

worldwide leader in the foundation engineering field



Intermodal plan of the Phlegraean area
Piano intermodale dell'
area Flegrea



Naples, Italy



Jet Grouting
Jet Grouting

Ciente : Owner:	COPIN S.p.A.	Società per la valorizzazione dell'area Flegrea Company for the development of the Phlegraean area
Contrattista principale : Main Contractor :	SABESA	
Durata dei lavori : Duration of work :	2014 - 2015	

Introduzione

Per la valorizzazione dell'area Flegrea, si è realizzato un nuovo sistema viario che prevede un tratto in galleria naturale a doppia canna con due corsie per ogni senso di marcia avente una lunghezza di circa 1 km.

L'opera rappresenta un collegamento rapido tra la tangenziale di Napoli (via Campana) e la viabilità costiera (via Fasano) nell'area portuale del comune di Pozzuoli.

Il progetto

Partendo da una quota di circa 65 m s.l.m. ed arrivando ad una

Introduction

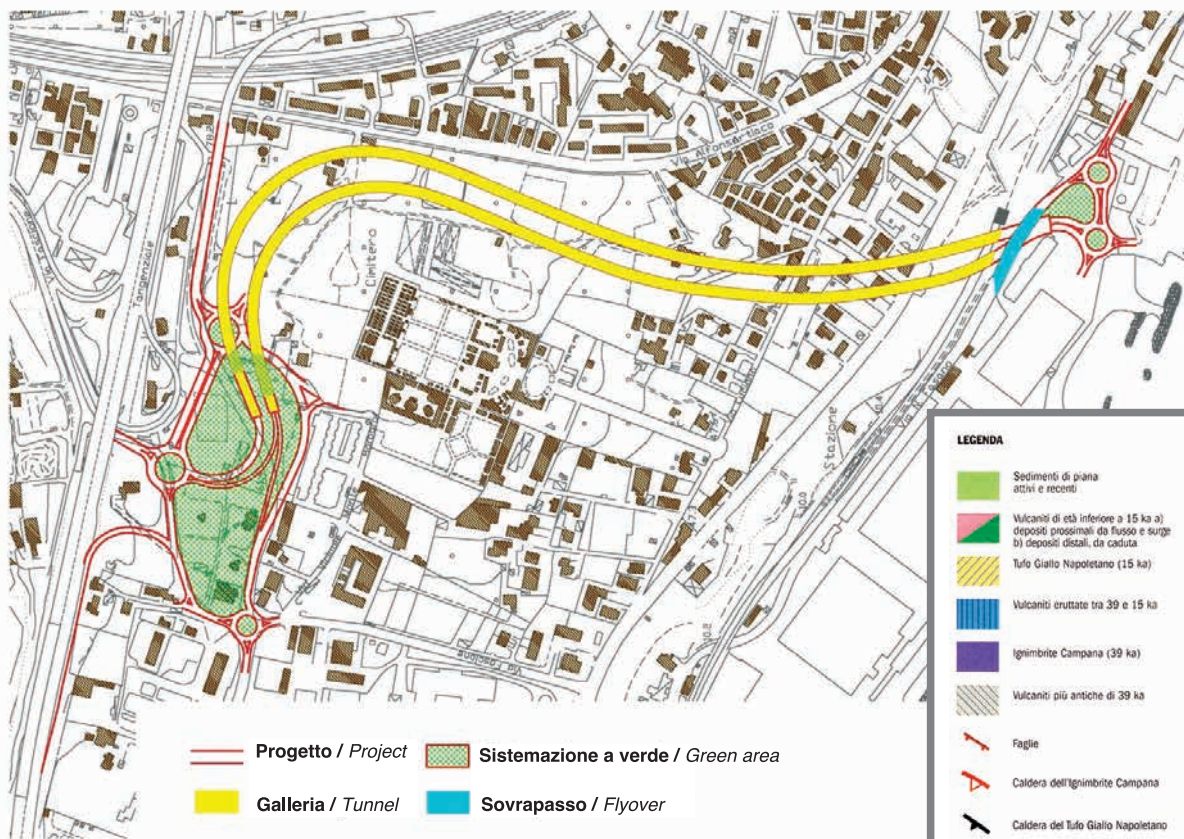
The enhancement of the Phlegraean area involved the construction of a new road system which includes a stretch in a 1-km long natural twin-tube tunnel with two lanes in both directions.

