



**Società Italiana Gallerie**

*Italian Tunnelling Society*

Member of International Tunnelling Association ITA/AITES



Consiglio Nazionale  
dei Geologi

In convenzione con il Consiglio Nazionale dei Geologi

Milano, 14 settembre 2017

**AI SIGNORI SOCI  
LORO SEDI**

CIRCOLARE N.6 / 2017

**Visita Tecnica di VENERDI' 20 OTTOBRE 2017**

**Linea 4 - Nuova linea metropolitana tra Linate e San Cristoforo - Milano.**

>>>><<<<

**Concedente: Comune di MILANO**

**Concessionaria: M4 Spa Presidente Dott. Fabio TERRAGNI**

**Responsabile Procedimento: Comune di MILANO RUP Arch. Filippo SALUCCI**

**Direzione lavori: MM spa D. L. Ing. Francesco VENZA**

**Appaltatore: EPC Consorzio MM4 Presidente Ing. Guido MANNELLA**

**Assegnatarie opere civili imp non di sistema:  
(Metroblu Salini Impregilo Spa -Astaldi Spa) Ing. Massimo LODICO**

**Assegnatarie impianti di sistema: Ansaldo sts - Sirti Spa**

**Assegnataria mat rotabile: Hitaci Rail Italy**

**Progetto esecutivo gallerie: Rocksoil Ing. Giuseppe LUNARDI**

*L'organizzazione della Visita è affidata a S.I.G. Srl - tel. 02 25715805*

>>>><<<<

## **PROGRAMMA**

### **VENERDI' 20 OTTOBRE 2017**

(L'organizzazione non si assume responsabilità in merito ad eventuali ritardi sugli orari previsti nel programma)

#### **TRENI PROPOSTI**

<b>PARTENZA PER MILANO ROGOREDO</b>		<b>PARTENZA DA MILANO ROGOREDO</b>	
ROMA TERMINI	6,20	MILANO ROGOREDO	16,28
FIRENZE SM NOVELLA	8,00	BOLOGNA	17,22
BOLOGNA	8,38	FIRENZE SM NOVELLA	18,08
ARRIVO A MILANO ROGOREDO	9,32	ROMA TERMINI	19,40
<b>PARTENZA DA TORINO PER MI ROGOREDO</b>		<b>PARTENZA DA MI ROGOREDO PER TORINO</b>	
TORINO PN	8,20	MILANO ROGOREDO	16,33
MILANO ROGOREDO	9,33	TORINO PN	18,05

ore 10.00 - Partenza del pullman dal piazzale della stazione ferroviaria di MILANO ROGOREDO

ore 10,30 - Arrivo in cantiere

Esposizione dell'Opera

Visita al cantiere

Colazione di lavoro

ore 15,30 Partenza del pullman per piazzale della stazione ferroviaria di MILANO ROGOREDO

ore 16,30 Partenza treni

**Quota di partecipazione:** € 80(ottanta/00) (IVA compresa e non esposta) che comprende: trasferimenti da Stazione Ferroviaria di MILANO ROGOREDO - Cantiere e viceversa, spostamenti nell'ambito del cantiere, colazione di lavoro.

Saranno ammessi alla visita tecnica i Soci che compileranno la scheda di iscrizione direttamente sul sito web dell'Associazione ([www.societaitalianagallerie.it](http://www.societaitalianagallerie.it)), cliccando dall'homepage sull'evento descritto e procedendo al relativo pagamento tramite paypal, o bonifico bancario.

#### **INDEROGABILMENTE ENTRO E NON OLTRE IL 16 OTTOBRE 2017**

NON SI ACCETTERANNO PRENOTAZIONI TELEFONICHE.

Eventuali disdette dovranno pervenire **entro e non oltre il 16 OTTOBRE 2017**, per la restituzione del 50% della quota di iscrizione.

