

# IL CONSOLIDAMENTO DELLA GALLERIA NATURALE DI SAN GIORGIO IN SALICI

**SULLA LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA SULLA TRATTA MILANO-VERONA, PER IL LOTTO FUNZIONALE BRESCIA EST-VERONA, LA SOCIETÀ FONDAMENTA SPA ALL'OPERA NELLA REALIZZAZIONE DI UN CONSOLIDAMENTO PREVENTIVO ALLO SCAVO DELLA GALLERIA**

## L'INQUADRAMENTO GENERALE

La nuova linea ferroviaria AV/AC Brescia Est-Verona si sviluppa per circa 48 km, iniziando il percorso nel comune di Mazzano (BS), sino a raggiungere il comune di Verona nel lato occidentale con i nuovi binari AV e la nuova interconnessione di Verona Mercè. Il tracciato ferroviario attraversa due regioni, tre province, 11 comuni e si sviluppa per lo più in affiancamento alle infrastrutture esistenti nel territorio, 30 km circa in parallelo all'Autostrada A4 e 8 km circa in allineamento alla linea ferroviaria.



1. Lo staff di Fondamenta Spa

Tra le opere da realizzare, la galleria di San Giorgio in Salici - che rappresenta uno degli interventi più delicati di tutta la nuova linea AV/AC nel lotto Verona-Brescia - è ubicata tra la p.k. 140+181,94 e la p.k. 143+575.33, per uno sviluppo complessivo pari a 3.393 m.

La galleria San Giorgio in Salici è suddivisa in tre opere distinte (WBS):

- San Giorgio in Salici Ovest (GA16), galleria artificiale monocanna a doppio binario, con sezione policentrica, avente sviluppo pari a 321 m;
- San Giorgio in Salici (GN04), galleria naturale monocanna a doppio binario avente sviluppo pari a 1.427 m;
- San Giorgio in Salici Est (GA17), galleria artificiale monocanna a doppio binario a sezione policentrica, avente sviluppo pari a 1.636 m.

Tutte sono ubicate poco a Sud dell'omonimo abitato, posto nel comune di Sona (VR), in provincia di Verona, tra le località di Castelnuovo del Garda e Sommacampagna; il tracciato ferroviario interferisce nel suo primo tratto (nel verso delle progressive crescenti) con l'Autostrada A4 Milano-Venezia, per poi svilupparsi leggermente a Nord della stessa.

La parte centrale dell'opera (GN04), compresa tra le p.k. 140+502,94 e 141+930,33, per uno sviluppo complessivo di 1.427 m, è realizzata a foro cieco, con scavo tradizionale, e con sezione tipo mono-canna a doppio binario. Planimetricamente, la GN04 si sviluppa principalmente su una curva di raggio 5.450 m che è preceduta da un



2. Il consolidamento della fase 1

raccordo a raggio variabile con inizio in prossimità dell'imboccata lato Milano, mentre altimetricamente la galleria mantiene una pendenza nulla. La galleria naturale è caratterizzata da coperture comprese fra 4 m e 22 m; nel primo tratto viene sottoattraversata l'Autostrada A4 con coperture minime di 7,5 m dal piano viabile.

## IL CONSOLIDAMENTO PER L'ATTRAVERSAZIONE DELL'AUTOSTRADA A4

### Le fasi

Il progetto prevede la realizzazione di un consolidamento preventivo allo scavo della galleria. L'intervento, data l'interferenza con l'Autostrada, è progettato in tre fasi. La prima fase, con l'autostrada nella sede originaria, interessa i primi 170 m circa di galleria e ha previsto la realizzazione di un trattamento dall'alto in jet grouting con colonne dal diametro 1.200 mm realizzato con tecnica bifluide. Concluso il consolidamento, si è proceduto con lo scavo dei primi 170 m fino alla p.k. 140+670,00 (Gennaio 2023-Marzo 2023).

Successivamente, dopo aver realizzato il flesso autostradale, la carreggiata Sud, direzione Venezia, è stata deviata su sede provvisoria per permettere la realizzazione della cosiddetta varice che permette la continuazione delle lavorazioni di consolidamento dall'alto in fase 2, per ulteriori 118 m circa di galleria. In questa fase il consolidamento è costituito da pali plastici diametro 1.200 m e colonne in jet grouting diametro 1.200 mm in "cantiere isola" limitando quanto più possibile l'interferenza con il traffico autostradale.