Said work aims at creating a rapid connection between the Naples bypass (via Campana) and the coastal road network (via Fasano) in the port area of the municipality of Pozzuoli.

The project

Starting from an elevation of about 65 m a.s.l. to approximately

Area Di Intervento - Tracciato della Nuova Opera Viaria / Intervention Area - New Road System



— Progetto / Project Sistemazione a verde / Green area
 Galleria / Tunnel — Sovrapasso / Flyover

LEGENDA

- Sedimenti di piana attivi e recenti
- Vulcanici di età inferiore a 15 ka a) depositi prossimi da flusso e surge b) depositi distali, da caduta
- Tufo Giallo Napoletano (15 ka)
- Vulcanici eruttati tra 39 e 15 ka
- Ignimbrite Campana (39 ka)
- Vulcanici più antichi di 39 ka
- Faglie
- Caldera dell'ignimbrite Campana
- Caldera del Tufo Giallo Napoletano

Overlap with roundabout
Sovrapposizione con rotatoria
R-Tangenziale
L= 3,51 m

Artificial gallery - upstream
Galleria artificiale - imboccatura
L= 39,83 m



Mappa dell' AREA FLEGREA / PHLEGRAEAN area map

quota di circa 5 m s.l.m., le gallerie coprono un dislivello di ca. 60 m mantenendo una pendenza inferiore all'8% grazie ad un tracciato ad andamento sinusoidale che attraversa, nella sua parte alta e per circa 500 m, un'area non edificata.

L'area, di ex demanio militare, è stata adibita nel passato allo stoccaggio di carburante in grosse cisterne di cemento armato interrate e collegate tra di loro da una condotta sotterranea che ne permetteva il riempimento in pressione direttamente dalle navi-cisterna ormeggiate nel porto di Pozzuoli. Alcune cisterne sono state sostituite con il materiale refluo proveniente dal trattamento jet grouting.

La soluzione progettuale scelta per la prima metà del tracciato, grazie all'area di monte pienamente accessibile ed a coperture massime non superiori ai 30 m, ha visto la realizzazione di una

5 m a.s.l., the tunnels cover a difference in level of about 60 m maintaining a slope lower than 8% thanks to a sinusoidal route that crosses, at its top, a non-built area for approximately 500 m.

This area, a former military property, was used in the past for storing fuel in big reinforced concrete tanks, buried and connected one another by an underground pipeline allowing the direct pressure filling from tankers at berth in the Pozzuoli port. Some tanks were replaced by waste material deriving from the jet grouting treatment.

Thanks to a fully accessible upstream area and to maximum covers not higher than 30 m, the design solution of the first half of the stretch includes the construction of a consolidated belt (estimated resistance > 3 MPa) with 3 m of thickness above the

fascia consolidata (*resistenza prevista > 3 MPa*) di 3 m di spessore al di sopra della calotta ed esternamente ai piedritti, tramite jet grouting dall'alto, ed una successiva sezione di scavo con martellone e rivestimento provvisorio costituito da sole centine metalliche HEA180 a passo 1.0 m e calcestruzzo proiettato fibrorinforzato di spessore 20 cm.

Geologia

L'area di cantiere ricade nel distretto vulcanico dei Campi Flegrei interessato da attività fumarolica e bradisismica, come illustrato nella mappa.

