

UN PROGETTO AMBIZIOSO DOVE L'ALTA TECNOLOGIA SI UNISCE ALLA STORIA

Il grande cantiere DEL METRÒ DI ROMA

FABRIZIO BONOMO

Dopo anni di progetti e discussioni stanno per iniziare gli scavi delle gallerie di linea della terza metropolitana di Roma che entro quattro anni dovrebbero permettere la messa in esercizio dei primi 18 chilometri, su un totale di circa 39, sbloccati anche grazie al fatto che la committenza si è data una struttura adeguata alla complessità dell'intervento e alla scelta di adottare la formula del Contrante generale per portarne avanti il progetto e la realizzazione, superando i molti problemi legati alla presenza di uno dei siti monumentali più importanti del mondo, con tutte le valenze archeologiche che per molto tempo hanno bloccato progetti simili



La terza linea del metrò di Roma rappresenta oggi in Italia il progetto più ambizioso di ferrovia sotterranea urbana, con numerosi elementi di spicco e particolarità, a partire dal costo e dalla dimensione, visto che si tratta di un'opera colossale, la più grande e complessa prevista nella Capitale da secoli, con un costo stimato di quasi 4,2 miliardi di euro e una lunghezza di circa 39 chilometri, con 40 stazioni distribuite fra la zona di Vigna Clara, a nord-ovest, e la località di Pantano, a sud-est, una frazione del comune di Montecompatri, oltre il Grande raccordo anulare (Gra).

Ma è significativa anche per le molte implicazioni costruttive e tecnologiche; per la rivoluzione che prefigura nell'assetto urbano e trasportistico della città; per il fatto stesso che i lavori siano iniziati (è dagli anni Sessanta che si parla della linea).

Dal punto di vista costruttivo rappresenta una vera e propria sfida, dovendo passare sotto il centro storico di Roma, uno dei siti monumentali più importanti del mondo, con tutte le sue valenze archeologiche che per molto tempo hanno bloccato progetti simili (un reperto archeologico incontrato davanti

agli scavi segna spesso il destino dell'opera, grande o piccola che sia).

In termini urbanistici e trasportistici trasforma l'attuale "X" delle due linee A e B, con perno alla stazione Termini, in una vera e propria maglia, con numerosi interscambi fra le diverse linee su ferro (tram, metro, ferrovie regionali), contribuendo alla trasformazione della Capitale in città policentrica.

Tecnologicamente rappresenta un esempio di innovazione fra i più importanti oggi in cantiere in Italia, sia nei sistemi di scavo (utilizza Tbm dell'ultima generazione), sia nelle misure adottate per prevenire gli impatti sull'esistente (uno dei monitoraggi più estesi e sofisticati al mondo), sia infine nel sistema di trasporto e gestione, perchè si tratta di una linea "pesante", in grado di trasportare 24 mila passeggeri l'ora per senso di marcia, ma



lo fa con treni interamente automatici, senza conducente a bordo, adottando le tecnologie più innovative attualmente disponibili nel settore, dello stesso tipo già utilizzato nella (più piccola) metropolitana di Copenhagen.



Particolare di lavori alla stazione Giardinetti



Schema generale della rete di metropolitana prevista per Roma



Si aprono i cantieri

La vera novità però è l'inizio dello scavo delle gallerie di linea a Maggio del 2008. I lavori sono stati avviati nel primo semestre 2007 grazie a un processo di razionalizzazione e semplificazione che ha portato da un lato la Committenza a darsi una struttura adeguata alla complessità dell'intervento, con la società Roma Metropolitane, dall'altro alla scelta di adottare la formula del Contraente generale (CG) per portarne avanti il progetto e la realizzazione: un'Ati guidata da Astaldi che nel febbraio 2006 si aggiudica la gara, creando poi la relativa società di progetto, Metro C Scpa.

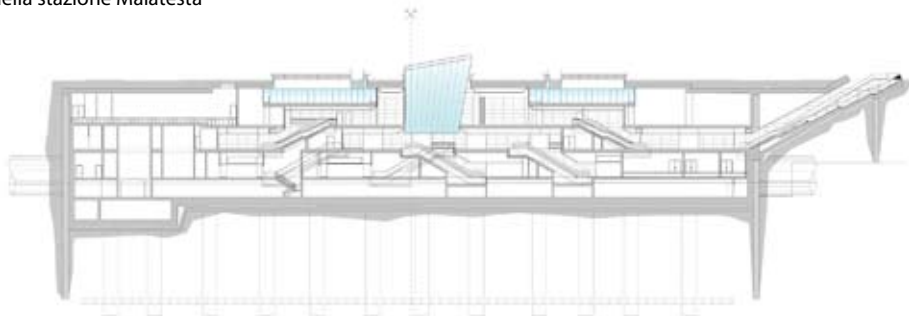
Così il progetto ha assunto una forma

organica e completa e sono stati risolti (fra il 2006 e il 2007) i problemi economici e progettuali che ne impedivano lo sviluppo: oggi si è davanti a un'accelerazione che rende concreta la possibilità di attivare entro il 2011 di tutta la parte sud-est, 18,3 chilometri da Pantano a piazza San Giovanni, con 21 stazioni.

La Committenza

La Società per la realizzazione delle metropolitane della Città di Roma Srl, meglio nota come Roma Metropolitane Srl (ex Servizi per la Mobilità Srl), è una struttura tecnica di gestione che assume la sua fisionomia nel maggio 2004, quando il Consiglio comunale dispone l'acquisto di tutto il suo capitale sociale, affidandole contestualmente il ruolo di committente per deroga, con il compito di gestire tutte le attività legate allo sviluppo delle linee metropolitane della città, sia quelle di nuova costruzione (C, D e B1) che i

Sezione longitudinale e vedute del cantiere della stazione Malatesta



prolungamenti (A e B), che gli ammodernamenti (linea A).

La società, che nel maggio 2006 ha ottenuto la Certificazione di qualità Uni En Iso 9001:2000, è sostanzialmente il braccio operativo del Comune di Roma, che ne è l'unico proprietario, esercita nei suoi confronti un'attività di direzione e coordinamento, rimanendo al tempo stesso l'ente finanziatore riconosciuto dal Governo e come tale autorizzato a contrarre mutui.

Roma Metropolitane rappresenta invece il soggetto aggiudicatore, strutturato secondo i diversi progetti e caratterizzato dalla presenza di figure professionali, di provenienza interna ed esterna all'Amministrazione comunale, che hanno una specializzazione molto alta e seguono da tempo le problematiche della costruzione di reti metropolitane.

Operativamente si occupa della progettazione di opere e impianti; assume funzioni di Responsabile unico del procedimento, Direttore lavori, Stazione appaltante e di

alta sorveglianza tecnica e amministrativa; indice e aggiudica gare; fa contratti; predispone gli atti e i documenti necessari prima, durante e dopo i lavori, ecc.

Di fatto, Roma Metropolitane rappresenta la conclusione ultima di un dibattito in corso da tempo, che ha trovato echi anche su queste pagine (vedi ad esempio il dossier sul Lazio, del dicembre 2005), con la constatazione dei limiti della macchina comunale nella gestione di progetti complessi, ma anche del fatto che la Committenza è una componente essenziale per la riuscita di un'opera pubblica, al pari dell'altrettanto necessario realizzatore con un know how adeguato.

Il Contraente generale

La Metro C Spca è una società consortile di progetto, con funzione di Contraente generale per la realizzazione chiavi in mano della linea, costituita nel 2007 da Astaldi (34,5 per cento), Vianini Lavori (34,5), Ansaldo trasporti Sistemi ferroviari (14), Cmb di Carpi (10) e Ccc (7 per cento).

