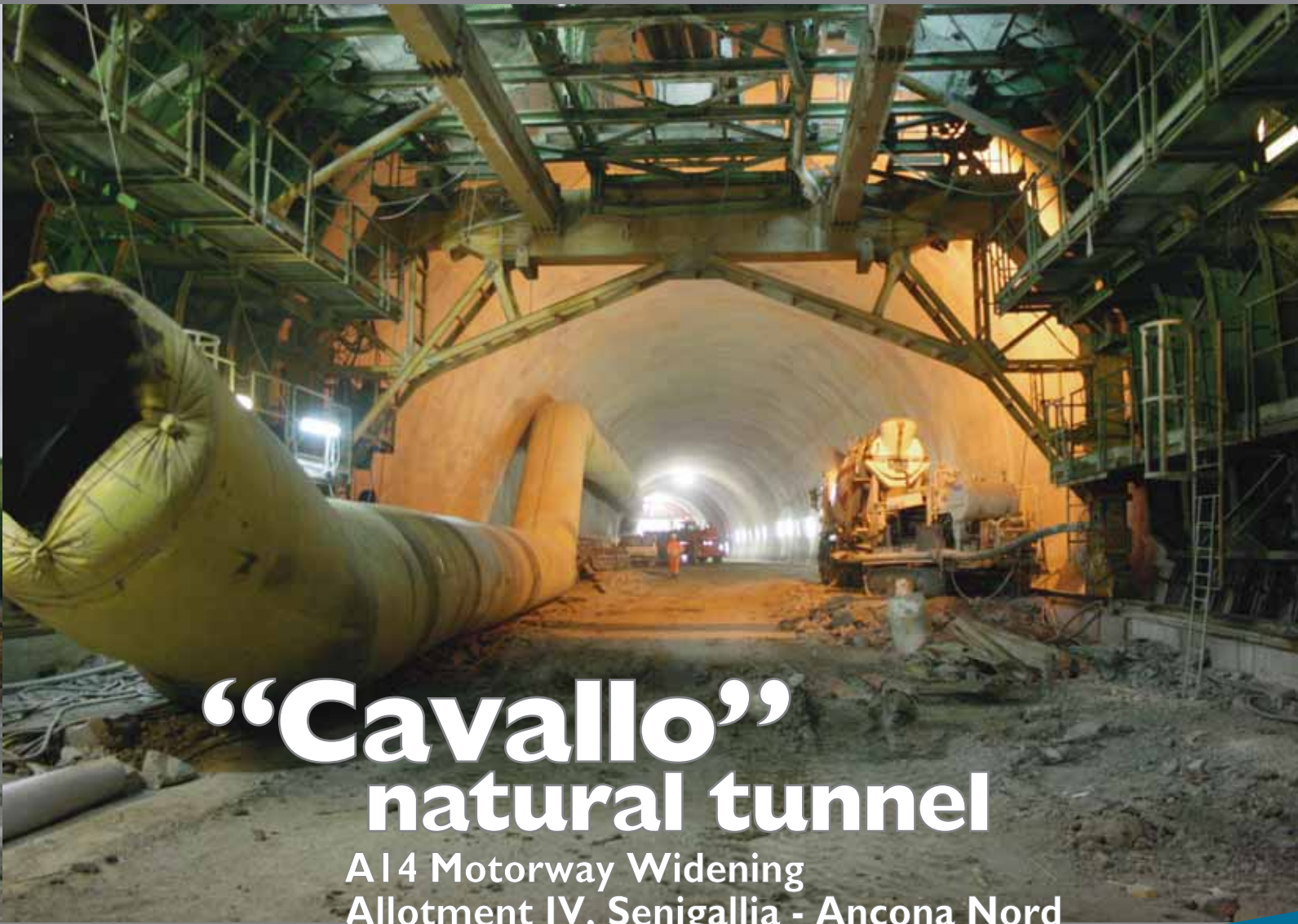


worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



“Cavallo” natural tunnel

AI4 Motorway Widening
Allotment IV, Senigallia - Ancona Nord

Senigallia, Italy



Tunnelling
Tunnelling

Cliente :
Owner:

AUTOSTRADe PER L'ITALIA

Contrattista principale :
Main Contractor :

Consorzio SA.MA.C (Ing. Claudio Salini S.p.A – Matarrese S.p.A – Carena S.p.A)

Durata dei lavori :
Duration of work :

2012 - 2013

Introduzione

L'economia di un paese è profondamente condizionata dall'efficienza e capacità delle infrastrutture di trasporto il cui potenziamento è senza dubbio un fattore strategico. In una fase storica in cui la rapidità e l'efficienza delle comunicazioni si confermano elementi vitali diventa sempre più importante investire e mettere in campo tecnologie e competenze di eccellenza: è quanto si sta attuando in **uno dei tratti autostradali più trafficati d'Italia, il percorso Adriatico della A14 che collega Bologna a Taranto**. Il progetto di potenziamento della tratta tra Rimini Nord e Porto S. Elpidio ne prevede l'ammodernamento e l'ampliamento, da due a tre corsie più quella di emergenza, per uno sviluppo complessivo di 154,7 km.

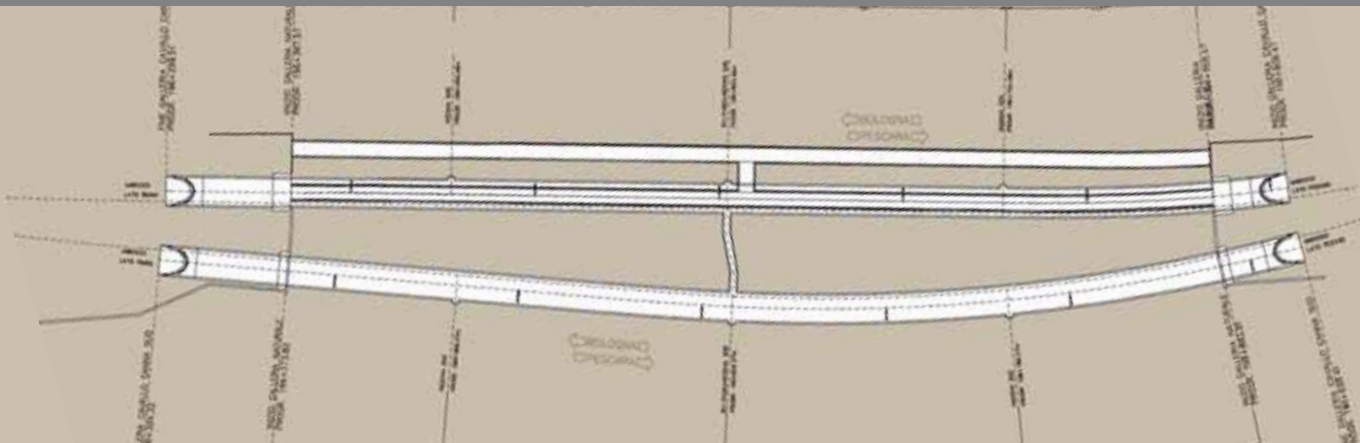
All'interno di questo esteso e oneroso progetto il focus tecnologico di seguito presentato si sofferma sulla realizzazione delle gallerie del Cavallo, una in allargamento l'altra in variante, all'altezza dello svincolo

Introduction

The economy of every country is significantly affected by the efficiency and capacity of transport infrastructure. Extending them is therefore crucial. In a time in which fast and efficient transport plays a key role, it is extremely important to invest and provide technologies and skills of excellence. This is what is happening to **one of the busiest motorway stretches of Italy – Adriatic A14 motorway – connecting Bologna to Taranto**. The project includes the upgrade and widening of the stretch of motorway from Rimini Nord to Porto S. Elpidio from two to three lanes plus the emergency lane, totalling 154.7 km.

Within the said large and expensive project, the technological focus described below concerns the Cavallo tunnels: a widening of the existing tunnel and a new tunnel, where the Senigallia motorway exit is located.

