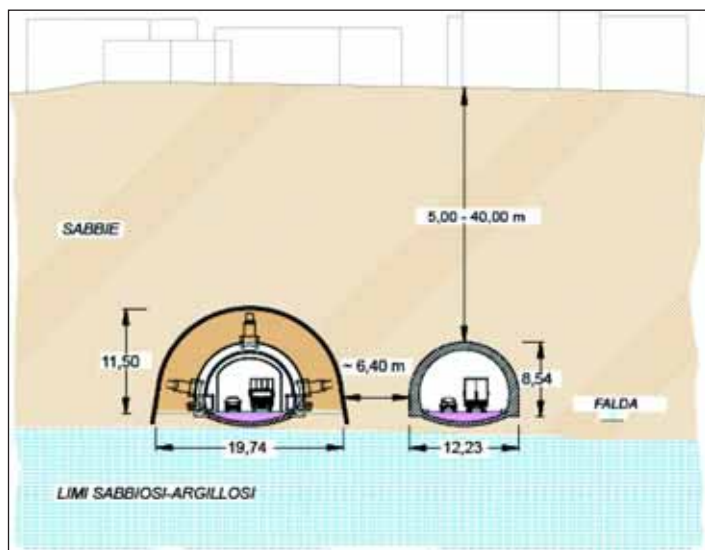


Fig. 7b – Sezione geologica trasversale.

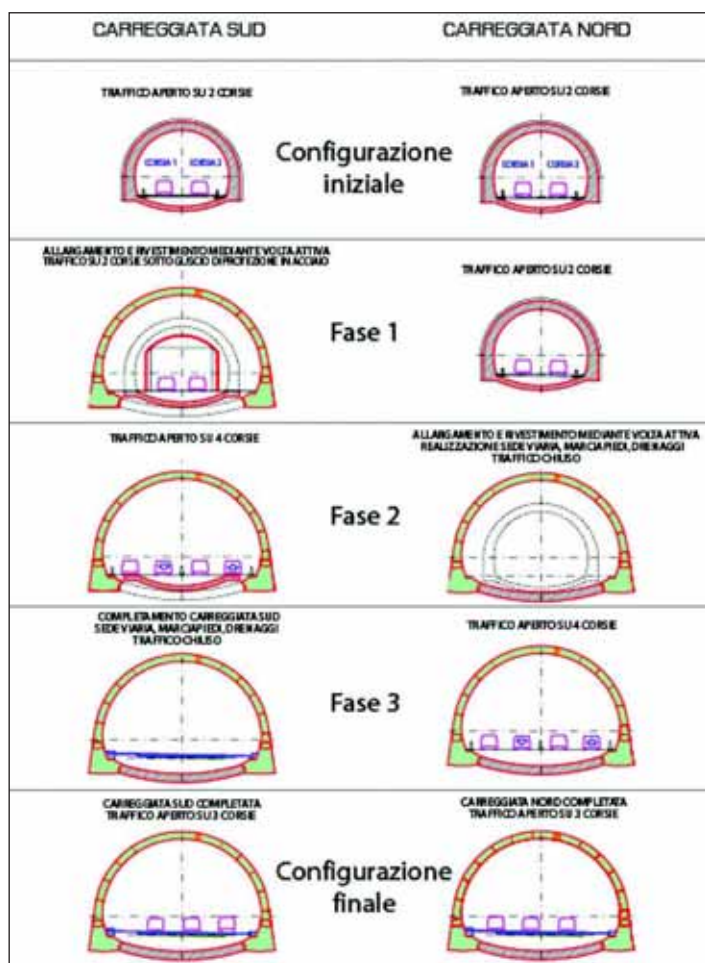


Fig. 8 – Fasi generali d'ampliamento.

la successione delle operazioni comprese tra l'esecuzione di due interventi successivi di preconsolidamento del fronte di scavo. In particolare, la successione delle lavorazioni elementari afferenti ad ogni ciclo d'avanzamento era costituita dalle seguenti operazioni (figura 11):

- 1) esecuzione del pretaglio meccanico (lunghezza 4,5 m, spessore 30 cm, sovrapposizione 1.5 m);
- 2) montaggio del primo arco di rivestimento di conci prefabbricati (lunghezza 1 m);
- 3) primo scavo d'avanzamento di 1 ml e contestuale demolizione della galleria esistente per campioni di pari ampiezza;
- 4) montaggio del secondo arco di conci (lunghezza 1 m);
- 5) secondo scavo d'avanzamento di 1 m e contestuale demolizione della galleria esistente per campioni di pari ampiezza;
- 6) montaggio del terzo arco di conci da 1 ml;

in modo da superare in sicurezza il portale della galleria esistente.

Su tale base, il progetto d'appalto veniva consegnato sul finire del 1997 per esprire la gara di appalto nella prima metà del 1998.

3. Il primo appalto (1998-2001)

Il primo appalto fu vinto da una società spagnola con un ribasso del 25% e per giustificare l'offerta presentata, valutata come anomala, questa presentò una modifica sostanziale al progetto, in pratica scartando la possibile utilizzazione del pretaglio meccanico e adottando quale unica sezione tipo quella col jet-grouting (figura 10).

Tale proposta fu accettata dal Committente che subordinava però la definitiva convalida di una tale soluzione agli esiti di un campo prove della tecnologia prescelta, da ese-

guirsi in sito dopo la consegna dei lavori, che avvenne a fine agosto 1998.

Dopo l'approntamento dei piazzali di cantiere presso gli imbocchi della galleria da allargare, in una area prospiciente una cavità naturale che insisteva sul piazzale all'imbocco sud fu realizzato il campo prove, il cui esito non fu propriamente confortante: benché le rese in termini di diametro e di resistenza delle colonne di terreno consolidato ottenute fossero conformi alle attese, si evidenziarono importanti problemi di fuga di miscela attraverso il terreno, anche a distanze non trascurabili (diversi metri). Questo fenomeno, in relazione all'applicazione della tecnologia jet-grouting nella fase 1 (ampliamento di un fornice con fornice adiacente in normale in esercizio, rendeva di fatto inapplicabile l'adozione della sezione tipo privilegiata dall'impresa, determinando la richiesta da parte del Committente di tornare alla sezione con pretaglio meccanico. Le fughe di miscela, infatti, avrebbero potuto invadere la sede stradale dell'adiacente galleria in esercizio pur rivestita, con significativi incontrollabili rischi per la sicurezza del traffico.

Mentre tra Committente e Appaltatore si discuteva per il riconoscimento degli oneri derivanti dalla non-applicabilità della tecnologia jet-grouting, i lavori proseguirono in maniera discontinua con la realizzazione delle opere esterne alla galleria. Nel gennaio 2001, al termine di estenuanti trattative, le parti addivenivano alla rescissione del contratto, con lo scudo di protezione del traffico già posizionato sulla carreggiata autostradale e con l'attrezzatura multifunzione, che avrebbe dovuto realizzare il pretaglio, lo scavo d'allargamento e la demolizione della galleria esistente, nonché la volta attiva di rivestimento, pronta all'imbocco del fornice da allargare.

Allo scavo di avanzamento di 1 m e contestuale demolizione della galleria esistente per campioni di pari lunghezza.

Con un ciclo di avanzamento così definito, la distanza tra il fronte di scavo ed il rivestimento definitivo in conci prefabbricati, parametro di fondamentale importanza sia per la statica del sistema che per la definizione degli spazi di lavoro, sarebbe variata tra i 4 m dopo l'installazione di un arco di conci ed i 5 m al termine dello scavo di avanzamento.