A sua volta è la trasformazione della Spa creata nell'aprile 2006 (come richiesto dalla normativa vigente) dall'Ati vincitrice della gara indetta da Roma Metropolitane, effettuata a seguito della cessione del 10 per cento del capitale di Ccc alla consociata Cmb.

Anche in questo caso, come per la Committenza, il Contraente generale ha dovuto strutturarsi adeguatamente, pur disponendo di uno specifico know how e di esperienze nazionali e internazionali nella realizzazione di ferrovie metropolitane. Gli stessi dirigenti di Metro C ammettono che la principale fase critica affrontata dal 2006 a oggi è stata la costituzione della società, con pochissimo tempo a disposizione per dare forma a una realtà completamente nuova e di non piccole dimensioni.

Oggi conta circa 200 persone, solo per la progettazione e l'amministrazione, senza contare cioè quelle dei cantieri operativi, con figure professionali molto diverse e di alta specializzazione, chiamate ad affrontare aspetti differenti: progettuali e di cantiere, architettonici e ingegneristici, archeologici e impiantistici, opere civili e tecnologiche, amministrativi e di organizzazione dei cantieri in un'area urbana complessa, controllo dei processi e sistema qualità.

La società d'ingegneria creata al suo interno, ad esempio, ha circa 60 persone, con un responsabile e due vice che guidano anche l'attività di una miriade di consulenti e studi di progettazione.

Questo perché il CG non fa solo il lavoro, ma anche tutta la parte di progettazione e di sistema, per garantire che il treno abbia una frequenza e un servizio fisso dal capitolato; non a caso l'aspetto direttamente collegato al funzionamento della metropolitana viene affrontato sia

all'interno, con figure professionali provenienti da Ansaldo, sia all'esterno, attraverso contratti fra Metro C e il socio Ansaldo al quale è affidata la soluzione di tutte le problematiche riguardanti il sistema, specie quello di automazione e controllo.

Un appalto non comune

Il nodo è che il Contraente generale ha senso se risolve i problemi cronici delle opere pubbliche più tradizionali, dove l'impresa si trova a eseguire un progetto imposto, che presenta delle difficoltà e comporta poi un attrito nei rapporti fra impresa e committente, difficoltà operative che richiedono poi tempi maggiori per la possibile soluzione.

In questo caso si è portato tutto all'interno della società, che si occupa delle indagini



preliminari, del progetto, degli affidamenti e di tutte le fasi di realizzazione dell'opera, coadiuvata da un committente che ha anch'esso un ruolo fondamentale, soprattutto per la parte amministrativa, nei rapporti con il territorio, con il cliente principale (il Comune di Roma), e con tutti gli altri interlocutori istituzionali, non ultima la Soprintendenza (mancando il

Il nodo archeologico

Dal punto di vista costruttivo la metropolitana C rappresenta una vera e propria sfida perché affronta e punta a risolvere il nodo archeologico che per molto tempo ha bloccato progetti simili, specie in Italia.

L'idea per evitare lo stallo nasce a metà degli anni Novanta, con la decisione di trasformare l'archeologia da vincolo in virtù, puntando su un approccio metodologico nuovo che vede la Soprintendenza partecipare a pieno titolo alla progettazione.

Gli archeologi hanno affiancato i progettisti già durante la stesura del preliminare, sia nella definizione del tracciato sia soprattutto nel posizionamento delle stazioni e dei pozzi di ventilazione, dove forzatamente si attraversa la fascia archeologica della Roma repubblicana e imperiale dove si trovano i più importanti monumenti della città antica tra cui – come ricorda la Soprintendenza – l'ager Vaticanus con la Meta Romuli e il Terebinto di Nerone; il Mausoleo di Adriano; il Campo Marzio con il teatro di Pompeo e i templi di Largo Argentina, l'Odeon di Domiziano, le Terme di Agrippa, l'Hecatostylon e l'Euripo; la zona dei Fori imperiali con la colonna Traiana; il Colosseo, le mura Aureliane, ecc. fino ad arrivare alle estreme periferie della città, che sono anch'esse ricche di preesistenze importanti, come ville, strade consolari e acquedotti.

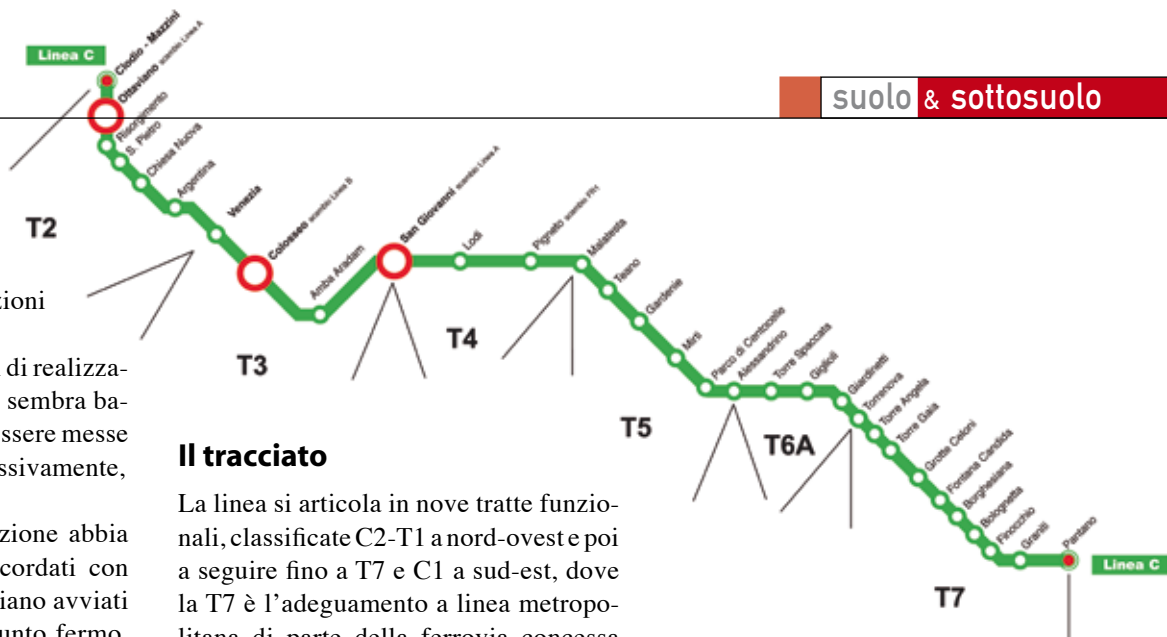
Campagne di indagini

Il problema è stato affrontato programmando innanzitutto una vasta campagna di indagini e verifiche, che ha preso il via nel maggio 2006 e si somma a quella già effettuata in precedenza per le tratte T4 e T5. Metro C ha aperto 38 cantieri archeologici, di cui 35 chiusi, nelle sole tratte del Centro storico, fino a una profondità media di 13-16 metri.



Nella tratta San Giovanni-Alessandrino (T4 e T5), sono stati eseguiti scavi a cielo aperto per un volume complessivo di circa 27 mila metri cubi, e 10 mila in quella fra piazza Venezia e San Giovanni (T3); sull'intero Tracciato fondamentale, poi, sono stati realizzati oltre 400 carotaggi, con recupero della colonna stratigrafica, accompagnati dalla lettura archeologica dei terreni attraversati.

Queste indagini hanno finora consentito l'in-



supporto giusto, anche in una figura così strutturata non avrebbe tutte le soluzioni necessarie).