La gran parte del consolidamento tramite jet grouting interessa

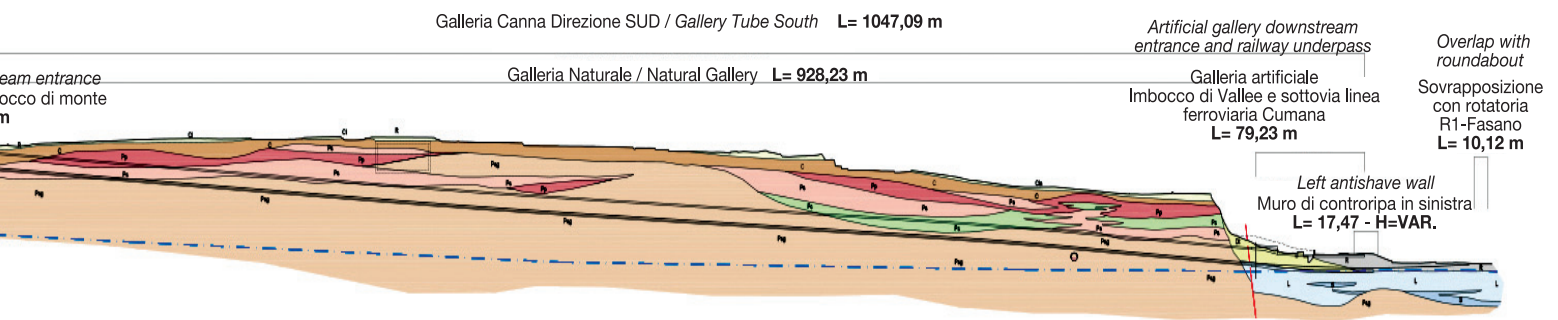
crowns and outside the piers through jet grouting executed from top to bottom and, as well, a subsequent excavation section by means of a jackhammer and a temporary lining just composed by HEA180 metal ribs with pitch of 1.0 m and 20-cm thick fibre-reinforced shot concrete.

Geology

The jobsite area is located in the volcanic zone of the Phlegraean Fields, characterized by fumarolic and bradyseismic activities, as shown in the map.

The tunnel consolidation through jet grouting involved volcanic

Sezione dell'opera / Section of the work



	Descrizione geotecnica	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	c_u [kPa]	ν	K [AFTES]
UG1	Riperti antropici, terreni vegetali e coltri eluvio colluviali	16-20	0	25-35	10-30	-	0.33	K4 (K3)
UG2	Depositi detritici situati al piede del terrazzo di "La Starza"	19-21	0	27-34	20-40	-	0.33	K3 (K2)
UG3	Depositi prevalentemente fini (limi, limi argillosi, argille) di ambiente marino o di transizione	18-22	15-30	24-30	20-30	190-350	0.40	K3
UG4	Prodotti vulcanici e depositi di ambiente marino o di transizione a granulometria prevalentemente sabbiosa grossolana: piroclastiti, cineriti, pomici e sabbie marine con pomici e scorie arrotondate	16-20	5-40	33-38	50+5.0xZ(*)	-	0.33	K3 (K4)
UG5	Prodotti vulcanici: pomici e scorie ghiaioso-sabbiose con clasti da centimetrici a millimetrici	14-17	5-15	31-38	30-80	-	0.33	K3
UG6	Prodotti vulcanici: cineriti prevalentemente limose	16-19	10-30	32-38	5-20	120-150	0.35	K3 (K2)

(*) Z = profondità in m dal p.c.

prodotti vulcanici e depositi di ambiente marino a granulometria prevalente sabbiosa grossolana, mentre gli imbocchi Nord di entrambe le canne sono, nella parte meno profonda, interessati da prodotti vulcanici più grossolani, con pomici e scorie ghiaio-sabbiose e clasti da millimetrici a centimetrici.

Le unità geotecniche attraversate si presentano asciutte essendo la falda freatica presente ad una quota sensibilmente inferiore rispetto a quella della galleria.

L'intervento Trevi

La scelta tecnologica dei progettisti è stata dettata principalmente dall'assenza di falda e dai terreni pozzolanici. Il progettista ha optato per una soluzione di consolidamento dall'alto per la tratta

products and marine environment deposits whose granulometry principally presents a coarse-grained sand composition. The Northern entrances of both tubes are, on the other hand, characterized by coarser volcanic products having pumices and sandy-gravel slags with clasts ranging from millimetre to centimetre.

The geotechnical units crossed are dry since the ground-water table lies at a depth considerably lower with respect to the tunnel one.

Intervention of Trevi

The technological option proposed by design engineers was principally dictated by the absence of a ground-water table and by the pozzolanitic soil. The design engineer opted for a

di galleria libera da strutture in superficie.

Trevi, grazie al know-how tecnologico nel settore specifico, ha proposto alla committenza - a parità di importo contrattuale - una variante geometrica migliorativa in grado di ottimizzare l'esecuzione del consolidamento previsto con una drastica riduzione, pari a circa il 38%, sia del numero di verticali che dei metri lineari di trattamento in risalita, grazie ad un sensibile aumento del diametro delle colonne.

