

Nuove Metropolitane/3

Costruire e tutelare nel cuore di Roma

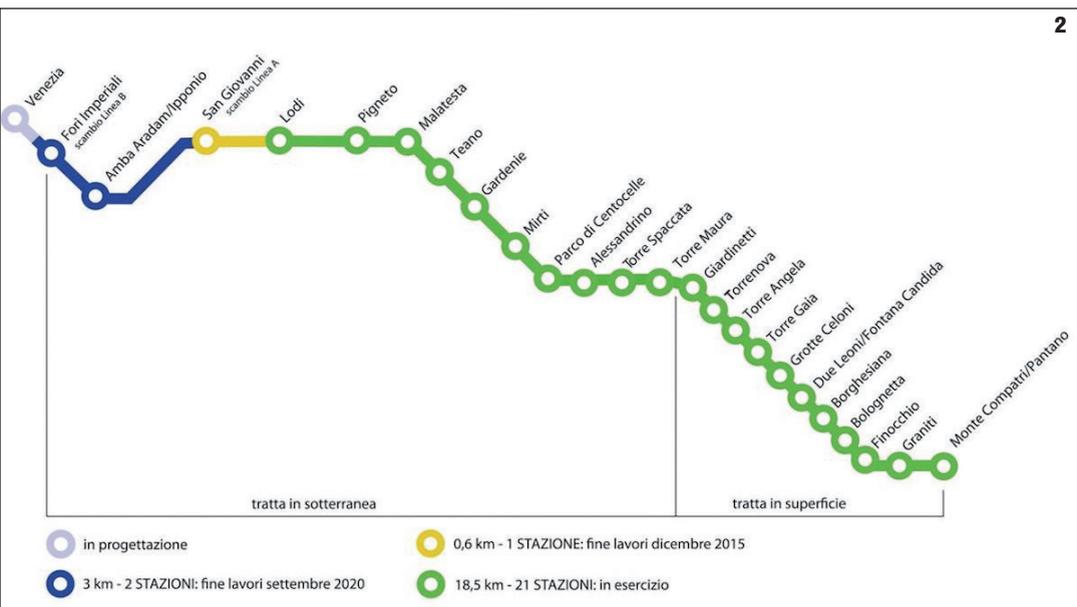
Pasquale Cialdini
Amministratore Unico
Roma Metropolitana

Andrea Sciotti
RUP Linea C e Direttore
Attuazione Lavori
Roma Metropolitana

APPROFONDIAMO IL CASO, UNICO AL MONDO, DELLA LINEA C DELLA METROPOLITANA CAPITOLINA GUARDANDO, IN PARTICOLARE, AL SUO PROCEDERE SOTTO IL CENTRO STORICO DELLA CITTÀ ETERNA. IL NODO DA SGOGLIERE: QUELLO DELLA COABITAZIONE - IN TUTTE LE FASI DEGLI INTERVENTI - TRA SOLUZIONI COSTRUTTIVE, TECNOLOGIE ESECUTIVE E TUTELA E VALORIZZAZIONE DEI BENI STORICO-ARCHEOLOGICI.



Gallerie



2

opera nella città di Roma, dove l'intensa urbanizzazione è soltanto la parte visibile di un complesso di diverse e precedenti fasi di sviluppo urbano sovrapposte. La città fondata sulle sponde del Tevere, secondo la leggenda, da Romolo e Remo nel 753 a.C., è stata dapprima il centro della Repubblica Romana, poi dell'Impero Romano ed è diventata la capitale del mondo cristiano nel IV Secolo. Alla Roma antica, infatti, a partire dal IV Secolo succede la Roma cristiana e dei papi. La città cristiana si stratifica su quella antica usandone spazi, edifici e materiali. Dal XV Secolo i pontefici, da Niccolò V (1447-55) a Pio IX (1846-78), promuovono un profondo rinnovamento urbanistico attraverso il classicismo rinascimentale prima e il barocco poi. Si tratta di un complesso unico al mondo, che arriva fino a profondità anche di 20 m dall'attuale piano stradale, e che contiene, in diversi livelli, significative testimonianze residuali. Non meno significative sono poi le strutture antiche residuali oggi presenti e visibili al piano di vita attuale, che devono parimenti essere tutelate, essendo il centro storico di Roma iscritto nella lista del patrimonio mondiale dell'Unesco. Le difficoltà da affrontare nella realizzazione di scavi in sotterraneo in un tale contesto storico sono poi accentuate dal particolare contesto morfologico e geologico che caratterizza tutta l'area. La conformazione del territorio e le sue particolari caratteristiche geologiche risultano infatti decisive nella scelta delle soluzioni costruttive e delle tecnologie esecutive da adottare per la realizzazione di opere in sotterraneo. La morfologia del territorio romano è stata determinata dalla presenza di un grande fiume, il Tevere, e dei complessi vulcanici dei Colli Albani e dei Monti Sabatini, le cui diverse fasi sedimentarie e/o vulcaniche hanno originato le alternanze dei diversi litotipi presenti oggi. Proprio la natura sedimentaria e l'origine fluvio-lacustre della maggior parte dei litotipi presenti comportano che le loro caratteristiche geotecniche siano particolarmente scadenti, quindi risulta decisamente instabile la loro risposta agli effetti indotti da uno scavo in assenza di opere di contenimento e/o consolidamento. L'estrema variabilità di tali depositi sedimentari determina inoltre una conseguente estrema complessità dell'acquifero da interessare con gli scavi, con problematiche correlate a elevate spinte idrostatiche, spesso derivanti da più livelli piezometrici, e a significativi gradienti idraulici da contrastare, al fine di minimizzare il rischio di sifonamenti e svuotamenti.