Avere cantieri aperti e tempi di realizzazione sufficientemente certi sembra banale, ma è il frutto di tante tessere messe nelle giuste posizioni progressivamente, da ciascuno dei due attori.

Il fatto poi che la progettazione abbia raggiunto gli obiettivi concordati con il committente, e che oggi siano avviati i cantieri, rappresenta un punto fermo, la convinzione per la società di essersi strutturata adeguatamente, di avere l'organizzazione e le professionalità per affrontare i problemi che si presenteranno nelle fasi successive (inevitabili per un'opera di questo tipo).

Il tracciato

La linea si articola in nove tratte funzionali, classificate C2-T1 a nord-ovest e poi a seguire fino a T7 e C1 a sud-est, dove la T7 è l'adeguamento a linea metropolitana di parte della ferrovia concessa Roma-Pantano-San Cesareo, mentre la C1 rappresenta una futura diramazione verso Ponte Mammolo, nell'area dell'università di Tor Vergata.

In particolare, partendo dalla stazione di Grottarossa, a ridosso del Grande raccordo anulare, il tracciato si sviluppa lungo la via Cassia, sottopassa il Tevere (ben 3 volte) e il Centro Storico (corso Vittorio Emanuele

II, piazza Venezia, il Colosseo) fino a piazza San Giovanni, da dove prosegue sotto i quartieri Appio, Pigneto, Centocelle e Alessandrino e poi supera il Gra a sud-est percorrendo l'asse della via Casilina, fino al deposito-officina collocato su un'area di oltre 216 mila metri quadrati a ridosso della ferrovia Roma-Pantano, all'altezza della fermata Graniti.



Colosseo, delle probabili vestigia del Circo Variano lungo l'asse di via La Spezia, del tracciato dell'antica via Labicana su via Casilina vecchia, i resti del cenotafio di Agrippa sotto piazza Sforza Cesarini (Chiesa Nuova), i muri della vetreria rinascimentale di piazza Venezia.

Archeologi nei cantieri

Il risultato è che oggi si stanno costruendo le stazioni su tutta la tratta fino a San Giovanni, con la collaborazione della Soprintendenza, che ha dato il suo benestare alla realizzazione delle paratie, e la sua presenza nei cantieri, perchè le indagini hanno chiarito la presenza o meno di reperti e permesso di posizionare le opere nei punti ritenuti meno impattanti sulle preesistenze.

Esempi significativi di questo approccio attento ma anche pragmatico sono la già citata stazione Giardinetti e quella di Pigneto.

Giardinetti, situata nell'estrema periferia, oltre il Grande raccordo anulare, ha oggi una posizione diversa rispetto alle ipotesi iniziali, perchè durante le indagini preliminari è emersa una strada romana e alcune preesistenze che la Soprintendenza ha ritenuto necessario salvaguardare.

Pigneto ha avuto invece il benestare perchè si è accertato che la sua posizione è all'interno di un'antica cava utilizzata come discarica già in epoca Flavia; quindi è terreno di riporto e non contiene preesistenze che non possono essere rimosse; di fatto la stazione si può fare, l'importante è che gli scavi, effettuati in modo tradizionale, siano controllati dagli archeologi (in un'area a parte) ed eseguiti per porzioni ben identificabili; in questo modo non si incide sui tempi di lavorazione e al tempo stesso la Soprintendenza ha il pieno controllo degli scavi.

Con questo spirito, il progetto prevede sempre l'esecuzione degli scavi in soggezione di attività archeologica, con l'analisi dei terreni di scavo, perchè se fra San Giovanni e Pantano nessuno si aspetta di trovare costruzioni, una

dividuzione, tra l'altro, delle fondazioni di edifici imperiali del secolo d.C. nell'area della stazione

villa o un palazzo pubblico (come invece nel Centro storico) qualcosa può comunque esserci e non è individuabile in un'indagine di ampia scala.

Quindi, fino a quando non si supereranno gli strati dei riporti e delle zone antropizzate, la presenza degli archeologi sarà costante, anche se è ormai diffusa la convinzione che per i primi 18 chilometri di linea non si corra più il rischio di un blocco dei cantieri in seguito a nuove scoperte: in periferia l'incidenza delle preesistenze (antiche e moderne) è minore rispetto al centro, e permette una scelta ottimale della posizione delle stazioni.

Possono quindi sorgere problemi in una stazione, ma allo stato dei fatti il problema archeologico è sostanzialmente risolto per tutta la linea in costruzione, fino appunto a San Giovanni.

La sfida del Centro storico

Diversa è la situazione delle tratte centrali, perchè le preesistenze ci sono e di notevole importanza, tanto che per tutto il 2007 si sono susseguite voci di stazioni cancellate, di scavi bloccati in diversi punti perchè occorrono nuovi strumenti di indagine per scendere in profondità senza danneggiare le strutture già scoperte, alle quali hanno fatto seguito anche allarmi e proteste di associazioni ambientaliste contro il possibile avvio dei lavori "per il costo eccessivo che dovrà pagare il patrimonio archeologico sepolto sotto via dei Fori imperiali, via del Plebiscito e corso Vittorio".

A questo, all'inizio di marzo, ha fatto riscontro il via libera ai lavori da parte della Soprintendenza, affiancata dal ministero dei Beni culturali.

Gli archeologi hanno sottolineato che la realizzazione della metropolitana è improntata ad un'estrema elasticità progettuale, sottoposta a continue verifiche in relazione al progredire delle indagini, ma al tempo stesso hanno dato il loro assenso all'apertura dei cantieri, sottolineando che questa decisione non sarà indolore e riservandosi di decidere le demolizioni e relativi spostamenti delle strutture antiche trovate nel corso degli scavi. Così si registra il via libera alla realizzazione delle paratie delle stazioni di piazza Venezia e largo Chiesa Nuova, dove sono stati trovati importanti reperti archeologici, quanto meno perchè ritenute indispensabili per proseguire in sicurezza con i sondaggi archeologici, e in generale si accetta il fatto che a volte è necessario rimuovere i reperti.

La sua importanza, come già sottolineato, sta innanzitutto nei numerosi punti di interscambio, sia con le due linee di metropolitana esistenti – la A a Ottaviano e piazzale San Giovanni, la B a Colosseo – con la futura linea D e con il sistema ferroviario, in particolare con le ferrovie regionali Roma-Viterbo, Tiburtina-Guidonia, Tiburtina-Civitavecchia e Aeroporto di Fiumicino-Tiburtina-Fara Sabina. Inoltre tocca bacini d'utenza significativi e si pone come strumento di sviluppo e qualificazione di parti del territorio importanti: dal complesso sportivo del Foro Italico al quartiere Prati; dalla cittadella giudiziaria alla Città del Vaticano (stazioni Risorgimento e San Pietro); dal previsto Parco dei Fori e dell'Area archeologica centrale (Risorgimento) al nodo di San Giovanni; dal quartiere Appio Latino (Lodi) alla cintura ferroviaria est (Pigneto).

Tecnologia

Dal punto di vista del sistema, la linea è la prima grande infrastruttura di trasporto pubblico pesante in Italia ad automazione integrale (quella di Torino è una metropolitana leggera), con convogli senza conducente a bordo controllati e guidati da un Posto di controllo centrale (Pcc) che gestisce anche le stazioni, dove sono installate porte di banchina – una separazione netta fra marciapiedi e binari – aperte in contemporanea con l'apertura delle porte dei convogli, come avviene del resto in tutte le metropolitane automatiche.