**PER ESIGENZE DI CANTIERE, IL NUMERO DEI PARTECIPANTI ALLA VISITA TECNICA E' LIMITATO A 40 PERSONE E, PERTANTO, NON SARANNO AMMESSI VISITATORI NON PREVENTIVAMENTE ISCRITTI. LE PRENOTAZIONI SARANNO ACCETTATE SECONDO L'ORDINE DI ARRIVO E NON SARANNO PRESE IN CONSIDERAZIONE QUELLE DI SOCI NON IN REGOLA CON IL PAGAMENTO DELLE QUOTE SOCIALI.**

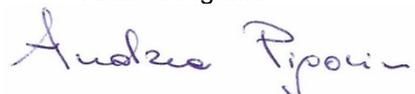
#### **NOTIZIE LOGISTICHE:**

**N.B.: Le persone coinvolte nella Visita devono avere uno stato di salute adeguato, e come previsto dalla normativa vigente in materia di sicurezza e salute del lavoro, non sarà consentito l'accesso ai cantieri alle persone non fornite dei necessari dispositivi di protezione (stivali, impermeabile e casco), pertanto i visitatori sono pregati di dotarsi di personale attrezzatura.**

*Si ringrazia per l'ospitalità e servizi offerti le imprese:*

*Metroblu, Salini Impregilo Spa, Astaldi Spa ed in particolare l'ing Massimo LODICO*

Andrea Pigorini



# 1. DESCRIZIONE DEI LAVORI

## Il quadro complessivo della linea 4 della Metropolitana di MILANO

La Linea 4, da San Cristoforo a Linate, ha una lunghezza complessiva di circa 15 km, con 21 stazioni, 30 manufatti di linea ed 1 Deposito-Officina; essa creerà un collegamento pubblico veloce lungo la direttrice est/sud-ovest attraversando il centro storico della città.

Si tratta di una metropolitana leggera ad automazione integrale senza guidatore a bordo (*driverless*) con porte automatiche di banchina e sistema di segnalamento CBTC (*Communication Based Train Control*); la flotta sarà costituita da 47 veicoli a 4 casse intercomunicanti.

La linea avrà una capacità di trasporto massima di 24.000 passeggeri per ora e per direzione. Fatta salva la zona del Deposito-Officina, tutta la linea si sviluppa in sotterraneo, con due gallerie di linea a singolo binario.

A partire dal capolinea orientale di Linate, la linea 4 corre all'incirca parallela a via Forlanini fino quasi alla sua intersezione con le ferrovie suburbane (incrocio con via Repetti); di qui compie una curva e controcurva sottopassando i rilevati della ferrovia e disponendosi parallelamente a viale Argonne. Da viale Argonne la linea ha un tracciato pressoché rettilineo in pianta e sottopassa piazzale Susa, corso Plebisciti, piazzale Dateo, corso Indipendenza, piazza Risorgimento, corso Concordia, fino a piazza del Tricolore. Subito dopo, la linea piega verso sud-ovest per sottopassare piazza San Babila, da dove si dirige verso la Cerchia dei Navigli, che segue fino a Sant'Ambrogio sottopassando via Francesco Sforza, via Santa Sofia, via Molino delle Armi, via Edmondo De Amicis. All'altezza della basilica di Sant'Ambrogio, la linea devia verso sud-ovest, sotto via degli Olivetani, fino ad allinearsi sotto via Vincenzo Foppa; di qui procede, con tracciato planimetrico essenzialmente rettilineo, sotto via Lorenteggio, attraversando piazza Bolivar e piazza Frattini. All'altezza di via Odazio la linea devia verso sud, sottopassando via Segneri e raggiungendo piazza Tirana; di qui sottopassa le ferrovie suburbane, il Naviglio Grande e via Lodovico il Moro, per emergere in superficie e raggiungere il Deposito-Officina di San Cristoforo.

La Linea 4 si sviluppa prevalentemente nel **Comune di Milano**, ricadendo per una piccola porzione nel territorio dei comuni di Segrate e di Peschiera Borromeo, in prossimità del terminale orientale.

Sono previsti due interscambi con le esistenti linee metropolitane, uno con la linea rossa, in corrispondenza della stazione San Babila, ed uno con la linea verde, in corrispondenza della stazione Sant'Ambrogio. Ci saranno poi tre interscambi con le linee ferroviarie suburbane: uno con le linee S5, S6 e S9, in corrispondenza della stazione Forlanini FS, uno con le linee S1, S2, S5, S6, S13, in corrispondenza della stazione Dateo ed uno con la linea S9, in corrispondenza della stazione San Cristoforo, dov'è presente anche la corrispondenza con la ferrovia Milano-Mortara.

