

SAO PAULO METRO

An exemplar case of international cooperation between engineering firms for the design of a large-scale infrastructure

INTERVIEW WITH MARCO GERACE



Boa Vista station
Stazione di Boa Vista

Marco Gerace is the Technical Director of Geodata do Brasil and project manager of the extension of metro line 5 in Sao Paulo

The extension of line 5, in Sao Paulo, Brazil, is currently the most important investment in public transport in the State of Sao Paulo. This line will connect the southern part of the city with the Center through another four subway lines and related stations, all operational.

The Consortium Geodata (Geodata Engineering and Geodata Brasil) manages the executive project and the assistance on the construction of phase two of line 5, including seven lots for a total of 11 km of tunnels, 10 stations and 19 ventilation shafts. The project will include the construction of the car park and maintenance trains' area "Guido Caloi", with a capacity for 24 trains and an area of 186.000 m².

Metropolitana di San Paolo

Un caso esemplare di collaborazione internazionale tra società di ingegneria per il progetto di una grande infrastruttura

Marco Gerace è Direttore Tecnico di Geodata do Brasil e Project Manager dell'estensione della linea 5 della Metro di San Paolo. L'estensione della linea 5, a San Paolo, in Brasile, è attualmente il più importante investimento in mezzi di trasporto pubblico nello Stato di San Paolo. Questa linea collegherà la parte sud della città con il centro attraversando altre quattro linee della metropolitana e relative stazioni, tutte in funzione.

Il Consorzio Geodata (Geodata Enginnerig e Geodata Brasil) gestisce il progetto esecutivo e l'assistenza alla costruzione del-

What was the most complex work to be carried out?

Among the train stations "Brooklin" was certainly the most complicated as it has a unique geometry of five secant shafts. The original design included constructing five secant shafts stabilized by two plastic slurry walls using conventional grab to waterproof the excavations, and a first phase covering of planned concrete, reinforced with wire mesh reinforced, with excavation phases of 0.9 m high. The project involved the simultaneous digging of the odd wells (1-3-5). After completing the final coating of the odd wells' structures, it was possible to dig the even wells (2-4) and to complete the permanent structures. Special issues on the type of terrain (quaternary sediments, environmental contamination plumes, effects due to the subtraction of water), along with tight deadlines, led us to amend the project by implementing the structural diaphragms with reinforced concrete.

Is it the first time that a hydromill has been used in a similar situation in Brazil?

Yes, the diaphragms made with the hydromill have created a barrier thus avoiding the contamination of wells and have generated the right support of the simultaneous excavation of 5 wells with a diameter of 40 m, with the pairing of the arrow (strut) beams. The alternating layers of sand and clay and the high level of water forced us to use pumps submersed in deep wells to avoid overpressure during the excavations. Furthermore, the original design included the creation of a 240 m long upstream diaphragm of the wells, to avoid the phenomena of contamination to the new station. So we decided, together with the General Contractor, the Company carrying out the foundations and the Company in charge of the supporting structures, to propose a new project. The success of this new proposal was only possible thanks to the perfect synergy between us, the Customer (Companhia do Metropolitano de Sao Paulo), the General Contractor and the Company carrying out the special foundations (Group Brasfond).

What was the reaction of the client with such a change to the project?

The client set several goals for the final design, the most important of which were: to mitigate the contamination found in the surrounding areas and prevent spreading, to accelerate the station's excavation phase, in order to fulfill the TBM schedule and to keep unaltered the construction costs. To address the challenges, Geodata designed a structural diaphragm wall to provide peripheral containment for the station

la fase due della linea 5, comprendente sette lotti per un totale di 11 km di gallerie, 10 stazioni e 19 pozzi di ventilazione. Il progetto prevede anche la realizzazione dell'area di parcheggio e manutenzione treni "Guido Caloi", per una capienza di 24 convogli e un area di 186000 m².

Qual è stata l'opera più complessa da realizzare?

Tra le stazioni la più complessa è certamente "Brooklin" in quanto ha una geometria unica di cinque alberi secanti. Il progetto originario prevedeva la costruzione di cinque pozzi secanti realizzati con una cortina esterna di diaframmi plastici per impermeabilizzare gli scavi, e un rivestimento di prima fase di calcestruzzo spruzzato, rinforzato con rete di acciaio, con fasi di scavo di 0,9 m di altezza. Il progetto prevedeva lo scavo simultaneo dei pozzi dispari (1-3-5). Solo dopo aver realizzato il rivestimento finale delle strutture dei pozzi dispari, era possibile scavare i pozzi pari (2-4) e completare le strutture permanenti. Particolari problematiche sui terreni (sedimenti quaternari, contaminazione ambientale, effetti dovuti alla sottrazione d'acqua), insieme alle strette tempistiche, ci hanno indotto a modificare il progetto realizzando diaframmi strutturali in conglomerato cementizio armato.

