

SOTTOVIA ALLO SCALO FERROVIARIO RAVONE

NELLA CITTÀ DI BOLOGNA: ASPETTI PROGETTUALI E COSTRUTTIVI

Pietro Lunardi*

Giovanna Cassani**

Si descrivono nel seguito il progetto ed i lavori di costruzione di un sottovia realizzato in sottoterraneo a Bologna allo scalo ferroviario Ravone con collegamento alla viabilità esistente, 1^o lotto funzionale dei lavori di prolungamento dell'asse Sud-Ovest a completamento della Circonvallazione di Bologna. Il sottovia sottopassa, con modeste coperture, i binari dei collegamenti Alta Velocità MI-BO, VR-BO e BO-PD che sono stati mantenuti in esercizio durante i lavori.

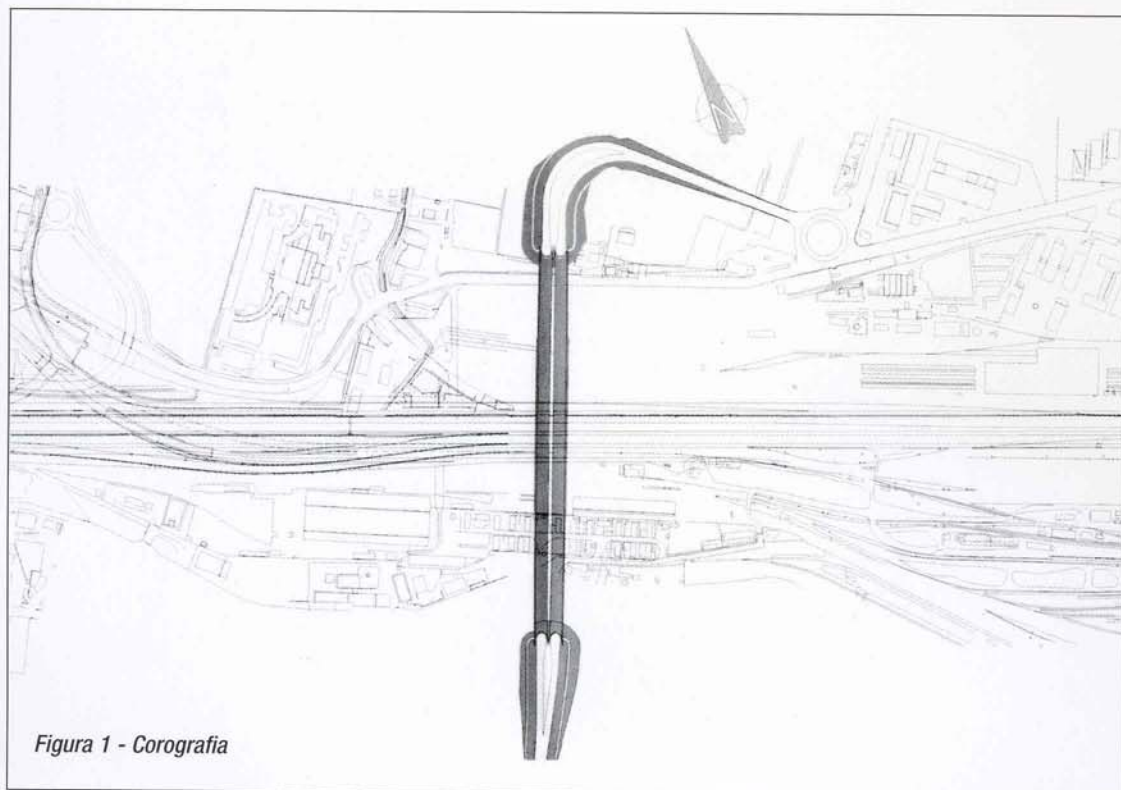


Figura 1 - Corografia

Introduzione

Lo scalo ferroviario Ravone è localizzato nella periferia Nord Ovest di Bologna tra la via Zanardi e l'alveo del fiume Reno in un'area di pochi ettari le cui caratteristiche geologiche e geomorfologiche ben si inquadrano nella pianura bolognese.

L'azione antropica ha modificato in maniera considerevole le morfologie originarie soprattutto tramite scavi, riporti di terra e livellazioni.

Questa situazione appare particolarmente evidente nell'area del sottopasso, dove la costruzione delle linee ferroviarie ha portato alla creazione di terrapieni costituiti da materiali di riporto. Il sottovia realizzato, oggetto del presente articolo, è costituito da due galle-

rie affiancate del diametro interno utile di 13 m e della lunghezza di circa 400 m, aventi fra loro un interasse di soli 17 m (Figura 1). Le coperture, molto ridotte, variano da 7 a 13 m.

