

LO SVILUPPO DELLA MOBILITÀ CAPITOLINA

Una nuova linea PER LA METRO ROMA

ANDREA SCIOTTI* ANTONIO ZECHINI**

Sono attualmente in corso i lavori di realizzazione di una nuova tratta della metropolitana di Roma, la così detta "Linea B1", diramazione dell'esistente Linea B a partire dalla Stazione Bologna verso il quartiere Montesacro. I lavori, aggiudicati nel novembre 2004 con la formula dell'appalto integrato ad un ATI tra diverse imprese (mandataria Salini Costruttori di Roma), prevedono, partendo dalla stazione Bologna esistente, tre nuove stazioni (Annibaliano, Libia/Gondar e Conca d'Oro) e circa 4,0 km di linea. Il costo delle opere appaltate è di circa 332 milioni di euro, con un investimento totale per l'Amministrazione di circa 510 milioni di euro (comprensivi di lavori esclusi dall'appalto, oneri vari, spese tecniche).

Nell'ambito del già previsto prolungamento della Linea B1 fino al Grande Raccordo Anulare (altri 4,5 km di linea con altre 4 nuove stazioni), l'Amministrazione sta valutando la possibilità di anticipare la realizzazione del primo tratto di 0,9 km, comprensivo della stazione Jonio, tenendo conto della prevista intersezione con la Linea D

*INGEGNERE - ROMA METROPOLITANE
S.R.L. - DIRETTORE DEI LAVORI LINEA B1
** INGEGNERE - ROMA METROPOLITANE
S.R.L. - RESPONSABILE AREA OPERE
CIVILI



Figura 1 - Tracciato della linea su base foto aerea



Il programma di sviluppo della rete metro a Roma

Lo sviluppo urbanistico della città di Roma non è stato accompagnato da un parallelo e significativo sviluppo della rete della metropolitana in sotterraneo. Mentre per la rete dei trasporti in superficie è risultato (e risulta) più semplice (in termini di impegno economico e di tempi di attuazione) adeguare ed integrare la rete esistente in funzione delle esigenze che man mano si vengono ad evidenziare, per quelli in sotterraneo è infatti necessaria una preliminare ed adeguata pianificazione degli interventi e degli investimenti (in considerazione di maggiori costi e difficoltà realizzative).

La situazione che oggi contraddistingue la città di Roma è quella di un forte "gap" negativo rispetto alla realtà di altre città d'Italia e soprattutto d'Europa, in termini di estensione totale delle linee di trasporto in sotterraneo e di copertura delle aree urbanizzate da parte della rete metro. Tale situazione contribuisce significativamente al problema del traffico di superficie che caratterizza ormai da tempo la città di Roma e che ha portato lo Stato Italiano (Presidenza del Consiglio dei Ministri) ad attribuire al Sindaco di Roma, con una specifica Ordinanza, dei poteri speciali in tema di emergenza traffico, mobilità e parcheggi.

Attualmente (Figura 2), con le due linee esistenti (A e B) l'estensione totale della metropolitana a Roma è di circa 36,5 km,

con 49 stazioni in tutto. L'Amministrazione Comunale ha impostato, sulla base di attenti e specifici studi per la pianificazione degli interventi, un consistente programma di sviluppo della rete metro a Roma che, allo stato attuale, prevede entro il 2015 la realizzazione di ulteriori due linee di metropolitana (C, D) e della diramazione della linea B (B1), con un aumento dell'estensione delle linee e del numero di stazioni superiore al 100%, e realizzando una maglia a copertura dell'intero centro storico (propedeutica all'attuazione di provvedimenti limitativi del traffico privato di superficie), all'interno del quale si arriverà ad avere 29 stazioni contro le 15 attuali. I conseguenti investimenti attivati dal Comune di Roma sono superiori agli 8 miliardi di euro. Sono inoltre allo studio (progettazione) anche i prolungamenti delle linee A e B esistenti, per altri 17,8 km e 15 nuove stazioni, per ulteriori investimenti di circa 3 miliardi di euro.

Le linee esistenti - evoluzione dei metodi costruttivi adottati

Alcuni elementi di riepilogo sulle caratteristiche e sulle modalità costruttive principali delle linee di metropolitana oggi in esercizio a Roma possono aiutare ad inquadrare meglio quanto sarà poi successivamente descritto.

La prima tratta, aperta all'esercizio nel 1955, è la linea "B" Termini-Laurentina

	Rete attuale (A+B)	2011 A+B+ B1+C(S.Giovanni-Pantano)	2015 A+B+ B1+C+D(tratta prioritaria)
Km di rete	36,5	58,9	86
Numero totale di stazioni (di cui all'interno della città storica)	49 (15)	75 (17)	103 (29)
Copertura diretta (residenti)	350.000	540.000	820.000
Copertura diretta (posti di lavoro)	290.000	380.000	560.000
Domanda Servita (spost./giorno)	780.000	950.000	1.700.000
Investimenti attivati dal Comune di Roma € 8.000.000.000			

Figura 2 - Tabella riepilogativa programma sviluppo rete metro a Roma

progettata ed iniziata a costruire prima della fine dell'ultima guerra. La soluzione costruttiva adottata per la linea in sotterraneo è generalmente quella di una galleria a doppio binario costruita a foro cieco con le tecnologie dell'epoca: scavo eseguito con opportune parzializzazioni e

Figura 3 - Linea B – costruzione stazione Colosseo e galleria di linea verso Circo Massimo (1955)



con la protezione in calotta di marciavanti, e sostegno del cavo mediante armature in legname. Le stazioni sono realizzate con scavi a cielo aperto, all'interno dei quali vengono costruiti manufatti in muratura o misti calcestruzzo/muratura con coperture e fondazioni in generale a volta. Il tracciato è funzionale alle tecni-

che costruttive impiegate: in planimetria si snoda al centro di strade principali sufficientemente ampie ed in altimetria corre superficialmente (sopra falda) con la copertura minima che consente di scavare a foro cieco la galleria di linea (Fig. 3).

Nel 1980 viene aperta la linea "A" Anagnina-Ottaviano, costruita tra gli anni 65-80. L'evoluzione tecnologica è marcata. La linea, costituita nella tratta profonda da due gallerie a binario unico, viene realizzata con scavo interamente meccanizzato mediante due TBM "d'epoca", prive di sistema di compensazione delle tensioni litostatiche al fronte. Le stazioni più profonde (25-30 m dal p.c.), sono realizzate a foro cieco con sezione trasversale a tre fornici, i due laterali per le vie di corsa con le banchine e il centrale per accogliere le discenderie dal piano atrio, realizzato invece in superficie tra paratie, immediatamente sotto il p.c.. Le stazioni, invece, situate nei punti più superficiali del profilo, vengono realizzate interamente tra paratie (piano banchine e piano atrio); la tecnologia dei diaframmi vede l'impiego della benna idraulica con attrezzatura tipo Kelly.

Dieci anni dopo (1990) viene aperto all'esercizio il prolungamento Termini-Rebibbia della linea "B". Gli scavi a cielo aperto in ambiente urbano vengono realizzati mediante diaframmi perimetrali (anche con binari sovrapposti lungo strade di contenuta larghezza) e, ove possibile, mediante trincee (tratta periferica non ancora intensamente urbanizzata). Le gallerie a foro cieco, monobinario e a doppio binario, sono realizzate con scudi a camera aperta e con metodi di avanzamento in tradizionale (con le tecniche di consolidamento disponibili). Viene, inoltre, sottopassato il parco ferroviario FS della stazione Tiburtina con la tecnica dello spingi-tubo applicata a monoliti del peso di 4000 t circa.

Nel 2000 è inaugurato il Prolungamento della linea "A" Ottaviano-Battistini che vede l'impiego di tecnologie sempre più evolute sia per i manufatti di linea, sia per i manufatti di stazione. La linea viene realizzata, a meno della tratta iniziale e terminale meno profonde, mediante TBM di tipo Hydroschild (che prevede la compensazione delle pressioni litostatiche con l'impiego di fanghi bentonitici in pressione). Delle quattro stazioni, tre sono realizzate tra paratie, la quarta (Baldo degli Ubaldi) è stata invece realizzata come

Figura 4 – Linea A – Stazione Baldo degli Ubaldi – volta attiva (Lunardi, 2000)



galleria a volta unica di luce superiore ai 20 m (Fig. 4), associando la tecnologia del pre-taglio con quella della volta attiva (Lunardi, 2000). Una stazione (Cornelia) ha richiesto diaframmi della lunghezza di 55 m per conseguire la profondità di scavo record (per il momento in cui è stata costruita) di 40 m dal p.c; le paratie sono state realizzate mediante l'impiego della benna libera che qui ha sostituito il più tradizionale Kelly.

