



## Metropolitana di Napoli Linea 1 – Tratta Dante – Centro Direzionale Nord

### INFORMAZIONI DI BASE

Tipologia: gallerie in area urbana

Gallerie di linea:

Lunghezza: 3900 x 2 m

Diametro: 6,75 m

Sezione di scavo: 185 m<sup>2</sup>

Copertura: 5 ÷ 45 m

Gallerie di stazione:

Lunghezza: 900 m

Diametro: 11 m

Sezione di scavo: 55 m<sup>2</sup>

Importo opere civili: 322.000.000 €

Periodo di costruzione: 2002 - 2006

### PARTNERSHIP

Committente

**METROPOLITANA DI NAPOLI S.p.a.**

Impresa generale

**CONSORZIO TRADECIV**

Direzione dei Lavori

**METROPOLITANA MILANESE S.p.a.**

Progettista

**ROCKSOIL S.p.A. (Milano)**

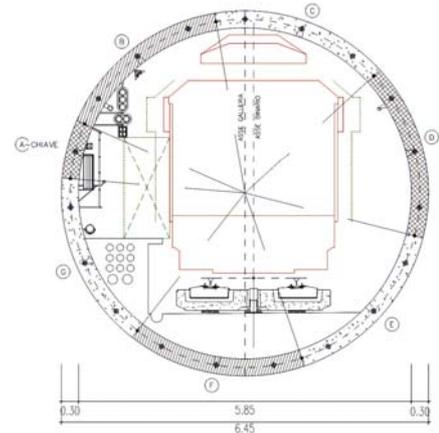
### CONTESTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Pozzolane, tufi e depositi sabbioso-limosi sotto falda.

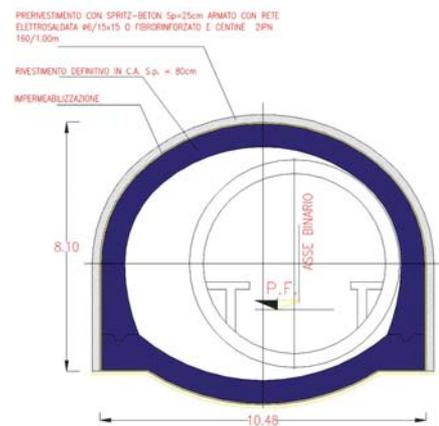
### TECNOLOGIE

Progettuali: approccio ADECO-RS

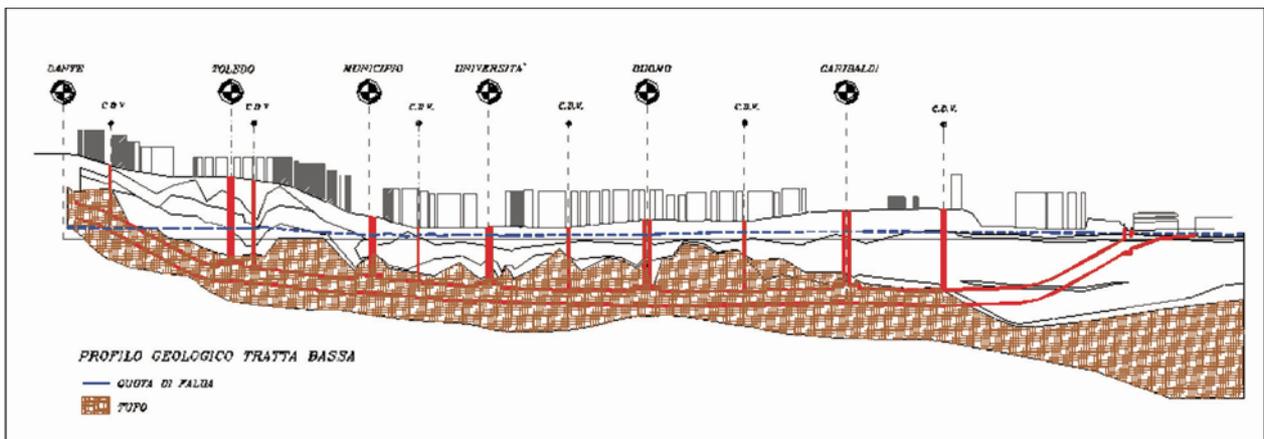
Costruttive: rinforzo del nucleo-fronte con elementi strutturali di vetroresina, pretaglio meccanico su 19,20 m di luce, volta attiva.