Come sarà dettagliatamente descritto nel seguito, il terreno interessato dagli scavi presenta scarse qualità meccaniche, essendo essenzialmente costituito da ghiaia e sabbie limose con rare intercalazioni di argilla.

Le gallerie sono realizzate, a partire dai due imbocchi, per circa metà della tratta in artificiale e per metà in naturale, al di sotto del vero e proprio parco ferroviario nella tratta centrale del tracciato. La progettazione dell'opera secondo l'approccio ADECO-RS [Lunardi, 2001] è stata fin dall'inizio guidata dalla necessità di osser-

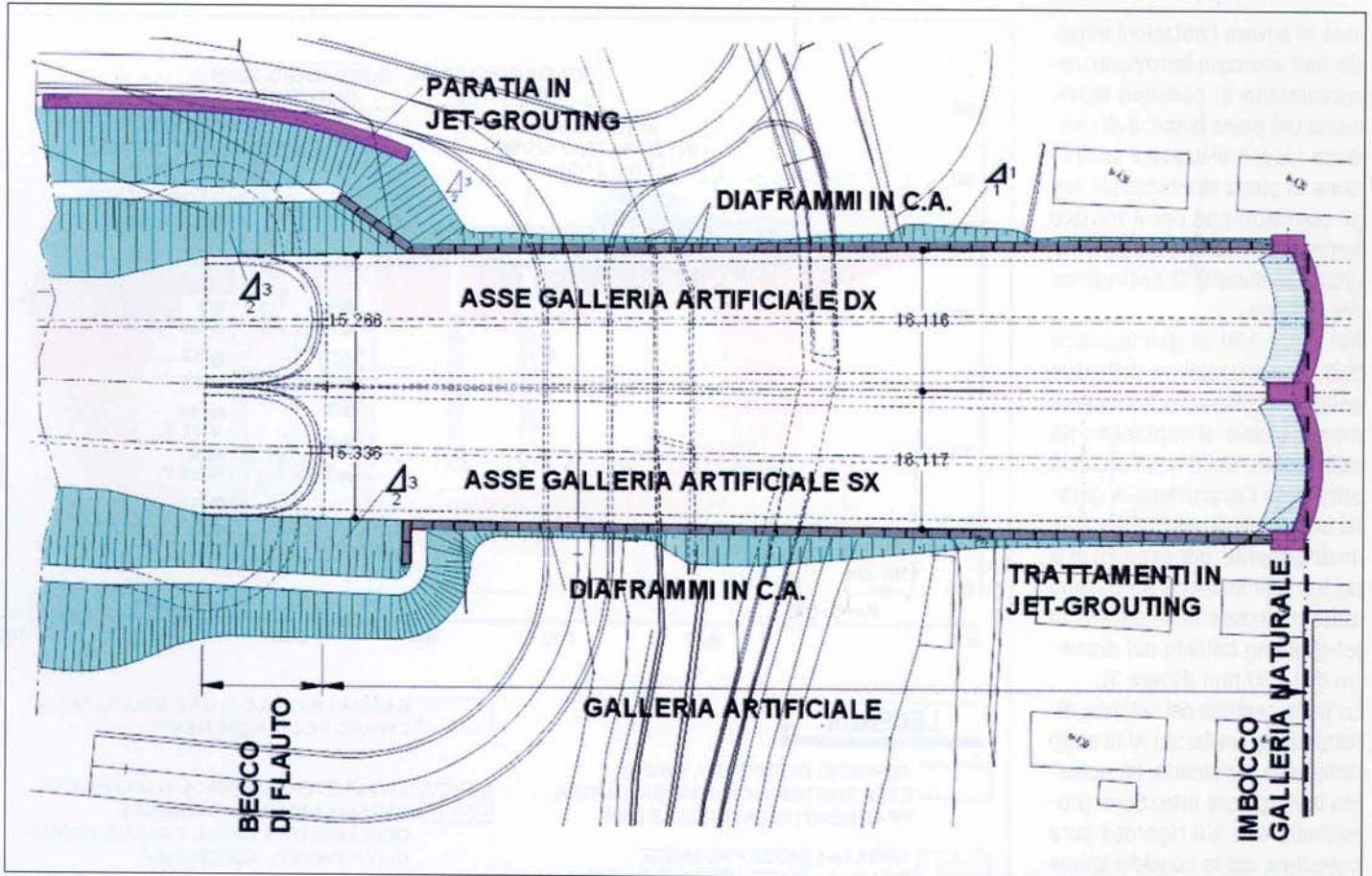


Figura 2 - Imbocco Sud: planimetria delle opere di sostegno per la realizzazione delle gallerie artificiali e l'attacco dello scavo delle gallerie naturali