E' previsto infine un interscambio con l'aerostazione di Linate. Tali interscambi contribuiranno ad aumentare un "effetto di rete" intermodale atteso su tutto il sistema di trasporto urbano ed extra-urbano.

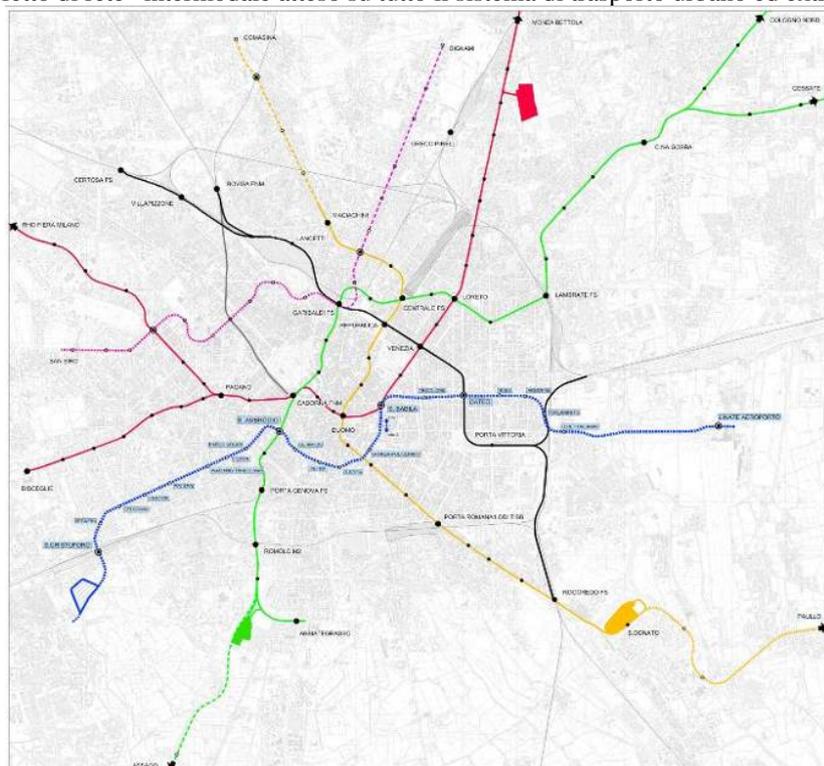


Figura 1.1: Schema della rete di trasporto pubblico del Comune di Milano

L'intera linea è suddivisa in 4 tratte principali:

- Tratta EXPO (già completata) da Linate Aeroporto a Forlanini FS;
- Tratta EST da Forlanini FS a Tricolore;
- Tratta CENTRO da Tricolore a Parco Solari;
- Tratta OVEST da San Cristoforo a Parco Solari;

Tratta	Descrizione	Stazioni [n°]	Sviluppo [km]
EXPO'	Aeroporto LINATE a Stazione Forlanini FS	3	3,30
EST	Stz. Forlanini Fs a Stz. Tricolore	4	2,20
CENTRO	Staz. Tricolore a Stz. Parco Solari	6	4,65
OVEST	Manufatto Ronchetto a Stz. Parco Solari	8	3.70
Totale:	Da LINATE al Nuovo Deposito	21	Circa 14 km

Sono previste, ma non fanno parte del presente affidamento, due ulteriori prosecuzioni della linea, ad est verso Pioltello e ad ovest verso Corsico-Buccinasco.

#### ***Tratta EXPO da Linate a Forlanini FS***

La tratta EXPO è sotterranea per la totalità del suo sviluppo. Il tracciato si sviluppa, da Linate aeroporto, lungo viale Forlanini fino alla nuova stazione di FORLANINI FS, stazioni di scambio con i treni della cintura di Milano.

