

Superamento di uno strato sabbioso sulla Ancona-Bari

Gli aspetti progettuali e costruttivi del superamento di un corpo sabbioso acquifero, incontrato durante lo scavo della galleria San Giovanni, lungo la nuova linea ferroviaria Ancona-Bari che abbandonando il tracciato litoraneo si inoltra all'interno, attraverso i primi contrafforti Appenninici.

Pietro Lunardi, Alessandro Focaracci



1

Per il potenziamento della linea ferroviaria Ancona-Bari, le Ferrovie dello Stato, a fronte delle gravi soggezioni morfologiche cui è sottoposto l'attuale tracciato litoraneo nel tratto Ortona-Casalbordino, anziché procedere al raddoppio in sede dello stesso, hanno preferito abbandonare la fascia costiera, troppo soggetta a fenomeni d'instabilità dei versanti e d'erosione marina, e progettare un nuovo tracciato.

La nuova linea, completamente in variante, si snoda assai più all'interno, interessando i primi contrafforti appenninici; poiché le quote di progetto sono comprese tra 6 e 20 metri sul livello del mare, conformemente al tracciato già esistente, mentre la quota del piano campagna mediamente oscilla tra 90 e 130 metri, ne consegue che il 70 per cento del percorso (circa 18,6 chilometri) si sviluppa in sotterraneo.

In particolare, il progetto (redatto all'inizio degli anni Ottanta), prevede la costruzione di quattro gallerie: la "Moro", lunga 2.060,5 metri, dalla progressiva 2+274,5 alla progressiva 4+335; la "Cintioni", lunga 2.088 metri, dalla progressiva 4+844 alla progressiva 6+932; la "S. Giovanni", lunga 9.310 metri, dalla progressiva 7+615 alla progressiva 16+925; la "Diavolo", lunga 5.200 metri, dalla progressiva 18+990 alla progressiva 24+190.

LA GALLERIA SAN GIOVANNI

Fra le quattro gallerie si segnala in particolare la San Giovanni, la cui costruzione, quando già era in fase molto avanzata, ha incontrato rilevanti difficoltà nell'attraversamento di un corpo lenticolare di sabbie grigie acquifere molto fini, risultate particolarmente difficili da trattare.

La galleria - ad eccezione del tratto compreso tra i chilometri 12+855 e 13+600, dove attraversa il corpo sabbioso - si sviluppa entro un deposito pelitico-sabbioso basale, con coperture variabili tra gli 80 e i 100 metri, che scendono a pochi metri in corrispondenza delle incisioni fluviali (il letto di due fiumi che attraversano la Valle Grande e il Fosso di San Biagio).

Sopra la calotta la potenza delle peliti sabbiose si mantiene mediamente sui 20 ÷ 30 metri. Esse sono coperte a loro volta da un deposito di sabbie gialle, sede di falda acquifera, e poi da banchi di ghiaie più o meno cementate; la costanza delle coperture e la buona uniformità del deposito pelitico-sabbioso limitano, per buona parte del tracciato, la possibilità di infiltrazioni di acqua negli scavi.

Lo studio idrogeologico, nella zona delle sabbie grigie, distingue due corpi idrici principali, separati da un'orizzonte impermeabile; la falda superiore ha una quota piezometrica di circa 70 metri sul livello del mare (mediamente intorno ai 50 metri dal piano campagna, 45 metri sopra la galleria), mentre la quota piezometrica di quella più profonda si colloca intorno ai 40 metri sul livello del mare (mediamente 75 metri dal piano campagna).

La sede di quest'ultima è direttamente interessata dallo scavo della galleria, che di conseguenza risulta gravata da un carico idraulico di circa 20 + 22 metri, decrescente fino a 18 metri verso progressiva 13+830 metri.

I lavori di scavo, iniziati nel gennaio 1984 e proseguiti senza particolari inconvenienti in tutta la formazione pelitico-sabbiosa di base, hanno incontrato difficoltà eccezionali al momento di attaccare il tratto di circa 900 metri nelle sabbie grigie fini ed acquifere, che si dimostravano estremamente instabili in seguito a continui fenomeni di sifonamento e assolutamente refrattarie ai tipi di trattamento previsti dal progetto e operati dall'impresa costruttrice nel tentativo di stabilizzarle.

Si è reso quindi necessario sospendere i lavori per svolgere ulteriori indagini geognostiche e redare un nuovo progetto che tenesse conto delle singolari caratteristiche dei materiali in gioco. A questo scopo l'impresa concessionaria (la Vianini spa), affidava l'incarico di eseguire la nuova progettazione esecutiva della tratta in questione alla Rocksoil spa di Milano.

LE NUOVE INDAGINI (FASE CONOSCITIVA)

La progettazione della tratta di galleria entro il corpo lenticolare sabbioso, è stata affrontata dagli ingegneri della Rocksoil sulla base dell'approccio secondo l'Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (AdecoRs), messo a punto da Pietro Lunardi (pubblicato su riviste del settore nel 1995 e nel 1996).

In fase conoscitiva, l'approfondimento della campagna geognostica confermava l'esistenza di una stratigrafia di tipo regressivo, composta, a partire dal basso, da sedimenti pelitici grigi, sabbie gialle e, infine, ghiaie a ciotoli calcarei.