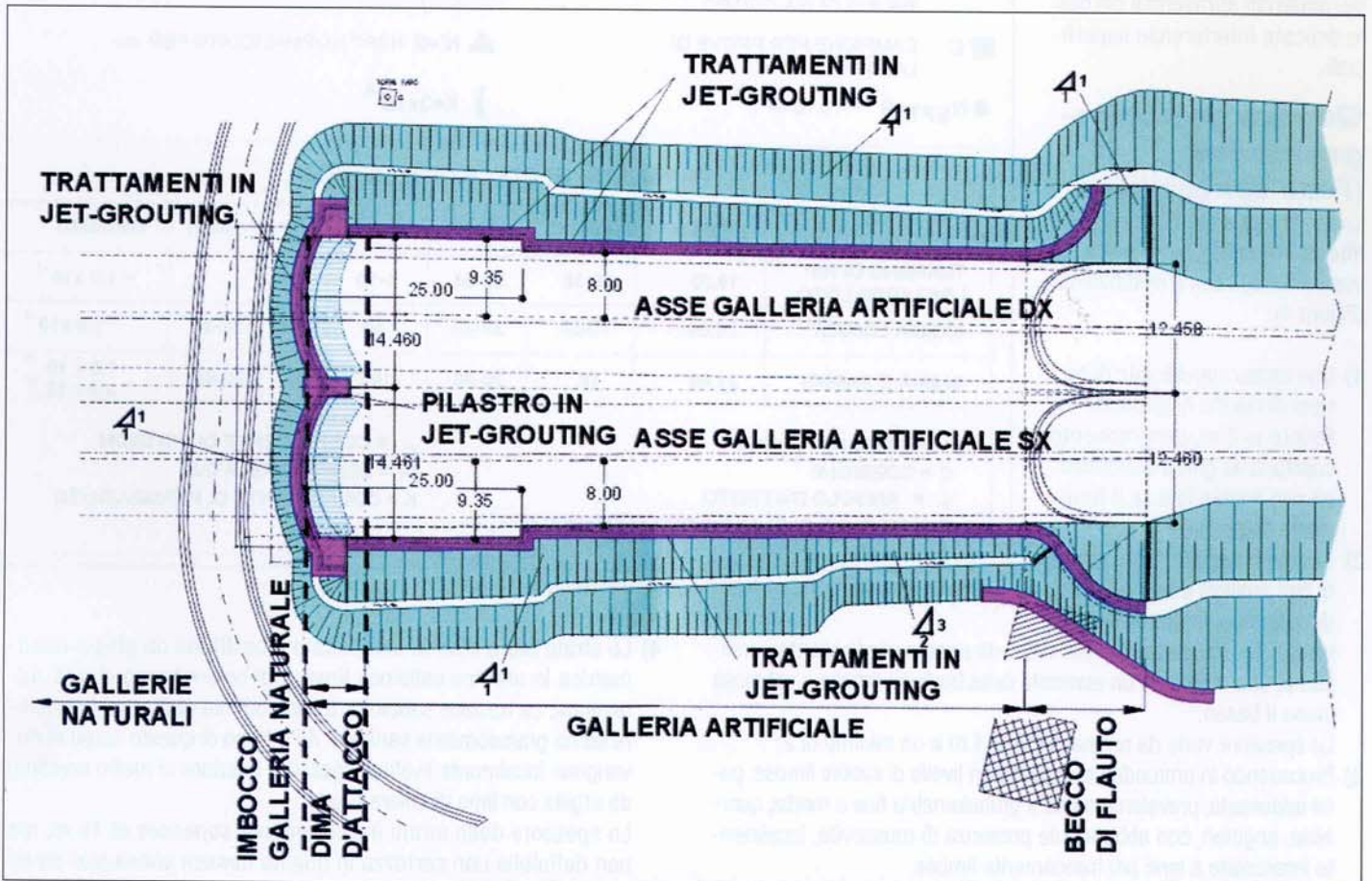


Figura 3 - Imbocco Nord: planimetria delle opere di sostegno per la realizzazione delle gallerie artificiali e l'attacco dello scavo delle gallerie naturali



vare le severe limitazioni imposte dall'esercizio ferroviario, relativamente ai possibili movimenti del piano binari, e di condurre i lavori di scavo e costruzione in piena sicurezza sia per gli operatori che per il traffico ferroviario, che non è mai stato interrotto durante la costruzione del sottovia.

Per circa 130 m dall'imbocco Sud, la realizzazione delle due gallerie artificiali è stata permessa grazie al contenimento delle spinte delle terre operato attraverso l'esecuzione di paratie in pannelli tirantati (Figura 2); analogamente, per circa 70 m a partire dall'imbocco Nord, sono state realizzate delle paratie in jet-grouting bifluido del diametro di 1.200 mm (Figura 3).