Rispetto alla soluzione originale (colonne \varnothing 2000 mm, interasse 1500 mm) si è aumentato l'interasse a 2000 mm con un diametro di trattamento minimo di 2670 mm per conservare la medesima compenetrazione tra le colonne.

L'incremento di diametro corrisponde ad un incremento areale

consolidation from the top for the tunnel stretch without surface structures.

Thanks to the know-how acquired in this specific sector, Trevi proposed - at the same contractual amount - a "geometrical enhancement variant" to the client, with the aim to improve the execution of the consolidation with a considerable 38% reduction of the number of verticals and of linear meters of the raising treatment, by increasing, on the other hand, the diameter of columns. With respect to the original solution (columns with 2,000 mm, 1,500 mm of centre-to-centre distance), the centre-to-centre distance was increased up to 2,000 mm with a minimum treatment diameter of 2,670 mm to maintain the same interpenetration among columns.



di sezione trattata pari a +78% per ogni verticale. La maglia è stata poi ruotata di 90° permettendo sia di dare continuità longitudinale alla geometria del consolidamento ai piedritti che di agevolare i posizionamenti delle macchine durante l'esecuzione della lavorazione con sequenza "fresco su fresco". Infine il setto di chiusura, originariamente previsto come continuo ogni 12 m, è stato sostituito da 3 colonne alternate a tutta lunghezza sfalsate ogni 7 m non essendoci, in assenza di falda, necessità di una sconnessione idraulica ma di un mero sostegno strutturale.

Data la severità degli obiettivi da raggiungere, è stato allestito un campo prove in cui sono stati provati 5 set di parametri a diversi livelli energetici, e sono state eseguite 10 colonne di prova per confermare il raggiungimento del diametro previsto, il conseguimento della verticalità a garanzia della compenetrazione degli elementi (anche alle massime profondità)

The diameter increase corresponds to an areal increase of the section treated equal to +78% for each vertical.

The mesh was rotated of 90° allowing to confer a longitudinal continuity to the geometry of the consolidation at the piers as well as to facilitate the positioning of the equipment during the execution of the "wet on wet" working sequence. Finally, the closing section that was originally conceived as a complete transversal section with pitch of 12 m was replaced by 3 columns with pitch of 7 m, taking advantage of the fact that the absence of a water table did not require an hydraulic disconnection but a simple structural support.

Due to the complexity of the goals to be achieved, a trial field was set during which 10 test columns were executed employing 5 different energy levels, in order to confirm the achievement of the diameter planned and of the verticality, ensuring the

ed il raggiungimento delle resistenze richieste da progetto con i quantitativi di cemento ipotizzati.

I risultati incoraggianti del campo prova hanno pienamente confermato le ipotesi e hanno consentito l'approvazione della variante da parte della committenza.

Per la realizzazione del progetto sono state utilizzate perforatrici **Soilmec SR-30** ed **R-312**, entrambe in versione MP (*Micropalo-Jet Grouting*), che grazie alle loro caratteristiche hanno permesso di raggiungere le quote di progetto con minimo ricorso alla giunzione delle aste, ottenendo una maggiore produttività e al contempo una maggiore verticalità dei fori.

La dotazione di cantiere è stata completata da 2 impianti **Soilmec GM-25** per la preparazione della miscela cementizia, aventi una

interpenetration among elements (even at the maximum depth) and the attainment of resistances required by the project with the estimated amount of cement.

The encouraging results achieved in the trial field fully confirmed the expectations, allowing to get the variant approved by the client.

***Soilmec SR-30 and R-312 drill rigs** were employed for executing the project, both in their MP version (*Micropile-Jet Grouting*), whose features made it possible to reach the project goals with a minimum use of drill pipe junction, concurrently getting greater productivity and hole verticality.*

*The equipment used included as well two **Soilmec GM-25 mixing plants** for the preparation of the cement slurry, with a*



capacità produttiva di 25 m³/ora.

Ciascun impianto è stato dotato di 4 silos per lo stoccaggio del cemento in polvere. Questa capacità di produzione e stoccaggio ha consentito di soddisfare pienamente la produttività prevista per la realizzazione delle colonne, per un totale di circa 100.000 m³ di boiaccia prodotta nel periodo giugno 2014 - aprile 2015. Per l'iniezione delle miscele sono state utilizzate due pompe triplex a pistoncini tipo **Soilmec 7T-600J**, per portate di esercizio pari a circa 400 l/min e pressioni pari a circa 40 MPa.