Soggezioni e difficoltà costruttive nella realizzazione delle nuove opere

La realizzazione di opere in sotterraneo nella città di Roma è resa complicata (rispetto allo standard di questo tipo di opere) anche da alcune condizioni al contorno peculiari dello specifico contesto. Innanzi tutto si deve tenere presente che la costruzione delle nuove linee avviene infatti in aree ormai intensamente edificate, con pochi spazi liberi per ubicare le stazioni e, ancora prima, i cantieri necessari per la loro realizzazione. Tale situazione comporta anche un potenziale significativo impatto dei lavori sia in termini di rischio per le pre-esistenze che di inquinamento ambientale.

Inoltre il substrato dell'attuale tessuto urbano è caratterizzato dalla sovrapposizione di più strati di interesse archeologico, ciascuno legato ad uno specifico periodo storico: alle più antiche testimonianze della città protostorica concentrate sul colle Palatino e nel foro romano, si succedono ininterrottamente tutte le fasi storiche, (fasi arcaica, repubblicana, imperiale, medievale, rinascimentale, barocca, etc...) con crescita dei livelli stratigrafici e sovrapposizioni urbanistiche, la più famosa delle quali è quella di piazza Navona sullo stadio di Domiziano, che rendono Roma e il suo sottosuolo uno straordinario libro le cui pagine sono leggibili anche e soprattutto nella complessità delle

sue stratigrafie. In Fig. 5 è riportato uno spaccato che illustra le "trasformazioni del paesaggio urbano occorse negli ultimi due millenni: dalla piazza di età imperiale al tracciato stradale medievale, dalla stretta via dei mercanti alla larga arteria prodotta dagli sventramenti del XX secolo" (da D. Manacorda, *Crypta Balbi. Electa*, Milano 2000, fig. 15).

Oltre a ciò la situazione geologica ed idrogeologica della città di Roma vede la presenza di depositi di ambiente fluvio-lacustre recenti, caratterizzati da un'estrema variabilità litologica con passaggi graduali o rapidi da terreni granulari a terreni coesivi, sia lateralmente che verticalmente. Tale variabilità è anche accentuata dal ripetersi delle fasi di deposizione/erosione dovuta all'evoluzione geo-morfologica dell'area: oscillazioni livello marino, azione dei corsi d'acqua, diverse fasi di attività vulcanica. La storia geologica si riflette sulle caratteristiche geotecniche dei terreni e sul regime di circolazione delle acque sotterranee. Nella fase di progettazione si è dovuto tenere conto di parametri di resistenza e deformabilità modesti e di un'estrema variabilità, anche locale, della permeabilità.

Come se non bastasse, nella integrazione della rete metro è da considerare la soggezione costituita dalle linee già esistenti. La necessità con le nuove linee di sotto passare le gallerie e le stazioni già realizzate, e/o realizzare nuovi manufatti in adiacenza alle strutture di stazioni già in esercizio nel caso di interconnessioni funzionali (S. Giovanni, Spagna, ecc.), porta alla progettazione di linee sempre

più profonde (p.f. fino a -40 m da p.c.) ed alla previsione di fasi esecutive parzializzate per alcuni dei manufatti di stazione e/o delle gallerie di linea. Per garantirne la sicurezza in corso d'opera e per la vita utile sono conseguentemente previste soluzioni progettuali necessariamente complesse, che raggiungono difficoltà costruttive limite.

Il ruolo di Roma Metropolitane

Roma Metropolitane costituisce un'emancipazione organica del comune di Roma che, essendo titolare dell'intero capitale sociale, ne è l'unico proprietario ed esercita nei suoi confronti un'attività di direzione e coordinamento.

Con la Deliberazione n. 97 del 24.05.04, il Consiglio Comunale ha affidato a Roma Metropolitane tutte le attività connesse ai processi realizzativi delle metropolitane della città, tra cui: progettazione di opere ed impianti; compiti e funzioni di responsabile Unico del Procedimento e di Direttore dei Lavori a mezzo di proprio personale; attività di Stazione Appaltante; predisposizione documenti di gara ed atti connessi e prescritti; redazione e stipula dei contratti con gli aggiudicatari definitivi delle procedure di gara esperite; predisposizione di tutti gli atti ed i documenti necessari per lo svolgimento, esecuzione e ultimazione dei lavori, procedendo per conto del Comune di Roma all'applicazione delle penali, alla risoluzione ed all'eventuale proroga del contratto, alla sollecita, corretta e completa esecuzione delle opere; gestione, secondo gli indirizzi formulati dai competenti organi del Comune di Roma, il contenzioso rinveniente dai lavori, servizi o forniture appaltate.

L'approccio di Roma Metropolitane

La realizzazione di un'opera in sotterraneo è in generale da considerarsi un processo iterativo che, partendo dalle fasi di indagine, analisi e progettazione, deve necessariamente e sistematicamente

Figura 5 – Spaccato storico tipologico della città di Roma – via Arenula (Manacorda, 2000)



prevedere il confronto di quanto previsto con la realtà gradualmente rivelata nella fase di costruzione, ai fini della modifica e dell'adeguamento del progetto alla realtà in evoluzione; il tutto in un processo dinamico e continuo fino al completamento dei lavori, quando la progettazione può considerarsi ultimata.

In tale processo iterativo diventa fondamentale un approccio di tipo "risk management" da parte dei soggetti a qualsiasi titolo coinvolti nei processi di pianificazione, progettazione, costruzione e controllo durante la costruzione. Tanto più in ambito urbano dove i fattori di rischio sono amplificati dalle soggezioni di cui ai capitoli precedenti e dall'impatto sull'opinione pubblica di eventuali danni a proprietà e/o persone.

Come evidenziato da Grasso ed altri (2008), per le opere in questione l'obiettivo è quello di individuare il rischio, caratterizzarlo, quantificarlo e mitigarlo; in altre parole gestire il rischio attraverso la progettazione, il monitoraggio durante la costruzione, il controllo delle attività di costruzione in accordo con la "best practice", l'adeguamento del progetto.

In un tale contesto Roma Metropolitane, consapevole di quanto sopra, e ferme restando le responsabilità e le professionalità di progettisti e costruttori, sta contribuendo per alcune delle attività di propria competenza (preparazione dei documenti di gara e definizione dei criteri di valutazione delle offerte, verifica e validazione progetti, controllo in corso d'opera) al "risk management" connesso alla realizzazione delle opere di cui al programma illustrato in precedenza.

Con l'attività dei propri tecnici ed il supporto di specialisti e Dipartimenti universitari, Roma Metropolitane sta approfondendo alcuni aspetti che possono avere anche una significativa influenza su tempi e costi di realizzazione, sicurezza in fase di esecuzione ed in esercizio, durabilità delle strutture. Tra gli altri:

- evoluzione delle normative specifiche;
- adeguatezza delle indagini conoscitive;
- standardizzazione dei criteri di progettazione e di costruzione;
- modalità di analisi dell'interazione con

l'ambiente sovrastante;

- sviluppo delle tecnologie esecutive e delle modalità costruttive;
- progresso delle tecniche di controllo;
- definizione di procedure di controllo in corso d'opera ("decisione assistita").

Nell'ambito di un processo di sviluppo del know-how aziendale, iterativo come quello di realizzazione delle opere al quale esso si affianca, gli esiti di tali approfondimenti trovano riscontro nel continuo aggiornamento degli strumenti di impostazione della progettazione (Capitolato di Progettazione) e di controllo in corso d'opera (Procedure) di cui Roma Metropolitane si è dotata per gestire al meglio i procedimenti realizzativi che gli sono stati affidati.