La tratta centrale del sottovia, direttamente realizzata al di sotto della linea ferroviaria, ha richiesto la maggiore attenzione progettuale e la più rigorosa cura esecutiva, sia in considerazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali attraversati sia delle delicate interferenze superficiali.

Quadro geologico-geotecnico (Fase conoscitiva)

La successione stratigrafica identificata attraverso i vari sondaggi eseguiti nella zona è costituita da (Figura 4):

- 1) Uno strato superficiale di terreno di riporto di spessore inferiore ai 2 m, generalmente costituito da ghiaia eterometrica con sabbia limosa e frammenti di laterizi;
- 2) Questo è seguito da un livello di limi argillosi e argille limose debolmente sabbiose di colore bruno con presenza di muscovite, da poco a mediamente consistenti, che mostrano un aumento della frazione limosa e sabbiosa verso il basso. Lo spessore varia da un massimo di 4 m a un minimo di 2;
- 3) Procedendo in profondità si incontra un livello di sabbie limose, poco addensate, prevalentemente a granulometria fine e media, quarzose, angolari, con abbondante presenza di muscovite, localmente intercalate a lenti più francamente limose. Lo spessore varia da un massimo di 4 m ad un minimo di 1,5 m;

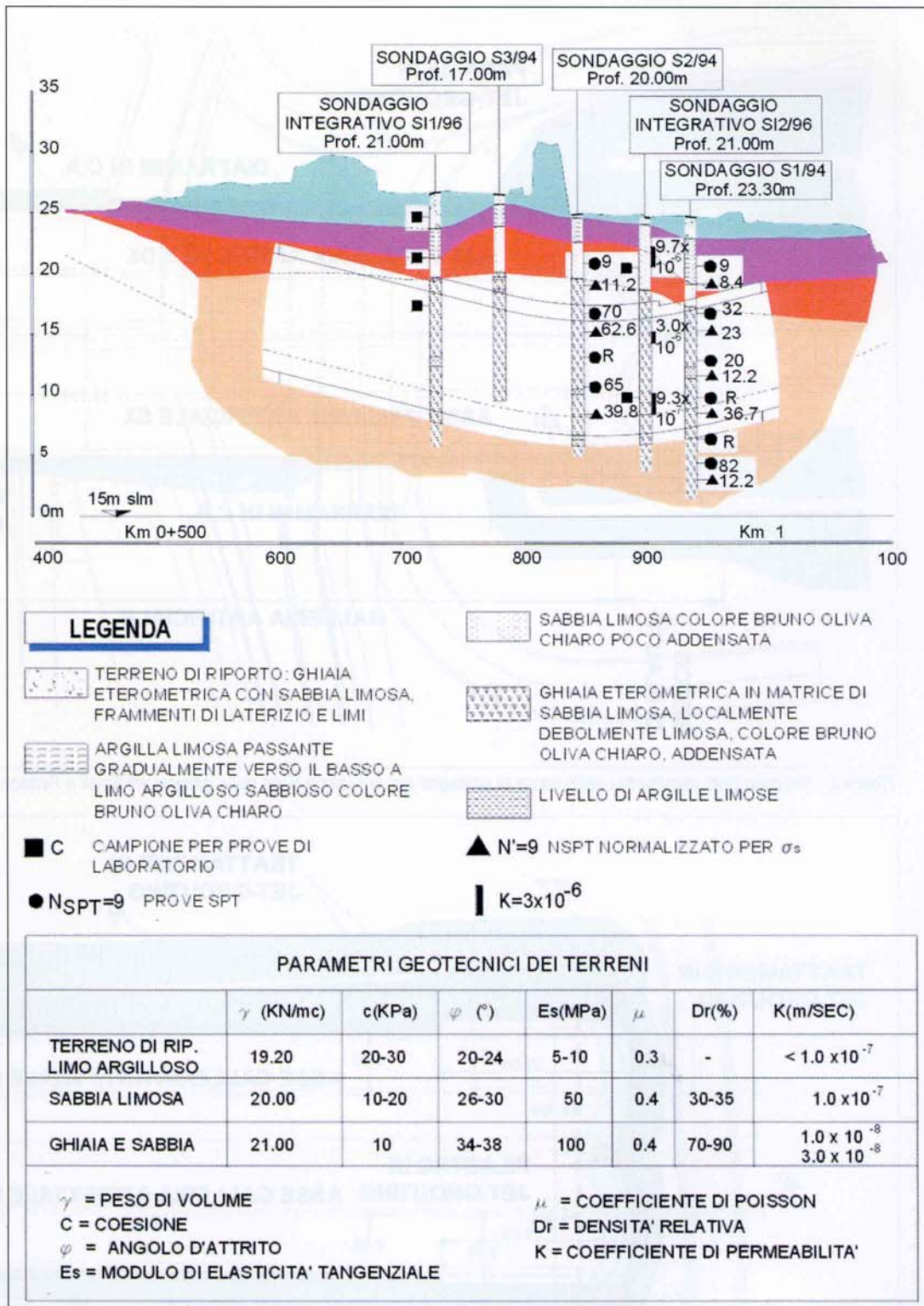


Figura 4 - Profilo geologico-tecnico (Fase conoscitiva)