Questa è stata la fase sicuramente più complessa dal punto di vista cantieristico e logistico, in quanto i lavori sono stati realizzati tra le due carreggiate attive (Gennaio 2023-Luglio 2023). Per comprimere le tempistiche globali, in questa fase è stato realizzato anche il consolidamento della parte finale dell'intervento, ovvero la parte

a Nord della carreggiata direzione Milano, con colonne jet grouting diametro 1.200 mm. In questa fase l'avanzamento dello scavo della galleria è avvenuto, per la sola tratta sotto carreggiata est (direzione Milano) deviata costruita ma non attivata e fino al limite della carreggiata ovest originaria, in stretto sequenziamento alla realizzazione del consolidamento.

Successivamente, anche la carreggiata Nord (direzione Milano) è stata deviata su sede provvisoria in modo da liberare le aree necessarie al completamento del consolidamento dall'alto di fase 3,

avente sviluppo pari a circa 264 m di galleria, costituito ancora da pali plastici diametro 1.200 mm e colonne in jet grouting



3A e 3B. La fase 2



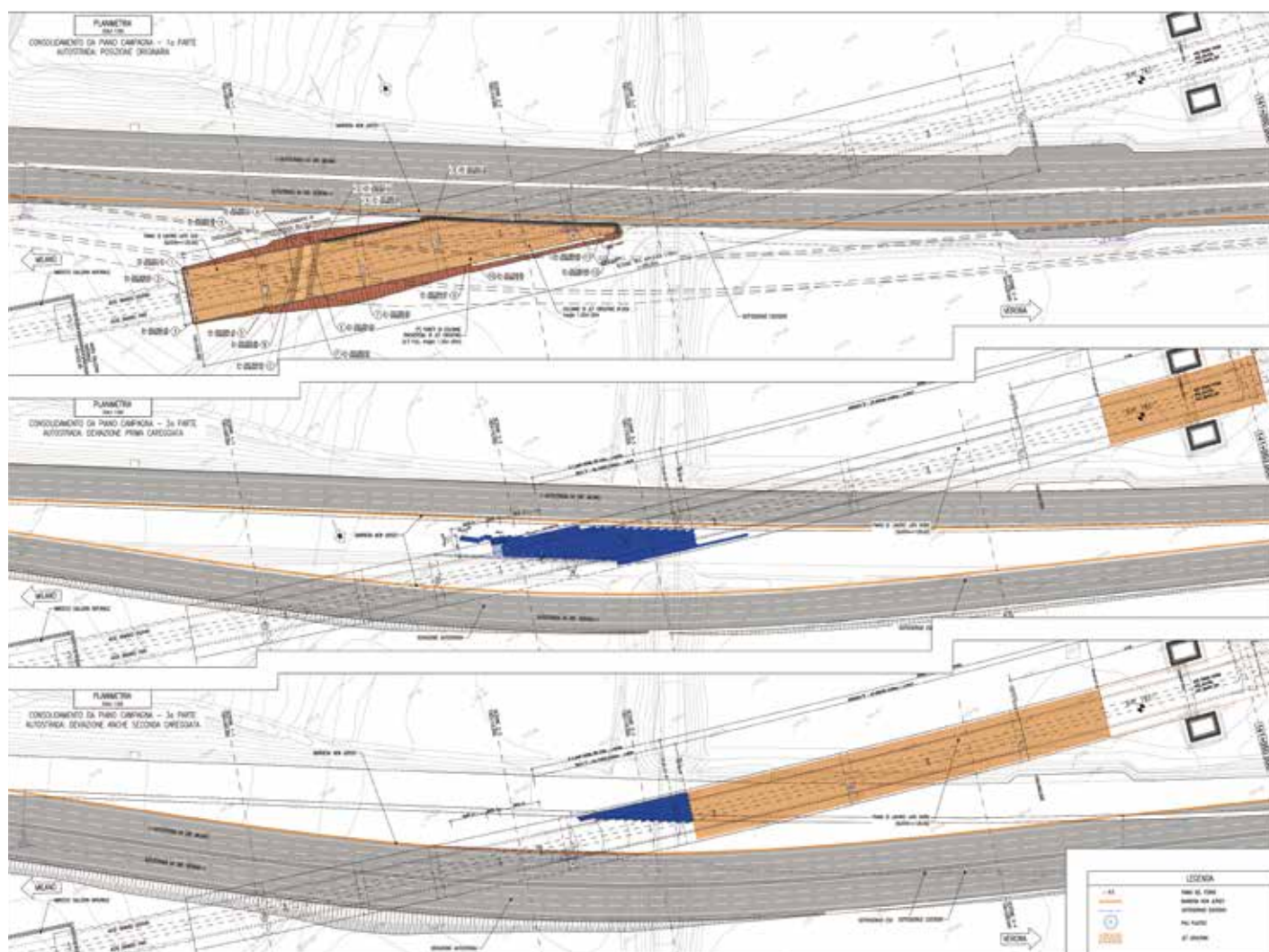
4. La fase 3

diametro 1.200 mm, e dello scavo su tutta l'area interferente la sede autostradale originaria.

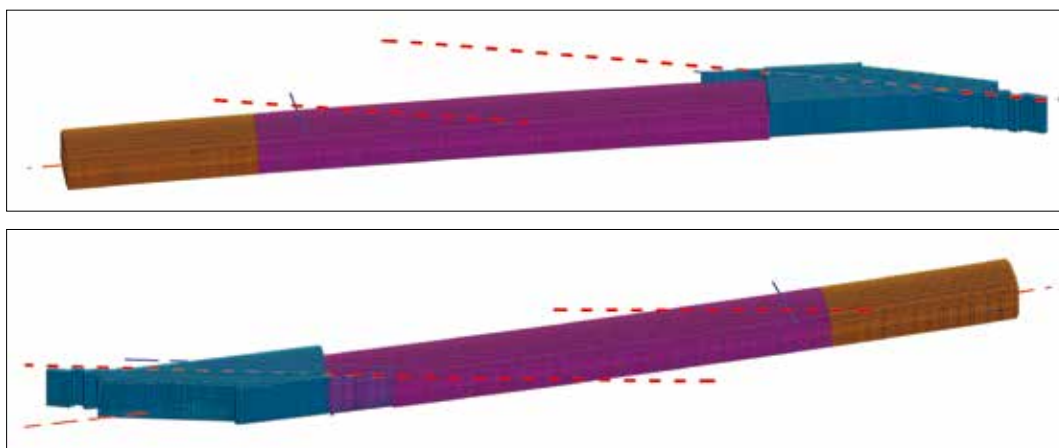
### IL PROGETTO, LE TECNICHE E I MACCHINARI

La galleria San Giorgio in Salici ha una sezione di scavo di circa 175 m<sup>2</sup> e copertura minima 7,50 m. Il consolidamento prevede il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno su tutto il perimetro di scavo (arco, piedritti, calotta) realizzando una corona circolare di spessore 4 m circa.