La Linea B1 - generalità

La linea B1, nella configurazione dell'attuale appalto, prevede la realizzazione di circa 6 km di gallerie di linea mono-binario (diametro interno 5,8 m; scavo mediante TBM), di n. 3 nuove stazioni (tra paratie; 2 a banchine sovrapposte, 1 a banchine laterali; lunghezza banchina 150 m), di n. 3 pozzi di ventilazione di metà tratta. In parallelo risulta necessario anche realizzare n. 1 pozzo di estrazione TBM, un nuovo tratto del Collettore fognario di S. Agnese, diverse opere a presidio dei fabbricati, la sottofondazione di una delle spalle del Ponte delle Valli (interferenza diretta con una delle gallerie di linea). Altre interferenze indirette di rilievo sono costituite dai sotto-attraffrassamenti (da realizzare con le TBM) del fiume Aniene e di alcuni fasci di binari attivi delle F.SS (tra le stazioni Conca d'Oro e Libia/Gondar), del complesso del Comando generale della Guardia di Finanza (viale XXI Aprile, tra le stazioni Annibaliano e Nomentana), dell'acquedotto Vergine (piazza S. Emerenziana, tra le stazioni di Libia/Gondar ed Annibaliano) e dei fabbricati limitrofi a piazza Bologna dove le gallerie devono necessariamente risalire di quota per allacciarsi al manufatto di bivio predisposto al momento della costruzione della stazione omonima. Alcuni numeri che caratterizzano la

fase costruttiva della Linea B1 sono i seguenti: 80.000 m² di diaframmi in c.a.; 23.000.000 kg di acciaio per diaframmi; 250.000 m di trattamenti jet-grouting per stazioni e pozzi; 160.000 m di trattamenti jet-grouting per il presidio dei fabbricati; circa 700.000 m³ di scavo totali (stazioni, pozzi, gallerie); circa 6.000.000 kg di acciaio per puntoni metallici provvisori; circa 160.000 m³ di cls gettato in opera; circa 18.000.000 kg di acciaio da c.a..

La scelta del tracciato dell'opera si è basata su valutazioni di tipo trasportistico (bacini di potenziale utenza, connessioni alla rete del trasporto di superficie) ma ha tenuto necessariamente conto anche dell'esigenza di minimizzare l'impatto dell'opera in fase costruttiva (cantieri, interferenze, rischio di danno per le pre-esistenze). Ciò ha portato alla scelta di un tracciato che, ove possibile, si sviluppasse al di sotto di direttrici viarie già esistenti (massima distanza dai fabbricati), rendendo possibile la localizzazione delle stazioni (e quindi dei cantieri) in corrispondenza di piazze e parcheggi. Le profondità del piano ferro della linea (e quindi delle stazioni) sono state poi dettate da un compromesso tra la necessità tecnica di ridurre al minimo i potenziali disturbi indotti in superficie e sulle pre-esistenze, e la necessità gestionale di non realizzare stazioni e accessi alla linea troppo profondi e quindi di scarsa ricettività.

Tracciato

La lunghezza complessiva della tratta in corso di realizzazione è di circa 3,7 km, dal manufatto di bivio già esistente all'interno della stazione Bologna della Linea B fino alla stazione Conca d'Oro inclusa. Il tracciato presenta raggi di curvatura planimetrici minimi di 150 m e pendenze massime inferiori al 40%. La velocità di progetto è di 50-65 km/h a ridosso delle stazioni, mentre lungo il resto del tracciato arriva ad 80 km/h.

Le due gallerie mono-binario (Figura 1, Figura 6) partono sovrapposte per approfondirsi immediatamente e correre allargate (ma complanari) per evitare le interferenze con le preesistenze del Co-

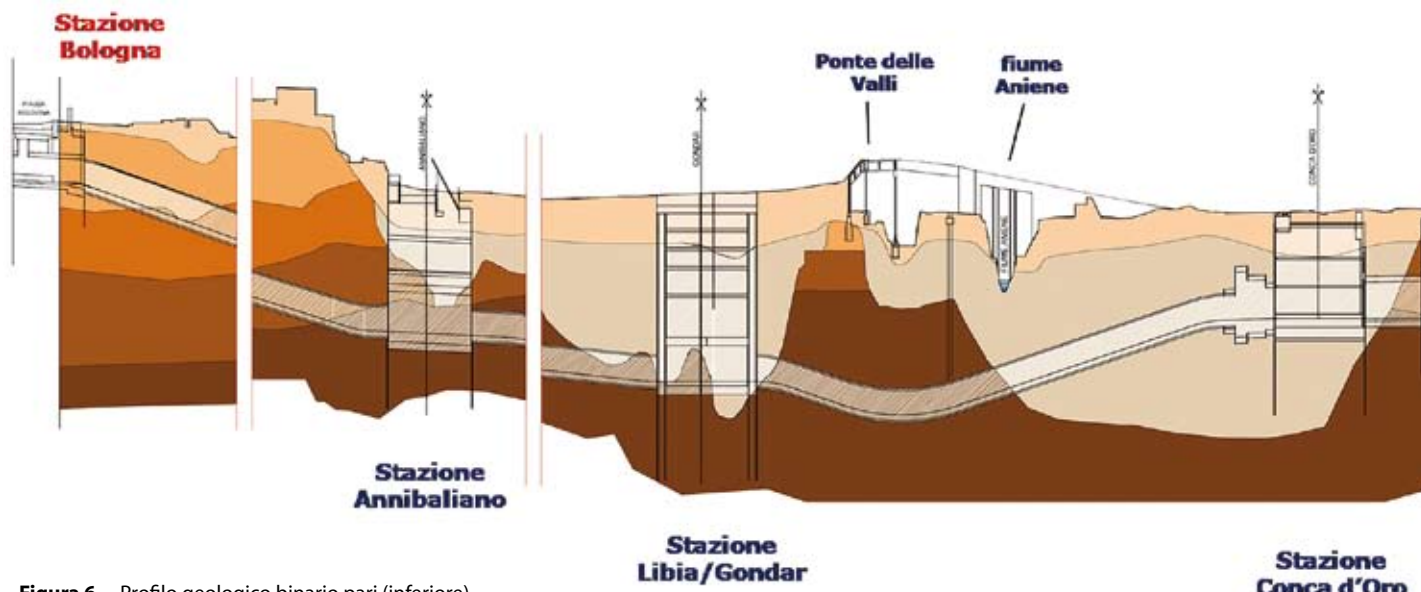


Figura 6 – Profilo geologico binario pari (inferiore)

mando generale della Guardia di Finanza (viale XXI Aprile). Dal pozzo di ventilazione di metà tratta in poi le due gallerie corrono planimetricamente affiancate (al di sotto dell'impronta di viale Eritrea e di viale Libia) e altimetricamente sfalsate (le stazioni di Annibaliano e Libia/Gondar, sono a banchine sovrapposte). Solo dopo aver superato le pre-esistenze del Ponte delle Valli le due gallerie si allontanano planimetricamente e, dopo l'attraversamento dell'Aniene si riportano ad essere complanari per l'ingresso nella stazione Conca d'Oro che si presenta a banchine laterali.

Altimetricamente, nel primo tratto a partire dalla stazione Bologna il piano ferro corre da un minimo di 12 m al di sotto del piano stradale (uscita dalla stazione) ad un massimo di 40 m in corrispondenza del sotto-attraversamento di via Nomentana. A seguire le profondità del p.f. diminuiscono leggermente in corrispondenza della stazione Annibaliano (circa 20 m minimo) per poi mantenersi intorno ai 25 m minimi in corrispondenza della stazione Libia/Gondar. Da qui il tracciato si riaprofondisce per il sotto-attraversamento del fiume Aniene, ad una profondità del p.f. di circa 40 m al di sotto degli argini, e quindi circa 20 m sotto l'alveo attuale. Infine, in corrispondenza della stazione Conca d'Oro la linea risale fino ad una profondità del p.f. di circa 20 m dal piano campagna attuale.

Geologia

Le opere afferenti la Linea B1 devono essere realizzate in un contesto geologico-geotecnico particolarmente sfavorevole, caratterizzato dalla presenza di depositi recenti di origine alluvionale e fluvio-lacustre, con elevata eterogeneità dovuta alle modalità di formazione (sia in senso verticale che orizzontale), sovrastati da spessori variabili di terreni di riporto. Sia le gallerie che le stazioni (Figura 6) interessano infatti i depositi del Paleotevere e delle Alluvioni recenti dell'Aniene, il cui comportamento geotecnico e schematizzabile con valori molto bassi dei parametri di resistenza deformabilità. Anche la falda si presenta sempre superficiale, con livello piezometrico ubicato sempre qualche metro al di sotto del piano campagna: con le profondità di tracciato di cui prima, ciò porta ad avere fino a 3-3.5 bar di pressione idrostatica agente sulle strutture da progettare e realizzare.