- 4) Lo strato più profondo identificato è costituito da ghiaia eterometrica in matrice sabbioso limosa, di colore bruno chiaro, addensata. La frazione sabbiosa, a componente quarzosa, è angolare ed ha granulometria variabile. All'interno di questo corpo si rinvengono localmente livelli di spessore inferiore al metro costituiti da argilla con limo di colore bruno. Lo spessore dello strato è sicuramente superiore ai 16 m, ma non definibile con certezza in quanto nessun sondaggio ne ha raggiunto la base.



Lo scavo del sottopasso ha interessato principalmente lo strato di ghiaia in arco rovescio, piedritti e reni, ed il sovrastante livello di sabbia in calotta e reni.

Sono stati inoltre frequentemente rinvenuti strati non trascurabili di argilla limosa.

La determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni da attraversare è stata possibile grazie all'esecuzione di alcune prove meccaniche in situ e da una serie di analisi di laboratorio, queste ultime finalizzate soprattutto a classificare dal punto di vista tecnico i materiali.

Le prove geotecniche eseguite sia in situ che in laboratorio hanno permesso di correlare i terreni presenti nella zona di scavo sia con i dati geotecnici riguardanti terreni analoghi ottenuti dalle numerose indagini già eseguite in tutta l'area bolognese, sia con i dati reperibili in letteratura.

I parametri geotecnici assunti per i quattro livelli identificati sono riportati in Figura 4.

Fase di diagnosi

Dall'esame dei dati sopra riportati, con particolare attenzione alle ridotte coperture presenti ed all'interasse estremamente modesto tra le due

canne (Figura 5), e dai calcoli eseguiti in prima analisi è risultata evidente la necessità di operare lo scavo della tratta di galleria naturale utilizzando interventi di precontenimento del cavo capaci di minimizzare al meglio le decompressioni del terreno, così da ridurre gli effetti dello scavo in superficie.

Fase di terapia

Si è perciò deciso di operare con sezioni di avanzamento a piena sezione che hanno consentito di ridurre i meccanismi di decompressione sia del fronte sia del cavo.

Sono stati infatti utilizzati:

- ◆ Un preconsolidamento del nucleo d'avanzamento realizzato, a seconda della natura più o meno coerente del terreno, mediante elementi strutturali di vetroresina cementati o mediante iniezioni ad alta pressione di miscele cementizie operate col sistema jet-grouting;
- ◆ Un preconsolidamento al contorno del cavo realizzato esclusivamente mediante iniezioni jet-grouting.

Valori limite di cedimento sono stati definiti sulla base delle risultanze delle analisi numeriche condotte per simulare la successione delle fasi realizzative delle due gallerie, e in funzione delle prescrizioni fornite dal Capitolato Speciale d'Appalto relativamente alle deformazioni superficiali e all'assestamento dei binari.

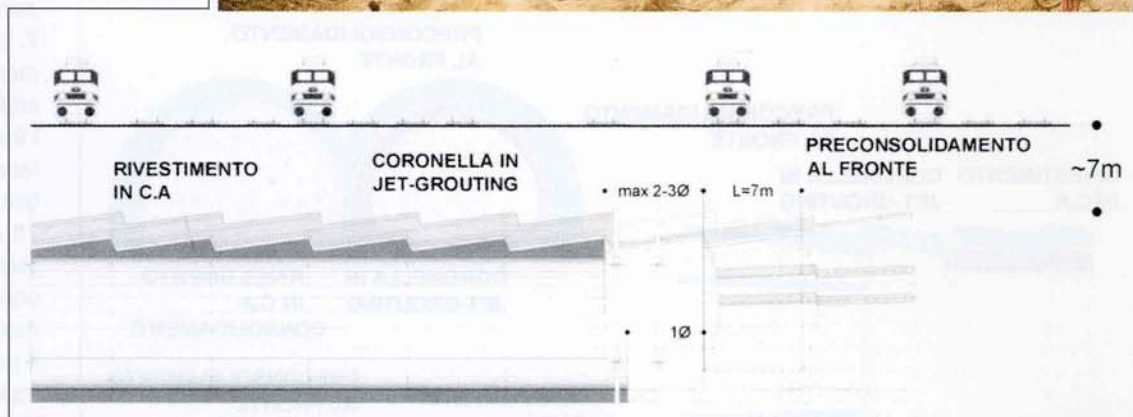


Figura 5 - Vista imbocco Nord e sezione longitudinale del sottovia

Con riferimento alle prescrizioni F.S. per le condizioni di esercizio per transiti di convogli aventi velocità massima di 80 Km/h, si sono assunti i seguenti valori-soglia di cedimento o sollevamento durante le lavorazioni:

- ◆ Avvallamento/sollevamento binari (ambidue le rotaie) su base di 40 m:

soglia di attenzione:	2 cm
soglia di allarme:	3 cm
- ◆ Sghembo - rollio (abbassamento/sollevamento di una rotaia)

soglia di attenzione	
su base 3 m	2,5‰
su base 7 m	2,0‰
su base 10 m	1,0‰
Soglia di allarme	
su base 3 m	5,0‰
su base 7 m	4,0‰
su base 10 m	3,0‰

Fase operativa e di verifica

L'avanzamento a piena sezione (diametro medio di scavo 15,65 m) ha permesso tempi rapidi di completamento dei rivestimenti definitivi così da limitare gli effetti dei fenomeni deformativi entro poche decine di metri dal fronte d'avanzamento.



2. Esecuzione di una coronella di sessantuno iniezioni jet-grouting della lunghezza di 13 m (sezione a semplice coronella) o 15 m (sezione a doppia coronella) oltre il fronte di scavo;
3. Esecuzione di 3 + 3 iniezioni sub-orizzontali jet-grouting al di sotto del piano di scavo in corrispondenza del piede delle centine;
4. Avanzamento a piena sezione per al più 10 m (sezione a semplice coronella) o 7 m (sezione a doppia coronella), per campioni di 1,30 m con immediata posa in opera dopo lo scavo di ogni singolo sfondo di centine metalliche tipo 2IPN/1,25 m e spritz-beton per uno spessore di 25 cm armato con rete elettrosaldata;
5. Scavo e getto di arco rovescio e murette per conci della lunghezza massima di 10 m, eventualmente da ridurre in funzione delle misure di convergenza del cavo rilevate;

6. Posa dell'impermeabilizzazione;

7. Completamento del rivestimento definitivo entro 3 diametri dal fronte di scavo.

I fronti di scavo delle due gallerie sono stati sempre mantenuti sfalsati l'uno dall'altro di 75 m e quello di scavo della seconda si è sempre trovato in corrispondenza del rivestimento completo nella prima.

Il modesto spessore del setto fra le due gallerie (circa 1,0 m) ha fatto praticamente coincidere dalle reni al piedritto parte del trattamento del consolidamento della prima con quello della seconda, che hanno quindi dovuto essere eseguiti con estrema cura così da garantire la piena compenetrazione delle colonne dei due trattamenti e da non produrre nessun disturbo al rivestimento già eseguito. Vista la delicatezza della situazione al con-

