

worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



“San Giovanni” station
Metro Roma
“Line C”

Rome, Italy



Congelamento
Ground Freezing

Cliente :
Owner : COMUNE DI ROMA
ROMA CAPITALE

Contrattista principale :
Main Contractor : METRO C s.c.p.a

Durata dei lavori :
Duration of works: 2014 - 2016

Introduzione

La nuova linea "C" della metropolitana di Roma prevede la costruzione e riabilitazione di 30 stazioni e 21,5 km di linea metropolitana, di cui 13 scavati in sotterraneo; la nuova linea metropolitana una volta ultimata migliorerà il sistema di trasporto di una città congestionata come Roma.

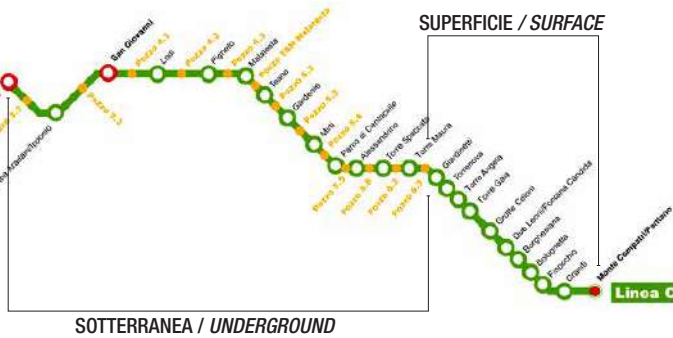
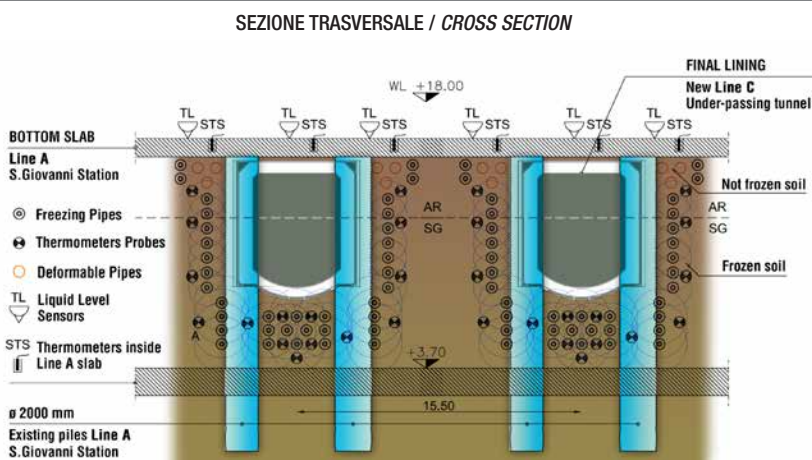
La nuova stazione San Giovanni della linea "C" è stata costruita in adiacenza alla omonima stazione della linea "A"; la nuova linea "C" è più profonda della linea "A" e sotto-attra-versa la stazione esistente. Il progetto ha previsto lo scavo di due nuove gallerie, senza interrompere il servizio di trasporto metropolitano, eseguendo un intervento di consolidamento e impermeabilizzazione preliminare con la tecnologia del congelamento artificiale dei terreni, garantendo la massima sicurezza in fase di realizzazione dell'opera in adiacenza alle linee in esercizio.

Introduction

The new metro line "C" entails the construction and rehabilitation of 24 stations and 21,5 km of metro line, 13 of which carried out underground; the new metro line will improve the transportation system of a congested city such as Rome.

The new line "C" of San Giovanni metro station has been constructed adjacent to the existing line "A" of San Giovanni station; the new metro line "C" is deeper than line "A" and underpasses the existing station. The underpass project envisaged an Artificial Ground Freezing in order to excavate two new tunnels, while keeping trains running in the safest possible condition.

In order to allow trains to regularly run to and from the existing station's line "A", a temporary structure for rail support, during excavation of the under-crossing tunnels, was installed and a real-time monitoring system was devised in order to control both soil



Lo scavo di gallerie sotto falda con battente di oltre 10 m, in terreni non omogenei con differenti proprietà meccaniche e di permeabilità ed in adiacenza a strutture sensibili, ha comportato l'utilizzo di metodi e sequenze di congelamento speciali con un particolare sistema di perforazione, il TDDT (Trevi Directional Drilling Technology).

La nuova Linea "C"

Nel cuore di Roma si sta costruendo la metropolitana più complessa e straordinaria del mondo. Lungo il suo percorso sotterraneo sorgono i monumenti, le chiese e i palazzi storici più famosi della Capitale. La Metro "C" di Roma è la linea di trasporto pubblico urbano su rotaia più lunga d'Italia ed è la prima linea metropolitana di Roma a spingersi oltre il limite del Raccordo Anulare, avvicinando la periferia più lontana al Centro Storico. **Un progetto originale, realizzato per buona parte in sotterraneo ad una profondità di 25/30 metri sotto il livello stradale.**

Tecnologicamente avanzata, sarà anche un modello per le metropoli

temperature during freezing activities and the existing station's behavior. The excavation of tunnels under the water table, with a hydraulic head of over 10 m in not homogeneous soils having different mechanical properties and permeability and below existing sensitive structures, involves special ground freezing sequences and methods, as well as peculiar drilling systems and operations, such as TDDT (Trevi Directional Drilling Technology).

The New "C" Line

The world's most complex and extraordinary Metro System is currently being built in the heart of Rome. Its underground route stretches underneath the most important monuments, churches and historical buildings.

Rome's Metro Line C is the longest urban underground railway in Italy and it is the first line in Rome to extend further east to the Great Ring Road, thus bridging the gap between the farthest suburbs and the Historical Centre. **It is an original project, carried out mostly**

litane del futuro, infatti la nuova linea "C" sarà la prima grande infrastruttura di trasporto pubblico in Italia guidata e controllata a distanza da un sistema di automazione integrale. Quando sarà completata sarà la più moderna metropolitana del nostro Paese e la capitale avrà una rete di trasporto pubblico su ferro in linea con quelle di molte grandi città europee con una capacità di trasporto di 600.000 persone al giorno e 60.000 passeggeri nelle ore di punta.