L'importanza attribuita alla conoscenza del sottosuolo interessato direttamente o indirettamente dalla realizzazione dell'opera in questione, è testimoniata dalla mole di indagini effettuate nel corso dello sviluppo della progettazione. Tale attività di indagine si è articolata in differenti campagne di indagini e prosegue tutt'ora in corso d'opera sulla base delle necessità che si vengono a manifestare. Sono stati effettuati sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni ed esecuzione di prove in sito di

tipo SPT, pressiometriche Menard, permeabilità Lefranc; verticali penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche (SPT); prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati; stendimenti geofisici di superficie; prove geofisiche in foro, tipo down-hole e cross-hole; misure del livello di falda mediante piezometri a tubo aperto o attrezzati con celle di Casagrande.

In totale sono stati realizzati: circa 210 sondaggi; circa 65 prove pressiometriche; circa 170 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT; circa 50 prove penetrometriche statiche tipo CPT; circa 70 prove di permeabilità tipo Lefranc; prelievo di circa 250 campioni per prove di laboratorio; allestimento di circa 110 piezometri. In particolare, per quanto riguarda la distribuzione dei 210 sondaggi: 98 sondaggi sono stati ubicati lungo le tratte in galleria, con profondità medie di 40 m (su circa 3 km di linea netta in galleria, risulta una media di circa 1 sondaggio ogni 30 m); 62 sondaggi sono stati ubicati al fine di indagare il volume di terreno che interessa i corpi stazione (su 3 stazioni, risulta una media di circa 17 sondaggi per area di stazione); 50 sondaggi a distruzione di nucleo (profondità 15-20 m) sono stati realizzati per verificare la presenza di possibili o probabili cavità nella zona tra la stazione Bologna e la stazione Annibaliano, interessato dalla presenza di formazioni di piroclastici e sabbie compatte.

Stazioni

Per le stazioni si è adottata una soluzione costruttiva tra paratie, con l'applicazione sia del metodo "top-down" che del "bottom-up" in funzione delle specifiche situazioni (geotecniche, geometriche, ambientali) e delle necessità dettate dal programma dei lavori. Per la stazione di partenza delle TBM (Conca d'Oro) si è ad esempio adottato il metodo "bottom-up" che comporta minori tempi per raggiungere con lo scavo la quota del solettone di fondo sul quale avviare il montaggio delle TBM. Per la stazione Libia/Gondar, in considerazione dell'estrema vicinanza dei fabbricati e quindi dell'impatto dei cantieri sul contesto urbano, si è adottata una soluzione con metodo "top-down" per poter lavorare, per lo scavo, sfruttando la protezione del solettone di copertura.

Gli elementi costruttivi comuni ai due metodi sono le paratie di sostegno perimetrali in c.a. (realizzate mediante idrofresa o benna mordente) ed il tampone di fondo (realizzato mediante sistema jet-grouting), entrambi eseguiti operando da piano campagna. Successivamente, con il metodo "top-down" è prevista la realizzazione del solettone di copertura della stazione e l'esecuzione dello scavo sotto-copertura realizzando man mano

i solai definitivi in c.a. (predisposti con apposite asole), fino al solettone di fondo della stazione, per poi completare le sole strutture interne verticali (fodere) in risalita. L'impermeabilizzazione viene posata in parte al momento del getto dei solai intermedi, e completata poi prima del getto delle fodere. Con il metodo "bottom-up", invece, da piano campagna si è previsto direttamente l'avvio dello scavo e la posa di diversi livelli di puntoni metallici provvisori: una volta arrivati al fondo scavo e costruito il solettone di fondo, le strutture interne definitive, sia orizzontali (solai) che verticali (fodere) saranno realizzate in risalita, dopo avere posato la prevista impermeabilizzazione.

Quanto sopra descritto ha trovato esplicazione nelle scelte operate (in maniera differente) per le due stazioni Libia/Gondar e Conca d'Oro, rispettivamente la più profonda e la più superficiale della tratta.

La **stazione Libia/Gondar** si presenta costituita da due corpi affiancati (Figura 7). Il primo, di forma quadrata (dimensioni 30 m x 20 m), nel quale trovano allocazione tutti i servizi e le comunicazioni verticali con le banchine, è disposto baricentricamente rispetto al secondo, di forma invece rettangolare allungata (dimensioni

circa 170 m x 15 m) e che contiene le due banchine sovrapposte. La quota del piano del ferro della banchina più profonda è all'incirca a -35 m dall'attuale piano campagna (la banchina superiore a -23 m): la profondità di scavo massima è di circa 42 m. Per il sostegno degli scavi sono stati realizzati, mediante attrezzatura con idrofresa, diaframmi perimetrali costituiti da pannelli rettangolari (2,50 m x 1,20 m), in c.a. con lunghezza massima di circa 53 m. Dai dimensionamenti effettuati, sul corpo di stazione contenente le banchine, risultano momenti massimi agenti sulle paratie in fase costruttiva dell'ordine dei 5.000 kNm/m (Rck 35 MPa, armatura metallica fino a 280 kg/m³). Il tampone di fondo è stato realizzato, tra i 42 ed i 54 m di profondità, mediante trattamenti jet-grouting con diametro reso di 1,8 m (maglia equilatera 1,09 m, con una densità di 1,019 trattamenti al m²).

La **stazione Conca d'Oro** ha una forma pressoché rettangolare, di lunghezza circa 180 m, con un corpo centrale di maggiore larghezza (circa 32 m) ed una rastremazione verso le due estremità, che hanno una larghezza di circa 20 m. I binari si presentano complanari: la profondità del piano del ferro è all'incirca di 18 m dall'attuale piano campagna e la

Figura 7 – Stazione Libia/Gondar – planimetria e sezione costruttiva

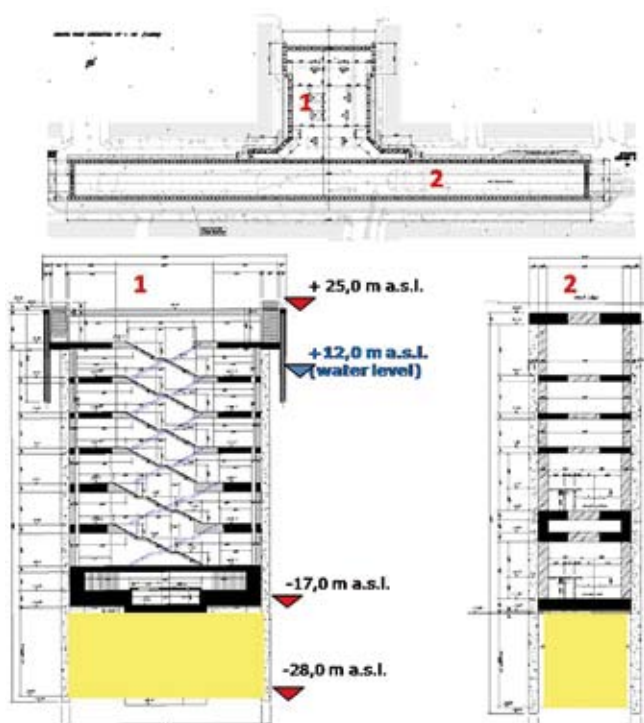
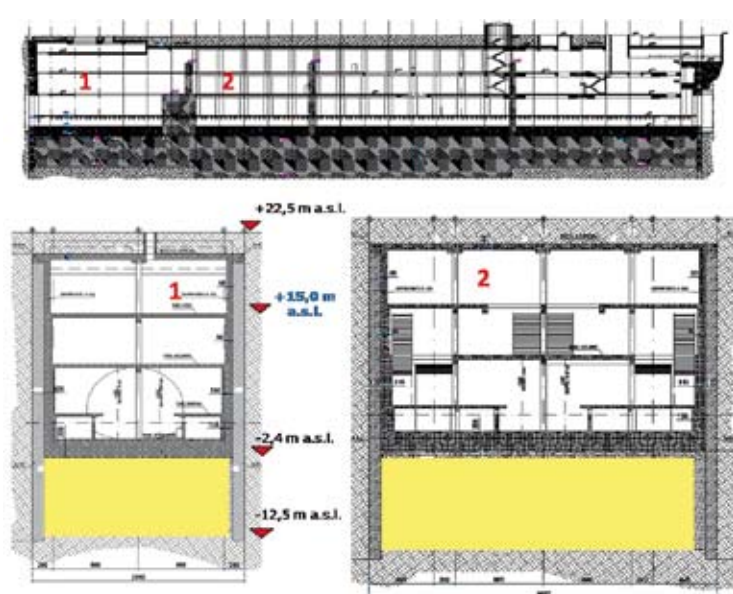


Figura 8 – Stazione Conca d'Oro – planimetria e sezione costruttiva



profondità di scavo di circa 25 m. (Figura 8) Per il sostegno degli scavi sono stati realizzati, mediante attrezzatura con benna mordente, diaframmi perimetrali costituiti da pannelli rettangolari in c.a. (2,50 m x 1,20 m), con lunghezza di circa 33 m. Dai dimensionamenti effettuati, sul corpo di stazione a maggiore larghezza, risultano momenti massimi agenti sulle paratie in fase costruttiva dell'ordine dei 4.200 kNm/m (Rck 35 MPa, armatura metallica fino a 220 kg/m³). Il tampone di fondo è stato realizzato, tra i 25 ed i 35 m di profondità, mediante trattamenti jet-grouting con diametro reso di 1,5 m (maglia equilatera 1,04 m, con una densità di 1,068 trattamenti al m²).