Sezione tipo gallerie di linea



Sezione tipo gallerie di stazione





## Metropolitana di Napoli Linea 1 – Tratta Dante – Centro Direzionale Nord

### DESCRIZIONE DELL'OPERA

La tratta bassa (Dante – Centro Direzionale Nord) della linea 1 della Metropolitana di Napoli, attualmente in fase di costruzione, collegherà efficacemente le zone strategiche della città, passando per il Vomero, piazza Municipio, Corso Umberto per poi giungere alla Stazione Centrale e all'Aeroporto di Capodichino. La realizzazione delle gallerie di linea (due canne affiancate di 5.85 m di diametro interno, a circa 11 m d'interasse) e delle cinque stazioni (Toledo, Municipio, Università, Duomo e Garibaldi) dislocate lungo il tracciato ha dovuto affrontare e risolvere, in funzione della specificità del sottosuolo napoletano, le problematiche tipiche del tunnelling in area urbana: limitazione dei cedimenti in superficie per la salvaguardia degli edifici civili soprastanti, sicurezza degli scavi in condizioni di ridotta copertura e sotto falda, ecc.. Esse, come di seguito illustrato, sono state risolte facendo ricorso a tecnologie costruttive tra le più avanzate e affidabili.

### Inquadramento geologico-geotecnico

A partire da piazza Dante, il tracciato della linea attraversa, per lo più sotto falda, materiali piroclastici quali pozzolane e tufi per poi interessare, nella tratta a valle della stazione Garibaldi, depositi sabbioso-limosi. Le pozzolane e i tufi presentano una struttura caotica a matrice cineritica e sono separati da uno strato di transizione, generalmente più poroso, denominato "cappellaccio". La parte tufacea più lapidea è interessata da fratture ad andamento subverticale, dette "scarpine", formatesi, a seguito del lento raffreddamento della massa piroclastica, in corrispondenza delle vie preferenziali di fuoriuscita del gas di cui era impregnata.

Presso Via Toledo, la superficie libera della falda corre mediamente a quota 4.5 m s.l.m. e tende gradatamente a ridursi approssimandosi alle zone litoranee (2.5 m s.l.m. presso Piazza Garibaldi).

L'acqua si muove con gradiente ridotto all'interno dei terreni superficiali, che sono caratterizzati da una permeabilità (10-3 ÷ 10-5 cm/sec) maggiore di quella del substrato tufaceo. La permeabilità primaria di quest'ultimo è bassa, ma è presente una permeabilità in grande strettamente connessa al grado di fratturazione.

Dal punto di vista geotecnico, le pozzolane, le sabbie e le ceneri sono materiali sciolti, che necessitano di essere adeguatamente contenuti durante l'avanzamento.

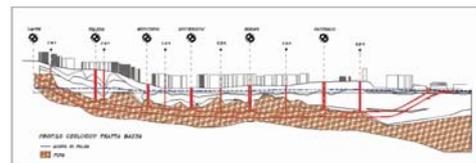
I tufi, pur caratterizzati da buoni parametri di resistenza ( $c = 0.8 \div 1.0$  Mpa,  $\phi = 28^\circ$ ), presentano, come si è detto, una fratturazione diffusa a geometria imprevedibile e, in considerazione degli elevati battenti idraulici in gioco (fino a



Le linee della metropolitana di Napoli



Il percorso della tratta bassa della Linea 1 attualmente in costruzione



Profilo geologico della tratta in costruzione



## Metropolitana di Napoli Linea 1 – Tratta Dante – Centro Direzionale Nord

3 bar), richiedono che gli scavi siano operati in condizioni di protezione idraulica.

### Gallerie di linea

Dal punto di vista progettuale, l'andamento altimetrico delle gallerie di linea è stato definito in modo che le stesse giacessero per tutta la loro lunghezza entro la formazione litoide del tufo giallo, caratterizzata da buoni parametri di resistenza. In questo modo si è evitato che gli scavi interessassero i terreni sciolti soprastanti, cosa che avrebbe reso enormemente più difficile la limitazione dei cedimenti in superficie entro valori accettabili per l'integrità delle costruzioni civili esistenti. Peraltro, salvo che per un tratto iniziale, ubicato immediatamente a valle di Piazza Dante, le gallerie saranno completamente sotto falda. Il battente idraulico massimo (circa 30 m sul piano ferro), è in corrispondenza di Piazza Garibaldi.