1.300.000 ore di lavoro per la progettazione, almeno 22 milioni di ore per realizzarla, circa 250.000 ore per fabbricare i treni. Un esercito di operai, tecnici, ingegneri, architetti entra ogni giorno nei cantieri di Metro C (sotterranei e non) per costruire, palmo a palmo, un vero e proprio gioiello di ingegneria, preceduto e accompagnato dal lavoro dei progettisti e dei pianificatori cominciato già a marzo 2006.

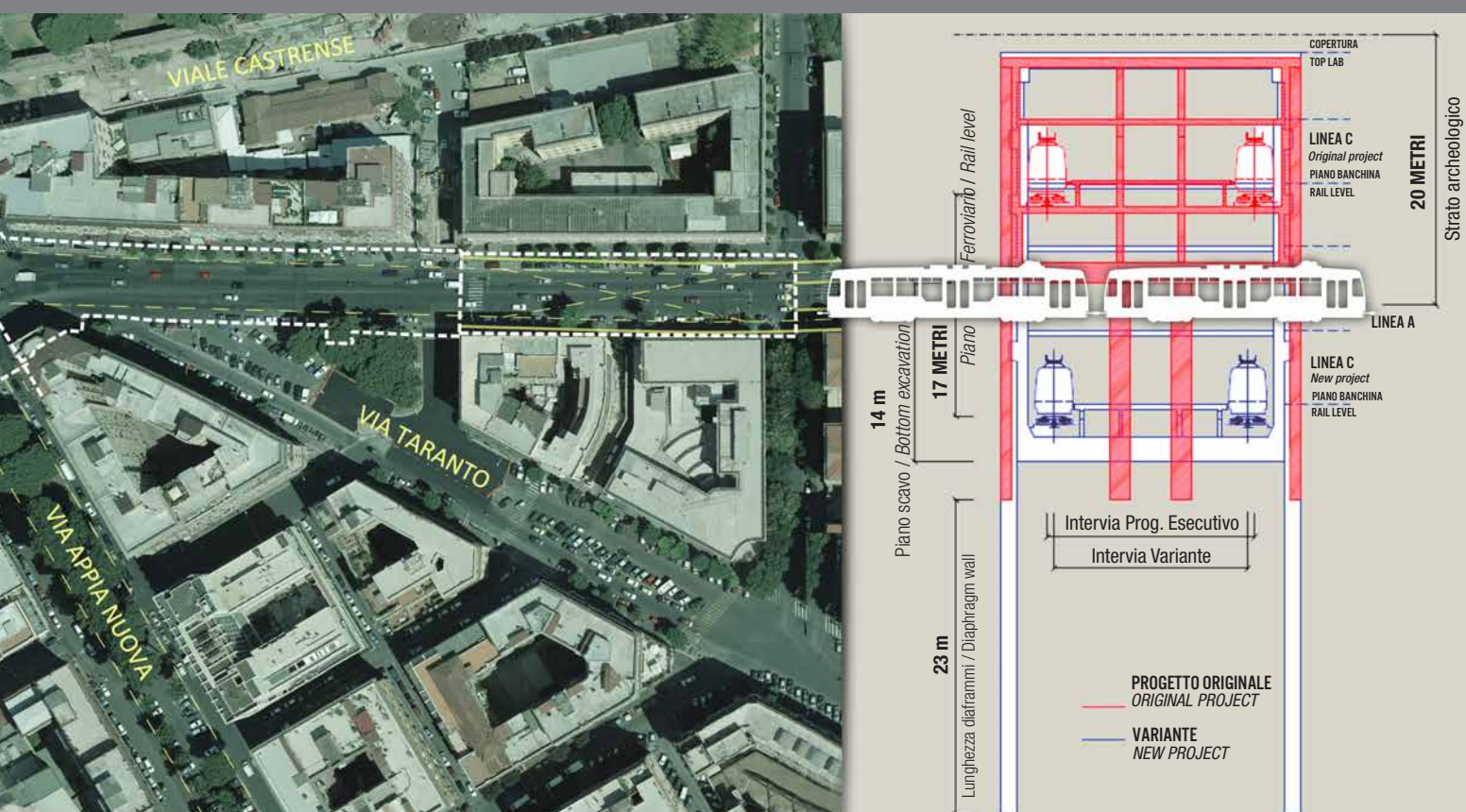
Il Tracciato Fondamentale posto a base di gara prevedeva la rea-

underground at a depth of 25/30 metres below road level.

Being so technologically advanced, this Metro Line may also serve as example for future underground railways. The new line C is the widest public transport infrastructure in Italy to be remotely guided and controlled by means of a fully automated system.

Upon its completion, it will turn into the most modern Underground Railway in our country, allowing Rome's Metro System to compete with that of Europe's biggest cities. The Metro line will transport 600.000 people a day, with 60.000 passengers during rush hours.

1.300.000 hours devoted to planning activities, at least 22 million hours for its construction and about 250.000 hours to build trains. Every day, large numbers of workers, technicians, engineers, architects reach the Metro C jobsites (both those placed underground and the ones on the surface) to build, inch by inch, a true engineering marvel with the aid of planners and



lizzazione di **25,6 km di linea con 30 stazioni**, di cui 10 risultanti dal restyling di stazioni esistenti e 20 nuove stazioni in sotterraneo. Attualmente i lavori sono stati disposti fino alla Stazione "Fori Imperiali" (24 stazioni per 21,5 km di linea) ed è stato richiesto a Metro C di redigere il progetto definitivo limitato ad un prolungamento della linea solo fino alla Stazione "Venezia".