Gallerie di linea

Per la realizzazione delle gallerie di linea, nella scelta della tipologia del sistema di scavo da utilizzare sono stati considerati vari fattori quali: il tracciato piano altimetrico per la valutazione delle interferenze con le preesistenze e delle problematiche di inserimento geometrico della sezione di scavo nel contesto stratigrafico ed idrogeologico; i risultati delle indagini geotecniche effettuate, con particolare riguardo: alle distribuzioni granulometriche comprese le frazioni fini, ai limiti di Atterberg, ai coefficienti di permeabilità ed alla posizione della falda con le relative escursioni stagionali; le possibilità offerte dalle diverse tecniche di scavo (in tradizionale e meccanizzato); nell'ambito dello scavo meccanizzato le problematiche di natura tecnologica dei diversi sistemi (scudo aperto, a pressione di fango, a pressione di terra) o mirate all'ottenimento dei seguenti risultati: maggiore garanzia di stabilità del fronte di scavo e di conseguente contenimento delle deformazioni indotte nell'ammasso; minimizzazione dei cedimenti superficiali indotti dallo scavo; maggiore affidabilità dello scavo sotto falda; velocizzazione delle fasi di scavo e di rivestimento; industrializzazione delle fasi operative.

La scelta si è indirizzata verso una soluzione con scavo meccanizzato, realizzato mediante scudo a pressione di terra bilanciata (tipo EPBS, "Earth Pressure

Balance Shield"). Lo scavo in tradizionale è stato escluso quale metodo realizzativo delle gallerie di linea, in quanto richiederebbe notevoli opere sistematiche di pre-consolidamento e consolidamento, con conseguenti ridotte velocità di avanzamento ed elevati costi, senza peraltro raggiungere le stesse garanzie di controllo dei cedimenti e quindi dei rischi di danno alle opere preesistenti in superficie ottenibili con lo scavo meccanizzato.

La scelta di un "EPBS" deriva poi da una maggiore velocità di adattamento alle possibili diverse situazioni litologiche, da un miglior controllo della pressione al fronte anche in zone a maggiore permeabilità, dai minori ingombri necessari e costi legati alla cantierizzazione, dalla più facile ed immediata trasportabilità dello smarino.

Una volta definiti i principali parametri geometrici (diametro interno minimo 5,80 m) delle gallerie, caratterizzato geotecnicamente i terreni interessati (direttamente o indirettamente) dallo scavo e rilevati i livelli piezometrici attesi nelle diverse situazioni significative (fino a 3,5 bar), si è operato il dimensionamento del rivestimento definitivo (conci prefabbricati in c.a., spessore 35 cm, Rck 45 MPa, armatura metallica media 110 kg/m³) e si sono valutati i valori di pressione da applicare al fronte per garantire la stabilità locale e complessiva dello scavo.

Programma dei lavori

Il cronoprogramma contrattuale, con la consegna dei lavori avvenuta il 7 novembre 2005, fissa alla data del 28 febbraio 2011 il termine ultimo per l'esecuzione dei lavori ed il completamento delle prove funzionali di competenza dell'Appaltatore. Si punta quindi ad attivare l'esercizio della linea per la primavera del 2011. Per contenere i tempi complessivi di esecuzione del lavoro, il cronoprogramma prevede l'avvio delle attività su tutte le aree di stazione contemporaneamente ed il transito delle TBM (partite dalla stazione Conca d'Oro in direzione di quella di Bologna) in corrispondenza delle stazioni mentre queste sono ancora in configurazione provvisoria (scavo

completato, strutture definitive in corso di esecuzione). Ciò comporta alcune limitazioni e soggezioni nelle attività che si prevede che debbano essere svolte nelle stazioni mentre ai livelli più bassi continuano a viaggiare i treni di alimentazione/disalimentazione delle due TBM ancora in fase di avanzamento.

Allo stato è previsto che le TBM transitino in corrispondenza della stazione Libia/Gondar prima dell'estate del 2009, in corrispondenza di Annibaliano tra settembre ed ottobre 2009, ed infine arrivino alla Stazione Bologna all'inizio del 2010. Una volta smontate le due TBM si potrà procedere al completamento delle attività di finitura ed impiantistiche delle stazioni e della linea.

Aspetti architettonici del progetto

Il progetto per le finiture architettoniche delle stazioni della Linea B1, sviluppato dallo studio ABDR di Roma per conto del progettista generale dell'opera Maire Engineering Spa, ha avuto come obiettivo quello di garantire alte prestazioni alle stazioni, con un'accurata scelta dei materiali che ha accompagnato lo sviluppo delle soluzioni progettuali e accentuato i principali caratteri architettonico-spaziali delle stazioni.

L'idea progettuale è scaturita dalla considerazione che da sempre la metropolitana è il luogo dell'assenza di tempo. L'assoluto predominio della luce artificiale rende questi luoghi totalmente indifferenti allo scorrere del tempo, della luce naturale appunto, della giornata con le relative ricadute in termini di fruibilità degli utenti.

Di conseguenza la "sottrazione di materia dal pieno del sottosuolo" è carattere principale del disegno delle stazioni Annibaliano e Gondar. Specie quest'ultima, infatti, ha un ampio spazio vuoto che dalla quota zero sprofonda fino alle quote di banchina per far sì che la luce, penetrando, riesca a raggiungere i piani più profondi. Un attento studio di Daylighting ha dimostrato la realizzabilità dell'obiettivo.

Particolare attenzione è stata osservata per gli allestimenti in banchina, per la

zona dell'Atrio, per le emersioni a quota strada e per i percorsi pubblici interni; per tutti quegli spazi, cioè, quotidianamente attraversati dai flussi in entrata ed in uscita che richiedono soluzioni progettuali più accurate. Inoltre, i materiali proposti, mirano a fornire una realizzazione complessivamente innovativa, flessibile, pratica e robusta.

I principali principi informatori sono stati i seguenti:

L'esigenza di ottimizzare e facilitare la manutenibilità delle stazioni sia per la parte interrata sia per quelle in emersione, in merito all'uso dei materiali e delle tecnologie prescelte.

L'esigenza di ottimizzare le problematiche riguardanti i costi di gestione delle stazioni con particolare riferimento a quelli della spesa per approvvigionamento energetico in materia di interazione impianti-architettura, favorendo con appropriate scelte tecnologiche e delle finiture un progetto amico dell'ambiente.

Il miglioramento complessivo della confortevolezza e della funzionalità delle stazioni, riducendo, ove possibile, la dipendenza dall'illuminazione artificiale,

implementando l'uso dell'illuminazione diurna naturale all'interno delle stazioni, nonché sviluppando soluzioni integrate di arredo-illuminotecnica che prevedono estesamente l'utilizzazione di illuminazione artificiale a basso consumo di energia.

Un miglior inserimento urbano affidato da un lato ad un innovativo linguaggio architettonico e dall'altro alla varietà dei materiali utilizzati, elementi questi che permettono una chiara riconoscibilità delle stazioni proposte.