The road infrastructure includes a section consisting of three lanes



autostradale di Senigallia. L'infrastruttura stradale prevede l'impiego di una sezione composta da tre corsie aventi larghezza 3,75 m, dalla banchina destra e sinistra di 0,7 metri, e da marciapiedi, su ambo i lati, di larghezza minima 0,90 m. Per adempire a queste esigenze geometriche la galleria presenta un diametro di scavo pari a 18 m e una sezione massima di circa 218 m² (minima 190 m²) che si estende per 510 m, in un terreno prevalentemente caratterizzato da argille limose, a 28 m di profondità dal piano campagna superiore, per una lunghezza coperta di 597 metri.

Inquadramento geologico

La litologia del sito risulta nel complesso omogenea costituita principalmente da argille limose e limi argillosi sovraconsolidati con variazione del parametro OCR da 2,7 (p.c.) a 1 (60 m) e una presenza subordinata di intercalazioni sabbiose molto fini.

of 3.75 m width, right and left 0.7 m - wide shoulders and sidewalks on both sides of a minimum width of 0.9 m.

To meet the abovementioned geometrical requirements, **the tunnel has an 18 m-excavation diameter and max section of about 218 m² (the minimum section equals 190 m²) extending for 510 m in a soil mainly consisting of silty clays at a 28m-depth from ground level, for a covered length of 597 m.**

Geology

The site lithology is generally homogeneous, and mainly consists of silty clays and overconsolidated clayey silts with OCR from 2.7 (GL) to 1 (60 m) and subordinate intercalations of very fine-grained sands. Detailed stratigraphy is as follows:

- a **surface backfill** mainly consisting of silts, silty sands and eluvial-colluvial deposits;

Nel dettaglio la stratigrafia è caratterizzata da:

- uno **strato superficiale di riporto** rappresentato da coperture generiche di detriti di falda costituiti da limi, sabbie limose e da depositi eluvio colluviali;
- **argilla limosa sino ad una profondità di 4-5 m**, talvolta con livelli sabbiosi centimetrici da 4-5 m a 14-15 m;
- **argilla pliocenica** molto consistente con intercalazioni di sottili livelli sabbiosi di pochi centimetri.

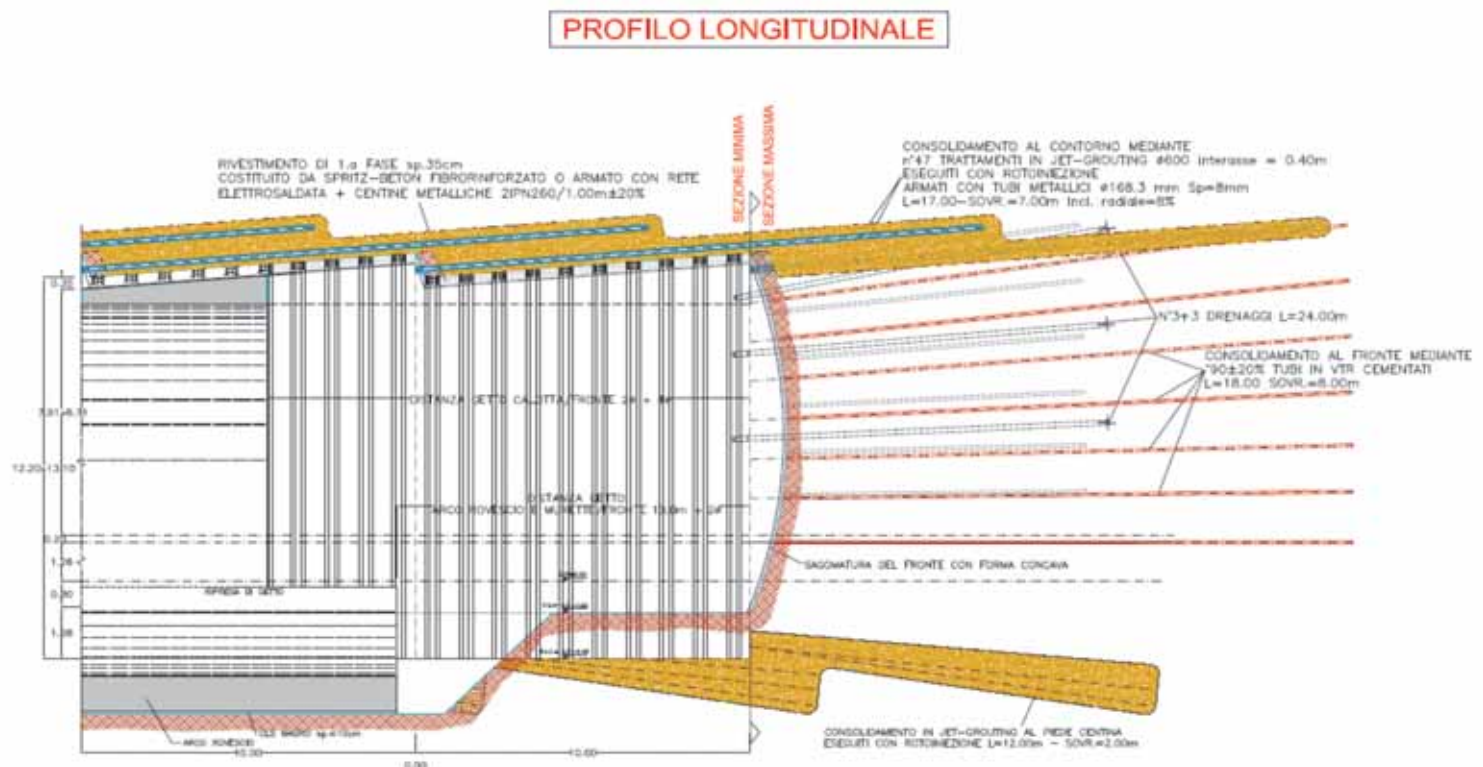
In vista delle considerevoli dimensioni, delle scadenti caratteristiche geotecniche del terreno in sito e della copertura medio-bassa l'intervento consiste principalmente nel consolidamento del terreno all'intorno della zona in scavo e, per la galleria di nuova costruzione, del fronte di scavo stesso.