Dal 9 novembre 2014 è in esercizio il tratto dal capolinea "Monte Compatri/Pantano" alla stazione "Parco di Centocelle", con 15 stazioni.

Dal 29 giugno 2015 sono aperte al pubblico anche le successive 6 stazioni, dalla Stazione "Mirti" alla Stazione "Lodi". Con il completamento di questa ulteriore tratta, nell'ambito della parte d'opera coperta da finanziamento, sono state quindi ultimate 21 stazioni su 24 per un totale di 18,5 km di linea su 21,5 km.

designers whose work had started long before, in march 2006.

*The Main Track put out to Tender envisaged realization of a **25,6 Km long line with 30 stations**, 10 of which resulting from the restyling of existing stations and 20 new underground stations. Currently, works encompass the whole track reaching Fori Imperiali Station (24 stations along a 21,5 km long line) and Metro C was requested to draw up the final project concerning Line Extension only to Venezia Station.*

Since November 9 2014, trains have been running on the track between the Terminal of Monte Compatri/Pantano and Parco di Centocelle Station, with 15 stations.

On June 29, 2015 the following 6 stations, from "Mirti" Station to "Lodi" Station, were opened to traffic. By completing this track, which was financially supported, 21 stations out of 24 were built for total length of 18,5 km out of 21,5.

Sotto-attraversamento stazione “San Giovanni - Linea A”

Durante la realizzazione della nuova Linea “C”, ci sono state diverse criticità da risolvere per salvaguardare l’inesestimabile patrimonio conservato nel sottosuolo. Importanti ritrovamenti archeologici, venuti alla luce durante la costruzione della nuova Stazione San Giovanni, hanno imposto una modifica al progetto originale.

E’ stato necessario **abbassare la stazione a più di 30 metri di profondità, spingendo i diaframmi a 55 m** fino allo strato impermeabile delle argille plioceniche e scavare, al di sotto della stazione esistente della Linea “A”, due gallerie in tradizionale utilizzando speciali tecniche di consolidamento.

Per garantire l’utilizzo della stazione e della Linea esistente, è stata prevista in corrispondenza del piano banchina della linea A, la posa

The underpass project of San Giovanni station - Line “A”

During the construction of the new Line “C”, many problems had to be solved in order to preserve the priceless heritage resources encountered underground.

*Some important archaeological remains, brought to light during the construction of the New San Giovanni Station, made it necessary to change the original project. **The station was built at a depth of 30 meters; diaphragm walls were excavated down to a depth of 55 meters** until the impermeable layer of Pliocene clays was reached. Moreover, two traditional tunnels were excavated beneath Line “A”’s existing station by means of special consolidation techniques.*

In order to allow trains to regularly run to and from the existing station’s line “A”, temporary structures for rail support were installed



in opera di strutture provvisorie per il sostegno dei binari durante la fase di consolidamento e di scavo del sotto-attraversamento (ponti metallici fondati su micropali) ed è stato attivato un sistema per il monitoraggio strutturale.

Il consolidamento e l’impermeabilizzazione del perimetro di scavo delle 2 gallerie è stato realizzato con la tecnica del **congelamento artificiale** dei terreni, una metodologia utilizzata per scavi sottofalda in condizioni difficili con presenza di terreni sciolti o rocce fratturate. Questa tecnica è considerata la più appropriata quando si opera in ambienti urbani, in quanto garantisce il maggior livello di sicurezza possibile, sia per le maestranze impegnate, sia per le pre-esistenze in superficie.

Geologicamente i terreni interessati dall’intervento di consolidamento e successivo scavo delle gallerie di linea ricadono nei depositi prevulcanici fluvio lacustri, prevalentemente costituiti da limi sabbiosi ed argillosi, argille limose e limi argillosi posti al di sopra di un potente e continuo strato di sabbie e ghiaie poggianti a sua volta sul substrato di argille plioceniche.

next to Line A’s platform level. Said structures (steel bridges founded on micropiles) will operate during the excavation of undercrossing tunnels. Moreover, a suitable structural monitoring system was devised. Consolidation and impermeabilization of both excavated tunnels was achieved via the Artificial Ground Freezing process.

This method is employed for excavations in difficult conditions below the ground water level in the presence of loose soil or fractured rocks. The Freezing Method is the best choice whenever works are carried out in sensitive urban areas, in order to ensure the greatest possible safety degree as far as both workers and existing surface structures are concerned.

Soils affected by consolidation works and by subsequent tunnel excavations are generally lacustrine and fluvial pre-volcanic sediments, mainly consisting of clayey and sandy silts, silty clays and clayey silts overlaying a thick and continuous layer of sands and gravels, which in its turn rests on a substratum of Pliocene clays.

Le fasi realizzative

Una volta effettuate le iniezioni di miscele cementizie e chimiche, per consolidare i fronti di scavo e rendere il terreno più omogeneo in vista del congelamento, sono state posizionate sonde congelatrici e sonde termometriche, di lunghezza media di circa 40 m, disposte sui piedritti ed in arco rovescio delle costruende gallerie in modo da formare un muro di terreno ghiacciato di spessore tale da garantire il sostegno strutturale e l'impermeabilizzazione durante le successive fasi di scavo.

La chiusura dell'impermeabilizzazione a fondo scavo è stata invece affidata alla paratia pre-esistente della stazione della Linea "A" e ad un intervento di iniezioni cementizie e chimiche eseguito in fasi precedenti dall'alto, a partire dalla stazione metro "A" in fasi preliminari precedenti.

Le sonde sono state disposte in modo da lasciare non congelato

Execution phases

First, injections of cement and chemical grouts were carried out in order to consolidate the excavation fronts and make soil more homogeneous before starting the freezing process.

Then, freezing pipes and thermometer probes, whose average length was about 40 m, were arranged in such a way as to create a wall of frozen soil being thick enough to ensure structural support and impermeabilization during the following excavation phases.