Infine, il progetto iniziale prevedeva di scavare i primi 5 m dall'imbocco della galleria sotto la protezione di una protesi di calcestruzzo, mentre tra Committente e Appaltatore si discuteva per il riconoscimento degli oneri derivanti dalla non-applicabilità della tecnologia jet-grouting, i lavori proseguirono in maniera discontinua con la realizzazione delle opere esterne alla galleria. Nel gennaio 2001, al termine di estenuanti trattative, le parti addivenivano alla rescissione del contratto, con lo scudo di protezione del traffico già posizionato sulla carreggiata autostradale e con l'attrezzatura multifunzione, che avrebbe dovuto realizzare il pretaglio, lo scavo d'allargamento e la demolizione della galleria esistente, nonché la volta attiva di rivestimento, pronta all'imbocco del fornice da allargare.

Alla data di rescissione del contratto erano passati ben due anni e sei mesi dalla prima consegna dei lavori senza che fosse stato eseguito un solo metro di allargamento della galleria.

4. Il secondo progetto (2001-2002)

Appena ultimate le pratiche amministrative di riconsegna delle aree e di disinstallazione degli apprestamenti già predisposti sulla

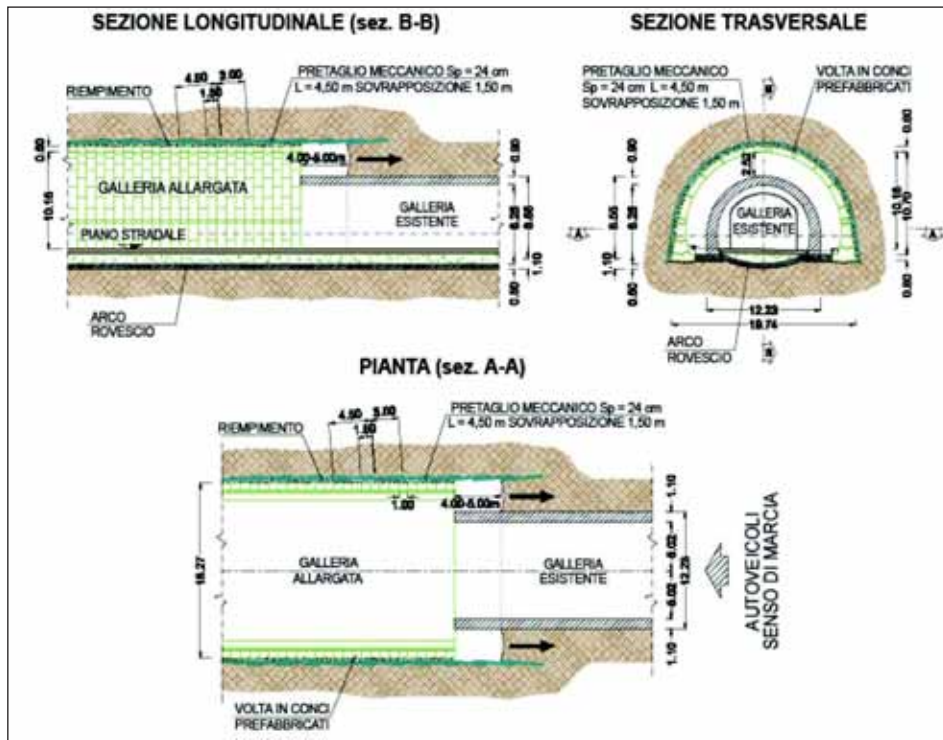


Fig. 9 – Sezione tipo con pretaglio meccanico (progetto Rocksoil S.p.A.).

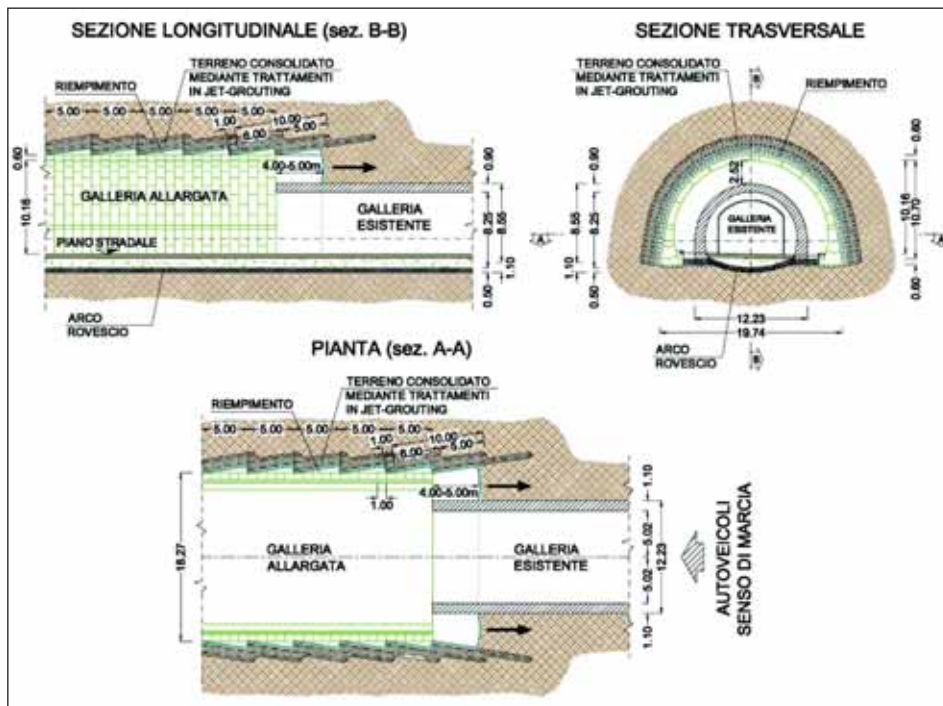


Fig. 10 – Sezione tipo con jet-grouting (progetto Rocksoil S.p.A.).

sede autostradale, si diede corso alla redazione del nuovo progetto per indire una nuova gara d'appalto. Questo doveva tener conto di quanto realizzato in termini di opere esterne e, soprat-

tutto, di quanto di rilevante ai fini progettuali era emerso nel corso del primo appalto: l'inapplicabilità della sezione tipo con jet-grouting nel contesto delle due gallerie adiacenti in esercizio e la necessità di pre-

vedere un arco rovescio tradizionale invece di semplici solettoni di collegamento all'arco rovescio della vecchia galleria allargata (figura 12).

Sempre in fase di redazione del progetto (denominato "progetto di completamento dei lavori di ampliamento alla terza corsia del lotto 5 della tratta Orte-Fiano Romano) venivano migliorati gli apprestamenti di sicurezza per la gestione delle interferenze traffico-cantiere, con l'introduzione di elementi di supporto dello scudo di protezione del traffico in calcestruzzo, inghisati al terreno, aventi il profilo lato strada conformato tipo "barriera new-jersey" e dimensionati in modo da poter resistere ad ogni tipo di urto con i veicoli leggeri o pesanti in transito.

Infine essendo ormai passati all'epoca circa 5 anni dalle prime valutazioni economiche del progetto si diede altresì corso ad una nuova stima dei lavori di completamento sulla base di prezzi più aggiornati.