L'adozione della sequenza esecutiva "fresco su fresco" ha minimizzato il rischio di creare sovrappressioni nel terreno oltre che migliorato la continuità tra le colonne, in quanto la compenetrazione tra gli elementi contigui viene favorita dallo stato liquido o semiliquido delle colonne precedentemente installate.

production capacity of 25 m³/hour.

*Each plant was equipped with 4 silos for storing the cement dust. This storage and productivity capacity allowed to fully meet the production planned for executing the columns, for a total amount of about 100,000 m³ of slurry produced during the period from June 2014 to April 2015. Two **Soilmec 7T-600J Triplex piston pumps** were employed for the grout injection, with a working capacity of about 400 l/min and pressures equal to 40 MPa.*

The "wet on wet" executive sequence reduced the risk of creating soil overpressure besides improving the continuity among columns, since the interpenetration among elements was favoured by the liquid or semi-liquid state of the columns previously installed.

The overall amount of production in the period between June

La quantità complessiva di produzione nel periodo compreso tra giugno 2014 e aprile 2015 è stata di **65000 ml di perforazione a vuoto e 28000 ml di colonne jet grouting ø 2670 mm.**

Controlli qualità

Le fasi di perforazione ed iniezione sono state controllate e registrate tramite registratore automatico dei parametri, installato su entrambe le perforatrici, che ha permesso il controllo in tempo reale da parte dell'operatore dei parametri esecutivi del trattamento di gettiniezione. Il registratore elettronico ha consentito inoltre, per ogni singola colonna, la registrazione dei file per il controllo qualità compresi, per ogni

2014 and April 2015 was **65,000 ml of blind boring and 28,000 ml of jet grouting columns with diameter of 2,670 mm.**

Quality Checks

Drilling and injection phases were checked and recorded by means of an automatic recorder of parameters, installed on both drill rigs, that allowed the operator to check in real time the executive parameters of the jet grouting intervention. Furthermore, the electronic recorder made it possible to record quality check files for each columns, including all the significant parameters pertaining to the phases of drilling and raising



singola verticale trattata, tutti i parametri significativi delle fasi di perforazione e trattamento in risalita.

Nel progetto in questione nessuna colonna è stata oggetto di "non conformità", a testimonianza dell'alto livello qualitativo delle attrezzature e dei materiali impiegati nel progetto, e della professionalità del personale impiegato. Il capitolato prevedeva anche la realizzazione di carotaggi in continuo con il prelievo di campioni per l'invio in laboratorio. Tutti i parametri di resistenza meccanica misurati sono ampiamente rientrati nei limiti indicati dal progettista a tutte le profondità e in tutte le condizioni geologiche (>4 MPa).

I carotaggi sono risultati ottimi in termini di RQD, omogeneità di trattamento e resistenza a compressione unilaterale non confinata (UCS). Inoltre il raggiungimento di significative resistenze delle caratteristiche meccaniche della pozzolana

treatment for each vertical treated.

No column executed for the project was subject of "non-conformity", as evidence of the high quality level of equipment and materials employed in the project, as well as of the professionalism of the personnel involved. The tender specifications included the execution of continuous coring and the taking of samples to be sent to the laboratory. All the parameters of mechanical strength measured met the limits indicated by the design engineer at any depth and any geological condition (> 4 MPa).

The results achieved in coring activities were remarkable in terms of RQD, homogeneity of the treatment and uniaxial compressive strength (UCS). Furthermore, the achievement of a significant mechanical strength of the consolidated pozzolana allowed to avoid executing supporting bulkhead tie rods at the

consolidata, ha permesso di evitare la realizzazione delle tirantature della paratia di sostegno agli imbocchi originariamente previste da progetto.

Su richiesta della Direzione Lavori sono state inoltre eseguite delle prove di verticalità a campione con l'uso di apposita strumentazione; le zone investigate sono state quelle con maggior copertura e, quindi, con lunghezza di perforazione massima di circa 40 m; i risultati ottenuti mostrano valori massimi di deviazione pari al 1,47% e minimi pari al 0,72% (media 1,14%, deviazione standard 0,27%), risultando inferiori al limite progettuale massimo di deviazione richiesto e pari al 1,5%.