Stazione Annibaliano (Figura 9) - La soluzione definita assicura le condizioni di un ottimale inserimento urbanistico nel contesto dell'omonima piazza condizionato dall'incombente presenza del mausoleo di S. Costanza nelle immediate vicinanze. Una piazza ipogea (che rappresenta una quota urbana ribassata e perfettamente raggiungibile per mezzo di sistemi pedonali, meccanizzati e per disabili) consente una drastica riduzione delle volumetrie in emersione a vantaggio evidente della presenza limitrofa del complesso monumentale. È un ampio

spazio a cielo aperto che costituisce il fulcro architettonico e urbanistico della nuova stazione e rappresenta anche un importantissimo intervento di riqualificazione urbana dotando la città di una nuova centralità spaziale. Si trova a circa 8,50 m sotto il livello stradale e in quota con gli accessi alla stazione vera e propria ed è caratterizzata da un andamento perimetrale curvilineo e dalla presenza di un livello intermedio di distribuzione e affaccio sugli spazi inferiori. È uno spazio pubblico che raccoglie i flussi principali di utenti attraverso un sottopasso proveniente da via Asmara e viale Eritrea e le uscite esterne a C.so Trieste e via Bressanone. Una copertura leggera di superficie 60 x 12 ml circa, è posizionata al di sopra del percorso che i passeggeri in ingresso ed in uscita dai tornelli dell'atrio faranno per raggiungere il tunnel pedonale di sottopasso sino agli ingressi di via Asmara - viale Eritrea. Questa pensilina è dislocata in posizione inclinata in modo da assicurare le condizioni della minore emersione possibile dalla quota 0.00 e minimizzare l'impatto volumetrico rispetto al complesso di S. Costanza.

Figura 9 - Stazione Annibaliano - rendering - vista esterna piazza ipogea



Stazione Libia/Gondar (Figura 10) - Dalla quota urbana 0.00 si discende tramite scale fisse e meccanizzate ed ascensori, ad una quota ribassata(-4.50), uno spazio a cielo aperto che si configura come una vera e propria piazza ipogea. Dalla piazza si ha accesso all'atrio stazione che è posizionato alla medesima quota. Il sistema delle tornellerie in uscita è protetto da una pensilina vetrata posizionate alla quota +4.50 e dunque a 9 metri circa dalla quota di calpestio della piazza ipogea. Superate le tornellerie si ha accesso al pozzo di distribuzione verticale che è caratterizzato dal doppio sistema di scale a flussi dedicati. In posizione centrale tra i due sistemi di tornellerie di entrata e di uscita, è posizionato il grande lucernaio del sottostante pozzo di illuminamento naturale. Si tratta di una grande volumetria di vetro che ha altezza di ml 9 rispetto al calpestio della piazza ipogea e di ml 4.50 rispetto alla piazza Palombara



Figura 10 – Stazione Libia/Gondar – sezione architettonica

Sabina. Il lucernaio è configurato come un insieme allineato di monumentali cristalli di vetro. Il vetro trasparente è supportato da struttura metallica interna, e caratterizzato dalla finitura in pellicola a rifrazione policroma. Lo schema distributivo studiato consente l'ottimizzazione di alcuni importanti aspetti architettonico-spaziali a partire dal contenimento delle superfici occupate, nel pozzo di discesa, dai locali tecnici (spostati come si è detto al di sopra dello scavo per la realizzazione del tracciato), e dalle scale fisse e mobili (che trovano completa sovrapposizione per i flussi di ingresso e di evacuazione). Questo ha consentito la realizzazione di un pozzo di illuminamento e di ventilazione naturale di grandi dimensioni, posto in posizione intermedia tra il corpo scale e il corpo stazione, che crea un'importante spazialità a tutt'altezza nella quale sarà possibile affacciarsi nel corso dei lunghi percorsi di discesa e risalita, riducendo la sensazione di costrizione tipica di spazi chiusi privi di naturale illuminazione, anche nota come "sindrome di Proserpina". È morfologicamente studiato per garantire le migliori condizioni di rifrazione dell'irraggiamento solare in ingresso alla

quota superficiale. La luce solare, grazie all'appropriata sagomatura delle pareti potrà arrivare ad illuminare sia la prima sia la seconda banchina.

La Linea B1 Tecnologie esecutive

L'idrofresa

La differente scelta della metodologia esecutiva delle paratie perimetrali (benna mordente o idrofresa) nelle stazioni deriva da considerazioni di carattere tecnico, economico ed ambientale. Le esigenze di allineamento tra i pannelli contigui, di tenuta idraulica dei giunti e di minimizzazione delle deviazioni dalla verticale teorica sono naturalmente maggiori per la stazione Libia / Gondar in considerazione della maggiore profondità da raggiungere e

della vicinanza dei fabbricati agli scavi. Unitamente a ciò, anche valutazioni di tipo ambientale hanno portato a ritenere necessario, in un'analisi costi-benefici, l'utilizzo dell'idrofresa (Figura 11) per i pannelli di paratia della stazione Libia /Gondar, ed a ritenere sufficienti le garanzie invece fornite da una più standard attrezzatura con benna mordente per la stazione Conca d'Oro.

Le performance registrate in sito hanno confermato la bontà delle scelte effettuate. Per la stazione Libia/Gondar, la totalità dei diaframmi realizzati con idrofresa ha avuto deviazioni dalla verticale inferiori al limite dello 0,5% imposto da capitolato: il 60% ha registrato deviazioni inferiori allo 0,1%. Considerando la dispersione delle deviazioni rispetto alla loro direzione, i valori massimi si sono registrati verso l'interno del futuro scavo della stazione (asse trasversale diaframmi), arrivando al massimo allo 0,42%; nella direzione ortogonale (asse longitudinale diaframmi) le deviazioni sono risultate più contenute, con valori massimi inferiori allo 0,3%.

Il "Soft-eye"

Per l'armatura dei diaframmi di testata delle stazioni si sono utilizzate armature metalliche in materiale composito GFRP (tipo "Rockworm RWB 32"), con le seguenti caratteristiche: contenuto in fibra di vetro >60%, resistenza a trazione

>650 MPa, modulo elastico >40.000 MPa. Tale scelta, comunque onerosa, consente, qualora lo scavo della stazione subisca dei rallentamenti e/o impedimenti, di poter optare per il passaggio a pieno della TBM: la TBM è in grado di demolire le paratie (cls+GFRP) in un'unica soluzione senza particolari interventi in camera di scavo. Tale situazione è allo stato prevista per la prima delle TBM nell'attraversamento della stazione Libia/Gondar.

Figura 11 – Idrofresa



Il jet-grouting

Una volta individuata la tecnologia realizzativa del tampone di fondo (jet-grouting), con specifici campi prova in situ sono stati definiti i parametri geometrici ed operativi ottimali atti a garantire i requisiti progettuali richiesti in termini di omogeneità del trattamento, di tenuta idraulica e di resistenza del terreno consolidato. Le maggiori profondità della stazione Libia/Gondar hanno, anche in questo caso, richiesto l'adozione di parametri maggiormente cautelativi: a parità all'incirca di quelli geometrici (maglia e quindi densità al m²) il maggiore diametro adottato nel caso della Stazione Libia/Gondar fornisce un adeguato coefficiente di sicurezza rispetto al rischio di deviazioni delle perforazioni rispetto all'asse teorico e quindi, in generale, al rischio di zone parzialmente o non trattate.

In particolare, sono stati realizzati o sono ancora in corso di realizzazione, trattamenti colonnari del diametro reso variabile tra 1,5 m (Conca d'Oro) ed 1,8 m (Libia/Gondar), disposti su maglie triangolari equilatera con lato variabile da un minimo di 0,83 m (Libia/Gondar) ad un massimo di 1,04 m (Conca d'Oro). Per ottenere i diametri attesi si sono utilizzate 'energie specifiche' fino a 50 MJ/m per i trattamenti della stazione Conca d'Oro e fino a 75 MJ/m per quelli della stazione Libia/Gondar.

Figura 12 – TBM



Le TBM

Le caratteristiche principali delle due TBM "gemelle" utilizzate per lo scavo delle gallerie di linea sono le seguenti: diametro di scavo 6,79 m, coppia 7.000 KNm, spinta massima 50.000 kN, pressione di lavoro 5,5 bar, potenza alla testa 1.600 kW, potenza massima installata 2.500 kW, velocità di avanzamento fino a 100 mm/minuto, capacità coclea 385 m³/h.

Le due TBM sono state costruite dalla Herrenknecht AG (Schwanau, Germania); il back-up di entrambe è stato invece realizzato dalla SELI Spa (Roma), società specializzata nello scavo di gallerie, alla quale l'ATI Appaltatrice ha affidato i lavori di esecuzione delle gallerie di linea della B1. Le attrezzature (Figura 12) sono equipaggiate con 19 coppie di cilindri di spinta da 2,2 m di corsa, articolazione attiva (10 cilindri), copy cutter per incremento raggio di curvatura, 5 sensori di pressione in testa, 10 linee indipendenti di iniezione delle schiume (5 in testa, 3 al bulkhead, 2 in coclea), 2 punti di iniezione di bentonite, 6+6 linee di iniezione di backfilling con miscela bicomponente, sensori di pressione su ogni linea di iniezione, due carri porta-conci per avere sempre disponibili tre anelli completi da montare, erettore ed astronave equipaggiati con sistema "vacuum", sistema di nastro continuo per il trasporto all'esterno del materiale di smarino.