The pipes were arranged in such a way as not to freeze the last meter of soil beneath the existing slab, so that said layer could undergo deformations to absorb any movements or upheavals caused by the creation of the ice wall. Moreover, due to the presence of lenses of permeable materials coming into contact with Line A's station, some more freezing pipes were installed on the frozen soil's sides. These pipes can be used to carry out, if



l'ultimo metro di terreno al di sotto della soletta esistente, in maniera tale da consentire a questo strato una libera deformazione per assorbire gli eventuali sollevamenti dovuti alla formazione del muro di ghiaccio. Ai lati dello schermo di terreno congelato, vista la presenza di lenti di materiali permeabili al contatto della esistente stazione linea "A", è stata inoltre prevista la messa in opera di ulteriori canne congelatrici da cui eseguire, se necessario, un congelamento di tipo impermeabilizzante controllato ("soft ice").

Per contenere ulteriormente le eventuali deformazioni indotte dalla formazione del muro di ghiaccio, è stata prevista anche la messa in opera di tubi deformabili nella zona compresa fra il fronte di ghiaccio dei piedritti e la soletta ed il "magrone" esistente.

Una volta formato il muro di ghiaccio, si è proceduto al taglio delle paratie della Linea "C" e della linea "A", allo scavo delle gallerie in tradizionale, con posa in opera di un rivestimento provvisorio formato da centine metalliche e calcestruzzo spruzzato ed infine allo scavo di ribasso dell'arco rovescio, con impermeabilizzazione e getto del rivestimento definitivo.

necessary, a peculiar kind of non-structural, waterproof freezing called "soft ice".

In order to further reduce any possible deformation caused by the creation of the ice wall, deformable pipes were installed in the area between the slab and the side walls' ice front and the existing lean concrete.

Once the ice wall was formed, Line C's and Line A's diaphragm walls were cut; traditional tunnels were excavated by accomplishing a temporary lining consisting of sprayed concrete and steel ribs and, finally, the invert arch's excavation was executed, with installation of a waterproof membrane and casting of the final lining.

Upon completion of the under-crossing tunnels' final lining, the re-profiling of line "A" station's foundation piles – interfering with the track sections of the new Line "C" – was carried out.

Finally, a further consolidation via cement and chemical grouting was planned in order to have the Mini-Tunnels reach the diaphragm walls of the existing line A's T3 side.

Una volta completato il rivestimento definitivo delle gallerie di sotto-attraversamento, è stata eseguita la riprofilatura dei pali di fondazione della stazione esistente linea "A", interferenti con le sezioni di passaggio dei treni della nuova linea "C".

Per consentire, dal lato opposto della stazione, la congiuntura tra le gallerie di sotto-attraversamento descritte e le gallerie di prolungamento realizzate in senso opposto mediante Mini-tunnel, è stato realizzato un ulteriore intervento di consolidamento con iniezioni cementizie e chimiche in corrispondenza delle paratie della stazione esistente dove si congiungono i due tratti. L'intervento, è stato eseguito direttamente dal fronte delle gallerie di sotto-attraversamento a seguito della loro ultimazione con lo scopo di creare un guscio di protezione all'interno del quale procedere allo smontaggio delle teste fresanti dei Mini-tunnel.

Il progetto ha avuto una eccezionale valenza tecnica oltre che

Said intervention, which was directly performed from the tunnels' front, aims at creating a protection shell inside which the Mini-tunnels' milling heads can be disassembled.

The project presented many technical challenges related to restrictions imposed by the existing structures; in particular, due to the presence of line A's foundation piles, the distance between each freezing pipe needed to be greater than 3 meters and a half.



per le condizioni stratigrafiche e idrauliche del sito, anche a causa delle strutture pre-esistenti, in particolare i pali di fondazione della linea "A", che hanno imposto interessi tra le canne congelatrici di oltre 3 metri e mezzo.

The complex stratigraphic and hydraulic conditions at the jobsite must be considered as well.

Il congelamento artificiale dei terreni

Il metodo di congelamento artificiale dei terreni consiste nel congelare l'acqua all'interno di un volume di terreno, secondo una geometria nota, grazie a scambiatori di calore nei quali circola un liquido a bassa temperatura, che provvede all'estrazione del calore dal terreno e alla sua dissipazione all'esterno. **A differenza degli altri metodi di consolidamento il congelamento artificiale consente di ottenere vantaggi in ambito di impatto ambientale, controllo e sicurezza.** I fluidi refrigeranti infatti non vengono mai direttamente a contatto con il terreno o con l'acqua di falda e si evitano così possibili fenomeni di contaminazione. Il controllo continuo ed in tempo reale dell'evoluzione del muro di ghiaccio, attra-

Artificial Ground Freezing (AGF)

*The artificial ground freezing method consists in freezing water inside a mass of soil, according to a well-known geometry, thanks to heat exchangers inside which a liquid circulating at low temperatures captures heat from the ground and dissipates it outside. **Unlike other consolidation methods, artificial freezing allows to obtain several advantages as far as control, safety and environmental impact are concerned.** Refrigerating fluids, in fact, never come into direct contact with the soil or with ground water, thus avoiding possible contamination phenomena. A continuous and real-time control of the ice-wall's growing by directly measuring soil temperatures enables to safely plan the start of excavations and any possible intervention before excavation itself.*

verso una misura diretta delle temperature del terreno, permette pianificare in sicurezza l'inizio dello scavo ed eventuali interventi ex ante lo scavo. La tecnica del congelamento consente di:

- **raggiungere una perfetta tenuta idraulica.** I sistemi di consolidamento tradizionali ottengono in generale, in funzione dei terreni e dei materiali iniettati, solo riduzioni della permeabilità naturale del terreno;
- ottenere un **trattamento particolarmente omogeneo, senza punti o piani di debolezza**, caratterizzato da una notevole resistenza meccanica.