Approntato nell'aprile 2001, il nuovo progetto fu approvato dalla concedente ANAS Spa nel luglio 2001. La nuova gara d'appalto con una base d'asta di circa 37.5 milioni di Euro, esperita nell'aprile 2002 con offerta su prezzi unitari, fu vinta da un raggruppamento d'impresе che aveva Cossi Costruzioni S.p.A. come mandataria. La nuova consegna dei lavori del progetto avvenne a fine luglio 2002, esattamente quattro anni dopo la prima.

5. Il secondo appalto (2002-2008)

5.1. La realizzazione della carreggiata nord: Fase Iniziale di messa a punto del sistema

Il programma lavori allegato al secondo progetto stimava in sette mesi il tempo necessario all'esecuzione dell'insieme delle operazioni propedeutiche all'ampliamento della carreggiata nord.

Nell'ambito di queste operazioni era compreso anche l'approvvigionamento dell'attrezzatura multifunzione che avrebbe eseguito le lavorazioni di avanzamento (pretaglio meccanico, volta attiva e scavo/demolizione).

La macchina predisposta dal precedente appaltatore, che stazionava ancora nell'a-

SEZIONE LONGITUDINALE

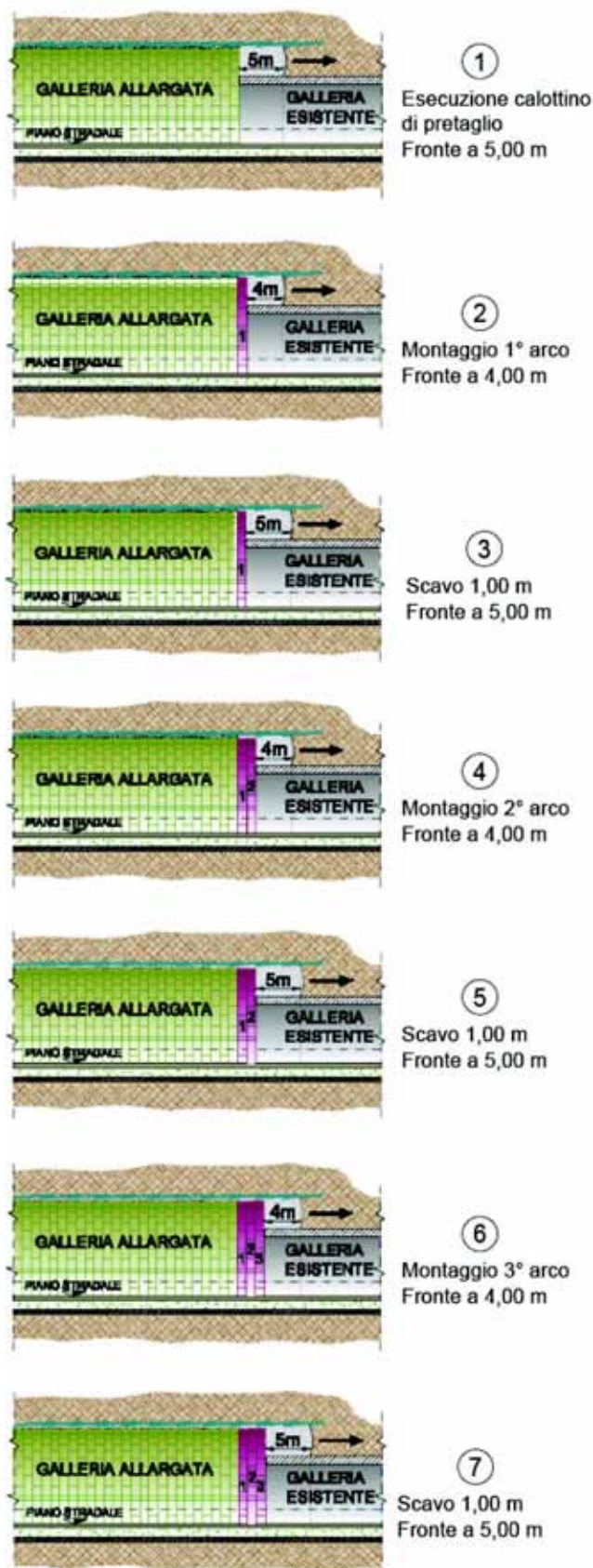


Fig. 11 – Cinematica Ciclo di Avanzamento.

rea di cantiere presso l'imbocco nord della galleria, fu acquisita dal nuovo appaltatore che eseguì le necessarie revisioni e prove a vuoto senza peraltro apportare modifiche rilevanti. Contestualmente alla revisione della macchina fu installato sulla sede stradale lo scudo di protezione del traffico sui nuovi supporti in c.a. (figura 13).

Nel gennaio 2003, ultime le operazioni di cantierizzazione, fu dato corso ai primi scavi di ampliamento. Si evidenziarono subito problemi significativi, correlati da un lato alle scadenti caratteristiche meccaniche del terreno sabbioso nella zona di imbocco, fortemente disturbato dagli scavi della precedente galleria, dall'altro ai deficit di funzionalità dell'attrezzatura multifunzione, che risultava ben lontana da una messa a punto che garantisse i requisiti prestazionali minimi in termini di capacità produttive.

Per quanto riguarda i problemi del primo tipo, durante la fase di pretaglio il terreno mostrava di non possedere la capacità minima di autosostentamento indispensabile, neanche per i pochi istanti necessari per pulire l'incisione e riempirla con spritz-beton; ciò era causa di extraprofili di scavo frequenti e inaccettabili.

Riguardo invece all'attrezzatura multifunzione, durante la fase di posa dei conci essa non riusciva a garantire la disponibilità di potenza necessaria per una movimentazione agevole e veloce degli stessi. Oltre a queste due pro-

blematiche, gravi e di non facile soluzione, fin dai primi avanzamenti emersero serie difficoltà connesse ai ridottissimi spazi a disposizione che rendevano particolarmente complesse e laboriose le operazioni di scavo, demolizione e smarino realizzate dall'attrezzatura multifunzione.

A fronte di tali problematiche, per molte delle quali non sussistevano precedenti cui far riferimento per individuare soluzioni tecniche rapide e corrette, i lavori d'allargamento della galleria avanzarono per circa 7 mesi con produzioni ridottissime (inferiori a 0,1 m/g). Si palesavano difficoltà in ogni fase lavorativa.

Alla fine del mese di agosto 2003, dopo aver scavato solo 25 m di galleria, l'Appaltatore, di concerto con il Committente, il Progettista e la Direzione Lavori, avviò una rivalutazione delle scelte operative al fine di risolvere le problematiche che si erano manifestate.

Per garantire la stabilità del fronte d'allargo e l'autosostentamento del cavo, soprattutto in fase di pretaglio, fu predisposta una campagna di preconsolidamenti con iniezioni selettive e ripetute da tubi valvolati di miscela cementizie e chimiche. L'intervento, inizialmente esteso per 25 m a monte del fronte, fu eseguito da una zona soprastante la galleria, dove era stato possibile realizzare senza eccessivi sbancamenti un'apposita piazzola d'intervento.

Contestualmente, l'Appaltatore dava corso ad una serie di pesanti revisioni e sostituzioni degli impianti dell'attrezzatura multifunzione, in modo da renderla idonea ai requisiti prestazionali richiesti soprattutto in termini di potenza installata.