In particolare, alla quota della costruenda galleria sono presenti, come già accennato, due litotipi principali:

- un corpo acquifero lenticolare di sabbie fini e limi sabbiosi grigi (Sg), interposto tra le sabbie gialle medio fini (S) e i depositi pelitico sabbiosi (p-s) di base, estendentesi per circa 745 metri di tracciato della galleria e avente spessore massimo 26 metri;

- un deposito pelitico-sabbioso, costituito da alternanze di limi in strati medio-spessi e, in misura minore, sabbie fini per lo più in strati sottili o molto sottili, che interessa la

galleria per la restante lunghezza.

Nei tratti di galleria che si svolgono entro il suddetto deposito, la lente sabbiosa si mantiene a poca distanza sopra la calotta della stessa interessando talvolta una limitata parte della sua sezione.

Le analisi granulometriche eseguite collocavano le sabbie grigie nel fuso delle sabbie medio-fini con elevato contenuto di fine, che risulta compreso tra il 29 e il 46 per cento; all'interno di questo orizzonte si sono individuate intercalazioni di argille e limi con contenuto di sabbia compreso tra il 13 e il 49 per cento.

I depositi pelitico-sabbiosi mostravano a loro volta una composizione granulometrica assai variabile, essendo costituiti da un'alternanza di strati pelitici e sabbiosi; la maggior parte dei campioni è risultata costituita da limi argillosi e, subordinatamente, da sabbie fini limose.

Dai risultati delle prove di taglio diretto, eseguite sui campioni prelevati, si sono ricavati i seguenti valori indicativi:

- $c = 0,015$ MPa e $\phi = 29^\circ$ per le sabbie fini e i limi sabbiosi grigi;

- $c' = 0,004$ MPa e $\phi = 28^\circ$ per i depositi pelitico sabbiosi.

Oltre alle prove di taglio diretto sono state eseguite prove triassiali U.U. che, mediamente, hanno fornito per la coesione non drenata:

$c_u = 0,173$ MPa per le sabbie fini e i limi sabbiosi;

$c_u = 0,147$ MPa per i depositi pelitico-sabbiosi.

Le prove di permeabilità e di emungimento eseguite nel corpo acquifero hanno evidenziato una permeabilità media $k = 3,5 \times 10^{-4}$ cm/sec; la velocità della falda, ben alimentata, è risultata dell'ordine di $0,02 \div 0,04$ m/giorno con portata complessiva $Q = 0,7$ l/sec.

Val la pena sottolineare come durante queste prove si sia sempre osservata, anche per portate modeste, un'abbondante presenza di frazione fine sospesa, indicativa di un'elevata mobilità delle particelle fini all'interno del corpo sedimentario.

PREVISIONI DI COMPORTAMENTO DEL CAVO (FASE DI DIAGNOSI)

Sulla base dei dati raccolti in fase conoscitiva, delle osservazioni compiute durante i precedenti tentativi di scavo della galleria e di semplici calcoli matematici, si sono fatte previsioni su quello che, al momento della realizzazione della stessa, sarebbe potuto essere il comportamento tenso-deformativo del fronte e del cavo in assenza d'interventi di stabilizzazione. Si è subito evidenziato come il terreno sciolto sotto falda non fosse assolutamente in grado di autosostenersi senza la preventiva creazione di effetti arco artificiali.

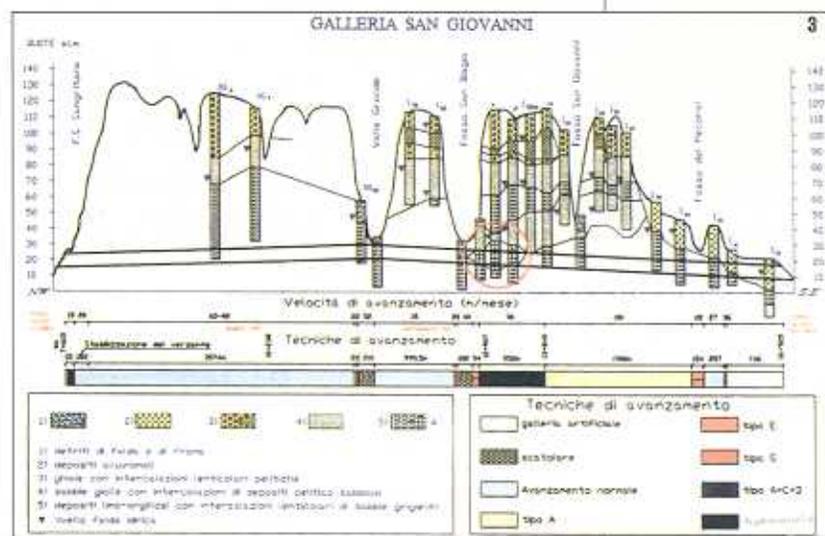
1. Veduta della galleria San Giovanni con il rivestimento di conci prefabbricati completato.

2. Tracciato della variante alla linea ferroviaria Adriatica, nel tratto Ortona-Casalbordino, con le quattro gallerie che la caratterizzano.