- **silty clay up to 4-5m depth, sometimes with a few-centimetre thick sand levels of from 4-5 m to 14-15 m;**
- **very dense Pliocene clay with intercalation of a few-centimetre thick sand levels.**

Due to large dimensions, poor soil geotechnical properties on-site and medium to thin overburden, the intervention encompasses the consolidation of the soil surrounding the excavation area and the face of the tunnel to be built.

Executive project

The excavation of the new tunnel includes the consolidation of the full opening excavation face by means of fibreglass structural elements (VTR) - 60 mm diameter and total length from 18 to 24 m - and subsequent injection of cement mortar and consolidation of the contour



Il progetto esecutivo

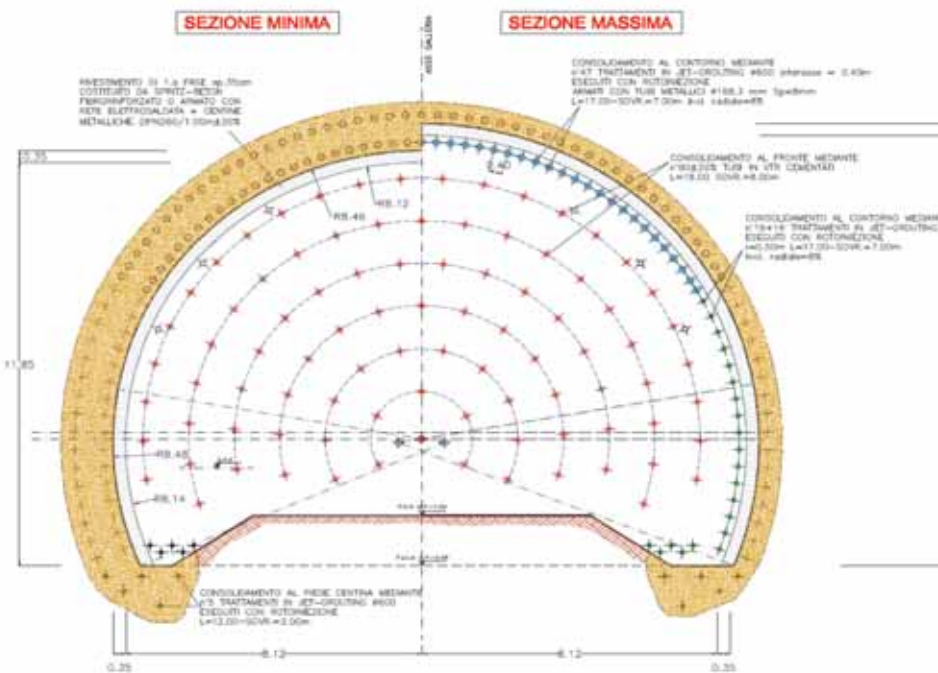
Per la realizzazione della nuova galleria l'intervento prevede il consolidamento del fronte di scavo a piena sezione mediante elementi strutturali, con un diametro di 60 mm e lunghezza totale che può variare da 18 a 24 m, in vetroresina (VTR) con successiva iniezione di malta cementizia e il consolidamento al contorno mediante elementi strutturali, con un diametro di 60 mm e lunghezza totale che può variare da 18 a 24 m, in VTR valvolati (2 vlv/m) e iniettati con miscela cementizia. Quest'ultimo tipo di intervento (*sezione tipo C2a, C2b*), da realizzare in corrispondenza degli imbocchi, dei depositi sciolti e di insediamenti residenziali in superficie, è inoltre caratterizzato in calotta da una coronella di tubi metallici lunghi 15 m con campi di scavo da 6 m a 9 m. La tecnologia di **perforazione a secco** per gli interventi di consolidamento sia del fronte di scavo che al contorno. I rivestimenti di prima fase sono costituiti da centine di spessore 260 mm disposte a passo 1 m, inglobate in 30+5 cm di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata.

through fibreglass structural elements fitted with valve (2 vlv/m) and injected with cement grout - 60mm diameter and total length from 18 to 24m. Of the two interventions, the latter (type-section C2a, C2b), to be carried out where the entrances, loose deposits and overlaying residential dwellings are located, is characterized at the crown by a ring of 15m-long steel pipes with excavation fields from 6 to 9 m. Dry drilling technology is the choice for the consolidation of the face and contour line too. The first phase linings are made up of 260mm-thick ribs arranged at 1m-distance from each other and incorporated into 30+5cm shotcrete either