La Linea B1 - Monitoraggio

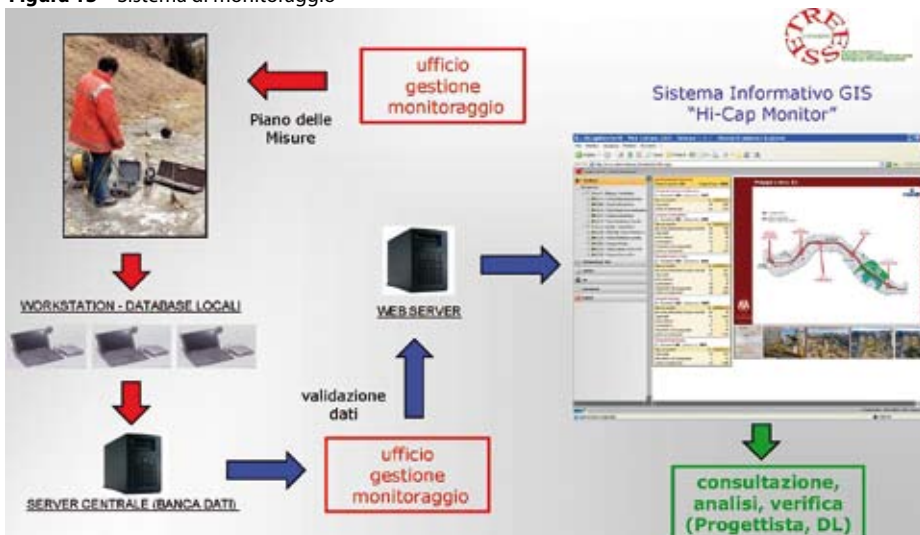
La gestione della realizzazione di un'opera in sotterraneo in ambito urbano richiede un controllo attento e sistematico, tale da fornire tempestivamente gli elementi utili per valutare situazioni di pericolo o che richiedano un adeguamento delle modalità esecutive, delle fasi di lavoro, del progetto. In fase di progettazione particolare cura deve essere posta nella scelta dei parametri da controllare, della disposizione dei punti di controllo e della tipologia di strumentazione da utilizzare più idonea allo scopo. Nella fase attuativa è altrettanto importante adeguare prontamente quanto previsto alla realtà effettivamente riscontrata e poter contare su un sistema informativo che consenta una gestione integrata dei dati registrati.

Per l'opera in questione è stata installata strumentazione di controllo per i seguenti parametri: deformazioni e sollecitazioni delle paratie perimetrali; deformazioni e sollecitazioni delle strutture definitive in c.a. (solai, pareti); spostamenti verticali ed orizzontali del terreno a tergo degli scavi ed in prossimità dei fabbricati; variazioni dei livelli di falda; cedimenti del terreno a piano campagna; spostamenti (orizzontali e verticali) dei fabbricati.

In totale, al 30.06.08, per i lavori della linea B1, nelle aree di cantiere e nel loro immediato intorno risultano installati: circa n. 40 tubi inclinometrici e circa n. 120 barrette estensimetriche all'interno delle paratie in c.a.; circa n. 40 celle di carico e circa n. 60 barrette estensimetriche sui puntoni provvisori in c.a.; circa n. 30 barrette estensimetriche all'interno delle strutture in c.a.; n. 280 capisaldi a piano campagna; circa n. 80 tra assestimetri ed inclinometri (profondità circa 35 m) all'interno del terreno; circa n. 110 celle piezometriche tipo Casagrande o elettriche; circa n. 350 staffe di livellazione sui fabbricati.

Le frequenze di lettura/acquisizione dati da tali strumenti/punti di misura sono definite progettualmente e variano in funzione dell'avanzamento delle lavorazioni/attività cui si riferiscono e della posizione della parte d'opera/pre-esistenza monito-

Figura 13 – Sistema di monitoraggio



rata rispetto alle aree di lavoro.

L'Appaltatore si è dotato di una specifica struttura dedicata al monitoraggio che, interfacciandosi con il Progettista, definisce innanzitutto il Piano delle Misure da effettuare periodicamente e ne verifica l'attuazione da parte del personale incaricato (topografi, società specializzate, ecc.). Tutti i dati ottenuti sono gestiti all'interno di un sistema informativo geo-referenziato (Hi-Cap Monitor, realizzato dal Consorzio Treesse per conto dell'Appaltatore) che, una volta validati (al fine di eliminare errori di acquisizione e/o restituzione) e resi disponibili, ne consente la consultazione, l'analisi e la verifica da parte dei soggetti interessati (Progettista, Direzione dei Lavori) entro poche ore dall'acquisizione sul campo. (Figura 13)

La piattaforma GIS di tale sistema consente di visualizzare la situazione aggiornata della strumentazione installata con riferimento al tracciato ed alle opere. Le

caratteristiche della strumentazione sono consultabili in apposite schede contenute nel database del sistema. Analogamente, i dati relativi alle letture effettuate sulla strumentazione sono inseriti sistematicamente all'interno dello stesso database, in modo da consentire diverse tipologie di interrogazione del sistema (e, conseguentemente, di risposta): per singolo

strumento, per gruppi di strumenti, per tipologia di strumenti, per opera, per area, per data, per periodo temporale, o per più di uno di tali elementi insieme. Allo stato il sistema sta gestendo i circa 1100 strumenti/punti di misura installati e le circa 200.000 letture su di essi effettuate (a circa 24 mesi dall'inizio delle lavori significative). A regime si ipotizza di arrivare a dover gestire contemporaneamente fino a circa 1500-2000 strumenti attivi e oltre 600.000 letture (deve ancora entrare a regime il monitoraggio dedicato alla realizzazione delle gallerie di linea).

La Linea B1 – Situazione dei lavori

A valle della consegna dei lavori (Novembre 2005) l'Appaltatore ha avviato le attività propedeutiche alle lavorazioni vere e proprie: cantierizzazioni, spostamenti, interferenze (pp.ss), demolizioni, interventi sulla viabilità, bonifica ordigni bellici, indagini archeologiche, impiant-

Figura 14 – Stazione Annibaliano – situazione ante-operam





Figura 15 – Stazione Conca d'Oro - situazione ante-operam

Figura 16 – Stazione Conca d'Oro – avvio dello scavo



tistica di cantiere, ecc. (Figura 14, Figura 15). Al termine di tale fase, tra i mesi di marzo ed aprile 2006 è stato possibile avviare le lavorazioni relative a diaframmi e pali sui cantieri delle tre stazioni.

Alla data del 30.06.08, a circa 32 mesi dalla consegna dei lavori la situazione dei cantieri vede ormai avanzate le attività in corrispondenza delle stazioni, mentre i cantieri dei pozzi di ventilazione di intertratta sono stati appena aperti e la prima TBM ha appena cominciato, da Conca d'Oro, a scavare la galleria di linea binario pari verso la stazione Bologna.

L'avanzamento dei lavori è ad oggi stimato pari a circa il 35%: sono stati

contabilizzati lavori per circa 116 milioni di euro sull'importo totale d'appalto pari a circa 332 milioni di euro.

Sono allo stato impiegate dall'Appaltatore sui cantieri circa 300 persone, di cui 240 operai e 60 impiegati. L'Ufficio della Direzione Lavori (Roma Metropolitane) è costituito da circa 25 persone.

In particolare, nel cantiere di Conca d'Oro lo scavo della stazione è completamente terminato, così come la posa dei puntoni provvisori, ed è stato quindi possibile realizzare il solettone di fondo sull'intera impronta della stazione.

A partire da marzo 2006 l'attività di esecuzione dei diaframmi è proseguita fino a dicembre 2006; il jet-grouting è stato avviato nel mese di ottobre 2006 ed è stato completato nel mese di luglio 2007. A partire dal mese di giugno 2007 è stato avviato lo scavo della stazione (Figura 16), con la posa di elementi di contrasto orizzontali costituiti da puntoni metallici provvisori ("bottom-up"). Lo scavo è proseguito per livelli orizzontali (Figura 17) ed è terminato a maggio 2008 con il completamento del solettone di fondo sull'intera area (Figura 18).