Il sistema di automazione integrale si basa su una tecnologia innovativa fornita da Ansaldo, l'Automatic Train Control (Atc) già in esercizio da diversi anni a Copenhagen, e sull'integrazione fra tutti gli impianti di una linea metropolitana (sempre fornita da Ansaldo), che nell'insieme permettono una gestione considerata più economica e flessibile rispetto alle metropolitane tradizionali, in quanto permette di espandere la capacità di trasporto aumentando la frequenza dei treni secondo le necessità.



Dal Pcc, previsto presso il deposito-officina di Graniti, è possibile comunicare e ricevere informazioni dai passeggeri nei treni, all'interno dei quali sono collocati dei telefoni per il contatto diretto.

Il parco vetture, in prima fase, è composto da 30 treni, lunghi 107 metri, ciascuno composto da sei carrozze, con una velocità di crociera di 35 chilometri/ora (aumentabile però fino a 80 chilometri/ora) e una capacità massima di 1.200 persone.

La frequenza massima prevista, in prima fase, è di 3 minuti nelle ore di punta, in centro, fra Clodio/Mazzini e Alessandrino, che equivale a una capacità di trasporto di 24 mila persone l'ora per senso di marcia; in periferia la frequenza si riduce con un treno ogni 6 minuti nella tratta Alessandrino-Grotte Celoni e 12 minuti da Grotte Celoni a Pantano.

Particolari della metropolitana di Copenhagen



Costi e finanziamenti

L'origine dell'accelerazione odierna risale al 2002, quando si mettono le basi per superare i molti problemi che via via hanno bloccato lo sviluppo del progetto: Ministero delle Infrastrutture, Comune e Regione decidono di accorpate quasi tutte le tratte in un unico macrolotto e di affidarne la progettazione esecutiva e definitiva e la realizzazione a un Contraente generale, riprendendo un modello proposto dalla Legge

Obiettivo e adottato in quegli anni per la Salerno-Reggio Calabria.

Il macrolotto viene chiamato Tracciato fondamentale e va dalla stazione Clodio/Mazzini (T2) fino a Pantano e al deposito-officina di Graniti; ha 31 stazioni ed è lungo 25,5 chilometri, dei quali 17,6 in sotterraneo, a una quota media di circa 25-30 metri dal piano campagna, mentre gli altri 7,9 sono all'aperto, sulla sede della ferrovia Roma-Pantano.

Il costo complessivo di questo macrolotto e delle opere compensative è fissato in poco più di 3 miliardi di euro (esattamente 3.047,42 milioni), dei quali 895 milioni per la tratta T2, 528 per la T3, 849 per T4-T5, 345 per la T6A, 301 per la T7 e 129 per il deposito Graniti.

Il quadro economico, approvato dalla Giunta Comunale nel marzo 2004 e poi dal Cipe nel dicembre dello stesso anno, ingloba i fondi della 211/92 già assegnati per le tratte centrali e prevede che i costi siano coperti per il 70 per cento con fondi dallo Stato, il 18 per cento del Comune di Roma e il 12 per cento della Regione Lazio.

Un progetto contrastato

L'assetto finale della linea è però frutto di un processo decisionale e progettuale molto lungo: prende forma per la prima volta nel Prg del 1962, con un itinerario in parte diverso da quello attuale; nella Variante generale del 1974-75 la linea, allora chiamata "G", assume in parte l'attuale configurazione nel tratto Termini-Pantano, a servizio soprattutto

degli insediamenti lungo la via Casilina, sia esistenti che di previsione, e dell'altra, futuro complesso universitario di Tor Vergata.

Il primo atto concreto risale alla metà degli anni Ottanta, con il progetto di massima per l'ammodernamento del tratto Roma-Pantano della ferrovia concessa Roma-Fiuggi, al quale si danno caratteristiche di pre-metropolitana a doppio binario, con capolinea centrale a Termini; la richiesta di finanziamento al Ministero dei Trasporti però porta allo stanziamento di contributi limitati, sufficienti a coprire i lavori della sola tratta Pantano-Torrenova, alle porte di Roma.

Nel frattempo, essendo poco condivisa l'ipotesi di attestare un'altra linea di metropolitana a Termini, nascono due ipotesi alternative di attraversamento del centro e di prosecuzione a nord-ovest, fino a Vigna Clara.

Dal 1990 si ha una progressiva messa a fuoco del progetto, fino al 1995, quando il Consiglio comunale approva una soluzione di massima che ottiene l'ammissione ai finanziamenti della legge 211/92 (ma solo per due tratte centrali).

Quella soluzione è alla base dell'attuale, anche se ulteriormente rivista negli anni

successivi, fino al 2002, quando viene approvato il progetto Preliminare di tutta la linea.

Ma fino al 2004 l'opera rimane fortemente condizionata dalla sua complessità e dalla mancanza dei fondi necessari, cosa che da un lato si traduce in una concezione per segmenti, sviluppati separatamente per ottenere la copertura economica sufficiente almeno per una tratta (che per funzionare richiede però soluzioni-ponte complesse), dall'altro portano a ipotesi costruttive originali, nel tentativo di minimizzare il rischio archeologico, come il cosiddetto Modello Roma per le stazioni sotto il Centro storico, ricavate ampliando la galleria di linea, la cui posizione può slittare lungo l'asse del tracciato.

Tutte ipotesi che il nuovo approccio, basato sul binomio Roma Metropolitane - Contraente generale, sta rivedendo e razionalizzando.

Nuovi approcci

Il dato di partenza della fase attuale è la gara indetta nel febbraio 2005 da Roma Metropolitane per la realizzazione chiavi in mano dell'intera Tratta fondamentale, che però presenta un avanzamento progettuale ed economico non omogeneo: T4 e T5 sono a livello di progetto definitivo, mentre il resto è ancora a livello di preliminare.

Metro C partecipa alla gara impegnandosi a realizzare l'intero macrolotto, con lo sviluppo della progettazione esecutiva e poi l'apertura dei cantieri per le tratte T4 e T5, e la progettazione definitiva,

esecutiva e realizzazione delle altre tratte, vincolandola però al reperimento dei fondi necessari.

Questa però è la storia iniziale. Quella più recente è che dopo l'aggiudicazione, nel febbraio 2006, è iniziata una rivisitazione complessiva del progetto, prevista del resto nel contratto, che cambia l'approccio per segmenti e sceglie di realizzare la metropolitana dalla periferia, spostandosi via via verso il centro con un'opera attivata progressivamente.

Così l'attenzione si concentra sulle tratte T6A-T7, soprattutto sul deposito di Graniti, dove nasce la metropolitana, dove si trova il suo cervello, il Pcc, cioè l'elemento chiave per il suo funzionamento.

Di fatto, mentre il progetto originario prevedeva un funzionamento a partire dalle tratte centrali T4-T5, perchè le uniche ad essere finanziate, presentando il progetto definitivo del T6A e T7, e reperendo i finanziamenti nel giugno del 2007, si è aperta la possibilità di cantierare tutta la Tratta, da Pantano/deposito Graniti (T7) fino a San Giovanni (T4).