3. Profilo longitudinale della galleria San Giovanni.

Pietro Lunardi, studio di progettazione Lunardi, fondatore della Rocksoil spa. Alessandro Focaracci, direttore tecnico Rocksoil spa.

L'articolo è stato realizzato con la cooperazione di Claudio De Giudici della Rocksoil spa.



La pressione di corrente, generata dall'elevato gradiente idraulico esistente, infatti, avrebbe condotto assai rapidamente al crollo dello scavo.

ASPETTI PROGETTUALI (FASE DI TERAPIA)

Le problematiche da affrontare per l'attraversamento del corpo lenticolare sabbioso erano le seguenti:

- materiale da attraversare di tipo incoerente e sotto falda totalmente incapace di autosostenersi se non preventivamente ed efficacemente trattato;
- presenza di un gradiente idraulico elevato in relazione alle caratteristiche di resistenza del terreno, suscettibile di fluidificarsi per effetto di qualsiasi movimento di filtrazione verso l'interno della galleria;
- difficoltà a trattare il terreno stesso con le tecnologie correnti (iniezioni, drenaggi, jet-grouting).

A fronte di queste problematiche, era evidente la necessità di avanzare in condizioni idrostatiche; un avanzamento in condizioni idrodinamiche avrebbe potuto essere preso in considerazione solo a condizione di abbattere prima la piezometrica, mediante adatti interventi di drenaggio, fino ad una quota prossima a quella del piano di scavo, cioè tale da non comportare pericoli d'innesco di elevate pressioni di corrente.

Considerata la particolare situazione si sono prese in considerazione diverse possibili soluzioni tecniche, dimensionandone gli schemi d'intervento ed analizzando per ciascuna i vantaggi e gli svantaggi offerti, con particolare riguardo agli aspetti costruttivi, economici e di sicurezza degli scavi.

Soluzione 1: congelamento

Si è ipotizzato di impermeabilizzare e consolidare con la tecnica del congelamento una fascia di terreno circostante la galleria, in modo da poter poi scavarla in condizioni di sicurezza. A questo scopo si sono studiati due possibili schemi d'intervento.

Il primo prevedeva di realizzare fuori falda, con una fresa scudata, un cunicolo ubicato sopra la galleria da scavare, dal quale eseguire una serie perforazioni subverticali attrezzate con sonde congelatrici per formare una "capanna" di terreno congelato (spessore in calotta 5 metri) a protezione della zona da scavare; le pareti laterali del consolidamento avrebbero dovuto sempre essere prolungate per almeno 2 metri sotto la quota di fondo scavo ed intestarsi, pos-

sibilmente, nella formazione impermeabile presente proprio sotto l'arco rovescio della galleria.

Poiché questo tipo d'intervento presentava indubbiamente un punto di debolezza nella zona sottostante il piedritto, dove vi sarebbe stato sempre il pericolo di fenomeni di sifonamento, si è successivamente messo a punto un secondo schema d'intervento, che prevedeva di realizzare un anello di terreno congelato di 4 metri di spessore al contorno della galleria da scavare, mediante sonde congelatrici inserite in perforazioni orizzontali "teleguidate" a partire da pozzi intermedi.

I principali vantaggi offerti da questa soluzione erano:

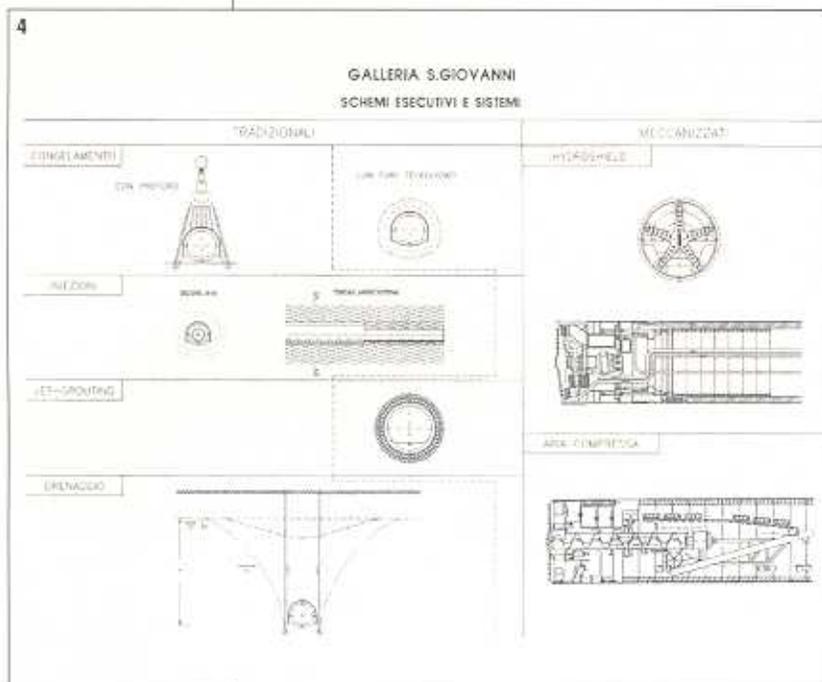
- la notevole affidabilità (si crea di fatto un tubo continuo impermeabile e resistente al contorno del futuro scavo per tutto il tempo necessario alla costruzione della galleria);
- la flessibilità della metodologia, che in fase operativa permette il continuo adattamento alle situazioni locali.