La particolare complessità del progetto ha richiesto l'utilizzo di un sistema di **congelamento misto a 2 fasi**.

Nella **prima fase** di congelamento si è utilizzato un congelamento **"ad azoto liquido"** detto anche "a ciclo aperto" o "diretto"; il fluido frigorifero (*gas compresso allo stato liquido con temperatura pari a -196°C*) circola in un circuito aperto e, dopo il passaggio all'inter-

The freezing method, if properly carried out, allows to:

- **Guarantee perfect water tightness.**

Traditional consolidation methods usually guarantee, according to the kind of soil and to injected materials, only a decrease in soil's natural permeability;

- **Obtain a particularly homogeneous treatment**, with no weak points or planes, characterized by a high mechanical strength.

*The peculiar complexity of the project requested use of a **two-phase mixed freezing method**.*

*The **first phase** saw the employment of a **"liquid nitrogen"** freezing method, also known as "open cycle" or "direct" freezing; the refrigerating fluid (compressed gas in a liquid state with temperature equal to -196°C, stored in peculiar double-wall silos) circulates through an open circuit and, after flowing inside the freezing probes, is dispersed into the atmosphere in a gas state.*



no delle sonde congelatrici, viene disperso in atmosfera allo stato gassoso. Ciò ha permesso di ridurre i tempi esecutivi ed ottenere al contempo una maggiore sicurezza di chiusura del muro di ghiaccio in corrispondenza dei pali linea "A", dove gli interassi fra le canne congelatrici hanno raggiunto valori di oltre 3.5 metri.

Nella **seconda fase** di realizzazione della galleria, la parete ghiacciata è stata mantenuta utilizzando gruppi frigoriferi e "salamoia" quale fluido refrigerante, una soluzione acquosa di cloruro di calcio con punto di congelamento compreso tra -40 °C e -50 °C.

Questo sistema di congelamento è detto anche **"a ciclo chiuso"** o **"indiretto"**; il fluido refrigerante, dopo il suo passaggio nelle sonde congelatrici, dove scambiando calore si riscalda, ritorna all'impianto frigorifero, viene nuovamente raffreddato e di qui reinviato alle sonde congelatrici.

Ciò ha permesso un maggior controllo dell'evoluzione nel tempo del muro di ghiaccio, consentendo di limitare le deformazioni indotte sulla soletta esistente della Linea "A".

That allowed to decrease execution times and simultaneously achieve a safer closure of the ice wall next to line A's piles, where the distance between the freezing pipes reached values greater than 3.5 meters.

*In the **second phase** of tunnel excavation, the frozen wall was kept as it was by means of freezing units and a "brine" employed as refrigerant, an aqueous calcium chloride solution with freezing point in the range of -40 °C to -50 °C.*

*This freezing method is also known as **"closed cycle"** or **"indirect"** freezing; the freezing fluid, after flowing inside the freezing pipes where it warms up by exchanging heat, returns to the freezing unit, cools down once again and is sent back to the freezing pipes.*

That enabled to better control the ice wall's growing through time, allowing to reduce deformations on Line "A"'s existing slab.

Sistemi di perforazione per la messa in opera delle sonde congelatrici

Affinché il congelamento del terreno possa avvenire in maniera efficace ed omogenea, risulta essenziale che le canne congelatrici vengano posizionate rispettando la geometria e gli interassi di progetto per tutta la loro lunghezza, ovvero che le stesse non divergano oltre le tolleranze imposte.

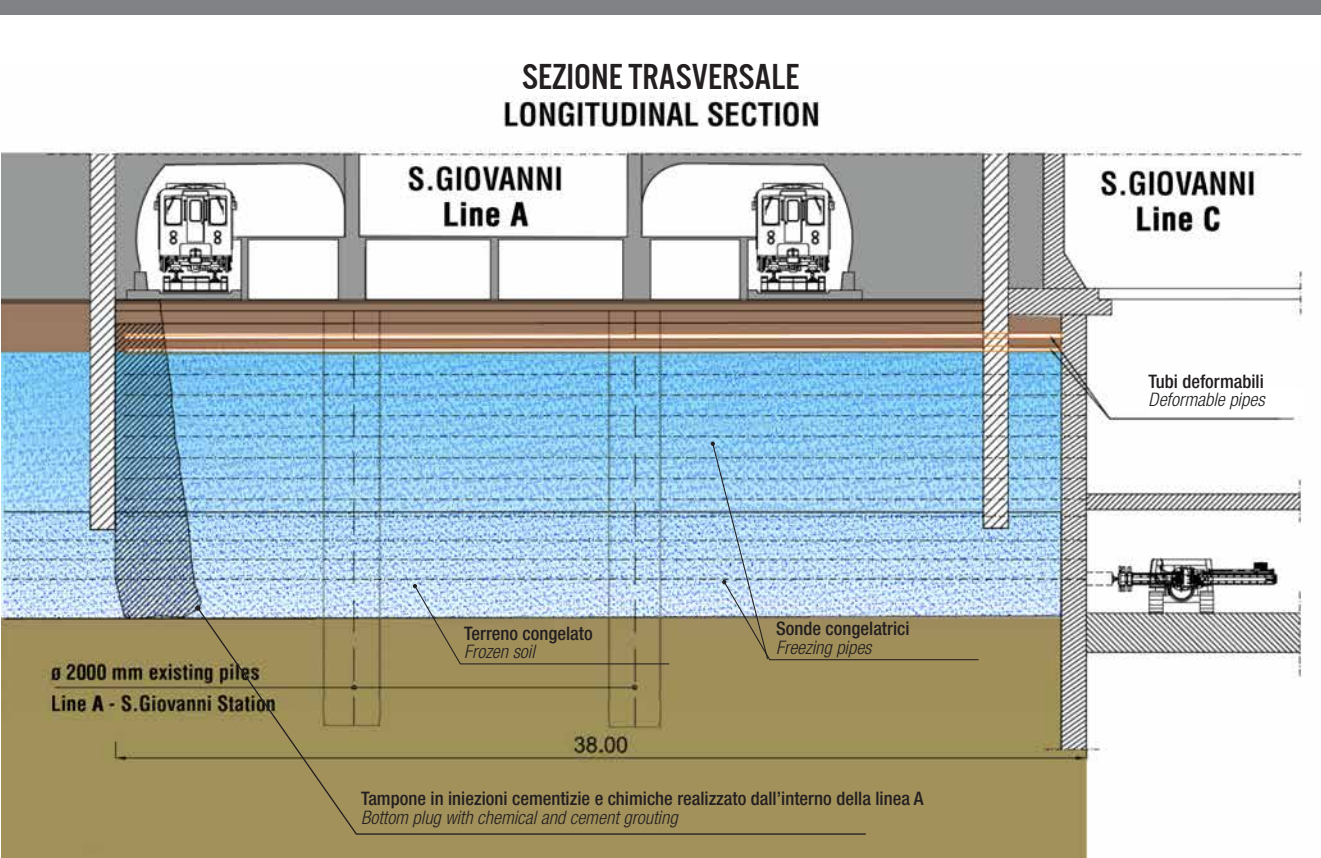
Vista la complessità dell'opera e la vicinanza delle pre-esistenti strutture di fondazione (pali della stazione di linea "A"), il progetto prevedeva l'esecuzione di perforazioni direzionali, mediante il sistema TDDT "Trevi Directional Drilling Technology".