Revisione a tempo record

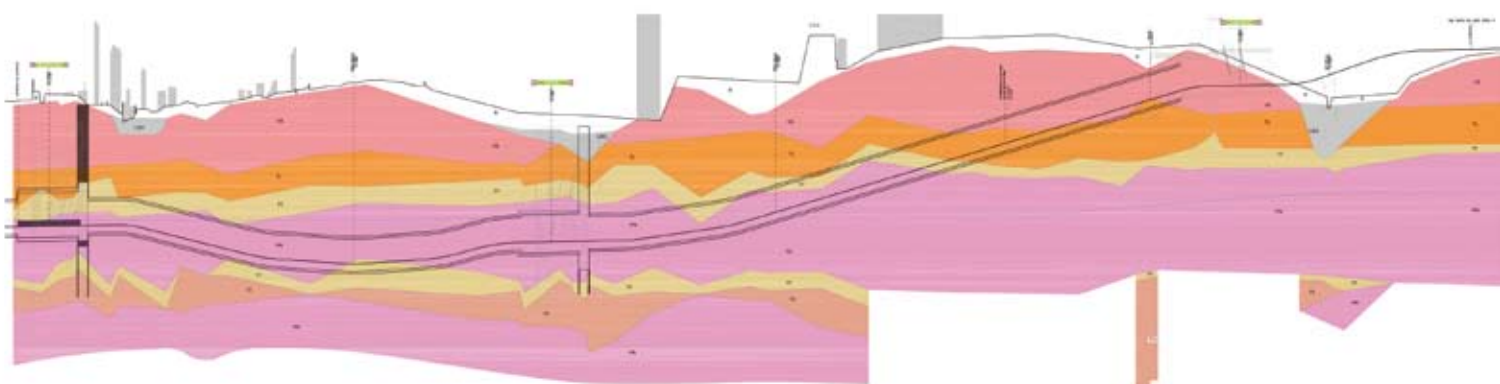
La prima fase è quindi caratterizzata da un cospicuo investimento sulle risorse interne e sulla progettazione (in termini economici il costo della progettazione incide per quasi il 6 per cento sul budget complessivo), che avanza in parallelo con le indagini archeologiche e gli studi propedeutici alla progettazione stessa.

Il risultato sono almeno 90 mila fra disegni ed elaborati, e la realizzazione, fra il

LEGENDA:

PERIODO	ETA' (SAL)	GEOLOGIA	USI/ETNOLOGIA	LITOLOGIA
Recente	
Medio	1800
Preistoria	8000
		
		
		
		

Profilo geologico della tratta T6, da Torre Spaccata a Giardinetti



dicembre 2006 e il febbraio 2007, di un progetto eseguibile per tutta la linea da Pantano a San Giovanni, da presentare al Cipe per le necessarie autorizzazioni: sia il progetto esecutivo del T4-T5, con varianti e ottimizzazioni derivate dall'inserimento del deposito di Graniti nella prima fase strategica, sia il definitivo del T6A-T7 e deposito Graniti, approvati dal Cipe nella prima metà del giugno 2007.

Diversa è la situazione delle tratte sotto il Centro storico (T2-T3), delle quali oggi si sta ultimando la progettazione definitiva: qui sono necessari ulteriori approfondimenti, specie di tipo archeologico, e sono ancora in corso le indagini, in particolare sulla T2, per la quale la Soprintendenza dovrà prendere delle decisioni sulla fattibilità o meno di alcune soluzioni.

Ad oggi quindi il Tracciato fondamentale si articola in tre parti funzionali e tipologiche, cioè periferia, semiperiferia e centro storico; la stessa divisione si ritrova per lo stato di avanzamento (lavori in corso, progettazione, indagini) con piazza San Giovanni a rappresentare concettualmente e fisicamente la porta della città, dove si attesteranno i primi 18 chilometri di linea e da cui parte la sezione più complessa, sotto il Centro storico.

Del resto è una divisione che rispecchia mondi diversi, sia per le preesistenze archeologiche che per il tessuto urbano in superficie, con pesi completamente differenti, così come per il tipo di terreno attraversato.



Veduta del cantiere della stazione Giardinetti

Modifiche al progetto

L'opportunità di operare su un sistema intero e non più per segmenti, prendendo in considerazione tutta la linea fino a San Giovanni (T4-T7) e passando a un livello di tipo esecutivo, con elementi di conoscenza più approfonditi, permette anche di ottimizzare il progetto, così che, secondo i dirigenti del Contraente generale, l'intervento risulta oggi meno rischioso.

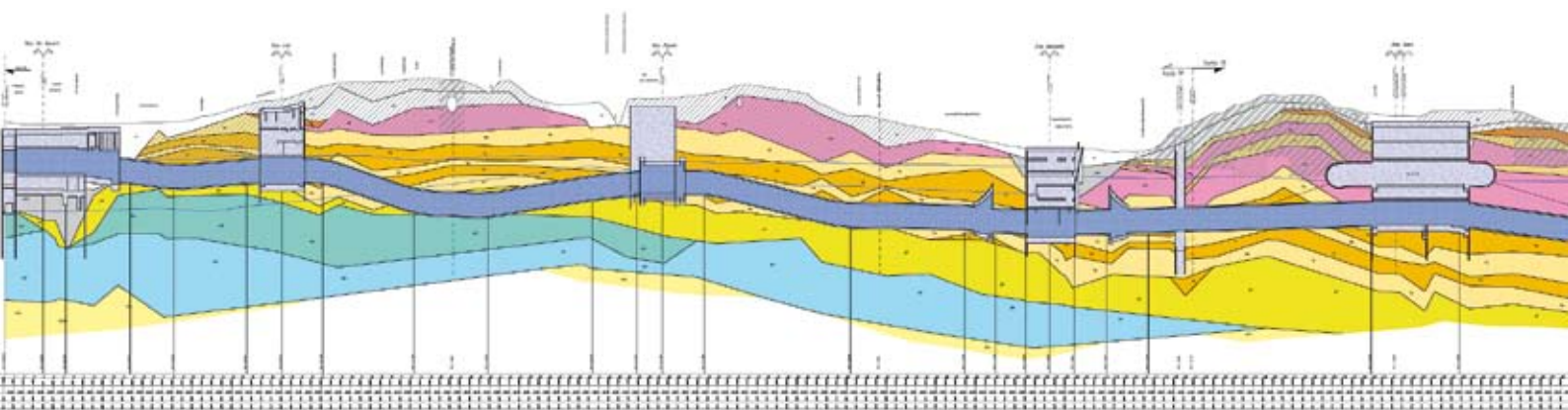
Fra le modifiche più significative si segnala l'eliminazione di un collegamento provvisorio con la linea A, previsto originariamente per rendere possibile l'attivazione delle due tratte finanziate (T4-T5), facendo capo per la manuten-

zione al deposito della linea A, presso Osteria del Curato: un'opera difficile e pericolosa da realizzare, perchè interviene su una metropolitana in esercizio, con opere preesistenti in parte da demolire, in sotterraneo, in una zona dove i terreni hanno un'incisione particolare.

La revisione della linea nella sua interezza rende questo collegamento inutile, proprio per l'inserimento del deposito di Graniti nella prima fase attuativa.