1. Cantiere Fori Imperiali

2. Tracciato fondamentale della Linea C

3. Roma in età imperiale: è soltanto una delle numerose "città eterne" con cui si confrontano quotidianamente gli esecutori della Linea C

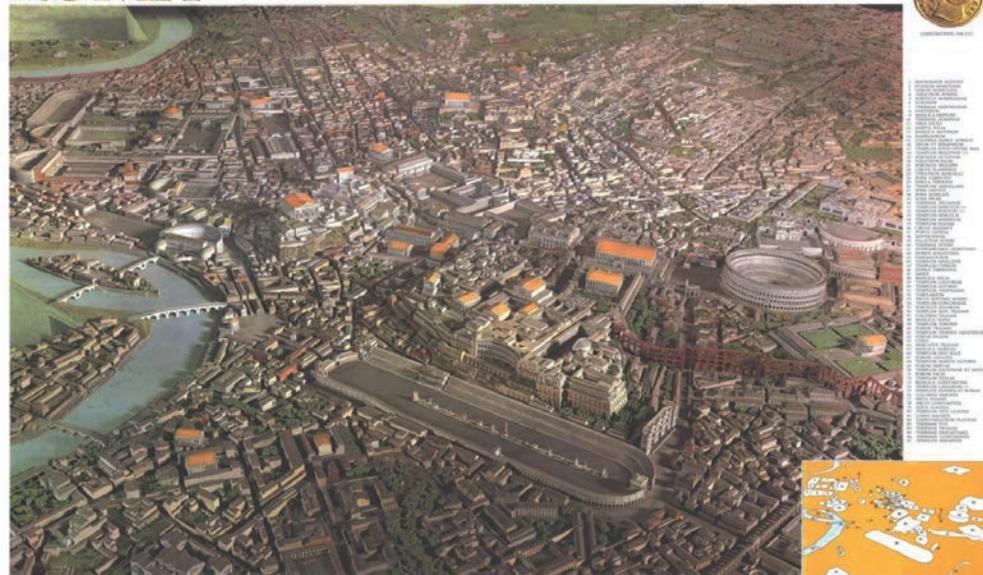
4. Morfologia territoriale complessa, anche in ragione della natura sedimentaria e dell'origine fluvio-lacustre di numerosi litotipi

Nel 2006 sono stati aperti i cantieri per la realizzazione della terza linea della Metropolitana di Roma, la Linea C. Complessivamente il tracciato fondamentale si sviluppa per circa 25,5 km, con 30 nuove stazioni. Ad oggi risultano già in esercizio 18 km e 21 nuove stazioni; la stazione San Giovanni, di interscambio con la Linea A, entrerà in esercizio entro il 2017. Altre due stazioni e circa 3 km di linea sono in costruzione (Tratta T3, Fori Imperiali-San Giovanni), mentre è in corso la project review della Tratta T2 (circa 4 km e 6 stazioni, Clodio/Mazzini-Fori Imperiali).

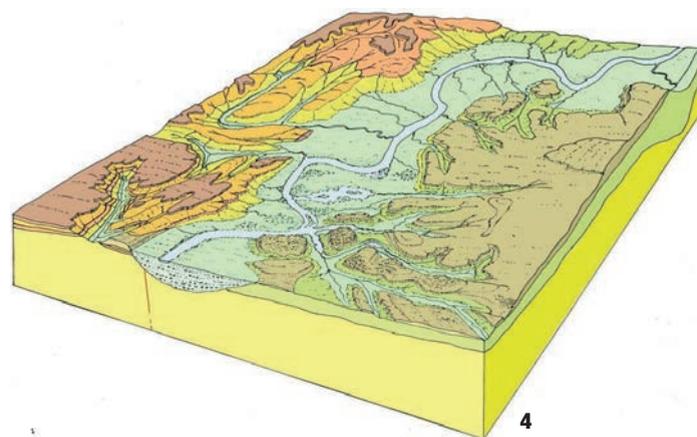
Contesto unico al mondo

La realizzazione di un'infrastruttura sotterranea in un ambito intensamente urbanizzato richiede il ricorso a metodi costruttivi adeguati, in grado di garantire il rispetto e la sicurezza del contesto, nonché la durabilità e idoneità delle opere. Tali obiettivi sono ancora più vincolanti quando si