Al fine poi di risolvere definitivamente il problema degli spazi ridotti durante le operazioni di scavo e smarino, veniva implementata la più importante modifica delle modalità operative: contrariamente a quanto inizialmente previsto e fatto sino ad allora, l'attrezzatura multifunzione avrebbe eseguito solo le lavorazioni inerenti alle fasi di pretaglio e assemblaggio della volta attiva. Lo scavo del fronte d'allargo, la demolizione della rivestimento della galleria esistente e lo smarino dei materiali sarebbero stati eseguiti con mezzi tradizionali, ovvero escavatori a fresa puntuale e pale meccaniche gommate. Anche la posa dei conci di piedritto della volta attiva sarebbe stata eseguita utilizzando un'autogrù e non

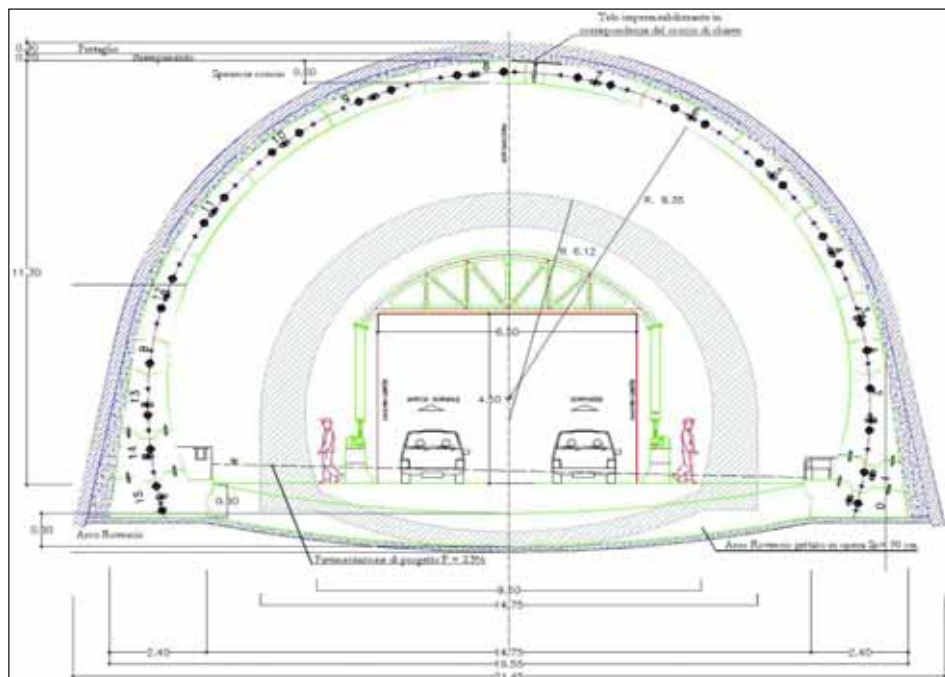


Fig. 12 - Sezione Tipo Progetto 2001 (Rocksoil S.p.A.).



Fig. 13 - Foto della cantierizzazione all'imbocco.

l'attrezzatura multifunzione, considerata la difficoltà di posa di tali conci, che per dimensioni e peso sollecitavano pesantemente gli impianti e la struttura della macchina. A questo scopo:

- fu realizzata un'apposita area di stazionamento protetta, all'esterno della galleria e a cavallo della sede stradale, ove l'at-

trezzatura multifunzione avrebbe potuto sostare durante le lavorazioni di scavo e demolizione;

- fu progettato e poi realizzato un sistema di traslazione della macchina da e verso il fronte che fosse il più rapido possibile (figura 14).
- sotto la macchina, fu infine realizzato uno

scudo semovente d'acciaio, allo scopo d'impedire la caduta di olio o altro materiale dall'attrezzatura multifunzione sulla sede stradale.

Tutto il complesso poteva traslare su binari, che sarebbero stati opportunamente prolungati a seguire l'avanzamento del fronte d'allargo con un'apposita lavorazione fuori ciclo ogni circa 24 m d'avanzamento dello stesso. La macchina avrebbe traslato sui binari fin dove possibile per poi avanzare con i propri sistemi fino al fronte.

Al fine di ottimizzare ulteriormente la produzione, il parametro distanza massima tra fronte e rivestimento definitivo fu portato da 5 m a 6,5 m, ottenendo in tal modo un significativo incremento degli spazi di lavoro, uno degli aspetti più critici del sistema.

Infine si modificò il ciclo d'avanzamento riducendo a due le fasi di scavo e di montaggio del rivestimento invece delle tre precedentemente operate (si confrontino le figure 11 e 15).

Da queste modifiche ci si aspettava di ottenere benefici significativi, grazie alla più agevole ed efficiente gestione dei lavori resa possibile dall'incremento degli spazi disponibili, dalla riduzione dei tempi morti di spostamento e piazzamento della macchina (due spostamenti e piazzamenti anziché tre) e dall'esecuzione di due fasi di spritz-beton al fronte invece di tre.

Le problematiche principali che avevano afflitto la produzione erano state quanto meno affrontate e nel marzo 2004 i lavori d'avanzamento ripresero secondo questa nuova configurazione operativa.

I risultati positivi, immediatamente tangibili, dimostrarono la correttezza delle scelte adottate.

L'avanzamento al di sotto del terreno consolidato si svolse fin da subito con tassi di produzione quintuplicati rispetto alla precedente configurazione operativa (da 0,1 m/g a 0,5 m/g).

5.2. La realizzazione della canna Nord: ottimizzazioni del progetto

Dopo poche decine di metri d'avanzamento, e dopo aver superato senza problemi per il traffico sottostante né infortuni tra le maestranze un improvviso rilascio, in zona non consolidata, di materiale sciolto di riempimento di una cavità preesistente intercetta-



Fig. 14 – L'attrezzatura multifunzione nell'area di stazionamento.

ta nel corso dell'esecuzione di un guscio di pretaglio (evento che indusse ad introdurre l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del terreno al contorno della calotta del pretaglio, che fu condotto con largo anticipo rispetto all'avanzamento dell'ampliamento mediante perforazioni radiali realizzate dalla galleria esistente, esclusivamente nelle ore notturne, a sede stradale chiusa (figura 17)), l'avanzamento d'ampliamento raggiunse finalmente produzioni costanti, vicine a 0,7 m/g.

Considerato l'esito positivo del preconsolidamento, che aveva annullato qualsiasi problematica di tenuta dell'incisione del pretaglio, nonché l'esito negativo delle indagini georadar eseguite nel tratto di galleria ancora da allargare per individuare l'eventuale presenza di cavità adiacenti alla zona del pretaglio, si decise d'introdurre un'ulteriore ottimizzazione sostituendo la lama di pretaglio di 4,5 m di lunghezza con una di 5,5 m di lunghezza, in modo da poter incrementare da 3 a 4 m la lunghezza del ciascun ciclo d'avanzamento mantenendo inalterata la sovrapposizione tra gusci successivi e la distanza massima tra il fronte e l'ultimo anello montato.

Questo permise di ottenere notevoli benefici in termini di riduzione dei tempi morti conseguenti agli spostamenti e piazzamenti dell'attrezzatura multifunzione. Infatti, poiché i tempi d'esecuzione di un guscio di pretaglio da 4,5 o da 5,5 m erano poco differenti, alla fine la produzione risultava

incrementata di quasi il 25%.

La restante parte di galleria (circa 200 m) fu portata a termine senza inconvenienti di rilievo, con produzioni variabili tra 0,7 e 0,8 m/g, in circa 9 mesi, tra febbraio e novembre 2005.