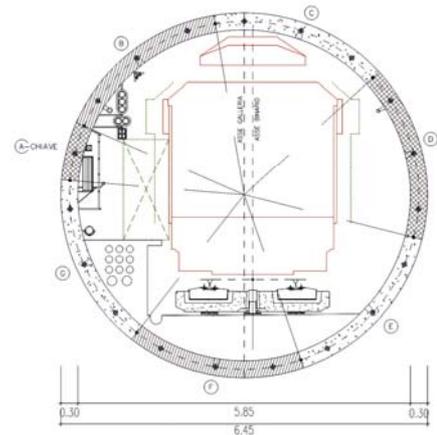
Anche se la permeabilità del tufo è ridotta (10-4÷10-5 cm/s), nei tratti dove la copertura litoide è minore, o dove sono presenti scarpine (fratture subverticali nella roccia) è reale il pericolo che possano verificarsi, attraverso i terreni sciolti di copertura, venute d'acqua concentrate importanti, con rischio elevatissimo di trasporto solido e conseguente grave subsidenza superficiale. È un fenomeno tristemente noto nella città di Napoli, legato alla presenza di cavità disperse nel sottosuolo e alla marcata erodibilità dei materiali piroclastici sciolti. Per scongiurare l'insidia, si è adottato uno scavo completamente meccanizzato che prevede:

- l'impiego di due scudi EPB (uno per canna) da 6,75 m di diametro;
- l'immediato rivestimento delle pareti dello scavo mediante l'installazione di un rivestimento impermeabile di conci prefabbricati, montati all'interno dello scudo e intasati a tergo dello stesso con calcestruzzo estruso.

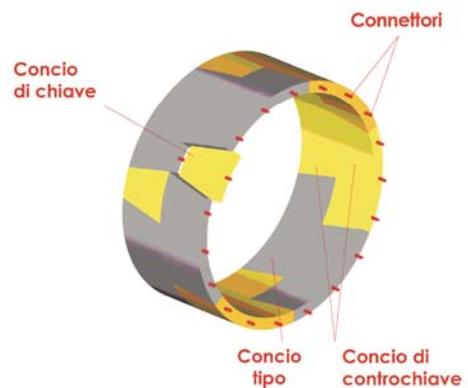
Questo modo di operare, garantendo un efficace e immediato contenimento di tutte le superfici di scavo della galleria in fase di realizzazione:

- al fronte, attraverso il controbilanciamento della pressione idrostatica e della spinta del terreno in corrispondenza della testa dello scudo;
- al contorno del cavo, mediante l'installazione di un rivestimento impermeabile di conci prefabbricati reso immediatamente attivo intasando, con calcestruzzo estruso, lo spazio che inevitabilmente rimane tra il terreno e lo stesso ("perdita di volume");

ha permesso di minimizzare le "perdite di volume" in fase d'avanzamento, di annullare completamente l'insidia rappresentata dalle eventuali venute d'acqua e di ottenere, in definitiva, il pieno controllo dei cedimenti in superficie.



Sezione tipo delle gallerie correnti



Schema dell'Anello Universale



Il rivestimento delle gallerie correnti in conci prefabbricati di c.a.p.



## Metropolitana di Napoli Linea 1 – Tratta Dante – Centro Direzionale Nord

in definitiva, il pieno controllo dei cedimenti in superficie.

Anche dal punto di vista ambientale i vantaggi che si sono conseguiti sono importanti. Infatti:

- la falda non viene assolutamente interessata, in quanto la pressione dell'acqua al fronte è costantemente controbilanciata dal sistema di confinamento idraulico operato dalla macchina;
- i materiali impiegati non sono inquinanti; il terreno scavato, mescolato con acqua e opportuni additivi, è portato all'esterno, dove, una volta separato dagli altri elementi, è impiegato, in funzione della qualità intrinseca, per la realizzazione di altre opere civili (rilevati, argini, ecc.).

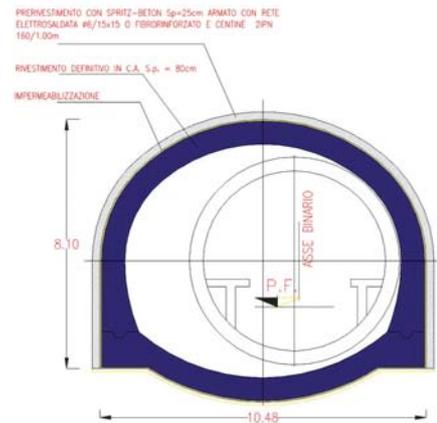
L'anello tipo del rivestimento prefabbricato, dalla caratteristica forma troncata obliquamente, è composto da sei conci più uno cosiddetto "di chiave", tutti di circa 30 cm di spessore e inchiodati reciprocamente. La sua particolarissima forma è stata studiata per permettere di seguire il tracciato teorico della galleria con eccellente approssimazione, semplicemente assemblando i diversi anelli nella sequenza di volta in volta più opportuna. L'impermeabilità è garantita da guarnizioni di tenuta alloggiata in sede continua lungo tutto il perimetro dei conci.