È la prima volta che un'idrofresa viene impiegata in una simile situazione in Brasile?

Sì, i diaframmi realizzati con l'idrofresa hanno creato una barriera alle infiltrazioni evitando quindi anche la contaminazione dei pozzi e hanno generato il giusto sostegno dello scavo contemporaneo dei 5 pozzi aventi diametro di 40m, con l'accoppiamento delle travi puntone. L'alternanza di strati di sabbia e argillosi e l'alto livello della falda costringeva ad utilizzare pompe sommerse in pozzi profondi per evitare la sovrappressione durante gli scavi. Inoltre il progetto originale prevedeva la realizza-

zione di un diaframma a monte dei pozzi lungo 240 m per evitare i fenomeni di contaminazione verso la nuova stazione. Abbiamo così deciso, insieme con il general contractor, la ditta esecutrice delle fondazioni e quella delle opere di sostegno, di proporre un nuovo progetto. Il successo di questa nuova proposta è stato possibile solo grazie alla perfetta sinergia tra noi, il cliente (Companhia do Metropolitano de Sao Paulo), il general contractor e l'impresa esecutrice delle fondazioni speciali (Gruppo Brasfond).

Una tale modifica al progetto quale reazione ha indotto nel cliente?

Il cliente, di fronte alla corposa proposta di modifica, ha imposto il rispetto di una serie di obiettivi per l'approvazione del

*The success of this new proposal
was only possible thanks to the perfect
synergy between us*



Brookling station / Stazione Brookling

The work of Cresco for Geodata was the complete structural design of the three technical rooms with adjoining inspection wells of the tunnels of the three stations of Boa Vista, Borba Gato and Eucaliptos

and act as a seepage barrier wall. This new soil retaining solution was proposed and accepted by the client, once it proved possible to build at the same cost of the original solution.

1m thick, 2,8 m wide and 30m long panels made with hydromill and better joints allowed to prevent soil drainage and contamination without changing the final layout of either the shafts or its architecture.

36 m deep diaphragms have been built in order to create a "joint" and ensure the arch effect of the well walls at the intersections between wells. Using diaphragms prevent the wells to be demolished. With this system 15.337 sqm of panels have been built (equivalent to 3 football fields!)

What have been the benefits of the new design and the new method conceived by Geodata?

The new design enabled simultaneous excavation of all 5 shafts and a 30% reduction of construction time, which, by the way, was only 380 days, in order to meet the new time schedule of Line 5. The choice to use the hydromill was made for two specific reasons to provide precise verticality control in the

progetto tra cui: mitigare la contaminazione trovata nelle aree circostanti e prevenirne la diffusione, accelerare la costruzione dello scavo al fine di rispettare il programma di TBM e mantenere i costi di costruzione inalterati. Per affrontare la sfida, Geodata ha progettato un diaframma perimetrale alla stazione che agisse come barriera alle infiltrazioni. Questa nuova soluzione di contenimento del terreno è stata proposta e accettata dal cliente, poiché ha reso possibile costruire allo stesso costo della proposta originale.

Pannelli spessi 1m, larghi 2,8 m e profondi 30m realizzati con idrofresa e migliori giunti hanno consentito poi di evitare il drenaggio del terreno e la contaminazione senza modificare il layout finale dei pozzi.

Nelle intersezioni tra i pozzi sono stati realizzati dei diaframmi della profondità di 36 metri allo scopo di creare un "incastro" e garantire l'effetto arco delle pareti dei pozzi; in questo modo si è evitato di chiudere i pozzi per poi demolirli parzialmente in seguito. Con questo sistema sono stati costruiti ben 15.337 m² di pannelli (equivalenti a 3 campi da calcio!)

Quali sono stati i benefici della nuova progettazione e del nuovo metodo pensato da Geodata?

La nuova progettazione ha permesso lo scavo simultaneo di tutti e 5 i pozzi ed una riduzione dei tempi di costruzione del 30%, ovvero soli

380 giorni, in modo da soddisfare il nuovo calendario della Linea 5. La scelta dell'idrofresa è stata fatta per due ragioni specifiche: quello di fornire un preciso controllo della verticalità nell'esecuzione dei pannelli membrana, utile per la sovrapposizione del pannello e per l'inserimento della gabbia di armatura, e quello di mitigare le infiltrazioni d'acqua dalle zone circostanti mediante giunti molto precisi e quindi ad alta tenuta.

La maggiore problematica esecutiva?