Le principali opere civili della tratta EXPO' della linea 4 della Metropolitana di Milano sono:

- Lunghezza totale della linea con doppia galleria: 3.300 m
- Lunghezza totale delle gallerie a singolo binario scavate con TBM: circa 6.600 m
- Stazione n.3 :Linate, Forlanini Quartiere e Forlanini FS;
- Manufatti d'intertratta n.9 utilizzati per pozzi di ventilazione, accesso VVFF ed Uscite di sicurezza: Idroscalo, Forlanini 4, 3, 2 e 1, Lambro, Forlanini Tangenziali, Garavaglia e Gatto.

La prima stazione ad essere realizzata è la stazione di LINATE presso l'aerostazione di LINATE da dove incomincia lo scavo meccanizzato delle gallerie a singolo binario. Le TBM saranno estratte presso la futura stazione di Forlanini FS.

#### ***Tratta EST da Forlanini FS a Tricolore***

La tratta EST, proseguo della tratta EXPO' si sviluppa totalmente in sotterraneo dalla stazione Forlanini FS fino alla stazione Tricolore. In totale sono n. 4 stazioni principali: Argonne, Susa, Dateo e Tricolore. La stazione che raggiunge la maggiore profondità dal piano campagna e la stazione Dateo, dove la nuova linea metropolitana sottopassa le gallerie FFSS del Passante Ferroviario di Milano.

#### ***Tratta CENTRO da Tricolore a Parco Solari***

La tratta CENTRO è per la totalità del suo sviluppo sotterranea. Il tracciato si sviluppa percorrendo la cerchia dei Navigli, a partire dalla stazione Tricolore (esclusa), fino a Parco Solari (esclusa).

#### ***Tratta OVEST da Ronchetto a Parco Solari***

La tratta Ovest è sotterranea per la quasi totalità del suo sviluppo e all'aperto per la sola zona del Deposito-Officina di San Cristoforo e per il tratto di linea che, a partire dal manufatto Ronchetto, risale fino a riportare la linea alla quota del piano campagna. Il tracciato si sviluppa, a partire dalla zona del Deposito-Officina, dapprima al di sotto di via Segneri e poi lungo l'asse rettilineo di via Lorenteggio-via Foppa fino a Parco Solari (inclusa).

Le opere d'arte principali sono costituite dalle 6 Stazioni, la cui tipologia costruttiva ed esecutiva viene dettagliata nel seguito del presente documento, dai manufatti intermedi (pozzi di ventilazione, uscite di sicurezza, accessi VVF, vasche di aggettamento), da un cantiere per l'introduzione ed alimentazione delle TBM e da un cantiere per l'estrazione delle TBM.

## 2. TBM con SISTEMA EPB (earth pressure balance)

In totale sono previste n. 06 TBM come indicato nella tabella riepilogativa di seguito riportata:

Tratta	Descrizione TBM	Diametro Scavo (m)	Diametro rivestimento Interno (m)	Diametro rivestimento Esterno (m)
EXPO '+ EST	TBM - EPB n.02	6,34	5,50	6,06
CENTRO	TBM - EPB n.02	9,15	8,15	8,85
OVEST	TBM - EPB n.02	6,71	5,80	6,40

Per realizzare le gallerie della futura linea 4 della Metropolitana di Milano nella tratta EXPO' sono utilizzate n. 2 TBM tipo EPB di marca HERRENCKNECHT con un diametro di scavo di 6,32 m ed un rivestimento prefabbricato in cls. armato con diametro esterno di 6,06 m e diametro interno 5,50 m. Il rivestimento prefabbricato viene fornito in n. 6 elementi chiamati "conci" e viene assemblato all'interno della TBM. Tutte le attività all'interno del tunnel sono svolte a pressione ambiente.