La presenza di un significativo battente idraulico, ha imposto l'utilizzo di speciali "preventer", per controllare l'ingresso di acqua e materiale all'interno della stazione durante le perforazioni.

Drilling systems for the installation of freezing pipes

For an effective and homogeneous soil freezing, the freezing pipes must be arranged in such a way that geometry and design distances are kept for their whole length without exceeding the specified tolerances. Given the complexity of works and the proximity of existing foundation structures (piles of the line "A" station), the project envisaged the execution of directional drillings, via the TDDT system ("Trevi Directional Drilling Technology"). Due to the presence of a significant water head, it was necessary to use special "preventers" to prevent water and other materials from entering the station during drilling operations.

The very close presence of Line "A" spurred designers to devise, already during the planning phase, a drill guide and control system



Lavorando a stretto contatto con le linee in esercizio della Metro "A", è stato necessario, già in fase di progettazione dell'intervento, lo studio di un particolare sistema di controllo e guida delle perforazioni, che tenesse in considerazione le potenziali interferenze. Dove non è stato possibile l'utilizzo del sistema TDDT, si è ricorso inoltre a sistemi alternativi di guida con un controllo qualitativo e discontinuo delle deviazioni durante la perforazione in particolare, nelle zone caratterizzate dalla presenza di terreni fini, argille e sabbie limose, si è adottata la tecnica di perforazione con guida ottica.

Logistica di cantiere e minimizzazione dell'impatto sulla popolazione

La posizione del cantiere al centro della capitale, lo spazio limitato e la contemporanea congestione delle attività hanno richiesto soluzioni progettuali complesse soprattutto per quanto concerne la realizzazione dell'impianto di distribuzione dei fluidi refrigeranti, l'azoto liquido e la salamoia. Tutte le attività sono state programmate ed

that might take into account any potential interferences.

Moreover, alternative guide systems with a discontinuous quality control of deviations were employed during drilling activities; in particular, in those areas characterized by the presence of fine soils, clays and silty sands, the **optical-guidance drilling method** was employed.

Jobsite logistics and minimization of impact on nearby residents

The jobsite's position in the city center and the simultaneous presence of many activities carried out in confined spaces made it necessary to adopt complex project solutions, especially with regard to the construction of the distribution plant for refrigerating fluids.

All activities were planned and prepared in such a way as to drastically reduce potentially harmful overlaps and interferences.

organizzate in modo da ridurre al minimo le sovrapposizioni ed interferenze potenzialmente pericolose. Sono stati utilizzati impianti frigoriferi industriali con fluidi refrigeranti ecologici, accuratamente controllati e sottoposti a periodiche verifiche ispettive. Un'attenzione particolare inoltre è stata posta sul fronte delle problematiche di emissioni in atmosfera e minimizzazione dell'impatto visivo dei fumi di scarico sui residenti del quartiere.

Per quanto riguarda gli impianti frigoriferi industriali, sono stati adottati condensatori di tipo evaporativo e torri di raffreddamento che utilizzano scambi termici acqua/aria. All'uscita della torre il flusso d'aria, calda e satura di umidità, subisce un brusco raffreddamento, una parte dell'acqua contenuta condensa generando solamente un pennacchio bianco di vapore acqueo.

Il sistema di congelamento ad azoto liquido all'uscita dalle sonde congelatrici viene invece disperso allo stato gassoso in atmosfera

Industrial refrigeration plants with ecological refrigerating fluids were employed. They were carefully controlled and underwent periodic inspections. Great attention was given to the issues concerning emissions released to the atmosphere and minimization of exhaust smoke's visual impact on nearby residents.

As far as industrial refrigeration plants are concerned, evaporative condensers and cooling towers - acting as water-air heat exchangers - were employed. After coming out of the cooling tower, the warm, saturated humid air flow is suddenly cooled up; part of this water undergoes condensation, producing only a white plume of water vapor.

As for the liquid nitrogen cooling system, after coming out of the freezing pipes the nitrogen is released to the atmosphere in the gas state, with a temperature ranging from approximately -60 °C and -120 °C.



ad una temperatura variabile fra circa -60 °C e -120 °C.

L'azoto è un gas non tossico, inodore, incolore e non infiammabile, presente nell'atmosfera al 78%. La condensa che si forma al contatto con l'aria si manifesta in fumi bianchi.