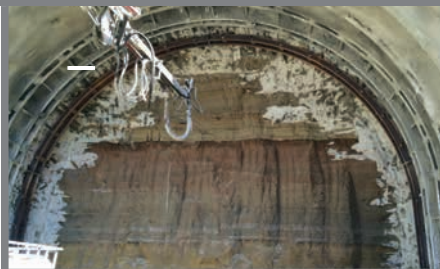
entrances, as originally planned by the executive project.

Controls of the verticality were carried out at random upon request of the Works Management by means of proper tools and were mainly focused on the areas with greater coverage, namely the ones with maximum drilling length of 40 m. The data collected showed deviations between 0.72% and 1.47% (with an average of 1.14% and standard deviation of 0.27%), always resulting lower than the upper limit required and corresponding to 1.50%.

SEZIONE CORRENTE / CURRENT SECTION
Canna Sud / Southern Tube
 Fila / Row 129/130 Concio / Segment 10

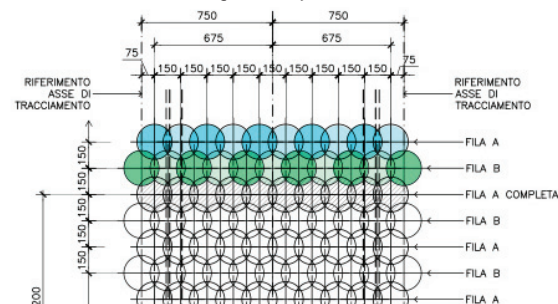
H	G	F	E	D	C	B	A
11.5	6.1	4.1	3.2	3.2	4.1	6.1	11.5