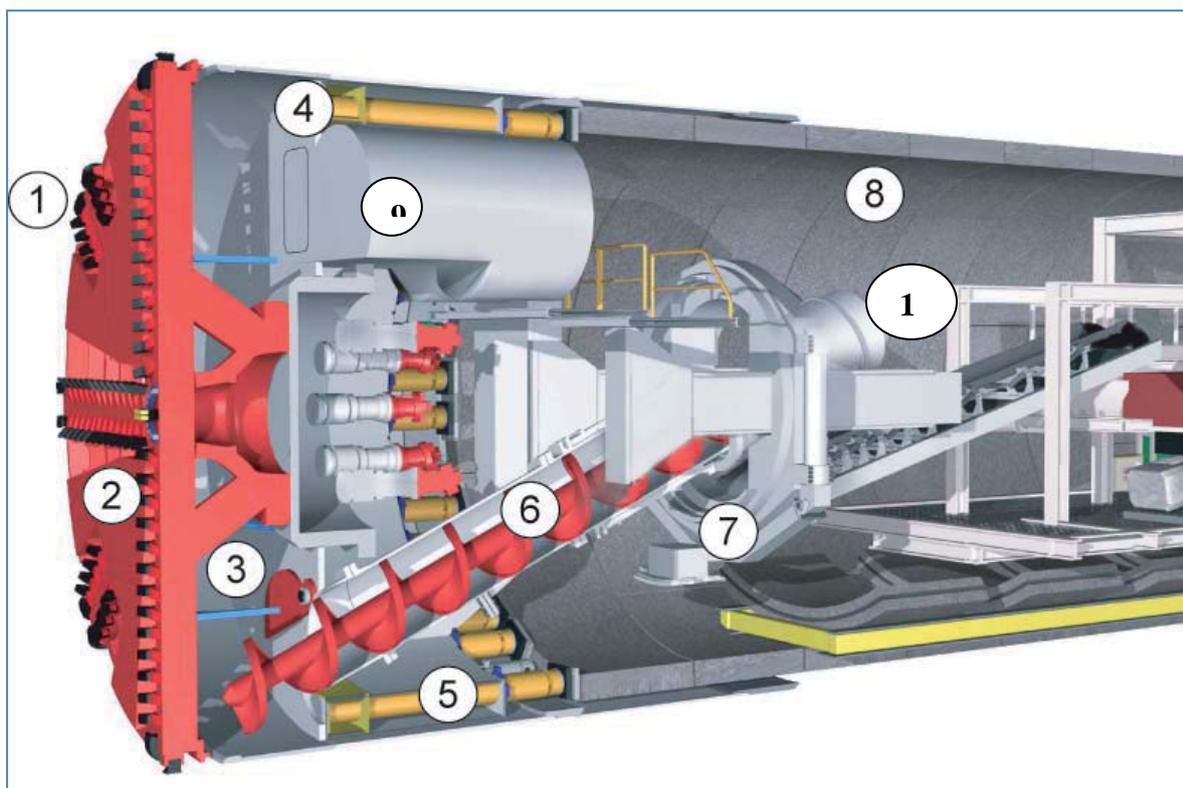
Il terreno sul fronte del tunnel (1) è scavato dagli utensili presenti sulla testa della TBM (diametro 6,32 m) e convogliato dai raschiatori all'interno della camera del materiale (3) passando attraverso le aperture della testa fresante (2). La testa fresante della TBM presenta di una serie di ugelli che forniscono al terreno scavato i prodotti specifici per il condizionamento dello stesso al fine di migliorarne le proprietà e permettere una adeguata interfaccia tra macchina e terreno.

Il terreno viene mescolato all'interno della camera dei materiali con il terreno già ivi presente. La forza dei cilindri di spinta è trasferita al materiale condizionato attraverso la paratia di pressione (4) impedendo così, l'ingresso incontrollato del terreno del fronte di scavo all'interno della camera di materiali.

La condizione di equilibrio si raggiunge quando il terreno condizionato nella camera di materiali non può essere ulteriormente consolidato con l'applicazione di pressione al terreno ed all'acqua. La pressione della terra prevalente sul fronte di scavo approssimativamente corrisponde alla pressione delle terre a riposo.

Se la pressione di sostegno del terreno condizionato aumenta sopra la condizione d'equilibrio, il materiale presente nella camera di materiali così come il terreno in posto viene sovra-consolidato, situazione che può causare lo sconvolgimento del terreno sul fronte della TBM. Nel caso che la pressione del terreno consolidato si riduce, il terreno in posto può entrare nella camera di materiali, condizione che può provocare degli assestamenti fino in superficie.