Il grafico in figura 19 riassume l'andamento delle produzioni per ciascun ciclo d'avanzamento indicando anche i tempi richiesti dalle singole lavorazioni all'interno del ciclo.

Dei sette anni e mezzo trascorsi dalla prima consegna dei lavori, solo uno era stato impiegato per completare il 75% dell'ampliamento del fornice nord.

5.3. La realizzazione della canna Sud.

La positiva conclusione dei lavori di ampliamento della canna Nord, che una volta risolte le problematiche manifestatesi nei primi 80 m d'avanzamento erano proceduti con cadenze assolutamente accettabili e regolari, indusse il Committente a procedere ad una approfondita valutazione delle modalità di avanzamento da adottare per ampliare la canna sud della galleria, nell'ottica di minimizzare il disagio degli utenti in transito

SEZIONE LONGITUDINALE

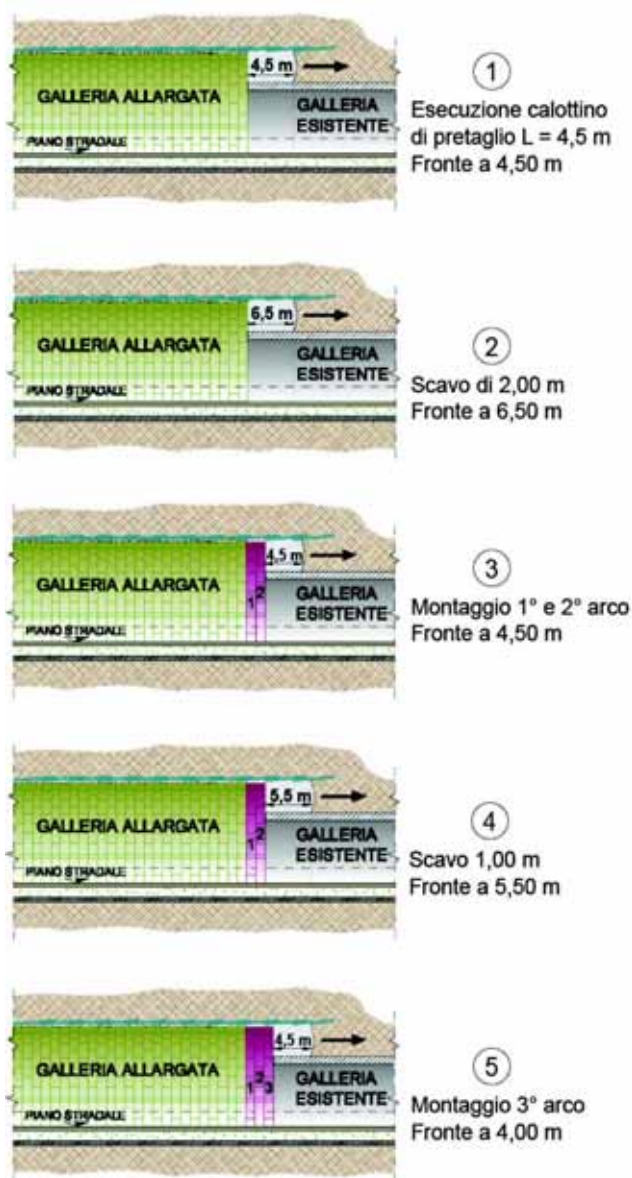


Fig. 15 – Nuova cinematica del ciclo da 3 m.

nell'unico punto della tratta autostradale Orte–Fiano Romano non ancora ampliato a 3 corsie.

L'ipotesi iniziale di allargare la seconda canna in assenza di traffico, deviandone i flussi sulle quattro corsie alloggiare nella canna già allargata, era stata formulata circa 10 anni prima, quando i volumi di traffico presenti potevano ancora essere smaltiti in questo modo senza incontrare grossi problemi.

Dopo 10 anni però la situazione era molto cambiata e la capacità di smaltimento offerta da sole quattro corsie appariva del tutto insuf-

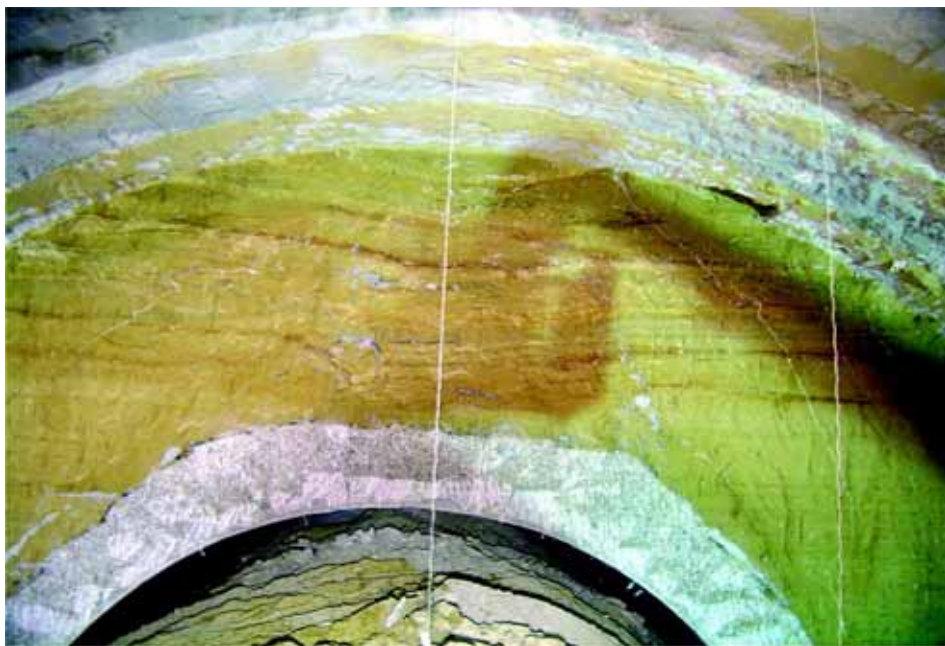


Fig. 16 – Il terreno decompresso costituente il nucleo del fronte d'allargamento della galleria Nazzano. Una delle maggiori difficoltà che s'incontrano ad allargare una galleria esistente è l'avanzamento in un materiale già allentato dallo scavo della galleria originaria da ampliare.

ficiente, soprattutto durante la stagione estiva e i grandi esodi della primavera e dell'estate. Da qui la decisione, tenuto conto della raggiunta affidabilità della metodologia di ampliamento sperimentata nella canna Nord, di applicarla anche per allargare la canna Sud, mantenendone l'esercizio. In questo modo sarebbero state sempre disponibili per la circolazione dei veicoli 4 corsie in carreggiata nord (3 in direzione Nord ed 1 in direzione Sud) e 2 corsie in

carreggiata Sud, per un totale di 3 corsie per ogni senso di marcia e una capacità di smaltimento di circa 4000 veicoli/ora per ogni direzione anziché di circa 2600-2800 veicoli/ora. La scelta di eseguire l'ampliamento della canna sud in continuità di traffico, con un notevole miglioramento funzionale della fruizione dell'opera durante la sua costruzione, fu sostanziato in una nuova perizia di variante in quanto venivano sostanzial-