Lo scavo della stazione e la realizzazione del solettone di fondo sono avvenuti a campioni: in tale modo, già a partire dal mese di gennaio 2008 è stato possibile iniziare a montare la prima TBM sulla porzione di solettone completata in corrispondenza del lato della stazione da cui è previsto l'avvio dello scavo delle



Figura 17 – Stazione Conca d'Oro – scavo in corso

gallerie di linea verso Bologna.

La TBM è stata assemblata direttamente a fondo scavo sul solettone di fondo della stazione (Figura 19, Figura 20), nella configurazione minima necessaria a consentire l'avvio dello scavo in pressione (5 carri montati sui 10 totali). Una volta realizzata una galleria artificiale all'interno delle paratie, è stata portata a ridosso del fronte di attacco. Lo scopo di tale galleria artificiale è quello di ricreare le condizioni che consentano alla TBM di poter operare in pressione immediatamente, senza refluenti di materiale di scavo e/o di iniezione verso l'area di lavoro all'interno delle paratie. In tal modo risulta possibile garantire immediatamente la stabilità del fronte all'uscita dall'estradosso delle paratie della stazione, in considerazione del fatto che nel primo tratto la TBM si trova a

Figura 19 – TBM – assemblaggio a fondo scavo



Figura 18 – Stazione Conca d'Oro – scavo ultimato

scavare al di sotto dell'incrocio tra via Conca d'Oro e via delle Valli (soggetto ad intenso traffico stradale per svariate ore al giorno), con soli 12 metri netti di copertura al di sopra della calotta ed un franco di soli 8 metri rispetto ad un grosso collettore fognario.

La TBM è partita con lo scavo (Figura 21, Figura 22) alla metà del mese di maggio scorso, e dopo essere avanzata per

Figura 20 – TBM – calaggio a fondo scavo della testa fresante





Figura 21 - TBM - partenza con lo scavo della galleria binario pari



Figura 22 - TBM - scavo

circa 120 m (senza risentimenti a piano stradale) è ora ferma per completarne l'assemblaggio (Figura 23).

La scelta di operare in più fasi il montaggio della macchina è stata dettata dall'assenza di spazio all'interno dello scavo della stazione e dalla volontà di non rallentare tale assemblaggio una volta disponibile la TBM stessa. Al momento in cui i primi elementi della macchina hanno cominciato ad arrivare dalla Germania, lo scavo all'interno della stazione non era

ancora completato: solo un primo tratto di circa 30 m vedeva già il solettone di fondo gettato (piano di partenza della TBM). Così si è deciso di procedere comunque con il montaggio e l'avvio in configurazione ridotta (funzione dello spazio disponibile) mentre, nel frattempo, si completavano lo scavo ed il getto del solettone di fondo sull'intera area della stazione. In tal modo è stato possibile montare la TBM direttamente sull'area di partenza (evitando di doverla assemblare

fuori, a piano campagna, e poi calarla all'interno dello scavo della stazione) e partire con lo scavo (e guadagnare quindi, in galleria lo spazio necessario per i carri rimanenti del Back-up), liberando anche lo spazio per il montaggio della seconda TBM (appena avviato, dopo che la prima TBM ha concluso lo scavo dei primi 100 m). Si prevede di completare l'assemblaggio in galleria della prima TBM entro luglio, e partire con la seconda TBM entro settembre. In tal modo, dalla fine del 2008 le due TBM ed il cantiere ad esse dedicato assumeranno la configurazione definitiva completa, da mantenere fino a quando, all'inizio del 2010, entrambe le TBM avranno completato lo scavo delle gallerie fino alla Stazione Bologna e saranno state recuperate dal pozzo di estrazione specificatamente realizzato in adiacenza alla stazione di arrivo esistente.

La prima stazione ad essere interessata dal transito della TBM sarà quella di Libia/Gondar. Le attività sull'area hanno visto, dopo importanti spostamenti di sottoservizi e di uno dei collettori fognari più grandi di Roma, l'esecuzione della totalità dei diaframmi in c.a. e la messa a regime della esecuzione dei trattamenti jet-grouting per la realizzazione del tampono di fondo. La realizzazione di questa stazione ha richiesto importanti sforzi progettuali e ne sta richiedendo altrettanto importanti di operativi, dovendo prevedere necessariamente la parzializzazione delle aree di cantiere al

Figura 23 - TBM - galleria eseguita



fine di non interrompere (ma solo limitare) il traffico di superficie, essendo attestate sulla direttrice di viale Libia numerose linee del trasporto pubblico urbano, di ingresso/uscita dal centro città verso il popoloso quartiere di Montesacro.

Anche l'attività di spostamento del Collettore fognario di S. Agnese (ubicato in asse a viale Libia) ha richiesto una forte fasizzazione dell'esecuzione delle opere in funzione delle aree di cantiere man mano utilizzabili, e quindi una tempistica per tale lavoro necessariamente allungata rispetto ai tempi tecnici strettamente necessari. Trattandosi di un collettore di circa 10 m² di sezione, posto ad una profondità (scorrimento) di circa 13 m dal piano stradale attuale, i tempi comunque non sarebbero stati minimi: l'attività si è conclusa in circa 10 mesi.

Nel frattempo è stata in parallelo avviata la realizzazione delle paratie della stazione

mediante idrofresa, dapprima per il pozzo di stazione ubicato in piazza Palombara Sabina (limitrofo a viale Libia e senza problemi di circolazione stradale) e successivamente per il corpo di linea ubicato sotto viale Libia (Figura 24). Il primo diaframma è stato realizzato a giugno 2006 mentre l'ultimo è stato realizzato nel mese di settembre 2007.

Da quel momento è stata messa a regime la realizzazione del tampone di fondo mediante sistema jet-grouting, già avviata in parallelo all'ultimazione dei diaframmi, e che oggi vede all'opera n°4 gruppi di lavoro sull'impronta del corpo di linea lungo viale Libia (Figura 25): il tampone di fondo del pozzo di piazza Palombara Sabina è invece già completato.

Tale attività proseguirà fino all'autunno del 2008: entro l'anno si prevede anche di realizzare il solettone di copertura della stazione ed avviare le attività di

scavo sotto-copertura ("top-down"). Si prevede di raggiungere la configurazione necessaria per far transitare a pieno la prima TBM entro l'estate del 2009.

Nel cantiere di Annibaliano (Figura 26), dopo la realizzazione di diaframmi, tampone di fondo mediante jet-grouting e solettone di copertura, sono già state avviate le attività di scavo sotto-copertura della stazione ("top-down").

A differenza delle altre aree di lavoro il cantiere ha assunto quasi immediatamente la sua configurazione stabile, senza particolari problematiche per la circolazione stradale, avendo impegnato le aree già utilizzate come parcheggio al centro della piazza. Sul completamento delle attività propedeutiche e sulle prime fasi di avvio dell'esecuzione dei diaframmi della stazione hanno però influito le indagini archeologiche integrative richieste dalla Soprintendenza competente. Il cantiere

Figura 24 – Stazione Libia/Gondar – realizzazione paratie con idrofresa



Figura 25 – Stazione Libia/Gondar – esecuzione jet-grouting





Figura 26 – Stazione Annibaliano – situazione generale cantiere

si trova infatti in un'area limitrofa al monumentale complesso della basilica circiforme di S. Agnese realizzato nel IV secolo d.C., dove un importante tracciato stradale, attestato nella cartografia storica ma probabilmente esistente fin dall'antichità, collegava trasversalmente la Salaria e la Nomentana. L'indagine sull'intera area ed il suo approfondimento in alcuni punti singolari, integrando di-

verse metodologie di ricerca (carotaggi, scavi a pozzo, tomografia elettrica 3D), hanno consentito di verificare l'assenza di elementi di interesse archeologico interferenti con le opere da realizzare.

Dopo aver completato i diaframmi in c.a. (maggio 2007) ed il jet-grouting per il tampono di fondo (dicembre 2007), è stato realizzato il solettone di copertura della stazione (mese di marzo 2008). In

parallelo, a partire dal mese di dicembre 2007, è stato avviato lo scavo, tutt'ora in corso, della stazione, procedendo per livelli (Figura 27, Figura 28) e realizzando i solai intermedi. Si prevede il completamento dello scavo e la realizzazione del solettone di fondo della stazione per aprile 2009. In tale configurazione la stazione sarà pronta per l'attraversamento a vuoto da parte di entrambe le TBM. ■

Figura 27 – Stazione Annibaliano – livello-1



Figura 28 – Stazione Annibaliano – livello-2