Le quantità in gioco sono sicuramente importanti: l'intervento di consolidamento dall'alto si sviluppa per circa 552 m dei 1.427 m di galleria previsti in scavo naturale, interessando appunto le aree più prossime



5. Le tre fasi di intervento



6A e 6B. Vista 3D del progetto della fase 2

all'Autostrada A4 e andando a trattare un volume di terreno di circa 140.000 m<sup>3</sup>. Le perforazioni previste per la realizzazione del jet grouting sono complessivamente 180.000 m, mentre per i pali plastici di grande diametro 19.000 m.

Esternamente alle aree interessate dalla sede autostradale viene realizzato un trattamento in jet grouting con tecnica bifluido con colonne compenstrate del diametro di 1.200 mm mentre nell'area interna alla varice autostradale viene prevista la realizzazione di pali plastici secanti di diametro 1.200 mm.

### Il jet grouting

La tecnica del jet grouting è una delle tecnologie più efficaci per interventi di consolidamento in quanto è in grado di garantire l'ottimizzazione di prestazioni e tempi. La tecnologia prevede l'utilizzo di un getto di aria-acqua-miscela cementizia che, fuoriuscendo in profondità dalle aste di perforazione con enorme energia (data da una combinazione di pressione di iniezione e portata), disgrega il terreno naturale e amalgamandosi con esso ne migliora le caratteristiche. Dopo aver realizzato un campo prova dove vengono studiati, testati, calibrati e infine individuati

tutti i parametri operativi, le attività di cantiere e di produzione possono procedere spedite.