A fronte di questi vantaggi si potevano individuare anche diversi svantaggi:

- tempi e costi elevati e difficili da prevedere;
- difficoltà di scavo nelle zone di terreno congelato;
- esperienza limitata con le perforazioni teleguidate (date le distanze in gioco, ciò non avrebbe garantito di ottenere la

4. Schemi esecutivi delle soluzioni considerate per il superamento del corpo sabbioso acquifero della galleria San Giovanni.

5. Particolare della spinta dei martinetti sul contorno dell'anello di rivestimento, per l'avanzamento e la guida dello scudo.



precisione indispensabile, con il rischio conseguente di non riuscire a controllare la continuità e la tenuta delle pareti di terreno congelato).

Soluzione 2: iniezioni da cunicolo

Si è ipotizzato di realizzare, utilizzando uno scudo pressurizzato, un cunicolo di piccolo diametro (3,5 ÷ 4 metri) in asse alla galleria da scavare, da cui preconsolidare, mediante iniezioni chimiche e cementizie operate in "controavanzamento" rispetto alla direzione del susseguente allargò, un anello di terreno di 7 ÷ 8 metri di spessore al contorno di quest'ultima; avrebbe seguito l'alesatura del foro fino a raggiungere le dimensioni della galleria da realizzare.

I principali vantaggi presentati da questa soluzione erano: possibilità, attraverso lo scavo del cunicolo, di integrare le conoscenze disponibili sul terreno interessato dallo scavo della galleria; possibilità di eseguire l'allargò contemporaneamente alle iniezioni in controavanzamento.

Per contro essa presentava i seguenti svantaggi: tempi e costi elevati e poco prevedibili; scarsa affidabilità a causa della difficile iniettabilità dei terreni in gioco (il cui fuso granulometrico non comprende le curve di distribuzione granulometrica corrispondenti alle miscele chimiche e cementizie utilizzabili); attraverso le eventuali imperfezioni del trattamento avrebbero potuto innescarsi pericolosi moti di filtrazione con rifluimento di materiale all'interno della galleria sino a provocarne il crollo; possibilità d'inquinamento della falda in seguito all'indispensabile impiego di miscele chimiche.

Soluzione 3: jet-grouting suborizzontale

Si è ipotizzato di realizzare un anello chiuso di terreno consolidato di circa 1,80 metri di spessore al contorno della galleria da scavare, mediante l'esecuzione di una doppia coronella di colonne jet-grouting suborizzontali, $\phi = 1.000$ millimetri, compenstrate tra loro per circa 50 centimetri e operate mediante l'uso di perforazioni "teleguidate" a partire da pozzi intermedi.

I vantaggi di questa soluzione sarebbero stati: possibilità di avanzare contemporaneamente su due fronti; utilizzazione di una tecnologia di consolidamento ampiamente

sperimentata in terreni simili a quelli in gioco.

I principali svantaggi erano: tempi e costi elevati per la preparazione dei pozzi intermedi; incertezza sulla precisione delle perforazioni teleguidate; difficoltà di esecuzione del jet-grouting sotto un forte battente idraulico; scarsa affidabilità (l'eventuale non perfetta omogeneità del trattamento avrebbe dato luogo conseguentemente all'innescò dei pericolosi moti di filtrazione).

Soluzione 4: drenaggio

Si è ipotizzato di drenare il terreno sovrastante la galleria attraverso un sistema di dreni verticali operati dalla superficie, che dopo aver intercettato il flusso della falda sopra la galleria raggiungessero due cunicoli disposti parallelamente a questa, ma a quota inferiore, nel terreno impermeabile (Ps).

Questa soluzione avrebbe permesso di conseguire i seguenti vantaggi: realizzazione dei cunicoli in terreni relativamente facili da scavare, senza disturbare la formazione sabbiosa da attraversare con la futura galleria; dreni dalla superficie facilmente eseguibili.

Per contro, gli svantaggi erano: tempi d'esecuzione



6. Curve di distribuzione granulometrica delle sabbie fini e delle miscele chimiche e cementizie.

7. Vista del piazzale di deposito dei conci prefabbricati.

dei cunicoli lunghi e costi poco prevedibili per le difficoltà a valutare a priori la quantità di dreni necessari per abbattere la falda; incertezza sull'effettiva possibilità di abbattere significativamente l'altezza della falda; mutamenti d'equilibrio dell'ammasso (nel corso delle prove di emungimento si era evidenziata una mobilità delle particelle fini particolarmente elevata); danni importanti alle proprietà situate in superficie, sopra la galleria da realizzare; necessità di riempire completamente i cunicoli al termine della realizzazione della galleria; necessità di operare interventi integrativi in fase di costruzione della galleria per assicurare la stabilità del fronte di scavo, quali jet-grouting sub-orizzontale e/o consolidamenti del nucleo d'avanzamento mediante elementi strutturali di vetroresina.