Una modifica altrettanto importante riguarda lo spostamento della stazione di Giardinetti; in questo caso il motivo è archeologico: durante le fasi preliminari è emersa infatti la presenza di una strada romana e alcune preesistenze e dovendo scegliere fra l'eliminazione della stazio-

Profilo geologico della tratta T4-T5, da San Giovanni a Torre Spaccata





Fotopiano della tratta T6

ne o un suo spostamento si è optato per questa seconda alternativa, considerando che ad essa fanno capo uno svincolo di



Realizzazione di paratie a Giardinetti

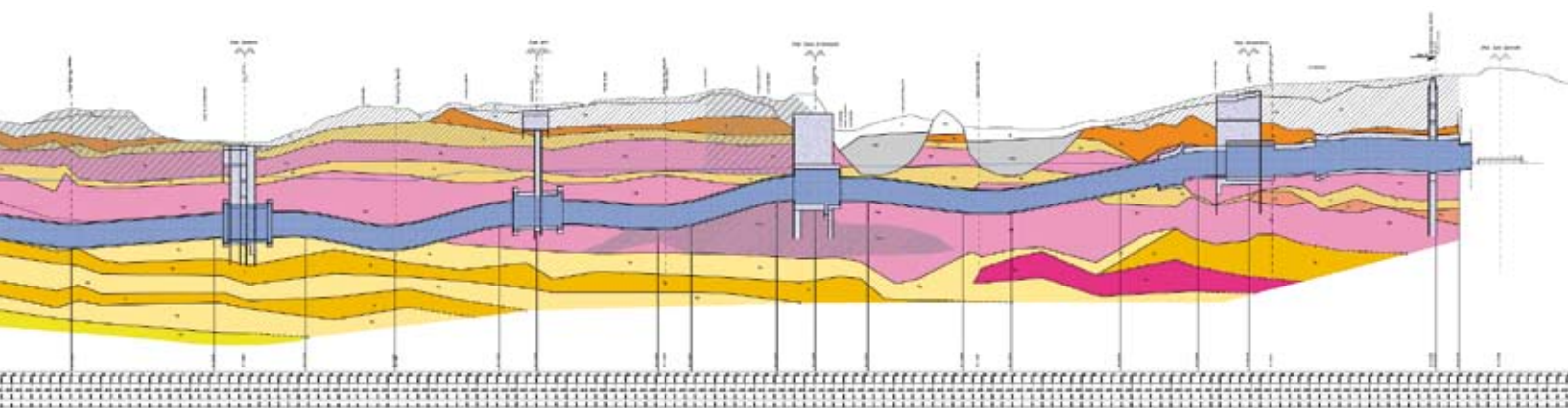
collegamento con la via Casilina e un parcheggio a raso per 230 posti auto, facendone un nodo d'interscambio per il traffico proveniente dalla via Casilina e dal Grande raccordo anulare.

Opposto è il caso della stazione Pigneto, che inizialmente sembrava non avesse spazio per inserirsi nella piazza omonima; poi, con gli ulteriori approfondimenti progettuali si è trovato il modo di collocarla, adottando una tipologia esecutiva diversa e offrendo maggiori garanzie per la stabilità dei fabbricati.

Altri aggiustamenti, derivati anch'essi dalle indagini supplementari per la progettazione esecutiva, riguardano il tratto tra le stazioni Teano e Torre Spaccata, dove modifiche altimetriche e planimetriche del tracciato permettono di eliminare le

interferenze, dirette e non, con fondazioni degli edifici soprastanti, mentre una diversa tipologia costruttiva delle stazioni Garderie e Mirti, realizzate interamente tra paratie, permette di risolvere i problemi connessi alla diffusa presenza di cavità nel sottosuolo.

Varianti ritenute "non sostanziali" sono lo spostamento, per motivi squisitamente tecnici, del punto di partenza delle Tbm in direzione San Giovanni, prima previsto nell'area della stazione Teano e ora a Malatesta; oppure lo spostamento del punto di uscita in superficie della linea, per permettere il recupero della stazione di Torrenova già ammodernata nel corso dei lavori della ferrovia Roma-Pantano. La stazione di Torrenova viene quindi aggiunta rispetto alle previsioni iniziali.



Il Centro storico

Quanto alla parte sotto il Centro storico, i passi avanti riguardano essenzialmente la tratta fino alla stazione Colosseo (T3) dove sono sostanzialmente terminate le indagini preliminari prescritte dalla Soprintendenza e necessarie per la verifica di fattibilità del progetto.

Oggi è in corso la progettazione definitiva, per raggiungere un livello di approfondimento adeguato dal punto di vista del territorio e poi essere presentato al Cipe per l'approvazione.

Le problematiche per la realizzazione di questa tratta sono di fatto definite, compresa l'individuazione di monumenti e preesistenze importanti da monitorare con attenzione particolare (mura Aureliane, Santo Stefano rotondo, Colosseo, le Colonnacce, ecc.).

Ora si tratta di individuare le soluzio-

ni, che si stanno studiando, a partire dall'interazione linea/monumenti e da intersezioni importanti come quella della stazione Colosseo, dove la linea si interconnette con la metropolitana B ed è previsto il collegamento con uno spazio multiservizi sotterraneo di circa 3 mila metri quadrati sotto via dei Fori imperiali, dove potrebbero anche essere esposti molti dei reperti che verranno alla luce durante i lavori.

Per la T2, sotto il Tevere e il cuore antico della città (piazza Argentina, i Fori imperiali, ecc.), il tema deve ancora essere sviluppato completamente, perchè i nodi sono più complessi, sia dal punto di vista archeologico sia di scavo e cantierizzazione; per questo sono ancora in corso indagini e approfondimenti, e si attendono decisioni da parte della Soprintendenza, che non saranno indolori, per tutti.

Completamento nord

Parallelamente compie i primi passi anche il progetto per la parte a nord, le tratte C2 e T1 non comprese nel Tracciato fondamentale, che passa sotto l'Auditorium, la Cassia e raggiunge Grottarossa e il Gra, per un totale di circa 9 chilometri e 7 stazioni.

Nel gennaio 2007 Roma Metropolitane ha avviato le indagini geognostiche necessarie alla stesura del progetto preliminare, consegnato poi al Comune nel dicembre scorso e ora in attesa di approvazione e finanziamenti da parte del Cipe.

La tratta T1, da Clodio/Mazzini a Farnesina, lunga circa 3 chilometri, con 2 stazioni (Auditorium e Farnesina), comprende un parcheggio d'interscambio da 1300 posti auto, a Farnesina; la C2, da Farnesina a

Monitoraggi e tutele

La terza linea della metropolitana di Roma spicca anche per le misure adottate per prevenire gli impatti sull'esistente e salvaguardare il patrimonio storico della città: un impegno unico nel suo genere, come lo è del resto il territorio interessato, frutto dello stesso approccio che ha portato al coinvolgimento diretto e collaborativo della Soprintendenza.

Del resto tutti i soggetti coinvolti lo considerano un presupposto base del progetto, perchè non è concepibile realizzare un intervento così complesso sotto i monumenti di Roma senza avere la massima attenzione alla prevenzione del rischio.

Le principali misure messe in campo possono ricondursi a due.

La prima tecnologica, costituita da una delle reti di monitoraggio più estesa del mondo, finalizzata al controllo delle vibrazioni e dei cedimenti in tutte le zone interessate dalle attività di scavo.

La seconda è scientifica, e prende corpo in un Comitato composto da esperti in varie discipline (conservazione e restauro, ingegneria strutturale, tecnica della realizzazione di gallerie, ingegneria geotecnica e geologia), che ha il compito di vigilare su tutte le fasi di progettazione e realizzazione delle tratte sotto il Centro storico (T2-T3).

Strumenti e tecnologie

La rete di monitoraggio si segnala innanzitutto per la forte automazione dei sistemi, di controlli automatici degli stati di allarme, di attenzione, a cui fa capo decine di stazioni totali e centinaia di unità di acquisizione dati e un numero enorme di sensori o di punti di misura, con migliaia di mire ottiche sugli edifici, fessuometri, inclinometri, estrusometri, ecc.

Il tutto in un quadro di facilità di accesso, di dati consultabili in tempo reale e di ridondanza dei punti di misura.