La sua emissione in ambienti aperti non presenta alcun rischio per la salute. Vista l'importanza turistica dell'ambiente in cui si stava operando, è stato studiato e messo a punto un sistema per rendere le emissioni (scarichi "freddi" dell'azoto e un flusso di aria riscaldata) visivamente meno consistenti. Il sistema prevedeva l'installazione di un camino metallico, alto circa 10 metri, in modo da:

- Creare un tratto ove l'aria calda, miscelandosi all'azoto allo stato gassoso, lo riscalda innalzando la temperatura di scarico dei fumi ad un valore prossimo alla temperatura ambiente dell'aria, o comunque superiore a zero;
- Portare il punto di scarico dei fumi al di sopra degli insediamenti antropici, in modo da assimilarlo ad un normale camino ad uso domestico.

Nitrogen is a colorless, odorless, non-toxic and non-flammable gas. It occupies 78% of the Earth's atmosphere; nitrogen emissions in the open air do not therefore represent a health risk. However, humidity condensation coming into contact with gaseous nitrogen will form as white smokes in the air.

As a consequence, it was necessary to devise a system where both nitrogen's "cold" discharges and the warmed-up air might flow together thus reducing the visual impact of emissions.

Installation of a 10-metre high steel chimney allowed to:

- *Create a stream where the warm air mixes with nitrogen in the gaseous state and warms it up, raising the temperature of smoke discharges up to a value similar to the air's ambient temperature or, anyway, greater than zero;*
- *Take the smokes' point of discharge above the anthropic settlements, in order to consider the chimney comparable with a standard domestic one.*

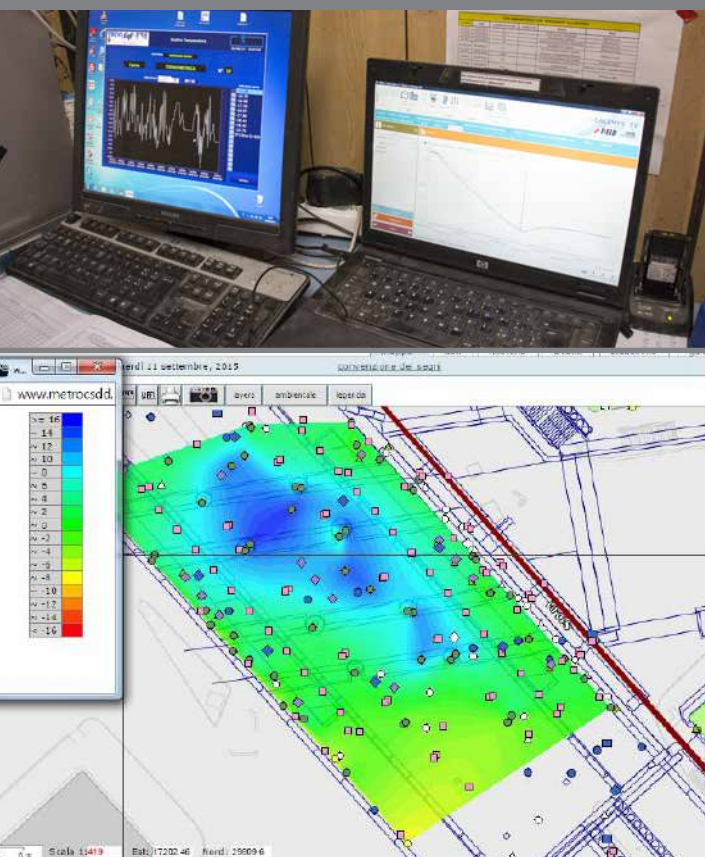
Sistemi di Monitoraggio

Complessità e importanza dell'opera hanno imposto l'utilizzo di diversi sistemi di monitoraggio, sia per la sicurezza degli operatori, sia per il controllo delle strutture esistenti e delle attività di congelamento.

Sistema di monitoraggio della percentuale di ossigeno presente nell'aria. Al raggiungimento della soglia di allarme il sistema provvede automaticamente alla chiusura dell'elettrovalvola di mandata dell'azoto e fa scattare un allarme che consente di identificare con la massima tempestività la fuga di gas e nel contempo rende possibile l'evacuazione degli operatori.

Sistema di monitoraggio strutturale. Consente il controllo delle strutture esistenti ed è composto da:

- **Tazze livellometriche** indicano eventuali deformazioni indotte

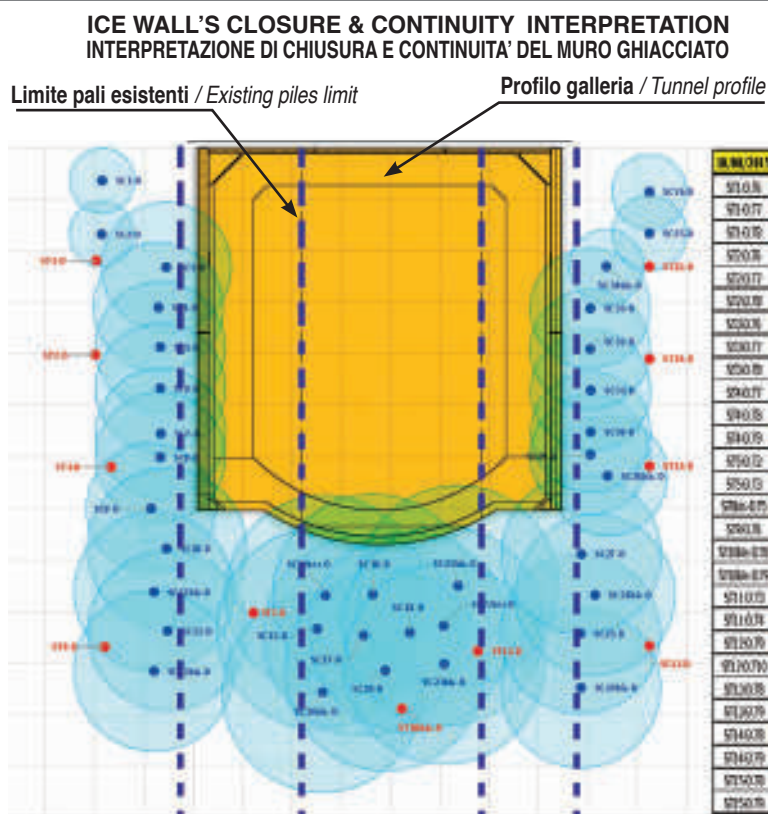


Monitoring Systems

Due to the complexity and importance of works, it was necessary to use different monitoring systems, aimed at both guaranteeing the safety of operators and checking the existing structures and freezing activities.