fibre-reinforced or reinforced with electro-welded mesh. For the final linings we envisage a thickness of 1.1m for the invert, made of reinforced concrete, and a thickness of min 0.5m and max 1.3m at the crown, in which a reinforcement will be installed in the presence of thin overburdens. Before the filling injection, a PVC watertight coating will be fitted in the crown, haunches and sidewalls to protect the lining from prolonged contact with groundwater or seepage.

Per i rivestimenti definitivi sono previsti spessori di 1,1 m in arco rovescio, realizzato in calcestruzzo armato, e in calotta uno spessore minimo di 0,50 m e massimo di 1,3 m in cui è prevista armatura lungo le tratte a basse coperture. Preliminarmente al getto del riempimento è prevista la posa in opera di una impermeabilizzazione in PVC per la zona calotta, reni e piedritti allo scopo di proteggere il rivestimento dal contatto prolungato con acqua di falda o da infiltrazione. Le lunghezze dei campi di avanzamento e le distanze di getto del rivestimento definitivo dal fronte di scavo sono state opportunamente modulate in funzione delle caratteristiche geologiche e delle coperture presenti optando per un decrescente valore dei medesimi in corrispondenza degli imbocchi dove le peggiori caratteristiche meccaniche dei materiali attraversati impongono una maggior attenzione nei confronti del livello deformativo. Si hanno **campi con lunghezze di consolidamento da 18 e 24 ml, con scavi di lunghezza variabili da 6, 9, 12 e 16 ml; la distanza delle calotte dal fronte variabile da 3 a 6 diametri.**

*The lengths of penetration fields and the final lining injection distances from the excavation face have been adjusted to the geological properties and existing overburdens, by reducing them gradually at the entrances, where the poor mechanical properties of the materials crossed require higher attention to deformation. The **fields have consolidation lengths from 18 to 24m and excavations of variable lengths – 6, 9, 12 and 16 m; the distance between the crowns and the excavation face is 3 to 6 diameters.***

As to excavation in the presence of overlaying buildings, consolidation interventions are also envisaged through jet-grouting consolidated columns from the ground level to protect the buildings. Moreover, externally, the flanks of the hills have been stabilized by means of drilled piles, tie-backs, drains and boring. The mini piling rig SM-5E has been used to work in the areas surrounding the existing motorway.