Stazione Robotizzata Leica TCA2003
in Postazione Fissa di Monitoraggio Automatico di Superficie

L'automazione, o supervisione da remoto (messa a punto dalla lmg Srl, vincitrice della gara indetta da Metro C), è il principale elemento di novità e si articola in due tipi di sistemi: il primo, accessibile via internet, contiene i dati di monitoraggio, a cui hanno accesso la direzione lavori, i direttori di cantiere, l'impresa costruttrice, i progettisti, l'alta sorveglianza, la committenza, ecc. Il secondo è un sistema di controllo in tempo reale, un centro elaborazione che raccoglie tutti i dati di monitoraggio, li controlla in modo semi-automatico (secondo il tipo di strumenti, perchè su quelli a lettura manuale non è possibile), e compie l'analisi preliminare per evitare gli errori di inserimento manuale, così da evitare la ripetizione in continuo di falsi allarmi.

È quindi un doppio sistema di controllo, consultabile in tempo reale e con una visualizzazione abbastanza innovativa ma al tempo stesso semplice, intuitiva, simile alle mappe consultabili in internet (Via Michelin, Google, Tuttocittà ecc.), con una carta navigabile sulla quale si trovano i sensori installati, con il loro codice, oppure direttamente l'edificio interessato.

Selezionando l'edificio o la sezione di monitoraggio si ha l'elenco dei sensori sui quali per ora esistono solo i dati documentali (permettendo la produzione di una quantità considerevole di carta), e in seguito i dati veri e propri, specie per le tratte T2 e T3, mettendo a disposizione su internet il database dei numeri

Grottarossa, è di quasi 6 chilometri, con 5 stazioni (Giuochi Istmici, Parco di Veio, Villa San Pietro, Tomba di Nerone, Grottarossa), 3 parcheggi di scambio a Parco di Veio, Villa San Pietro e Grottarossa, per un totale di circa 2 mila posti auto complessivi, e un nodo d'interscambio a Grottarossa con le linee extraurbane di autobus.

Opere collegate

La realizzazione del Tracciato fondamentale comprende anche una serie di opere integrative e compensative.

Alcune riguardano la valorizzazione dei monumenti o la creazione di strutture ricreative: il già citato centro multiservizi di circa 3 mila metri quadrati sotto via dei Fori imperiali; il restauro e consolidamento di otto edifici storici (Santa Maria in Vallicella, Sant'Andrea della Valle, Palazzo Massimo, Palazzo Venezia, Palazzo Altieri, Palazzo Grazioli, Palazzo della Cancelleria e Palazzo Doria-Pamphili); un nuovo impianto sportivo adiacente alla

stazione Teano già completato e consegnato all'ente gestore.

Altre consistono in parcheggi interrati o a raso, a servizio delle stazioni: mille posti auto sotterranei a piazzale Clodio, collegati alla stazione Clodio-Mazzini e agli uffici giudiziari, sottopassando piazzale Clodio; altri 500 posti interrati a lato della stazione Teano; 460 posti a raso presso la stazione Torre Angela; parcheggio Borghesiana da 350 posti auto; un parcheggio d'interscambio multipiano, da 750 posti, presso la stazione capolinea di Pantano; 210 posti auto previsti dal progetto della stazione Giardinetti come opera integrativa e compensativa.

Altre infine puntano a creare o migliorare la viabilità d'accesso alle stazioni: riqualificazione della rete stradale per adeguare l'accessibilità alla stazione Teano; due sovrappassi pedonali sulla via Casilina, uno per collegare la stazione Parco di Centocelle al parco omonimo, l'altro per collegare la stazione Grotte Celoni con l'antistante nodo d'interscambio.

Scavo delle linee

Per evitare il più possibile interferenze con lo strato archeologico, che in alcune zone ha uno spessore fino a 12 metri, e per limitare gli effetti dei cedimenti sul tessuto urbano in superficie, il tracciato all'interno del Grande raccordo anulare si snoda a una profondità variabile tra i 20 e i 35 metri con coperture di oltre 27 metri nel centro storico e 17 nella tratta San Giovanni-Torrenova.

La linea è costituita da una coppia di gallerie a binario unico, distanziate fra loro di 18/25 metri nelle tratte T4, T5 e T6A e 30/40 metri sotto il centro storico (T2-T3), realizzate a foro cieco con l'utilizzo di scudi a pressione bilanciata del terreno (Tbm del tipo Epb), che mentre avanzano mantengono in pressione il fronte di scavo e dietro di loro posano il rivestimento definitivo in calcestruzzo.

Le Tbm sono macchine tecnologicamente sempre più avanzate, grazie anche alla progressiva diffusione nel mondo verificatasi negli ultimi anni, che incrementano le capacità di scavo, permettono una elevata sicurezza durante i lavori e consentono di limitare



veri e propri, esportabili direttamente da chi è interessato a scaricarli.

Si tratta quindi di un sistema di distribuzione dati molto semplice, accessibile a tutti coloro che ne sono autorizzati, che ha il vantaggio di non richiedere

l'installazione di programmi particolari ma solo il normale accesso a un sito internet, cosa che lo differenzia sensibilmente da altri sistemi, forse più sofisticati ma non fruibili da tutti, perchè richiedono la presenza di tecnici specializzati.

Questa forte automazione e la facilità d'uso permette di elevare il livello di sicurezza, perchè disporre di una rete molto estesa, collocata anche in punti non facili da raggiungere, fornisce dati affidabili e in tempo reale, fruibili sia da chi è in cantiere sia da tutti gli altri soggetti interessati, e rende possibile una risposta molto veloce a un qualsiasi problema che possa emergere.

C'è poi l'aspetto del controllo dei tempi e dei costi a fronte di una rete così estesa: non è necessario raddoppiare o triplicare le squadre di topografi o misuratori, e poi ridurle in funzione delle fasi lavorative, perchè l'elevata

automazione consente di ottenere lo stesso risultato modificando semplicemente un parametro di acquisizione, comunicando cioè alla stessa centralina, o alla stazione totale Tca2003 Leica, di cambiare frequenza nelle letture (ogni ora, ogni giorno ecc.).

In superficie le misurazioni sono effettuate sui ricevitori sensibili e in generale su tutti gli edifici e le strutture in interferenza con

l'attività di scavo, con un monitoraggio geomatico e topografico che consente di controllare gli eventuali movimenti riconducibili al lavoro di scavo.

Nel sottosuolo la rete di monitoraggio controlla l'ammasso roccioso e i suoi movimenti durante e dopo la fase di avanzamento, o i movimenti delle paratie, con estensimetri, inclinometri, barrette estensimetriche collocate nelle paratie che si stanno scavando o all'interno e all'esterno dell'ammasso coinvolto, per leggere le eventuali deformazioni e gli eventuali cedimenti dovuti alle spinte del terreno via via che si sottrae volume.

Questi strumenti sono installati e vengono remotizzati, al momento in cui hanno inizio gli scavi, collegati alle centraline di cantiere, che interrogano gli strumenti con una cadenza programmabile da remoto, per raccogliere i dati e spedirli al resto del sistema.

al massimo eventuali cedimenti, oltre al fatto di ridurre a pochi punti le aree di cantiere in superficie (i pozzi di attacco degli scudi sono essenzialmente tre, presso San Giovanni, Malatesta e Torrenova, oltre a Clodio, ingresso della T2).

Complessivamente è previsto l'utilizzo di Tbm, con diametri di scavo di 6,70 e 10,80 metri.

Le prime 4 TBM da 6,70, già in ordine e in parte in consegna, sono calibrate per lo scavo dei terreni fino a San Giovanni.