Monitoring systems for oxygen levels in the air. A system for monitoring oxygen levels in the air was installed to safeguard employees working underground and close to freezing pipes fed with liquid nitrogen. When the specified threshold levels are reached, the system automatically closes the electro valve regulating nitrogen delivery and triggers an alarm which allows to quickly detect the gas leak and to evacuate workers.

Structural Monitoring. An integrated monitoring system allows to check the existing structures. The system is made up of:



sulla soletta di sottofondo della stazione della linea "A" sotto-attraversata;

- **Termometri** inseriti all'interno della soletta, segnalano l'avvicinamento del fronte di terreno congelato all'intradosso della stessa;
- **Miniprismi e capisaldi topografici** controllano le deformazioni delle strutture portanti della stazione "San Giovanni" linea "A", diaframmi, pali, solai, ecc
- **Elettrolivelle** monitorano le eventuali deformazioni dei ponti metallici

Monitoraggio delle temperature del terreno. Consente il controllo e la gestione in tempo reale del processo di congelamento del terreno ed il successivo mantenimento del muro di ghiaccio. Il controllo delle temperature viene eseguito con sonde termometriche, costituite da una serie di sensori, posizionate sul contorno del muro di ghiaccio a distanze note e misurate.

L'interpretazione dell'andamento delle temperature in funzione del

- **Liquid level sensors** which indicate possible deformations in the bottom slab of line A's station;

- **Thermometers** inserted inside the slab itself, which indicate the frozen front getting near the intrados;

- **Mini prisms and topographic benchmarks** checking the deformations of the bearing structures of line "A" San Giovanni Station, diaphragm walls, piles, pillars, floor slabs, etc;

- **Electric level sensors** monitoring any possible deformations of steel bridges.

Monitoring of soil temperatures. A specific monitoring system allows "real time" management and control of the soil freezing process; as a consequence, it also allows to keep the ice wall in unaltered conditions.

Temperatures are checked by means of thermometric probes consisting of a series of sensors placed on the ice wall's contour according to well-known and measured distances.

tempo e della distanza rispetto alle sonde congelatrici, consente di poter monitorare lo stato evolutivo del muro di ghiaccio; raggiunte le condizioni di progetto, in termini di continuità e chiusura del muro di ghiaccio, spessori e temperature, si può procedere con lo scavo delle gallerie.

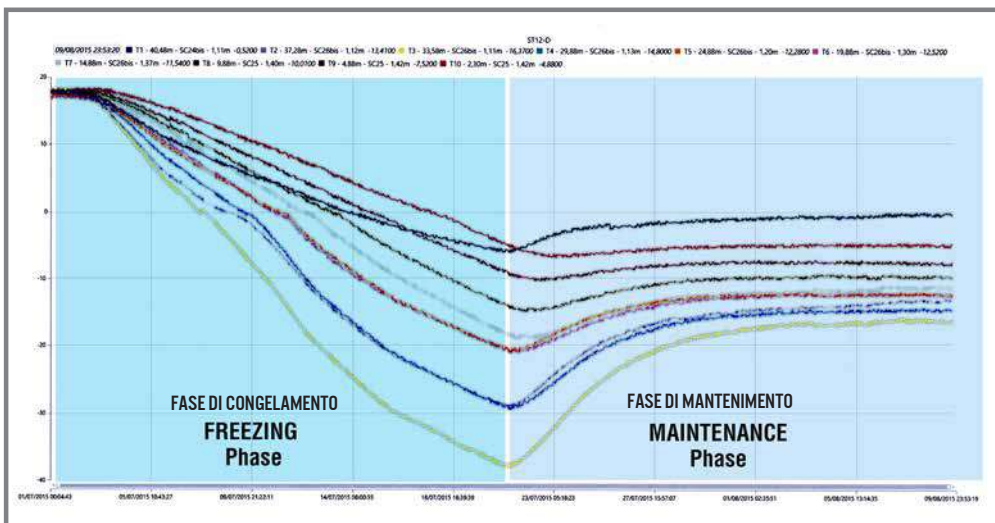
The interpretation of temperature trends on the basis of time and distance of temperatures' measuring point from the freezing pipes allows to monitor the ice wall's growing; once design conditions - in terms of ice wall's closure and continuity, thickness and temperature - are achieved, tunnels' excavation can be performed.

Conclusioni

Il progetto di sotto-atteveramento della Stazione San Giovanni Linea A ha avuto una eccezionale valenza tecnica per via dei vincoli dettati dalle strutture pre-esistenti e dalle complesse condizioni stratigrafiche ed idrauliche presenti nel sito. L'esperienza fatta costituirà un utile riferimento per altre future applicazioni della metodologia del congelamento artificiale dei terreni in contesti stratigrafici, geotecnici ed ambientali di analoga complessità.

Final Remarks

The Underpass Project of San Giovanni Station - Line A presented many technical challenges related to the restrictions imposed by the existing structures and by the complex stratigraphic and hydraulic conditions at the jobsite. This experience will surely be useful for any other future applications of the Artificial Ground Freezing Method in complex stratigraphic, geotechnical and environmental contexts.





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