



Trevi ha messo a punto una tecnica innovativa - e brevettata - per gli interventi che richiedono la costruzione di gallerie posizionate al di sotto del livello di falda

SOLUZIONI INNOVATIVE PER IL TUNNEL DI STANS

Lucio Garofalo

La nuova linea ferroviaria ad Alta Velocità Verona-Monaco fa parte della direttrice Berlino-Palermo, a sua volta inserita nel più vasto piano europeo definito TEN (Trans European Network). La tratta uscirà dall'Italia attraversando le Alpi grazie alla galleria di Base del Brennero (Brennerbasistunnel) attualmente in costruzione, per poi entrare in territorio austriaco e dirigersi verso Innsbruck. Da sottolineare che la galleria di Base del Brennero, con le sue due canne di 55 km di lunghezza, è seconda per dimensioni solo a quella del Gottardo (che ne misura 57), ed è quindi annoverata fra le opere in sotterraneo più importanti mai realizzate. Dovrebbe inoltre essere prolungata nella circonvallazione di Innsbruck, diventando così di circa 60 km.



Figura 1

Per gestire tutte le attività inerenti alla pianificazione e alla progettazione delle opere che interessano il proprio territorio, il Governo austriaco ha formato la BEG (Brenner Eisenbahn Gesellschaft).



Figura 2 - Il montaggio dello Stans

La BEG ha quindi messo a punto una serie di progetti mirati a minimizzare l'impatto sull'area interessata dal tracciato durante la costruzione delle opere una volta che queste saranno entrate in esercizio.

La galleria di Stans

Dopo aver superato Innsbruck, la nuova linea corre parallela al fiume Inn, come in parte fanno l'Autostrada A12 e la ferrovia attualmente in esercizio diretta a Monaco.

Il continuo intersecarsi del tracciato con l'autostrada e la ferrovia - ma soprattutto la volontà di non "segnare" ulteriormente un territorio già attraversato da due importanti infrastrutture - ha portato i Progettisti a prevedere una serie di gallerie che, anche se a distanze diverse dall'alveo del fiume, si trovano frequentemente al di sotto della sua falda. In fase progettuale sono state quindi definite delle metodologie per affrontare le diverse situazioni, secondo uno schema che ha previsto lo scavo di trincee poi ricoperte o attraverso l'impiego di frese scudate di grande diametro.

Presso Stans, dove la distanza del tracciato dall'alveo del fiume Inn era particolarmente ridotta, è stato invece necessario trovare una soluzione alternativa. In quel punto si doveva infatti oltrepassare un via-



Figura 3



dalla presenza di sabbie, ghiaie e ciottoli sotto falda, rendeva estremamente problematico lo scavo di una galleria posta 30 m al di sotto dell'alveo.

La BEG ha così previsto la realizzazione del tunnel sotto la protezione di un anello di terreno consolidato, dello spessore di 2 m, impermeabilizzato mediante jet grouting e posto tutt'intorno alla superficie da scavare e con l'addizionale impiego di aria compressa per neutralizzare la permeabilità residua.

Trevi ha dunque adottato un sistema di consolidamento in grado di creare un anello di rivestimento esterno, mediante colonne realizzate con jet grouting mono e bifluido. La soluzione è risultata ideale perché in grado di assolvere funzioni di carattere idraulico e statico, considerate imprescindibili sia per la costruzione dell'opera sia per garantire adeguate condizioni di sicurezza. La maglia di jet grouting ha infatti evitato il manifestarsi di venute d'acqua e ha quindi permesso agli addetti di operare in un ambiente sostanzialmente asciutto. L'anello a sezione minima di almeno 2 m ha invece permesso di contenere i carichi indotti dall'autostrada, dalla ferrovia e dalla pressione dell'acqua del fiume Inn.

Il metodo Trevi

Il Capitolato prevedeva che fossero raggiunte le condizioni di impermeabilità (5 l/s da verificare con prove di emungimento) e quelle di resistenza strutturale (con valori minimi di almeno 5N/mm²) considerate indispensabili ai fini della sicurezza.

Il metodo proposto da Trevi ha garantito queste condizioni, poiché ha creato una maglia composta da tre diversi ordini di colonne verticali e/o inclinate, legate tra loro con sovrapposizione non inferiore a 10 cm nel punto minimo di intersezione.

dotto autostradale e la linea ferroviaria esistente (a loro volta situati a poca distanza dal corso d'acqua), con un tunnel a sezione policoncentrica di 750 m lunghezza, 11,80 di altezza e 13 di larghezza.