Per quanto riguarda lo scavo in corrispondenza degli edifici in superficie sono previsti anche interventi di consolidamento realizzati mediante colonne in jet-grouting effettuati dal piano campagna direttamente a presidio dei prefabbricati.

Inoltre esternamente per stabilizzare i fianchi dei rilievi collinari sono stati effettuati pali trivellati, tiranti, drenaggi e sondaggi dove, per operare nelle zone limitrofe alla rete autostradale esistente, è stata utilizzata la macchina perforatrice per micropalo SM-5E.

Progetto di variante

L'impresa esecutrice nel corso dei lavori ha proposto la possibilità di perseguire alcuni miglioramenti nel processo produttivo e nella qualità del prodotto finale dell'opera in oggetto, riportando variazioni rispetto a quanto previsto dal progetto esecutivo. I benefici ottenuti consistono nella ottimizzazione dei tempi ed aumento della produttività, incremento delle caratteristiche di resistenza e deformabilità del consolidamento al

Improvement tunnel project

During the works, the contractor proposed to improve the production process and the quality of the final product, by slightly changing the executive project.

*Among the advantages resulting from it, worth mentioning are time maximisation and increased productivity, as well as higher resistance and deformability of consolidation at contour line and reduced disturbances in the areas next to overlaying buildings. The proposed modifications are the following: consolidation at the contour line carried out by means of high efficiency roto-injection instead of cement grouting through fibreglass pipes fitted with valves; no consolidation works in the areas next to the buildings, as they are replaced by roto-injection which ensures however a good level of protection. The resulting type-section is as follows: **47 jet-grouting treatments – 17m-length – reinforced with steel pipes; 16+16 non reinforced, 5+5 at the foot of a length of 10/12 m and 90 18 m-long reinforced fibreglass pipes at the face.***

contorno e riduzione del disturbo indotto in corrispondenza delle aree adiacenti ai fabbricati interferenti. Le modifiche consistono nell'introduzione di consolidamenti al contorno effettuati mediante la tecnologia della rotoiniezione ad alta efficienza invece delle iniezioni cementizie attraverso VTR valvolati, nell'eliminazione delle opere di consolidamento nelle zone limitrofe agli edifici la cui funzione viene di fatto sostituita dall'applicazione della rotoiniezione in grado di realizzare comunque una buona protezione.

Quindi in una sezione tipo si eseguono 47 trattamenti jet-grouting di lunghezza 17 m armati con tubi metallici, 16 + 16 non armati, 5 + 5 al piede di lunghezza 10/12 m e 90 tubi in vetroresina cementati (VTR) di lunghezza 18 m al fronte di scavo.

La variante tecnica proposta ha raggiunto gli obiettivi prefissati consentendo:

- l'avanzamento comunque in **condizioni di sicurezza** anche per le

The abovementioned technical variation achieved the set goals and namely allowed to:

- penetrate in **safety condition** even in the areas characterized by thin overburden;
- **limit collapses** in the presence of overlaying buildings and eliminate any "spurious" effects during consolidation;
- ensure a **tunnel penetration** of 1m/day, dropping consolidation times by 40% with respect to the time envisaged in the executive plan.