Soluzione 5: hydroshield o scudo pressurizzato con aria compressa

Si è pensato di approfittare delle ridotte coperture presenti all'estremità nord della tratta da scavare per realizzare un pozzo dal quale introdurre uno scudo pressurizzato a piena sezione tipo hydroshield o ad aria compressa.

Mentre quest'ultima possibilità si è presto abbandonata per motivi d'igiene e sicurezza sul lavoro, l'utilizzo dell'hydroshield è apparso subito interessante in quanto avrebbe permesso di conseguire i seguenti vantaggi: tempi e costi certi e, se si fossero utilizzate attrezzature già impiegate in precedenti lavori ferroviari, entrambi ridotti; sicurezza operativa elevata in ogni fase della costruzione; rivestimento immediato del cavo a tergo del fronte di scavo con conci di c.a. prefabbricati.

Gli svantaggi sarebbero consistiti essenzialmente in: elevati oneri per il recupero e lo smaltimento dei fanghi bentonitici; perdita totale del mantello dello scudo, che sarebbe stato troppo oneroso recuperare dato che la tratta di galleria da scavare era ubicata tra le due adiacenti già rivestite.

LA SOLUZIONE ADOTTATA

A conclusione degli studi condotti, si è riconosciuta la validità tecnica e la fattibilità pratica dell'hydroshield, che sembrava offrire i minori tempi di realizzazione e le maggiori garanzie di successo; ciò anche grazie alla possibilità

che si presentava di utilizzare uno scudo, di diametro compatibile, già precedentemente utilizzato con successo per la costruzione di due gallerie ferroviarie a Roma, in terreni simili a quelli interessati dallo scavo della galleria San Giovanni.

Mediante calcoli eseguiti su modelli assialsimmetrici agli elementi finiti in campo non lineare, si sono verificate, per le possibili situazioni geomeccaniche, le condizioni di stabilità della galleria nelle diverse fasi di scavo, valutando l'entità delle pressioni di contenimento da applicare di volta in volta sul fronte di scavo.

Si è quindi progettato e verificato il rivestimento della galleria, composto da anelli di conci prefabbricati (9 per ciascun anello) per un diametro esterno di 10,44 metri e uno spessore di 0,5 metri; lo sviluppo longitudinale di ciascun anello è di 1,25 metri. I conci, che sono dotati perimetralmente di una guarnizione per la tenuta idraulica, sono stati dimensionati anche per le sollecitazioni conseguenti alle fasi transitorie di stoccaggio, trasporto e movimentazione.

Infine, per poter tenere sotto controllo il comportamento tenso-deformativo della galleria sia in fase di costruzione sia in quella di esercizio, si è prevista la messa in opera di un'adeguata strumentazione di controllo e misura consistente in:

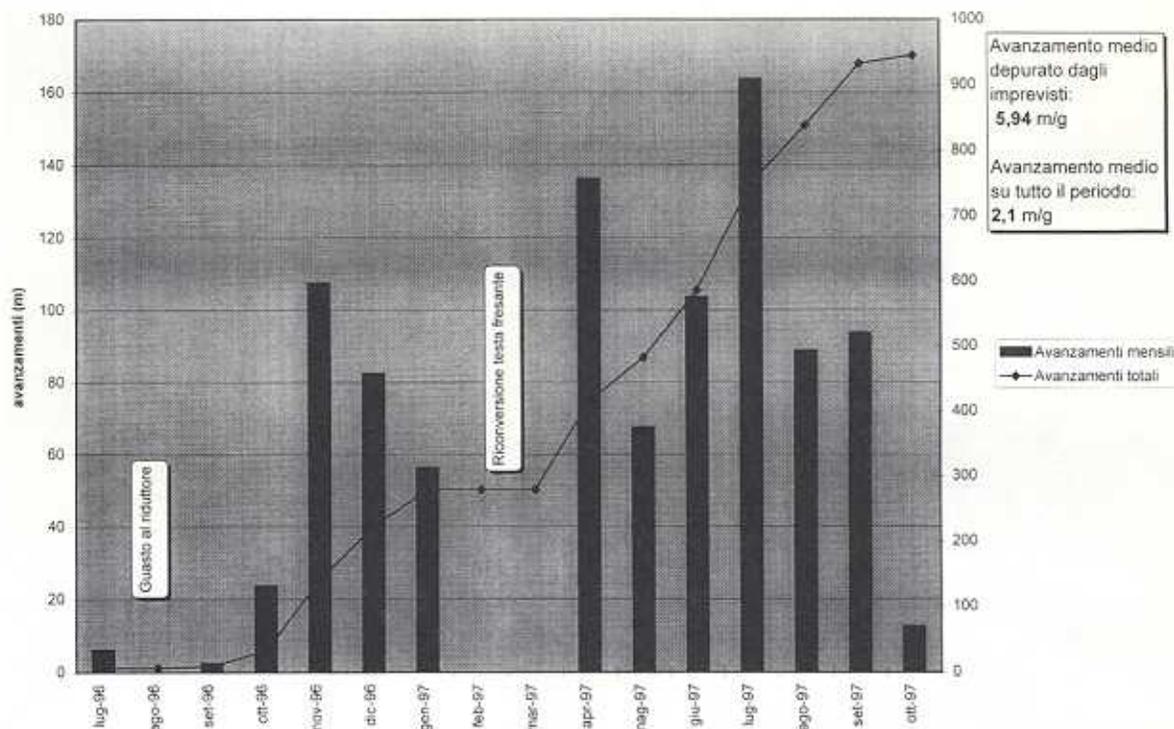
- sezioni strumentate (almeno una ogni 100 metri di galleria) con estensimetri a corda vibrante installati nei conci prefabbricati di rivestimento per misurare lo stato di sollecitazione;
- capisaldi topografici disposti in superficie per controllare le eventuali subsidenze di un'area abitata ubicata in asse al tracciato tra le progressive 13+300 e 13+600.