## SCHEMA FUNZIONAMENTO TBM tipo EPB



- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1) Fronte del tunnel          | 2) Testa Fresante        |
| 3) Camera dei materiali       | 4) Paratia di Pressione  |
| 5) Cilindri di Spinta         | 6) Coclea                |
| 7) Rivestimento Prefabbricato | 8) Coda della TBM        |
| 9) Camera Iperbarica          | 10) Nastro Trasportatore |

Il materiale scavato viene raccolto nella camera di materiali in pressione con l'impiego della coclea (6) e trasportato fino all'interno del tunnel che si trova a pressione ambiente. Per permettere un trasferimento continuo, senza interruzioni, del materiale scavato e condizionato dall'uscita della coclea fino al nastro trasportatore (10), il terreno deve presentare un grado di permeabilità ridotto al fine di evitare processi di fluidificazione all'interno della coclea.

Il tunnel è rivestito con anelli prefabbricati in cls. armato (7) i quali sono installati a pressione ambiente nell'area dello scudo di coda, dietro alla paratia di pressione.

Lo spazio annullare tra il rivestimento prefabbricato ed il diametro di scavo della TBM è continuamente riempito con malte e/o prodotti con cemento, pompate a pressione attraverso le aperture d'iniezione presenti nella coda dello scudo (8).

La pressione del terreno è influenzata dai seguenti fattori principali:

- Velocità di penetrazione;
- Volume di terreno scavato;
- Agenti per il condizionamento del terreno.

Durante un ciclo di scavo ad una velocità data, la pressione del terreno è usualmente impostata, regolando la velocità d'estrazione della coclea. Se lo scavo accelera dovuto all'incremento della velocità della coclea, la pressione del terreno si riduce. La pressione aumenta quando il terreno viene ritirato dalla camera di materiali con tasso più lento.

In generale, la pressione del terreno può anche essere controllata regolando la velocità di penetrazione. In questo caso una riduzione della velocità di penetrazione provoca una diminuzione della pressione del terreno, mentre che un incremento della velocità di penetrazione causa un aumento della pressione del terreno.

L'obiettivo finale è il mantenimento della pressione del terreno ad un livello costante durante il processo di scavo. La pressione generata all'interno della camera di materiali deve compensare la pressione delle terre sul fronte della testa della TBM al fine di evitare assestamenti e fuoriuscite di materiale.

La pressione di sostegno delle terre è mostrata nella cabina di controllo attraverso i sensori specificamente predisposti a diversi livelli sulla paratia di pressione.

La velocità di rotazione della testa fresante può essere modificata durante lo scavo per facilitare ed ottimizzare l'omogeneizzazione ed il processo di condizionamento del terreno o per contenere l'eventuale contro-rotazione della TBM.

Le attività all'interno del tunnel rivestito vengono svolte alle normali condizioni ambientali, mentre che per realizzare il controllo e la manutenzione degli utensili di scavo presenti sulla testa fresante è necessario accedere alla camera dei materiali dopo avere messo in pressione con aria, la parte anteriore della TBM.

L'accesso all'ambiente pressurizzato avviene attraverso la camera iperbarica a doppio corpo (9) posizionata sulla parte anteriore della TBM. L'ingressi di personale in ambiente pressurizzato sono previamente programmati ed avvengono in presenza della struttura necessaria per la gestione del sistema iperbarico: Tecnico Iperbarico, Medico iperbarico ed ambulanza attrezzata ad unità mobile di terapia intensiva.

La squadra tipo è formata da n. 3 persone di cui n. 1 capo squadra e n. 2 operai specializzati. Il tempo di permanenza in ambiente pressurizzato dipende dalle pressioni e dalle condizioni di lavoro. La durata di ogni singolo intervento in ambiente pressurizzato sarà fissata dal medico iperbarico.

La camera iperbarica e l'ambiente in pressione della TBM sono alimentati con aria compressa dall'esterno con una stazione di n. 3 elettrocompressori ATLAS COPCO GA 90 kW di capacità totale installata di 50.000 lt/min. Le tubazioni dall'impianto compressori fino alla TBM sono doppie con diametro di 152 mm.