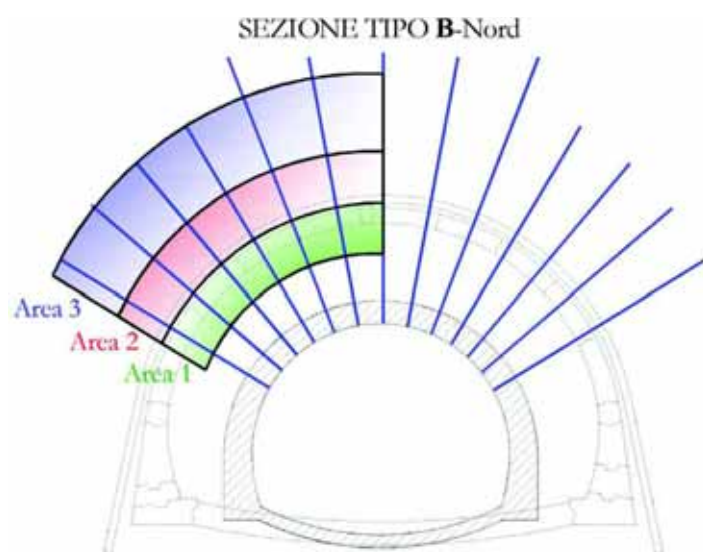


Fig. 17 – Schema intervento di consolidamento radiale.

mente modificate le originarie pattuizioni contrattuali in merito alle modalità esecutive dell'ampliamento del secondo fornice. Dopo circa 3 mesi (gennaio-marzo 2006) dedicati all'inversione delle aree di cantiere e all'installazione di presidi di sicurezza per il traffico del tutto analoghi a quelli già installati per la carreggiata nord furono intra-

presi i lavori d'ampliamento della canna sud in presenza di traffico.

L'esperienza maturata durante l'allargamento della prima canna, consentì di ottenere subito valori di produzione ancor più elevati, mediamente prossimi a 0,9 m/g con punte di circa 1 m/g (figura 20), permettendo di ultimare l'allargamento dell'intera canna nel maggio 2007, ovvero in soli 15 mesi. Il tutto senza aver arrecato significativo disturbo al traffico e anzi mantenendo sempre un buon livello di servizio.

5.4. Completamento delle due carreggiate

I lavori d'ampliamento della galleria Nazzano dovevano ancora completarsi con l'esecuzione dell'arco rovescio in entrambe le canne.

Per mantenere costantemente attive, sulla carreggiata interessata dai lavori, almeno 2 corsie, si operò attraverso una parziale longitudinalizzazione dei getti, con la conseguente adozione di manicotti di collegamento tra i ferri d'armatura, mentre la sicurezza del traffico e delle maestranze era costantemente garantita da idonei sistemi di separazione tra la sede stradale in esercizio e l'adiacente cantiere.

I lavori di getto degli archi rovesci, iniziati dapprima in canna sud e poi proseguiti nella canna Nord, si sono protratti per circa sei mesi, da giugno a dicembre 2007.

6. Distribuzione globale dei tempi di esecuzione dell'ampliamento delle due canne della galleria Nazzano

Il grafico riportato in figura 21 mostra sinteticamente la distribuzione globale delle produzioni.

Risulta del tutto evidente come il tempo di otto anni e nove mesi (tra settembre 1998 e maggio 2007), trascorso tra la prima consegna dei lavori e l'ultimazione dell'ampliamento della volta della seconda canna della galleria Nazzano:

- per il 44 % sia da addebitare alle vicissitudini del primo appalto ed alla realizzazione delle procedure necessarie all'esecuzione della seconda gara;
- per il 25 % sia da ascrivere alla messa in servizio del cantiere in canna nord do-



Fig. 18 – Galleria Nazzano: il flusso veicolare che scorre sotto lo scudo di protezione del traffico durante le lavorazioni di allargamento della galleria.

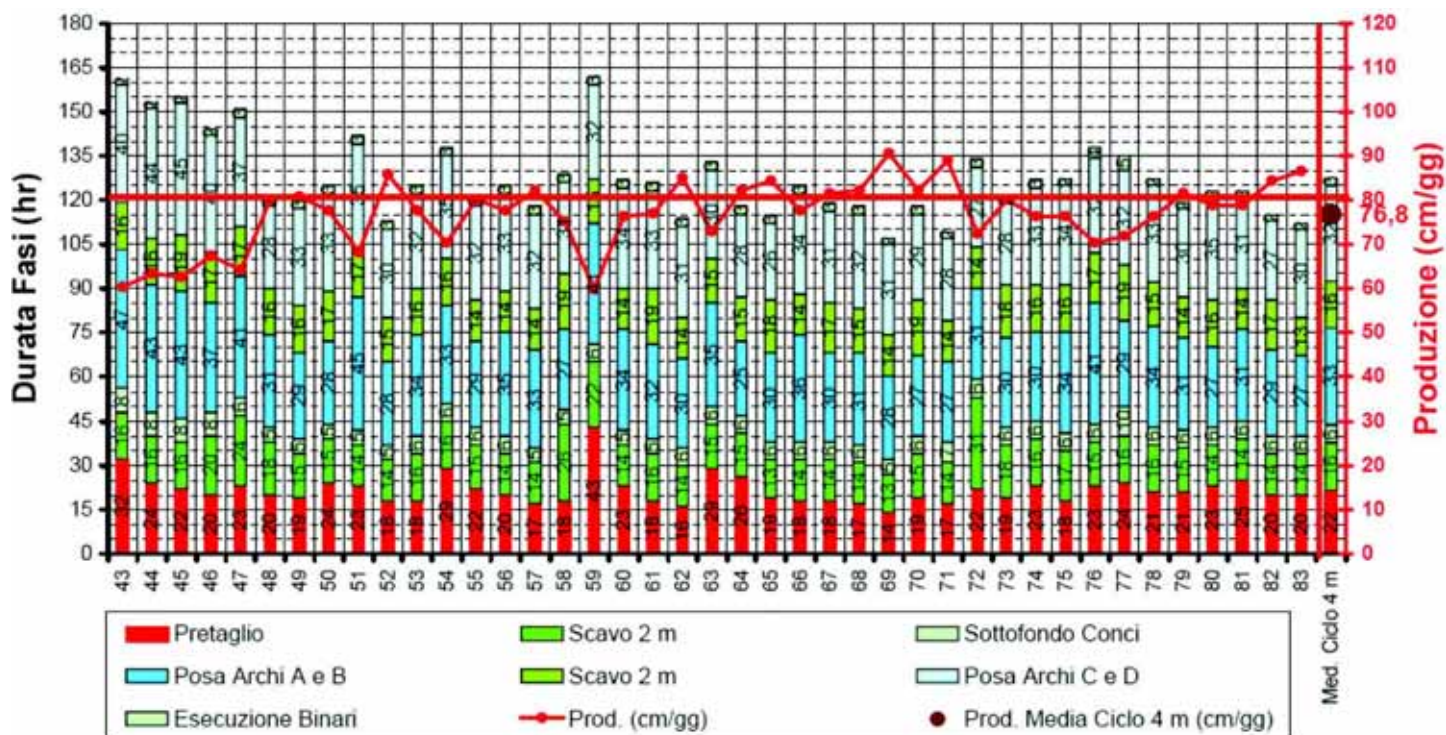


Fig. 19 – Andamento della produzione in canna Nord.