RISULTATI OTTENUTI IN FASE OPERATIVA E DIFFICOLTÀ INCONTRATE (FASE DI VERIFICA)

Lo scavo e il rivestimento dei 950 metri di galleria sono avvenuti in 12 mesi durante i quali la massima produzione giornaliera è stata di 11,25 m/g. La massima produzione settimanale è stata di 47,50 metri e la migliore mensile 163,75 m, entrambe raggiunte nel luglio 1997.

Nel corso dei lavori si sono dovute affrontare le problematiche qui di seguito descritte.

Galleria S. Giovanni-Avanzamenti con Hydroshield



Difficoltà di guida e ripercussioni sul rivestimento di conci prefabbricati

La spinta totale prevista per l'avanzamento dello scudo era di 6400 t, da esercitarsi con 32 martinetti distribuiti lungo l'intera conferenza tra questo e l'ultimo anello di rivestimento messo in opera (vedi foto 5).

Per motivi legati a problemi di avanzamento e guida dello scudo e per l'elevato battente idraulico, tale spinta, durante lo scavo dei primi 250 metri di galleria, superava spesso il valore previsto, arrivando mediamente a 7500 t con picchi anche maggiori. In più, tali valori venivano distribuiti asimmetricamente sul contorno dell'anello, generando tensioni, all'interno del singolo concio, prossime alla resistenza a compressione del calcestruzzo, tanto da provocare talvolta la fessurazione.

Per essere certi che la sporadica fessurazione dei conci non fosse riconducibile anche a qualche altro fattore legato alla storia subita prima della messa in opera, si è dato corso ad un'accurata indagine condotta in stabilimento sul mix-design del calcestruzzo utilizzato e sul suo comportamento reologico durante la fase d'idratazione.

In particolare, al fine di verificare dalla prima fase di maturazione del getto sino alla posa in opera del rivestimento l'evoluzione dello stato tensionale nei conci prefabbricati, sono state installate, all'interno di quelli destinati ad uno stesso anello, delle barrette estensimetriche a corda vibrante immerse nel getto.

In totale sono stati installati 16 estensimetri; nel concio tipo A1 è stato anche installato un termometro a termoresistenza in modo da poter conoscere il valore della temperatura durante ciascuna misura estensimetrica e apportare alla lettura le opportune correzioni in funzione delle dilatazioni termiche dello strumento di misura.

Al momento del getto sono stati prelevati due cubetti 15 x 15 cm per concio, da utilizzare per valutare la resistenza del calcestruzzo.

Il monitoraggio è stato organizzato come segue:

- appena ultimato il getto è stata eseguita la lettura 0;
- successivamente, ogni 4 ore venivano eseguite le letture degli estensimetri, la lettura della temperatura interna attraverso la termoresistenza e quella della temperatura esterna;
- quindi, a partire da 8 ore dopo il getto veniva eseguita una prova di resistenza a compressione semplice sui cubetti precedentemente prelevati.

Le letture 12 e 14 si riferiscono alle condizioni rispettivamente di scasso e di stoccaggio in piazzale dei conci, e sono state eseguite al fine di rilevare le deformazioni indotte nelle fasi transitorie.

In definitiva, l'esame del mix design del conglomerato ha evidenziato valori di ritiro molto bassi e uno sviluppo di calore complessivo pari a una differenza di temperatura massima di 40 ÷ 50 °C dopo circa 120 minuti.

I risultati sperimentali hanno confermato i bassi valori del ritiro: si sono registrate infatti in media contrazioni, a 48 ore, dell'ordine dei 100 microstrain mentre le temperature sviluppate durante la fase di idratazione si sono mantenute ben al di sotto di quelle previste, a causa dell'adozione di casseforme metalliche, delle dimensioni del getto e delle ridotte temperature esterne.

La quantificazione, in prima approssimazione degli sforzi di trazione indotti dal ritiro nelle strutture vincolate dalle barre d'armatura ha dimostrato come questi fossero ben al di sotto delle resistenze maturate dal calcestruzzo.

Non venendo superata la resistenza a trazione del conglomerato durante la fase di idratazione, si è potuta di conseguenza escludere la presenza di microfessure da ritiro all'interno degli elementi prefabbricati.

Anche le misure eseguite al momento dell'estrazione dalle casseforme e dopo il deposito dei conci sul piazzale

le dello stabilimento hanno dimostrato come le sollecitazioni subite dagli stessi durante le fasi di scasso e stoccaggio fossero esclusivamente di compressione e di valore inferiore a quelle di progetto.