Quelle di diametro maggiore rappresentano la possibile soluzione per l'attraversamento del Centro storico, almeno nell'ipotesi definita inizialmente, perchè tale diametro consentirebbe di realizzare le banchine di stazione all'interno della galleria: è il cosiddetto Modello Roma.

Secondo i tecnici, l'esigenza della metropolitana è il diametro piccolo; la galleria più grande è prevista nelle zone dove esistono fabbricati di pregio e non è possibile intervenire dalla superficie o con un allargo in sotterraneo della galleria di linea (del tipo attuato per la stazione Quattroventi della ferrovia, illustrato nel dossier Lazio, sul numero di dicembre 2004 della rivista).



L'arrivo di una parte della prima Tbm a Roma, nel marzo scorso

L'allargo della galleria di linea viene fatto in terreni con caratteristiche buone, con problemi di falda limitati, dove l'attività di scavo non crea problemi in superficie; nel Centro storico invece si è in presenza di falda, che comporta difficoltà significative e costi molto alti per un allargo

in naturale; in questo caso la garanzia/costo di un intervento con Tbm di grosso diametro è migliore, così come, sotto certi aspetti, maggiori sono le garanzie sull'impatto in superficie (scavo completamente chiuso, fronte costantemente in pressione, ecc.).

Analisi dei monumenti

Per la salvaguardia del Centro storico, Metro C ha creato un Comitato tecnico scientifico (Cts), una specifica struttura multidisciplinare richiesta da Roma Metropolitane nel capitolato speciale di gara, con il compito di alta consulenza generale su tutti gli aspetti dell'interazione linea-monumenti, durante la progettazione e la realizzazione della tratta da Clodio/Mazzini a San Giovanni, sotto palazzi storici e monumenti di grande pregio.

Di questo Comitato fanno parte: Michele B. Jamiolkowski (Coordinatore del

Comitato), uno dei massimi ricercatori internazionali di geotecnica; Giovanni Carbonara (Coordinatore vicario), Ordinario di Restauro architettonico; Alberto Burghignoli, esperto in Ingegneria geotecnica; Kalman Kovari, esperto nel campo della costruzione di gallerie; Giorgio Macchi, esperto di Ingegneria strutturale specializzato nella salvaguardia di opere monumentali; Renato Funicello, geologo di fama internazionale.

Il primo passo significativo, attualmente in corso, è la fotografia dell'esistente, con una serie di monitoraggi che puntano a definire con la massima precisione lo stato degli edifici di pregio storico-artistico e dei monumenti, analizzati caso per caso.

Il Cts, in collaborazione con l'università (in particolare Mattia Giovanni Crespi e Maria Marsella, del Dipartimento di Idraulica, trasporti e strade, Area di geodesia e geomatica) ha iniziato il suo lavoro su alcuni siti campione, come palazzo Venezia, il Vittoriano, la basilica di Massenzio, le mura romane all'altezza di piazza San Giovanni, monitorati con sistemi diversi (stazioni totali gps Leica, radar interferometro e stazioni gps).

Lo scopo è leggere i movimenti, il rumore naturale del monumento in un periodo molto lungo, e avere un dato iniziale, una lettura zero che in almeno quattro stagioni offra un quadro di riferimento utile al monitoraggio in fase di scavo, per distinguere cosa è indotto dai lavori o è invece dovuto al bacino di subsidenza, ai movimenti stagionali, al respiro di dilatazione termica che hanno tutti gli edifici tra giorno e notte ed estate e inverno.



Ma il diametro maggiore, a fronte di una semplificazione della stazione, comporta uno scavo più grande, con un impatto proporzionale sui terreni; quindi, dove si riesce a ottimizzare e a realizzare le stazioni in sicurezza, con la scatola perimetrata dall'alto, e si ha lo spazio per poterlo fare, è preferibile la galleria piccola.

Tbm e consolidamenti

La prima delle quattro Tbm da 6,70 (a cui è stato dato il nome di Shira), costruita dalla società

tedesca Herrenknecht ed assemblata nello stabilimento di Bassano del Grappa, ha avuto il suo collaudo nel dicembre scorso ed è in corso di montaggio, per entrare in funzione nel maggio prossimo, dal pozzo scavato presso la stazione di Giardinetti; una seconda Tbm, chiamata Filippa, è stata assemblata e collaudata nel febbraio scorso e fra pochi mesi dovrebbe affiancare la gemella nello scavo della linea da Giardinetti verso nord.

Durante la lavorazione le due Tbm rappresenteranno un cantiere nel cantiere, con una struttura dedicata di oltre 200 persone; a regime i gruppi di lavoro delle



Consegna in cantiere di altre parti della prima Tbm

quattro Tbm raggiungeranno le oltre 350 persone, attive su quattro turni, perchè i tempi sono stretti. Infatti le Tbm sono disegnate per un avanzamento molto veloce, di circa 300 metri al mese in condizioni di terreno ottimale, proprio per ridurre i tempi di scavo ottenuti con il lavoro costante delle maestranze.

Nella tarda primavera del 2009 dovrebbero terminare la realizzazione della coppia di gallerie della prima tratta; è il vantaggio di utilizzare una Tbm personalizzata sul progetto e sui terreni che nel caso specifico sono costituiti da materiali di origine vulcanica abbastanza

compatti, tufi e pozzolane, fino a San Giovanni, che rappresenta un punto singolare di cambiamento dal punto di vista geologico e geotecnico.

Da qui iniziano infatti i riporti e i terreni alluvionali del Tevere, le cui caratteristiche sono diverse e richiedono interventi di tipo geotecnico e progettuali di altro tipo rispetto alla tratta periferica.

Stazioni

Le stazioni sono a banchina centrale, lunga circa 110 metri, collocate tutte tra le due gallerie di linea ad eccezione della

stazione Teano, dove le banchine sono sovrapposte per dare spazio alla futura diramazione verso Est (C1).

Per esse, che rappresentano il punto di maggior rischio di interferenza con lo strato archeologico e il tessuto urbano, sono state previste soluzioni costruttive differenziate, riconducibili però a due tipologie principali.

La più diffusa adotta una tecnica abbastanza tradizionale che consiste nella realizzazione dall'alto di una scatola strutturale in cemento armato, fatta di diaframmi verticali e solette orizzontali, e nel suo svuotamento progressivo man-

Vedute della fabbrica di Bassano del Grappa, con le due prime Tbm collaudate e la produzione dei conci del rivestimento delle gallerie





Vista prospettica e pianta delle sistemazioni esterne della stazione Malatesta



al minimo dei disagi per la zona interessata, limitati alla fase di realizzazione delle paratie laterali e del solettone superiore.

La seconda si differenzia per lo scavo in sotterraneo delle banchine, ricavate allargando le gallerie di linea, anche se è sem-

pre presente una zona centrale scavata dall'alto, con atrio e percorsi verticali. Nel caso del Centro storico lo sforzo è

pre presente una zona centrale scavata dall'alto, con atrio e percorsi verticali. Nel caso del Centro storico lo sforzo è

quello di ridurre al massimo l'ingombro della parte superficiale, operando con cunicoli per raggiungere le banchine.

Sempre in centro è previsto il Modello Roma, che come già sottolineato è una soluzione speciale prevista per le stazioni: solo le scale di accesso/uscita sono costruite mediante scavo a cielo aperto, mentre le banchine sono ricavate all'interno di gallerie di linea a diametro maggiorato; in questo modo le rampe sono indipendenti dalla posizione delle banchine e la loro realizzazione può essere più facilmente adattata ai risultati degli scavi archeologici preventivi. ■

Pianta della sistemazione esterna di Pigneto e particolare del cantiere