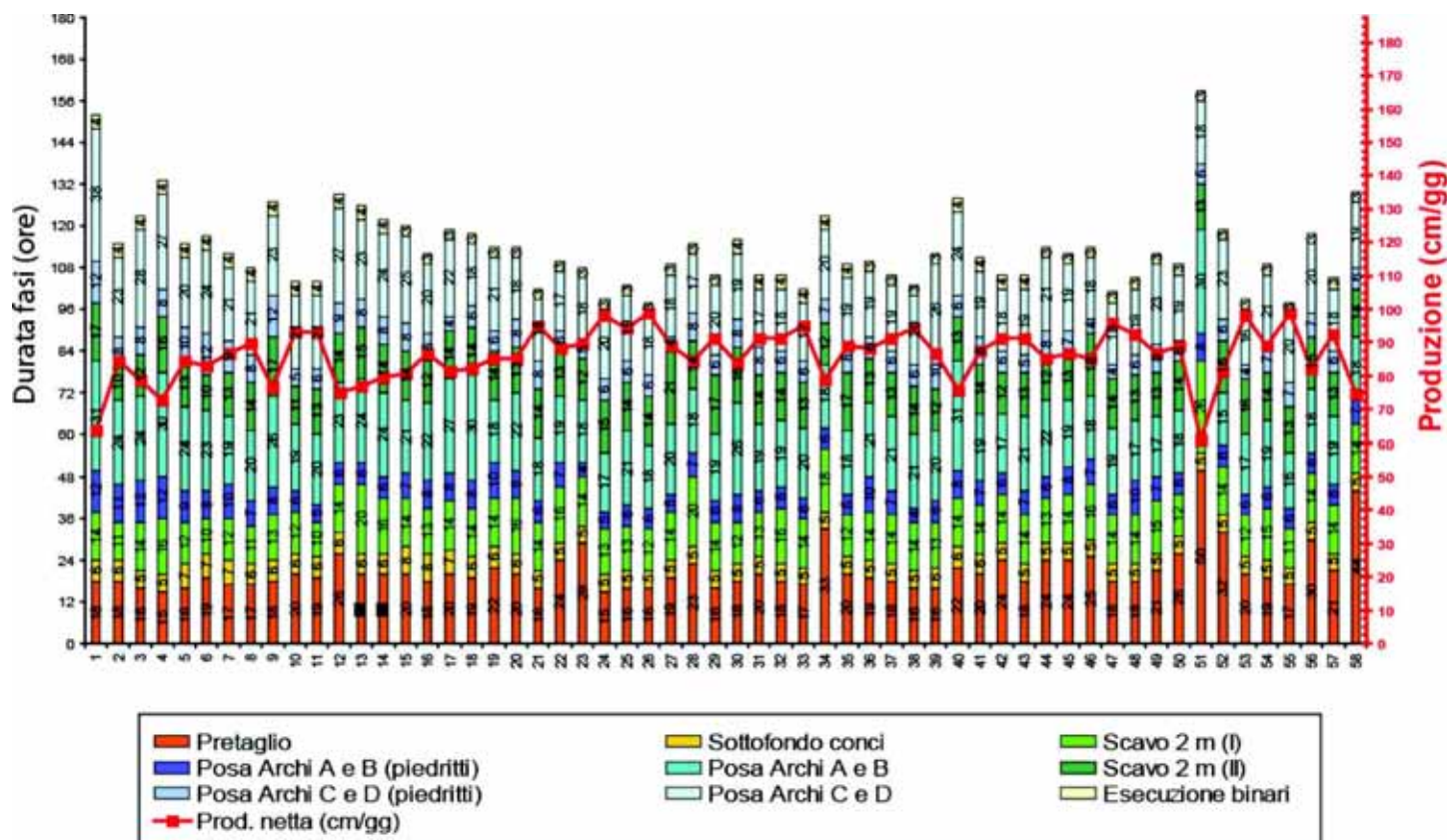


Fig. 20 – Andamento della produzione in canna Sud.

po la seconda consegna dei lavori ed alle problematiche di messa a punto del sistema per superare le difficoltà correlate alle caratteristiche del terreno e alla novità assoluta della metodologia operativa adottata;

- solo per il restante 31 % sia stato dedicato all'effettiva esecuzione degli scavi di ampliamento delle due canne autostradali.

Va sottolineato che quest'ultimo valore

comprende l'ampliamento della seconda canna eseguito in presenza di traffico, perciò in condizioni alquanto differenti da quanto inizialmente previsto, senza sacrificare il livello di servizio dell'infrastruttura durante le lavorazioni e riducendo invece, sensibilmente, i disagi all'utenza in transito.

Non esiste probabilmente testimonianza più efficace della piena affidabilità raggiunta dal metodo.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano calorosamente il Committente Autostrade per l'Italia nelle persone dell'Ing. G. Castellucci, dell'Ing. G. Tozzi, dell'Ing. F. Tolentino e dell'Ing. A. Frediani per aver contribuito in modo determinante alla risoluzione delle difficoltà incontrate in questa splendida esplorazione di nuove soluzioni tecniche.

Un ringraziamento anche all'Ing. G. Cassani, Direttore Tecnico dello Studio Rocksoil S.p.A.

Desiderano infine ringraziare l'Appaltatore Impresa Cossi Costruzioni Spa con tutto il personale impegnato a vario titolo in cantiere, tra cui si menzionano, in rappresentanza di tutte le maestranze, l'Ing. Culiaciati, il Dott. Di Gesu e il Sig. A. Figurato.

Bibliografia

LUNARDI P. *et al.* (1997) – Il pretaglio meccanico per la costruzione della volta di 21,5 m di luce della stazione "Baldo degli Ubaldi" Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 53.

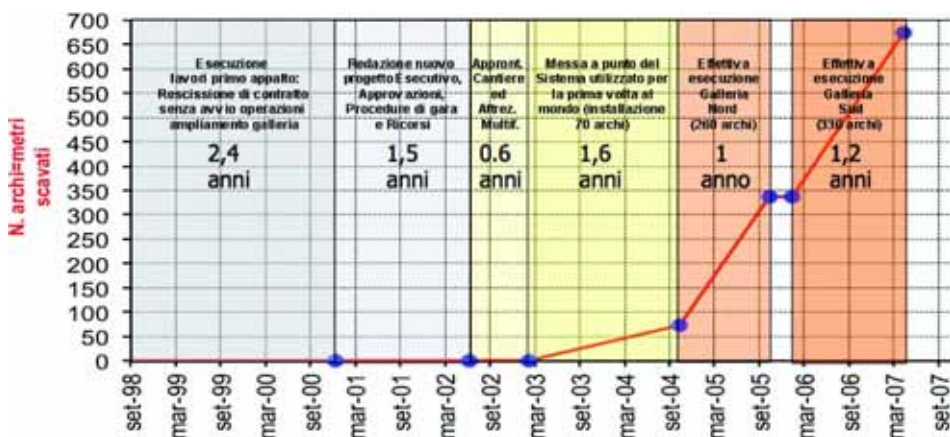


Fig. 21 – Andamento nel tempo della produzione globale.