Al contrario, le misure di tensione nei conci eseguite durante le fasi di spinta dello scudo e di montaggio dell'anello hanno evidenziato come fosse proprio la fase di spinta quella più critica per l'integrità dei conci, che in seguito risultavano sempre assai meno caricati.

Sulla base di queste evidenze, alla fine la situazione veniva risolta mettendo a frutto la possibilità offerta dalla macchina utilizzata di far avanzare la testa fresante per circa mezzo metro oltre lo scudo; attrezzando detta testa con appositi denti periferici in modo da ottenere un extrascavo di circa 30 mm e fresando il terreno prima di far avanzare lo scudo, si sono potute abbattere drasticamente le azioni trasmesse ai conci prefabbricati in fase di spinta dello stesso, migliorando anche la sua manovrabilità.

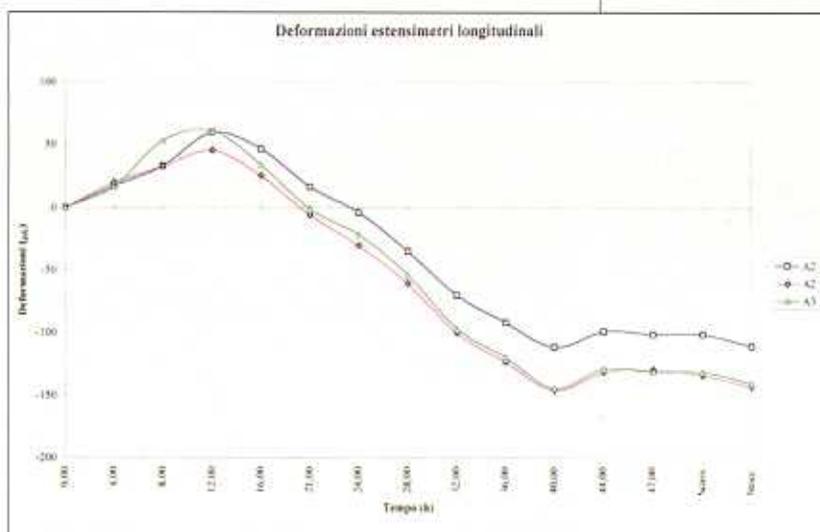
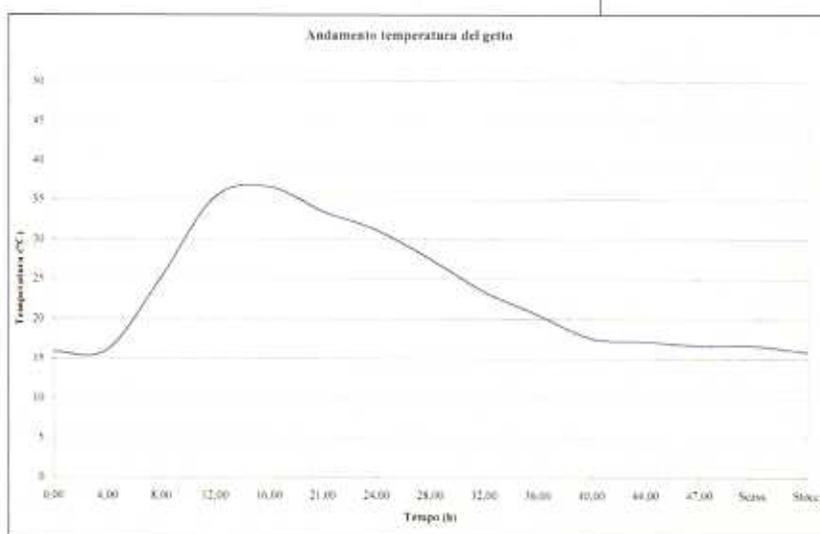
Superamento di un banco di arenaria

Benché nella tratta in esame fossero stati realizzati ben 20 sondaggi per studiare la forma e la composizione della lente sabbiosa, a questa ricerca era sfuggita la presenza di lenti d'arenaria lapidea distribuite nel corpo sabbioso.