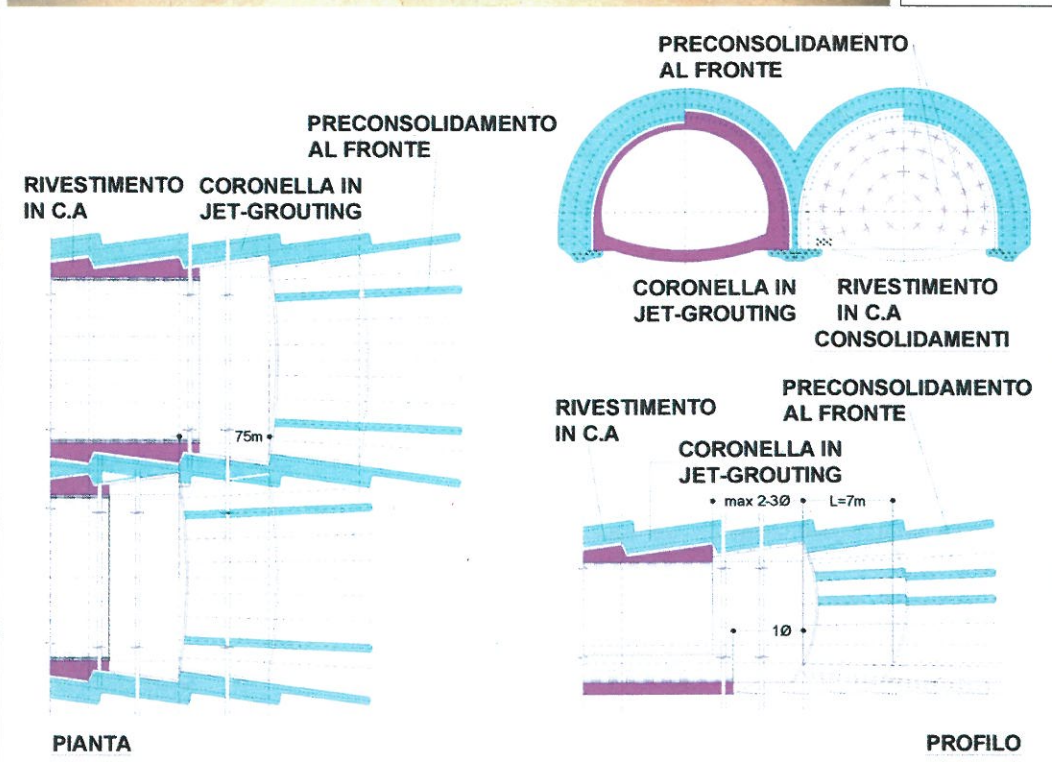


Figura 6 - Schema dell'avanzamento mediante preconsolidamento al fronte con colonne jet-grouting

Sono state di fatto utilizzate due differenti sezioni di scavo e consolidamento (Figura 6): una sezione con trattamento a semplice coronella jet-grouting per la tratta a minore copertura (6-7 m) della lunghezza di circa 90 m al di sotto del parco ferroviario ed una sezione con trattamento a doppia coronella jet-grouting per la tratta a maggiore copertura (12-13 m) al di sotto del rilevato ferroviario Alta Velocità. In entrambi i casi si è operato con le seguenti modalità esecutive:

1. Preconsolidamento del fronte di scavo mediante minimo quaranta elementi strutturali in vetroresina della lunghezza $l = 15$ m, sovrapposizione, con il campo successivo 5 m, o mediante trenta colonne jet-grouting della lunghezza $l = 10$ m (sezione a semplice coronella) o 7 m (sezione a doppia coronella) oltre il fronte di scavo;

torno dell'opera dal punto di vista delle preesistenze superficiali, particolare rilievo ha avuto la progettazione e la realizzazione di un monitoraggio delle deformazioni superficiali e profonde prodotte dallo scavo, che consentisse lo svolgersi in sicurezza della circolazione ferroviaria.

Particolarmente interessante è il sistema di rilevamento ottico degli spostamenti superficiali predisposto, che ha consentito di valutare in tempo reale i cedimenti superficiali all'interno del parco ferroviario e sul rilevato per confrontarli immediatamente con i valori di soglia di attenzione ed allarme prefissati (Figura 7).

La strumentazione topografica adottata era costituita da una stazione servoassistita di alta precisione, con puntamento automatico del punto riflettore e misura con distanziometro, e da una serie di microprismi posizionati nei nodi del reticolo topografico da rilevare.

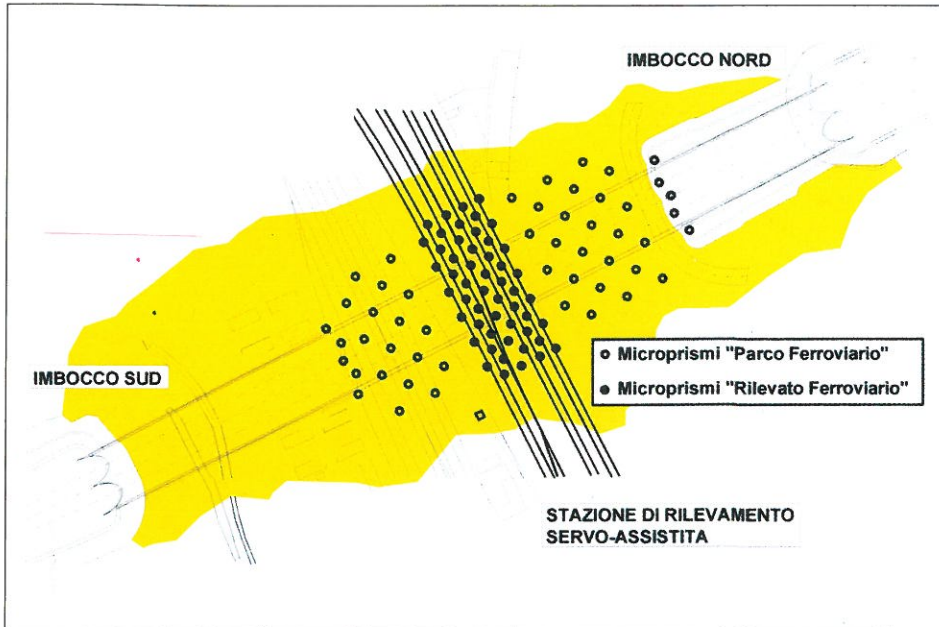


Figura 7 - Ubicazione planimetrica dei punti di rilevamento topografico di precisione

do, hanno evidenziato sollevamenti massimi dell'ordine dei 5÷8 mm e cedimenti massimi dell'ordine degli 8÷10 mm (Figura 8).