Works carried out

Roto-injection technology

When using jet-grouting technology for consolidation, it is mandatory to guarantee a smooth flow of spoil material up to the borehole mouth



tratte a bassa copertura

- il **contenimento dei cedimenti** in corrispondenza dei prefabbricati e l'eliminazione di eventuali effetti "parassiti" nell'esecuzione del consolidamento

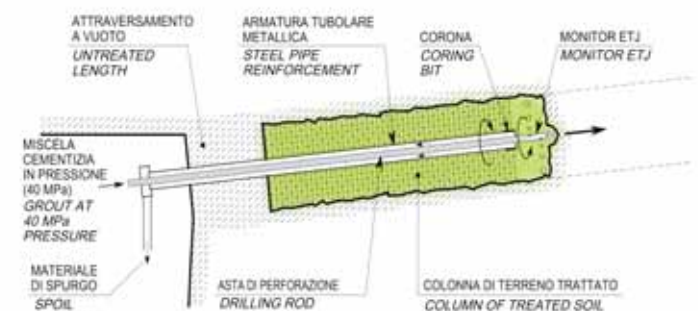
- il **mantenimento della produzione di 1m/gg** circa di avanzamento della galleria con una riduzione dei tempi di consolidamento pari al 40% rispetto a quanto previsto nel piano esecutivo.

Lavori eseguiti

La tecnologia della rotoiniezione

Nella realizzazione di un intervento di consolidamento mediante la tecnologia del jet-grouting è obbligatorio assicurare un libero flusso del terreno di risulta sino alla bocca del foro durante l'intero processo. Questo requisito non è sempre facile da garantire soprattutto quando il terreno trattato è di natura coesiva in quanto esso tende a ostruire lo spazio anulare tra l'utensile di perforazione e le pareti del foro con

throughout the whole process. Nonetheless, this is not always easily achievable as in the presence of cohesive soil, for instance, the said



conseguente formazione nel terreno di vene radiali di miscela cementizia che tendono a farlo rigonfiare in superficie. Per risolvere questa problematica Trevi ha sviluppato una tecnica originale ovvero la rotoiniezione, composta dalla seguente attrezzatura:

- una **macchina perforatrice a doppia testa di rotazione** in cui una ruota in senso orario ed è destinata alla perforazione e all'iniezione di miscela mentre l'altra ruota in senso antiorario e si occupa dell'inserimento del tubo di rivestimento;
- un **automonitoraggio della perforazione e iniezione**;
- esternamente al foro un **raccordo di forma a T per indirizzare il materiale di risulta direttamente verso gli appositi recipienti di raccolta**.

La tecnologia è composta dalla seguente sequenza di operazioni:

- l'asta di perforazione e iniezione e il tubo di rivestimento esterno ruotando in direzione opposte vengono introdotte nel terreno e viene avviato il processo di cementazione;

soil clogs the annulus between drilling tool and borehole side walls, resulting in the formation of radial veins of cement grout in the ground which make it swell at surface level. To remediate it, Trevi designed roto-injection, a new technique that requires the following equipment:

- **a drill rig with two rotary heads**, in which one rotates clockwise for drilling and grouting, whereas the other rotates anti-clockwise to drive the casing;
- **drilling and injection self-monitoring**;
- **a T-shaped fitting out of the borehole to direct the spoil material to the collection containers**.

The technology encompasses the following stages:

- *by rotating in opposite directions, the drilling and injection rod and the outer casing are lowered into the ground; the injection process is activated;*
- *while realizing the consolidated column, the spoil material is easily brought out of the borehole, passing between rod and casing, and directed to the collection containers;*



- durante la realizzazione della colonna di terreno consolidato il materiale di risulta si dirige facilmente verso l'esterno passando tra l'asta e il tubo di rivestimento e in seguito convogliato verso gli appositi recipienti di accumulo;
- dopo aver raggiunto la lunghezza totale del trattamento il tubo di rivestimento viene spinto nel terreno per altri 50 cm e le aste di perforazione vengono estratte.

I principali vantaggi per cui si è deciso di applicare questo tipo di tecnica sono la notevole riduzione del rischio di generare venature radiali di malta nel terreno e sollevamenti indesiderati del piano campagna, il fatto di poter garantire il libero fluire del materiale di risulta portando ad una realizzazione della colonna di terreno consolidato corretta e la maggior sicurezza e pulizia del fronte di scavo grazie al fatto che il materiale di spurgo viene indirizzato verso gli appositi recipienti di accumulo.