L'opera in sotterraneo, che avrebbe avuto un andamento a scendere e risalire, nel punto di massima profondità avrebbe toccato i 30 m al di sotto dell'alveo. Per superare le difficoltà poste da queste particolari condizioni è stata dunque adottata una metodologia di consolidamento completamente innovativa.

La BEG GmbH (che si è avvalsa dell'Associazione ILF-Geoconsult ZT- iC per la progettazione delle opere geotecniche e dello Studio HBPM con la consulenza dell'Ing. Palla per il jet grouting) ha assegnato il lavoro al Consorzio Alpine/GPS, che a sua volta ha affidato a Trevi il subappalto per le opere di natura geotecnica e i consolidamenti.

L'Impresa, che aveva già studiato e brevettato la metodologia poi applicata, è infatti risultata l'unica in grado di dare una risposta di carattere tecnologico e organizzativo alle problematiche poste dal progetto. La composizione geologica del terreno, caratterizzata

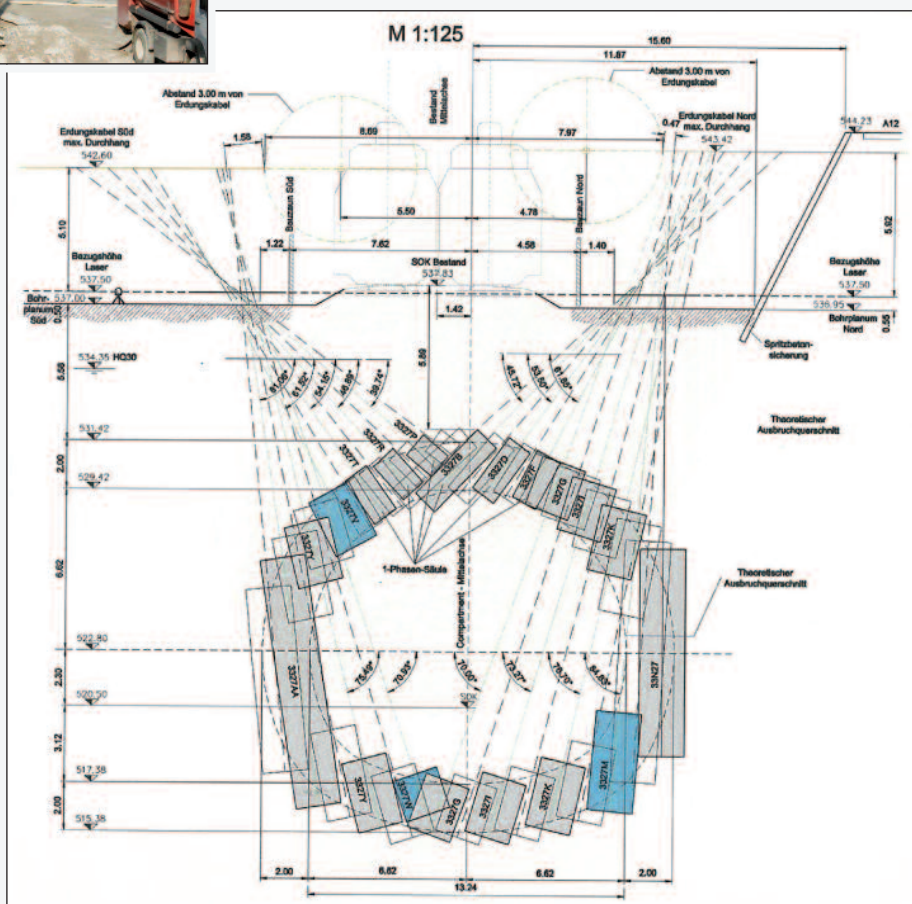


Figura 4 - Lo schema dello Stans

Il tratto di 750 m interessato al consolidamento è stato diviso in 38 compartimenti della lunghezza di 20 m. Per neutralizzare l'effetto dilavante della falda d'acqua sotterranea in movimento, prima dell'inizio del jet grouting gli strati di terreno a più alta permeabilità sono stati saturati con miscele cementizie. Per ogni sottoarea è stato quindi eseguito un primo ordine di colonne in jet grouting di 1,90 m di diametro (appunto definite primarie). Giunte a maturazione le colonne primarie, sono state eseguite le colonne secondarie intermedie che, guidate quindi dalle primarie ormai indurite, sono state contenute nelle deviazioni passibili alle perforazioni in un terreno estremamente eterogeneo. Eseguito il secondo ordine di colonne (anch'esse di 1,90 m con una sovrapposizione massima di 34 cm con le prime), si è ottenuta così una cella esagonale. Una volta indurite le colonne secondarie, nel centro della cella sono state eseguite le terziarie con la funzione di connettere le primarie alle secondarie. I parametri di jetting delle terziarie sono stati potenziati e la lunghezza del jetting aumentata verso l'esterno dell'anello così da creare delle vere e proprie cappe che hanno chiuso eventuali imperfezioni residue fra le primarie e le secondarie. Ogni compartimento è stato separato da quello successivo da colonne tampone.