In ogni caso, nel corso della costruzione del sottovia non si sono segnalati particolari problemi di cedimento o sollevamento, con spostamenti superficiali e profondi che si sono mantenuti al di sotto dei limiti di tolleranza ammessi per il piano binari.

Lo scavo delle due gallerie, iniziato nel Luglio del 1999, si è concluso nel Dicembre 2000, con produzioni medie di circa 25 m al mese.

Articolo originale: P. Lunardi, G. Cassani, "Construction of an underpass at the Ravone railway yard in the city of Bologna: aspects of the design and construction", ITA World Tunnel Congress on "Progress in tunnelling after 2000", Milano, 10-13 Giugno 2001.

* Studio di progettazione Lunardi - Milano

** Rocksoil SpA - Milano

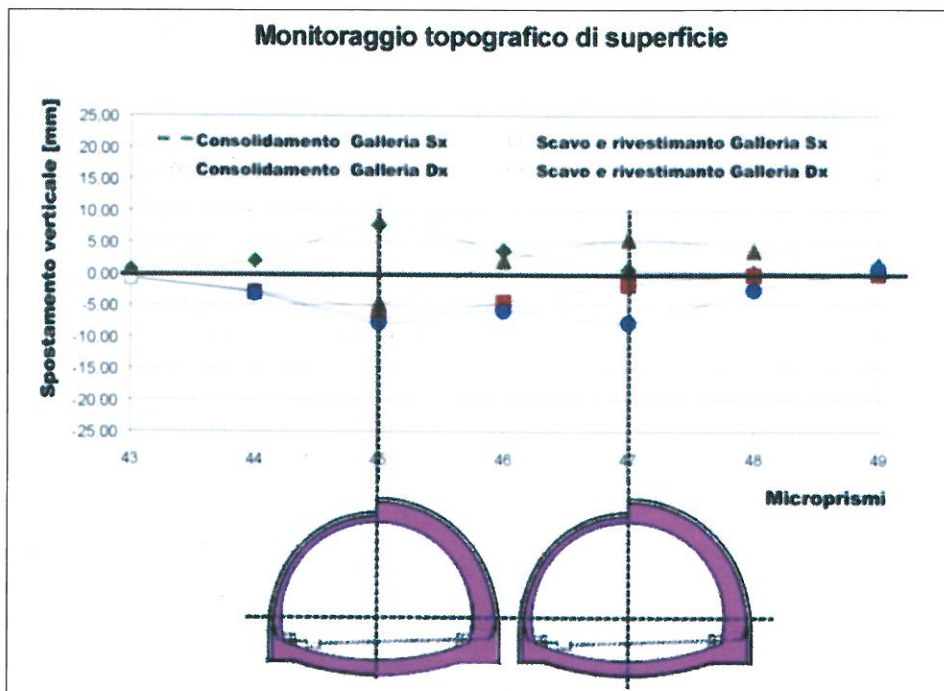


Figura 8 - Andamento dei cedimenti/sovvamenti verticali in superficie lungo una sezione di controllo sul rilevato ferroviario

Le deformazioni profonde del terreno a seguito dei lavori di scavo e consolidamento sono state invece monitorate attraverso estenso-inclinometri ed estensimetri multibase.

A completamento del piano di monitoraggio sono state condotte misure di convergenza in galleria.

Il sistema automatico di livellazione topografica ha consentito, durante l'avanzamento dei lavori, la messa a punto dei parametri di iniezione jet-grouting, evidenziando prontamente la ripercussione delle lavorazioni in superficie, essenzialmente in termini di sollevamento.

Il successivo scavo delle due canne ha invece provocato movimenti superficiali di cedimento.

Le letture effettuate, opportunamente depurate dei disturbi di fon-

Lavoro:

Sottovia allo Scalo ferroviario

Ravone - Bologna

Ente appaltante: Comune di Bologna

Impresa appaltatrice: CMB

Progettista: ROCKSOIL SpA

Monitoraggio: STONE Srl

Riferimenti bibliografici

Lunardi P., 1997-1999 - Conception et execution des tunnels d'après l'analyse des déformation contrôlées dans les roches et dans les sols, *Revue Française de Géotechnique*, n. 80, 84, 86

Lunardi P., 2000 - Design and constructing tunnels - ADECO-RS approach, *T&T International special supplement*, Maggio 2000

Lunardi P., 2001 - Progetto e costruzione di gallerie - Approccio ADECO-RS, *Supplemento a Quarry and Construction*, Maggio 2001