- *once the total treatment length has been reached, the casing is lowered into the ground for further 50 cm and the drilling string is withdrawn.*

We decided to adopt this technique because of the following advantages: reduced risk of creating grout radial veins in the ground and undesired swelling at ground level; smooth flow of spoil material and proper execution of consolidated columns; higher safety and cleanness of the excavation face as spoil material is conveyed to the collection containers.

Equipment used

The ST-120 is a crawler-mounted hydraulic drill rig for horizontal and sub-horizontal consolidation specially designed for large section tunnelling. The main peculiarity of ST-120 is that the drilling masts are supported by two telescopic rams secured to the main frame by means of two slewing rings. The slewing rings move along a system

Attrezzature utilizzate

La macchina **ST-120** è una perforatrice idraulica cingolata per l'esecuzione di consolidamenti orizzontali o sub-orizzontali nell'ambito dei lavori di esecuzione di gallerie a grande sezione. La caratteristica principale della ST-120 è quella di avere le antenne di perforazione sostenute da due montanti telescopici collegati al telaio principale attraverso due ralle di rotazione. Le ralle a loro volta scorrevoli su di un sistema di slitte consentono una regolazione in altezza in modo indipendente così da poter allineare il loro asse di rotazione con l'asse geometrico della galleria.

La **tecnologia di perforazione che la macchina adotta è a rotazione alternata e spinta**, cioè una rotary mette in rotazione una batteria di perforazione dotata di speciale utensile che scava il terreno. Per l'esecuzione del presostegno di scavo tramite rotoiniezione è indispensabile un allestimento con doppia testa di rotazione, una per

of slides and their height can be adjusted separately, so as to align their rotation axis with the tunnel geometrical axis.

The drilling technology used by the rig is alternate rotation and crowd: a rotary table rotates the drilling string fitted with a special tool for excavation.

The preliminary support for the excavation is realized by roto-injection: to this end, a double rotary head is required, one for the drilling rod having a max torque of 1210 daNm and one for the casing with a torque of 840 daNm.

In working condition, the machine weighs about 115 tons. During transport, weight can be decreased by disassembling outriggers, crawlers, mast - that can be split in three sections: front, central and rear -, double slide and telescopic rams.

Average jobsite productivity is 8/9 reinforced piles and 10 non-reinforced piles per day and one rib per shift. The whole working cycle lasts 10 days: 5-6 days for face consolidation and preliminary

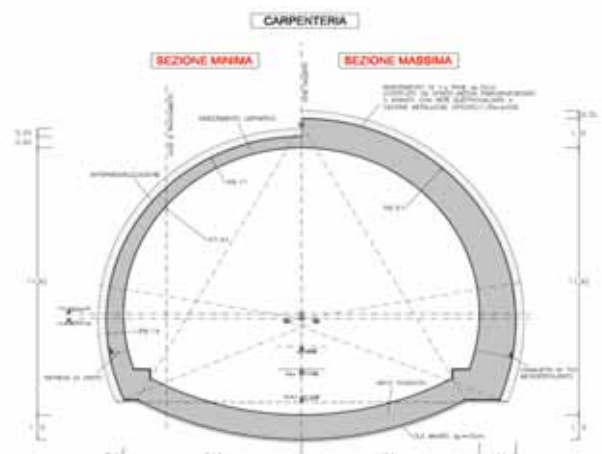


l'asta di perforazione con coppia massima di 1210 daNm e l'altra per il rivestimento 840 daNm.

La macchina in fase operativa pesa all'incirca 115 ton mentre per quanto riguarda la fase di trasporto il sistema può essere notevolmente alleggerito smontando gli stabilizzatori, i cingoli, l' antenna che è scomponibile a sua volta in tre parti (*anteriore, centrale, posteriore*), la doppia slitta e infine anche i montanti telescopici.

La **produzione del cantiere in media consiste in 8/9 pali armati e 10 non armati al giorno e una centina a turno**. La durata di un ciclo completo è di 10 giorni di cui 5-6 per il consolidamento del fronte e presostegno tramite rotoiniezione e 4 di scavo, per un avanzamento medio nella realizzazione del tunnel di 1m al giorno.

support through roto-injection and 4 days of drilling, ensuring on average the realisation of 1m of tunnel a day.





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



TREVI S.p.A.
Divisione RODIO