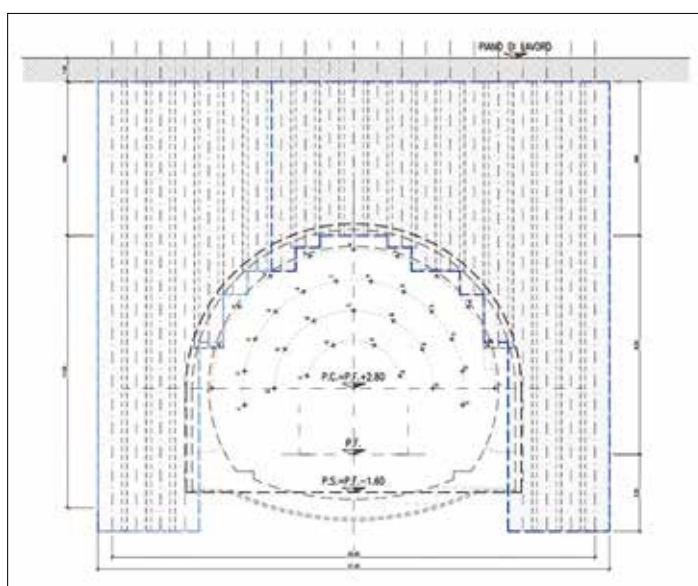
Per l'entità di volumi in gioco, le tempistiche a disposizione per l'intervento e le caratteristiche geotecniche del terreno, nel consolidamento della galleria San Giorgio sono state impiegate attrezzature ad alte prestazioni. Per la realizzazione delle perforazioni sono state utilizzate attrezzature con altezza di oltre 30 m e stazza

35-40 t dotate di sistema di posizionamento GPS e registrazione di parametri operativi (nello specifico tre perforatrici Comacchio MC30 e due perforatrici Casagrande C9 XP2), mentre per l'iniezione della miscela sono utilizzate motopompe ad alta pressione da 800 CV (nello specifico, quattro Tecniwell TW800K e una Metax MP7).

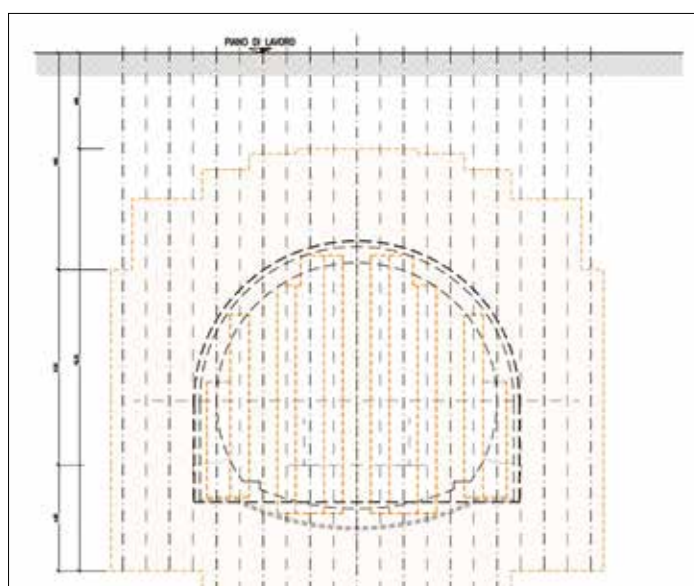
Per il confezionamento delle miscele si è fatto ricorso a impianti ad alta efficienza consentendo produzioni superiori a 50 m<sup>3</sup>/ora cad. (nello specifico due Lorenzetto Lodos 50).

Grazie alla potenza offerta da queste pompe (800 CV), è possibile raggiungere portate di iniezione anche superiori a 550 l/min. a oltre 400 bar, diminuendo notevolmente i tempi di iniezione e conseguentemente aumentando la produzione giornaliera.

Anche attraverso i sistemi computerizzati avanzati installati sulle perforatrici è stato possibile un miglioramento sia delle tempistiche sia della qualità del trattamento realizzato in quanto il posizionamento della perforatrice tramite sistema GPS (Stonex) e la registrazione di tutti i parametri operativi (Geomisure JetPilot) di ogni singolo foro hanno garantito un controllo assoluto sulla lavorazione.