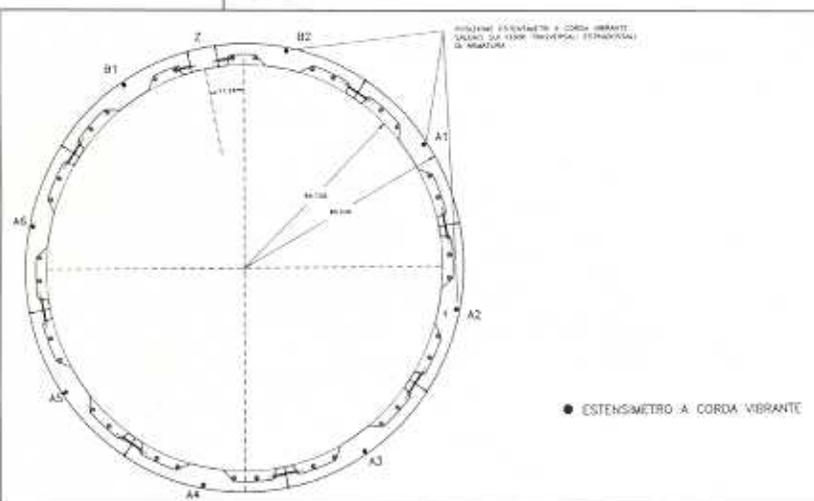
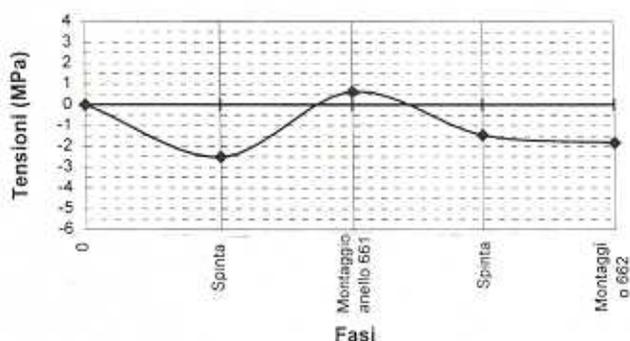
Una di queste lenti, presentatasi improvvisamente sul fronte, provocava la deformazione del tagliente dello scudo.

Si è reso di conseguenza necessario un intervento in ambiente iperbarico, durato oltre due mesi, per eseguire le indispensabili riparazioni e attrezzare la fresa con un nuovo sistema di taglienti.

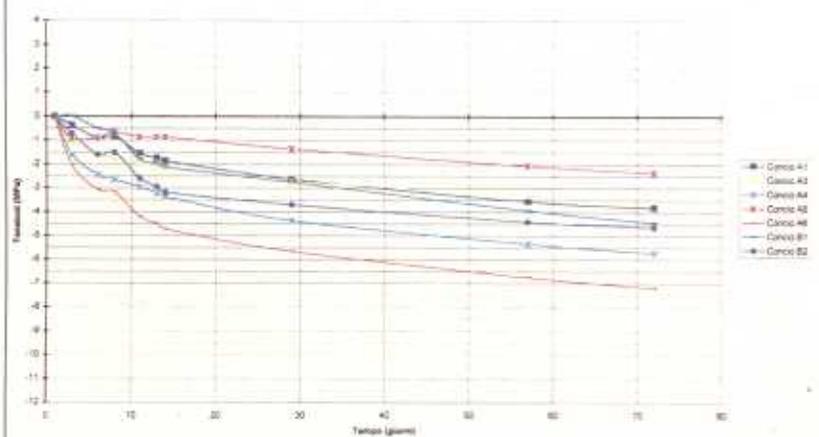
Inoltre, poiché durante un primo tentativo di supera-



Anello 660: particolare dell'andamento delle tensioni durante lo scavo e il montaggio degli anelli adiacenti negli estensimetri posizionati longitudinalmente



Anello 226: andamento delle tensioni in funzione del tempo



8. Veduta dello scudo hydroschild durante le operazioni di calo nel pozzo d'accesso alla galleria.

COMMITENZA

Ferrovie dello Stato spa (Mario Malerbi, Antonio Casale, Mario Esposito).

PROGETTO

Rocksoil spa (Pietro Lunardi, Alessandro Focaracci, Claudio De Giudici).

REALIZZAZIONE

Impresa Generale: Vianini lavori spa (Roberto Giorelli, Vincenzo Mangora).

Impresa Specializzata: Ferrofir spa (Gianfranco Prati, Cesare Umiliaco, Fabio Giannelli).

re l'ostacolo non ancora ben individuato si era provocato un profondo franamento del fronte, si è prima dovuto provvedere a riempirlo e a stabilizzarlo con miscela cementizia.

Una volta completato l'intervento d'intasamento, attraverso appositi cunicoli ricavati lungo le razze della testa frestante e comunque sempre in ambiente iperbarico, si è potuto raggiungere i vari punti di lavoro e procedere alla sostituzione degli utensili di taglio.

CONCLUSIONI

La tecnologia dell'hydroschild permette di raggiungere produzioni di almeno il 50 per cento superiori a quelle ottenibili con i metodi tradizionali, consentendo di recuperare rapidamente gli elevati investimenti iniziali richiesti. Essa ha permesso di risolvere il problema del completamento della galleria S. Giovanni in maniera brillante ed economica, nonostante la breve lunghezza della tratta da scavare, essendosi potuta utilizzare una macchina di "seconda mano" avente caratteristiche compatibili con l'opera da realizzare.

Gli inevitabili aggiustamenti operativi in corso d'opera conseguenti all'utilizzo di un'attrezzatura non appositamente progettata non hanno inficiato la bontà delle produzioni medie ottenute.

Relativamente all'anello di rivestimento di conci prefabbricati c'è da dire che il progresso tecnologico degli ultimi anni ha permesso di mettere a punto tipi di conci privi di riduzioni di spessore, che già in partenza minimizzano i problemi riscontrati. Un anello di rivestimento costituito da conci di questo tipo, per un diametro di galleria di più di 13 m, è in fase di studio per il completamento della galleria "Vaglia" della tratta Bologna-Firenze del sistema ferroviario italiano ad alta velocità. ■