### Pozzi e gallerie di stazione

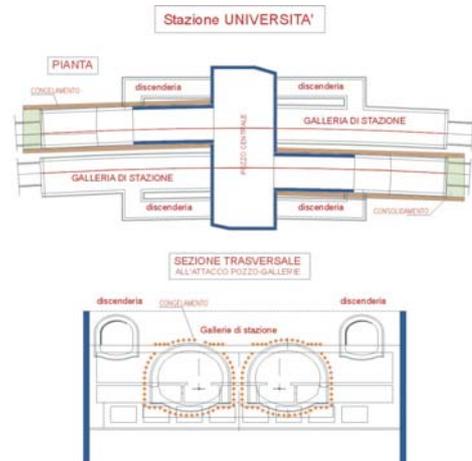
Gli spazi in superficie generalmente limitati e i problemi connessi con la circolazione veicolare hanno portato alla definizione di una tipologia strutturale comune per tutte le stazioni.

Queste sono formate essenzialmente da pozzi a pianta rettangolare, 20 x 45 m circa, spinti sino a 35÷50 m di profondità e centrati sulle gallerie di linea, eccetto che per la stazione Toledo che, per l'impossibilità di realizzare il pozzo in posizione centrale alla linea, è ubicata lateralmente. Dette gallerie, per una cinquantina di metri in entrambe le direzioni a partire dai pozzi, sono costruite con sezione maggiorata (superficie utile 55 m<sup>2</sup>) onde potervi alloggiare le banchine di stazione.

Considerata la scarsa qualità geomeccanica dei terreni da scavare e i problemi connessi con l'avanzamento sotto falda, per la costruzione dei pozzi è stato indispensabile progettare una struttura perimetrale di contenimento, da realizzarsi prima d'iniziare qualsiasi scavo, che desse adeguate garanzie di tenuta idraulica. Essa è costituita da paratie di diaframmi piani a pannelli, il cui scavo avviene mediante idrofresa. I diaframmi perimetrali sono controventati con i solai di piano, realizzati man mano che lo scavo raggiunge le profondità corrispondenti. Il loro peso è portato da appositi elementi di diaframma trasversali. La



Sezione trasversale di una galleria di stazione



Schema delle gallerie di stazione



Vista del Pozzo Garibaldi



## Metropolitana di Napoli Linea 1 – Tratta Dante – Centro Direzionale Nord

tenuta idraulica del fondo dei pozzi è ottenuta consolidando il terreno per un adeguato spessore con iniezioni ad alta pressione di miscele cementizie e chimiche.

Dai pozzi inizia, infine, la costruzione delle gallerie di stazione di 55 m<sup>2</sup> di sezione, la cui calotta interessa generalmente i materiali di transizione al contatto tra il substrato tufaceo e le sovrastanti pozzolane e/o sabbie, quando non direttamente queste ultime. La sicurezza degli scavi è assicurata dall'esecuzione preventiva di un trattamento di consolidamento ed impermeabilizzazione di una fascia di terreno al contorno dei futuri cavi, realizzato mediante la tecnica del congelamento. Questa è operata col sistema a salamoia (soluzione di cloruro di calcio), inserendo delle sonde congelatrici in perforazioni suborizzontali eseguite nel terreno dall'interno dei pozzi.

La presenza, al contorno degli scavi, di una fascia di terreno congelato (temperatura -20 °C, 2 m circa di spessore) garantisce la sicurezza delle lavorazioni, impedendo qualsiasi manifestazione di venute d'acqua in sotterraneo.

Lo scavo delle gallerie di stazione avviene a piena sezione con l'ausilio di una fresa puntuale ed è seguito dalla posa del priverestimento, dell'impermeabilizzazione e del rivestimento finale di calcestruzzo, chiuso con l'arco rovescio. Una volta terminata la costruzione delle opere civili, quindi dopo aver assicurato un adeguato contenimento a tutte le pareti di contorno degli scavi, il congelamento sarà disattivato.

### Stato d'avanzamento dei lavori

Ad oggi sono stati realizzati i pozzi Garibaldi, Università, Municipio e Toledo. La galleria di banchina dispari del pozzo Garibaldi è sotto congelamento mentre nelle altre si stanno apprestando le perforazioni per le canne congelatrici. Le due gallerie di linea, partite dal pozzo Brin, hanno raggiunto la prima stazione dopo uno scavo di circa 1000 m.



L'idrofresa



Lavori di congelamento per la Stazione Garibaldi