La sequenza di costruzione dei pannelli seguendo i passaggi indicati in figura. Nella costruzione del concio a freccia la verticalità del pannello è stata di estrema importanza. Qualsiasi deviazione nella scavo di uno dei pannelli avrebbe impedito l'inserimento della gabbia di armatura. Per inserirla, la gru ha issato verticalmente la prima e la seconda sezione della gabbia contemporaneamente. Dopo che le prime due sezioni (di 24 m ciascuna) sono state inserite nello scavo, la terza sezione è stata issata e collegata alla precedente. Ogni concio a freccia è stato costruito in sette giorni, con le operazioni di betonaggio che si svolgevano durante il fine settimana per evitare interferenze con il traffico.

execution of the diaphragm wall panels (which is critical for the panel overlap and for the insertion of the reinforcement cage) and to mitigate the infiltration of water from the surrounding areas through very a precise and strong watertight seal joint.

What were the major execution problems?

The construction sequence of the panels followed the steps indicated in the figure. In the construction of the arrow segment, the Panel verticality in the construction of the arrow was of extreme importance. Any deviation in the excavation of one of the panels would have compromised the insertion of the reinforcement cage. To install the reinforcement cage, the crane vertically hoisted the first and second sections of the cage simultaneously. After the first two sections (24m each) were inserted into the excavation, the third section was hoisted and connected to the first two. Each arrow was built in seven days, with pouring operations taking place during the weekends, so that traffic would not be affected.

How has Cresco contributed in the extension project of Line 5 in Sao Paulo?

The work of Cresco for Geodata was the complete structural design of the three technical rooms with adjoining inspection wells of the tunnels of the three stations of Boa Vista, Borba Gato and Eucaliptos.

What does mean this from a structural point of view?

From a structural point of view it refers to frame structures in reinforced concrete in which the main problem was the management of an overloaded high floor and small sections of the vertical structures. For this reason, the columns were made of $R_{ck} > 45\text{MPa}$ high resistance concrete resulting in a necessary control of the effects of the second order also due to the inter-floor elevated lights.

The retaining shaft were made with a mesh of beams with an increased thickness given that, in addition to the loads, also the spans were considerable large, and the slab has been designed as a 20 cm thick plate calculated to carry the loads between a girder and another.

The circular shaft (one for each technical room) is about 35 m deep and equipped with an internal staircase and elevator shaft. The walls included an underpinned retaining wall and an internal concrete partition.

What is the key to the successful execution of these works?

The success of this project was based on the interaction between Metro Authority, JV construction, the designer Geodata, and the foundations contractor Brasfond. The innovative solution, together with the latest technology available and a bold design, enabled the team to successfully overcome their geotechnical challenges mitigating construction risks yet still fully respecting the quality of the project and construction. ■



Brookling station / Stazione Brookling

Come Cresco ha contribuito nel progetto di estensione della linea 5 a San Paolo?

Il lavoro di Cresco per Geodata è stato la progettazione strutturale completa delle tre sale tecniche con annessi pozzi di ispezione dei tunnel delle tre stazioni di Boa Vista, Borba Gato ed Eucaliptos.

Di cosa si tratta dal punto di vista strutturale?

Dal punto di vista strutturale si tratta di strutture a telaio in calcestruzzo armato in cui la principale criticità è stata la gestione di elevati sovraccarichi di piano e delle sezioni piuttosto contenute delle strutture verticali. Per questo motivo le colonne sono state realizzate con calcestruzzi ad elevata resistenza $R_{ck} > 45\text{MPa}$ con la conseguenza di un necessario controllo degli effetti del II ordine anche a causa delle elevate luci di interpiano. Gli impalcati sono stati realizzati con un graticcio di travi fuori spessore dato che, oltre ai carichi, anche le luci erano considerevoli ed il solaio è stato realizzato con una piastra da 20 cm di spessore pensata per portare i carichi tra una travata e l'altra.

Il pozzo circolare (uno per ciascuna sala tecnica) è profondo circa 35 m e dotato di scala interna e vano ascensore.

Le pareti sono costituite da un muro controterra realizzato con la tecnica della sottomurazione ed un contromuro interno sempre in c.a.

Qual è la base della riuscita nell'esecuzione di queste opere?

Il successo di questo progetto è stato basato sull'interazione tra Autorità Metro, la JV costruzioni, il progettista Geodata, e la ditta appaltatrice delle fondazioni Brasfond.

La soluzione innovativa, insieme con le ultime tecnologie a disposizione ed una audace progettazione, hanno permesso al team di superare con successo le rispettive sfide geotecniche mitigando i rischi di costruzione ma nel pieno rispetto della qualità del progetto e del costruito. □