7A e 7B. Le sezioni di progetto



Un altro aspetto fondamentale nella gestione della lavorazione del jet grouting affrontato già in fase preventiva e rivelatosi determinante nella fase operativa ha riguardato la gestione dei reflui cementizi prodotti. Tale problematica, attualmente sempre più oggetto di criticità, è stata risolta utilizzando una tecnologia già applicata in altri settori, ma che qui è stata ottimizzata e resa funzionale sviluppando un ciclo di recupero con l'introduzione di una centrifuga costruita appositamente.

Nello specifico, i reflui cementizi sono stati gestiti tramite convogliamento ad un impianto che, con tecnologia centrifuga (Gennaretti-Getech), ne separa la parte solida dalla parte liquida e che permette il completo riutilizzo di quest'ultima nel ciclo produttivo andando a diminuire i quantitativi di materiale destinati a rifiuto.

### I pali plastici

All'interno della varice autostradale si è realizzata la fase più delicata del consolidamento.

L'estrema vicinanza ad una delle arterie più trafficate d'Italia con una media di oltre 26.000 veicoli pesanti al giorno ha richiesto la massima attenzione a tutti gli aspetti tecnico-operativi da mettere in campo. Da qui la decisione di una tecnica diversa da quella utilizzata esternamente al sedime dell'autostrada, prevedendo la realizzazione di pali secanti di grande diametro.

Tale tecnologia ha comportato la completa asportazione del terreno mediante lo scavo meccanico con una trivella e la sostituzione dello stesso con una miscela cementizia "consolidante". Sono stati realizzati 1.360 pali aventi diametro 1.200 mm e profondità massima 21 m, con l'impiego di una trivella Bauer BG45, macchina a cui sicuramente non manca la grinta necessaria ad affrontare al meglio la situazione, con un peso operativo di 180 t e coppia di 450 kNm.

Lo scavo è stato effettuato utilizzando un rivestimento metallico del foro in avanzamento con l'impiego di apposito casing ai fini evitare qualsiasi cedimento nel terreno circostante. Una volta raggiunta la quota di scavo, il foro è stato riempito con la miscela di consolidamento in boiaccia cementizia (miscela pla-



8. Il fronte di scavo in sezione consolidata dall'alto con pali plastici (intervento al fronte 36VTR semplicemente cementati)



9. Il fronte di scavo in sezione consolidata dall'alto con jet grouting (nessun ulteriore intervento di consolidamento al fronte)

stica avente  $R_{ck}$  pari a ~4MPa a 28 giorni), confezionata in un impianto di miscelazione esterno all'area di cantiere, pompata e convogliata a boccaforo con tubazioni metalliche.

### CONCLUSIONI

L'intero progetto di consolidamento ha garantito l'attraversamento dell'infrastruttura autostradale causando il minimo disagio alla rete e grazie a scelte progettuali e tecniche in variante si è reso possibile il rispetto delle tempistiche.

Tali scelte, sempre rivolte a garantire la minimizzazione dell'interferenza con il traffico autostradale e quindi la sicurezza dell'esercizio dell'opera interferita, hanno consentito anche di ottimizzare i tempi di avanzamento della costruzione della galleria naturale che, con i suoi circa 1.430 m, verrà completata nel corso dell'anno 2024. ■

<sup>(1)</sup> Ingegnere, Direttore Tecnico di Fondamenta SpA

<sup>(2)</sup> Ingegnere, Direttore Tecnico di Cantiere per la tratta Veneto Consorzio CepavDue

### DATI TECNICI

**Committente:** RFI Rete Ferroviaria Italiana SpA

**Contraente Generale:** Consorzio Cepavdue

**Progetto definitivo:** SWS Engineering SpA

**Progetto esecutivo:** Pini Group SA

**Collaudo:** Ing. Bartolo di Nuzzo, Ing. Luciano Romagnuolo e Ing. Luigi Rausa

**Responsabile dei lavori:** Ing. Matteo Pio Tomaiuolo

**Direzione dei Lavori:** Ing. Andrea Pauri

**Responsabile Sicurezza:** Geom. Stefano Fiori

**Direzione di Cantiere:** Ing. Eusebio Caretta

**Esecutore dei Lavori:** Consorzio Cepavdue (opere in diretta)

**Subappaltatore:** Fondamenta SpA

**Importo dei lavori:** 17.000.000 Euro

**Durata dei lavori:** 480 giorni

**Data di ultimazione:** Ottobre 2023