Piano di lavoro, bonificato da interferenze e sovrastrutture stradali

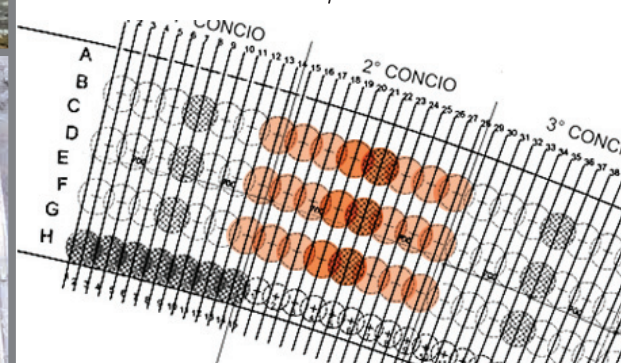


TRATTAMENTO JET GROUTING
JET GROUTING TREATMENT

Progetto Originale
 Original Project



Proposta Trevi
 Trevi Proposal



Conclusioni

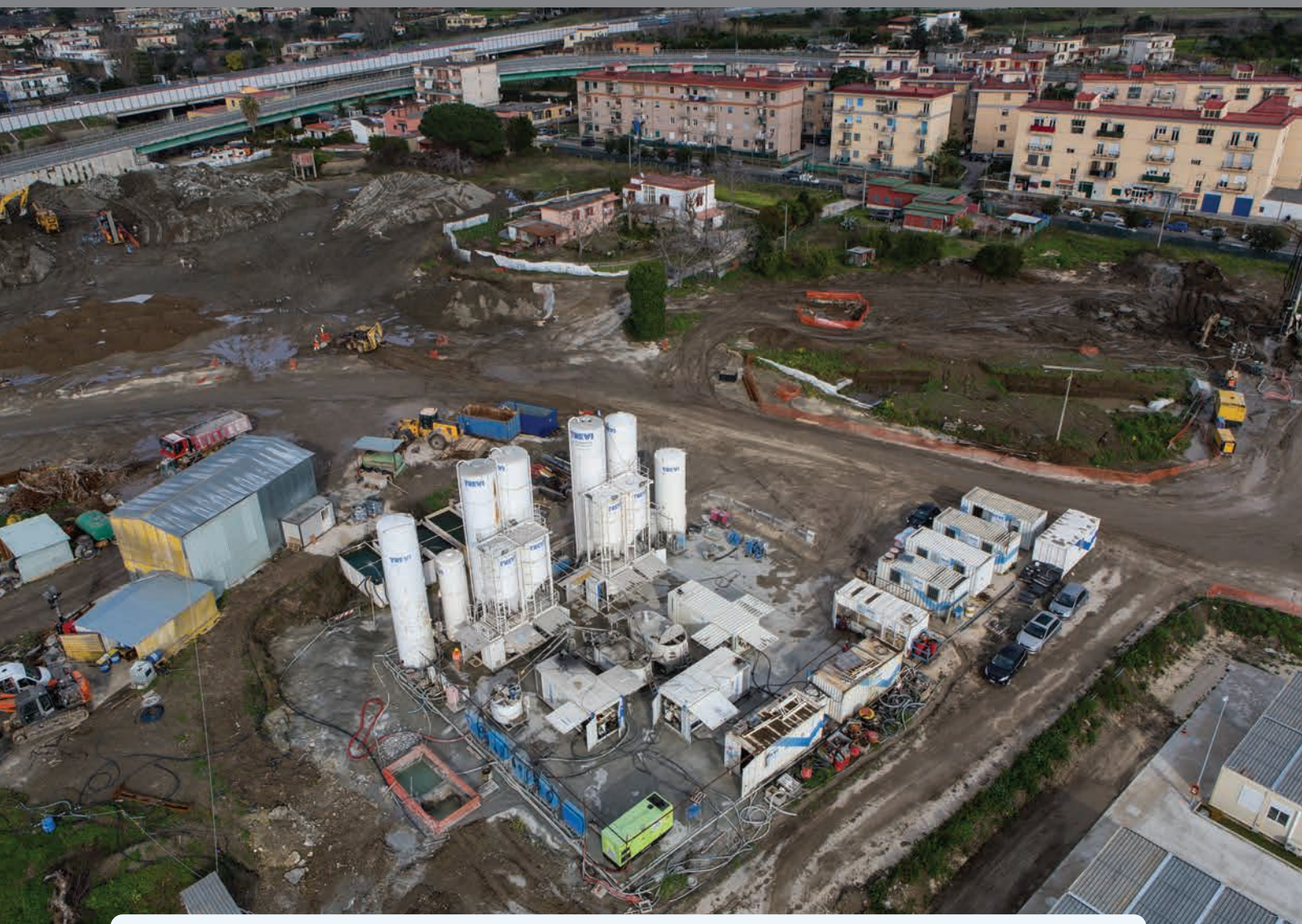
L' esecuzione di oltre **4000 colonne bifluide Ø 2670 mm** fino a **40 m** con verticalità mantenuta al di sotto dell' 1,5% rappresenta un successo, sia per il conseguimento di una perfetta compenetrazione tra gli elementi che per il raggiungimento delle caratteristiche meccaniche richieste da progetto.

La validità di quanto proposto, assieme all'eccellenza nell'esecuzione delle lavorazioni, ha consentito lo scavo della galleria in assoluta sicurezza e con indici di produzione superiori ai 5 m/gg previsti fino ad un massimo di 8 m/gg usando martellone per la demolizione e un rivestimento provvisorio costituito da centine e calcestruzzo proiettato.

Conclusions

The execution of over **4,000 bi-fluid columns, with 2,670 mm of diameter to a depth up to 40 m** and verticality maintained below 1.5%, represents a veritable success, not only for the achievement of a proper interpenetration among elements but also for the attainment of the mechanical features required by the project.

The proposal efficiency, together with an excellent working execution, allowed to carry out the excavation of the tunnel in complete safety and with production indices higher than the 5 m/dd expected and till a maximum of 8 m/dd, employing a jackhammer for the demolition and a temporary lining of ribs and shot concrete.



Sono stati eseguiti circa 27.900 m lineari di jet grouting (13.900 m per la canna Nord, 13.600 m per la canna Sud e il restante per i by-pass) e **65.700 m lineari di perforazione a vuoto** (33.200 m per la canna Nord, 31.500 m per la canna Sud e il restante per i by-pass).

Approximately 27,900 linear m of jet grouting (13,900 m for the Northern tube, 13,600 m for the Southern tube and the remaining ones for the bypasses) and **65,700 linear m of blind boring** (33,200 m for the Northern tube, 31,500 for the Southern tube and the remaining ones for the bypasses) were executed.



5819, via Dismano - 47522 **Cesena** (FC) - Italy
Tel. +39.0547.319311 - Fax +39.0547.318542
e-mail: intdept@trevispa.com
www.trevispa.com