Le 9.000 perforazioni hanno permesso la realizzazione di 6.300 colonne poste nella parte superiore del tunnel, altrettante poste nella parte inferiore di esso e 2.700 ai lati, portando di conseguenza il numero a un totale di 15.300 colonne.

Le colonne hanno raggiunto una profondità massima di 35 m e hanno consolidato 120.000 m³ di terreno, iniettando 210.000 m³ di miscela cementizia. La maggior parte di esse è stata realizzata con jet grouting bifluido utilizzando aria compressa ad alta pressione in modo da migliorare l'azione della miscela cementizia iniettata.

Questo tipo di jetting è particolarmente adatto a terreni caratterizzati da sabbie e ghiaie, quali quelli interessati alla costruzione del tunnel di Stans.

La logistica e i controlli di qualità

La realizzazione del tunnel di Stans è stata particolarmente complessa sia per quanto riguarda il trattamento del terreno con metodo jet grouting sia per la realizzazione dello scavo, avvenuta interamente in ambiente leggermente pressurizzato.

Prima dell'inizio dei lavori, sono stati realizzati campi prova in cui sono state eseguite sia colonne verticali e inclinate indipendenti con sistema monofluido e bifluido sia colonne verticali e inclinate sovrapposte. Si è quindi provveduto alla misurazione dei diametri ottenuti e alla valutazione della resistenza delle stesse mediante l'asportazione del terreno circostante. È stata poi condotta l'analisi della sovrapposizione con quelle adiacenti e della loro generale rispondenza alle esigenze di progetto.

Per verificare la rispondenza di ciascun compartimento ai criteri di impermeabilità richiesti, sono state effettuate prove d'acqua per ogni compartimento al fine di verificare che l'involucro costituito dal rive-