- LUNARDI P. (1999) – Construction des stations de grandes portées pour métro, ETH-Tunnelbau-Symposium 99, Zurigo, 18 marzo 1999.
- LUNARDI P. (1999) – Une méthode de construction innovante pour élargir les tunnels routiers, autoroutiers et ferroviaires sans interrompre la circulation; son application au tunnel de Nazzano sur l'autoroute A1 Milan-Naples, Atti della Conferenza su "Instandsetzung von Tunneln" - Olten, 21 Ottobre 1999.
- LUNARDI P. (2000) – The construction of large-span stations for underground railways, Tunnel, n. 8 (dicembre), anno 2000.
- LUNARDI P., CALCERANO G. (2001) – A new construction method for widening highway and railway tunnels, Atti del Congresso Internazionale su "Progress in Tunnelling after 2000", Milano, 10 ÷ 13 giugno 2001.
- LUNARDI P. (2003) – Un metodo costruttivo innovativo per allargare gallerie stradali, autostradali o ferroviarie senza interrompere il traffico: l'applicazione alla galleria Nazzano sull'autostrada A1 Milano-Napoli, Strade & Autostrade, n. 2.
- LUNARDI P. (2003) – Widening the road at Nazzano, Tunnels & Tunnelling International, Luglio.
- LUNARDI P., LUNARDI G., CASSANI G. (2007) – Widening the Nazzano motorway tunnel from two to three lanes + an emergency lane without interrupting traffic, Atti del convegno Internazionale su "Tunnels, drivers of change", Madrid, 5-7 Novembre 2007.
- LUNARDI P. (2007) – Progetto e costruzione di gallerie-Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (ADECO-RS), Ed. HO-EPLI, 575 pagine.
- TOLENTINO F., FREDIANI A. (2007) – Ampliamento della galleria di Nazzano senza interruzione del traffico, Strade & Autostrade, n. 4.
- TOLENTINO F. (2008) – Le gallerie nel progetto di ampliamento a 3 corsie dell'A14 da Rimini a Pedaso, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n. 2, aprile-giugno.

The Nazzano method: past and future. – The history and the results of the first world use of a system to widen tunnels with traffic flowing

P. LUNARDI

Studio di progettazione Lunardi

M. CANGIANO

Direttore dei Lavori, Stone S.p.A.

A. BELFIORE

Direttore Operativo, Rocksoil S.p.A.

The "Nazzano Method" for widening road, motorway, mainline and metro rail tunnels without interrupting traffic was used for the first time in the world to widen the Nazzano twin bore tunnel from two to four lanes (including the emergency hard shoulder) in each direction. The tunnel is 337 m. in length, located in the municipality of Nazzano on the Milan-Rome A1 motorway. From a geological viewpoint, the tunnel runs through sandy and silty-clayey soils of

the plio-pleistocene series. The water table is located at the level of the side walls of the tunnel and the overburdens range from a few metres to a maximum depth of 45 m. The inspiration for the method came to the author during the work performed for the construction of the "Baldo degli Ubaldi" single vault underground station on line A of the Rome metro. The construction system adopted to excavate the crown (approximately 20.5 m. wide and 9 m. high) employed advance reinforcement of the face-core with fibre glass structural elements combined with mechanical precutting technology and an "active arch" lining, while the work cycles were extremely industrialised by employing high degrees of mechanisation. Finally, in order to mould all these technologies into a single and highly efficient construction system, a dedicated machine

was constructed and put into service consisting of a large steel portal with a geometry designed to fit the profile of the crown of the station tunnel. It rested on stabilisers set on longitudinal beams installed in the side-drifts excavated for the side walls of the tunnel in order to allow it to traverse longitudinally. In addition to the equipment needed to perform the mechanical precutting, the equipment for handling and erecting the prefabricated concrete segments of the final "active arch" lining was also installed in the portal.

As a result of the use of that machine and the accessory equipment, the volume of ground below the springline of the tunnel, with a cross section similar to that of a normal motorway or mainline rail tunnel was not affected to the slightest extent by the construction operations. It therefore cle-

arly emerged from that observation, that the technology existed to widen a tunnel while it remained in service, at least in terms of advance ground improvement and reinforcement and the placing of the preliminary and final linings. All that needed to be found was an appropriate system to protect traffic travelling on the motorway below, under the construction site.

To achieve this, a steel tunnel shield was constructed approximately 60 m. in length, termed a "Traffic Protection Shield" placed inside the existing tunnel with an appropriate structural design. This system would guarantee the performance needed for the safety of traffic and construction workers, by separating the working areas from the road area.

Initial design and first contract

The initial design for the enlargement of the Nazzano tunnel included two tunnel section types: a principal type with advance ground reinforcement using mechanical precutting technology and an alternative section type consisting of a double ring of jet-grouting in advance around the cavity. The latter could be employed if problems arose with the integrity of the precut, given the predominantly sandy nature of the ground.

On that basis the project was put out to tender in 1998 and the contract was awarded to a Spanish firm with a bid at a 25% discount. In order to justify that discount the contractor had presented a major modification to the design, which in practice discarded the option of using mechanical precutting in favour of a single section type using jet-grouting. The client accepted that proposal, but subject to field tests of the proposed technology, to be performed on site after handover of the site for the project. Unfortunately the result of the field tests was negative, which caused the client to request the use of the tunnel section type with mechanical precutting technology. After lengthy negotiations the parties agreed to withdraw from the contract without a single metre of the tunnel having been widened.

Second contract

The works to enlarge the Nazzano Tunnel were put out to tender a second time in July 2002, after a new design was drawn up to take account of external work already completed and above all of what had emerged during the first contract. The winner of the new contract was a group of companies led by Cossi Costruzioni S.p.A.

Once the construction site had been prepared, the first excavation work to widen the tunnel commenced in January 2003, but significant problems immediately arose, attributable mainly to the underpowering of the multifunctional equipment and the operating space which was too restricted. After in-depth reconsideration of the operating methods and a substantial overhaul of the multifunctional equipment, work resumed in March 2004 with improvements which were seen immediately: production now stood constantly at greater than an average of 0.5 metres of finished tunnel per day. A further modification which increased the length of the precutting blade of the multifunctional equipment from 4.5 m. to 5.5 m. then made it possible to raise average daily production to 0.8 m/d of finished tunnel. Enlargement of the north bore of the tunnel was completed in November 2005: of the seven and a half years that had lapsed since the works first began, only one was actually spent on the completion of 75% of the work to widen the north bore.

Construction of the south bore

Now that it had been seen that the methodology tried out on the enlargement of north bore was reliable, it was decided to apply those same methods to the south bore, in order to widen it while maintaining it in service.

Experience acquired during the widening of the first bore was used to immediately achieve even faster average production rates of close to 0,9 m/d with peaks of around one metre per day, which enabled widening of the entire bore to be completed by May 2007, or in other words in just 15 months,

while constantly maintaining the motorway in service at a high level.

Completion of the two carriageways

The work to enlarge the Nazzano Tunnel still had to be completed by placing the tunnel invert in both bores.

In order to maintain at least two lanes open to traffic on the carriageway affected by the works, concrete was poured in longitudinal sections with the consequent adoption of connecting sleeves between reinforcement rods, while the safety of traffic and site workers was constantly guaranteed by appropriate methods to separate the in-service road area from the adjacent construction site. The work to cast the tunnel inverts, which first began in the south bore and then continued in the north bore, lasted for around six months from June until December of 2007.

Final considerations

On completion of the project it can be seen that the period of eight years and nine months (between September 1998 and May 2007), which lapsed between the initial commencement of the works and the completion of the enlargement of the second bore of the Nazzano Tunnel was spent as follows:

- 44% on the difficulties of the first tender and the formulation of the procedures necessary for the second tender;
- 25% on preparation of the construction site for the north bore after the second handover of the site and problems with the fine tuning of the construction systems to overcome difficulties related to the characteristics of the ground and the first time ever use of the operating methodology;
- only 31% of the remaining time was spent on actual excavation to widen the two bores of the motorway tunnel.

There is probably no evidence more valid than this of the one hundred percent reliability of the "Nazzano Method".