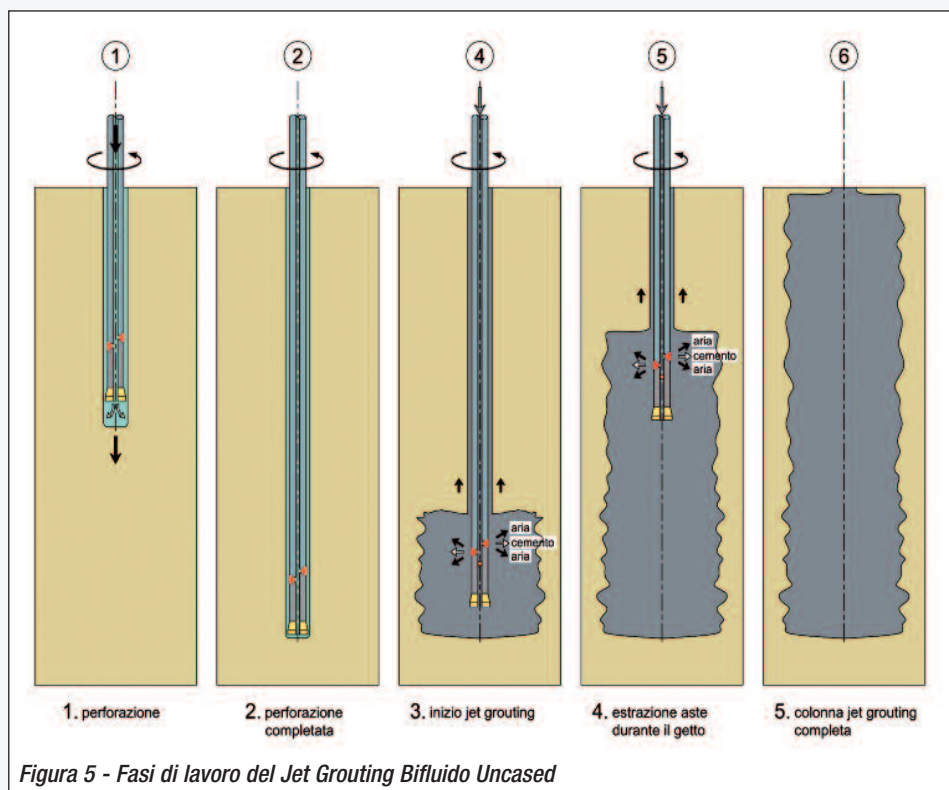


Figura 5 - Fasi di lavoro del Jet Grouting Bifluido Uncased

Figura 6

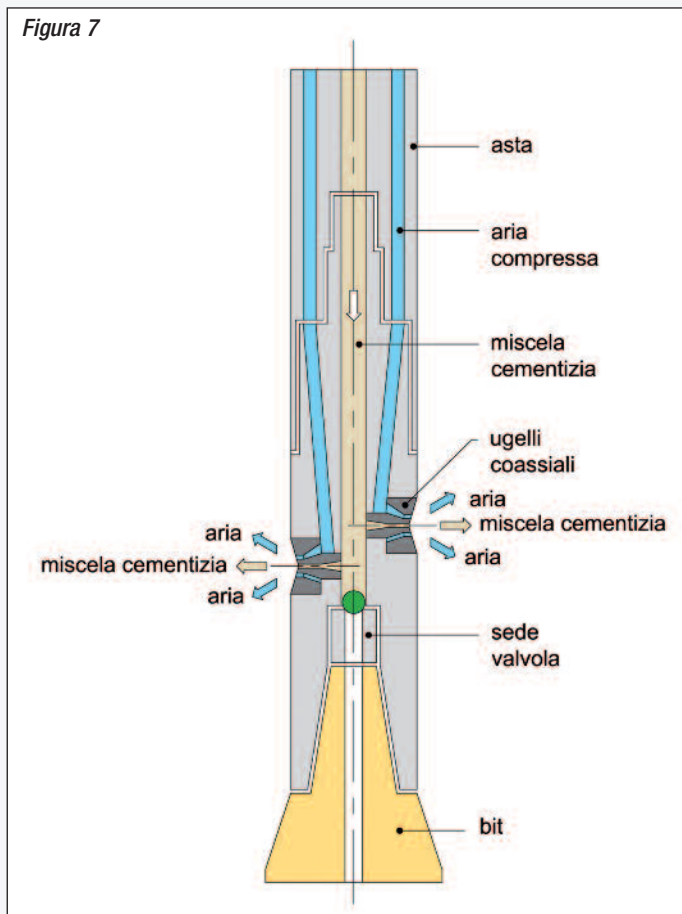


stimento tubolare e dai tamponi in jetting fosse del livello di impermeabilità richiesto (5 l/s per compartimento). I valori ottenuti sono stati ampiamente entro tali limiti.

In fase di esecuzione del tunnel, per maggiore stabilità complessiva e per evitare l'entrata di venute d'acqua residua è stata utilizzata l'aria compressa. La pressione è stata adeguata in funzione della profondità sotto il livello della falda del particolare segmento in cui veniva eseguito lo scavo. Tale sistema prevede che uomini e mezzi passino attraverso una camera di decompressione per permettere l'adeguamento all'atmosfera esterna.



Figura 7



Conclusioni

Come sottolineato, l'organizzazione del cantiere e della logistica - così come l'esecuzione di tutta l'opera - sono risultate particolarmente complesse. In alcuni punti, le perforatrici hanno dovuto realizzare le colonne a solo 1 m di distanza dal rilevato autostradale, condizione esecutiva che ha chiaramente richiesto adeguate considerazioni sul piano dell'operatività e della sicurezza.

Il jetting è stato realizzato da perforatrici Soilmec CM 40; in corrispondenza del viadotto autostradale si sono invece dovute impiegare perforatrici di piccole dimensioni in grado di operare al di sotto dell'impalcato. La grande quantità di miscela cementizia utilizzata (fino a 800 t/giorno) ha inoltre richiesto l'approntamento di un impianto di produzione di adeguate dimensioni e capacità produttive.

Il controllo qualità è stato un altro aspetto a cui è stata rivolta particolare attenzione, sia in fase di progetto sia in fase di realizzazione della maglia di jet grouting. Prima dell'inizio di lavori, Trevi ha messo a punto un sistema di modellazione tridimensionale definito Trevi 3D Stans che ha permesso di valutare la sovrapposizione di ciascuna colonna con quelle circostanti. Durante le fasi esecutive, l'asse delle colonne è stato invece definito all'atto del piazzamento con sistema intermetrico e monitorato nel suo andamento reale con l'ausilio del sistema Tigor. Tutti i dati sono confluiti all'Ufficio Tecnico e al controllo qualità. Questi due organi, operando ciascuno secondo un proprio protocollo, hanno analizzato e poi incrociato i dati provenienti dai rilievi realizzati in situ e ne hanno verificato la conformità con le specifiche di progetto e la modellazione 3D. Grazie all'adozione del sistema Lutz, tutti i dati relativi ai parametri di perforazione e di jetting sono stati rilevati e raccolti in un data base che è servito per la rappresentazione del lavoro eseguito. ■