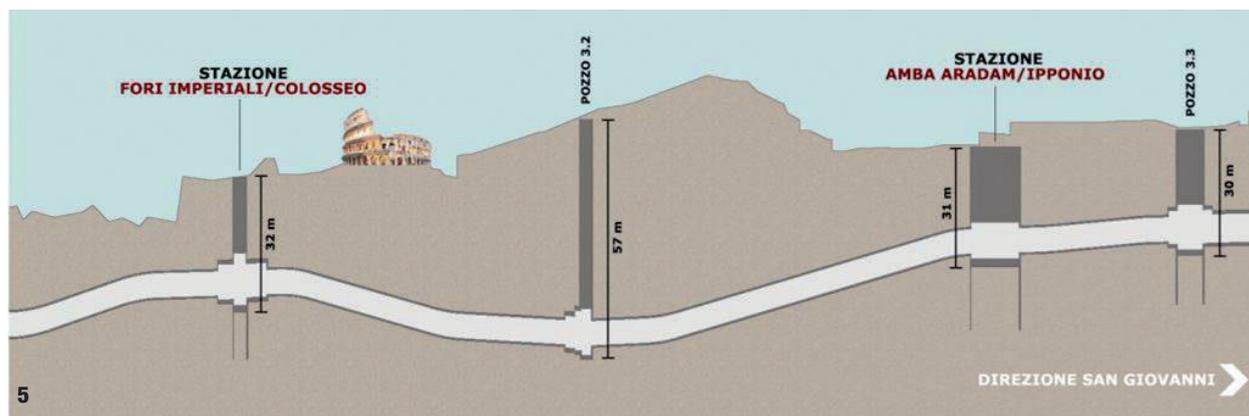
ROMA IMPERATORIS CONSTANTINI AETATE - CCCVI - CCCXXXVII



3



4

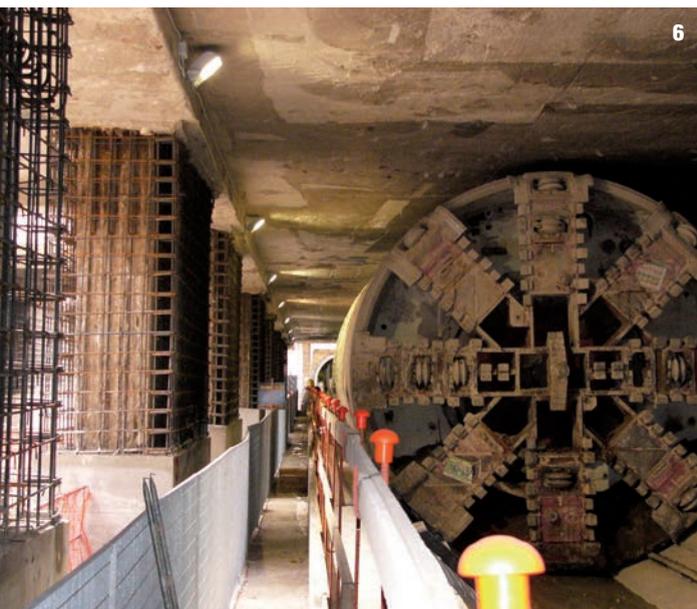


5. Sezione della Tratta T3

6. Passaggio della TBM a Malatesta

7. Tratto terminato

8. Calaggio delle TBM nel pozzo Malatesta



6



8

La realizzazione delle gallerie

In tale quadro, per la realizzazione della Linea C nella tratta centrale (Fori Imperiali-San Giovanni) e semi-centrale (Lodi-Giardinetti) si è scelto di ubicare le gallerie di linea a profondità superiori ai 25 m dal piano campagna, in modo da evitare scavi a foro cieco all'interno degli strati potenzialmente di interesse archeologico, nel corso dei quali è impossibile operare con modalità di scavo stratigrafico come invece richiesto dalla Soprintendenza archeologica. Tale scelta è anche quella che si ritiene meglio equilibri due contrapposte necessità: aumentare la profondità della linea, per minimizzare i possibili cedimenti indotti in superficie e/o sulle pre-esistenze, e mantenere tale profondità entro limiti che non scoraggino gli utenti a utilizzare le stazioni. Le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni, nonché gli elevati battenti idraulici previsti, hanno richiesto l'adozione di una metodologia di scavo meccanizzato mediante TBM di tipo EPB (Earth Pressure Balance), dal diametro di scavo pari a 6,7 m, in grado di contrastare efficacemente le azioni destabilizzanti al fronte di scavo mediante il mantenimento nella camera di scavo di una contro-pressione adeguata (fino a 3-3,5 bar), e di realizzare il rivestimento definitivo della galleria, in conci prefabbricati, entro 10 m dal fronte, sotto la protezio-

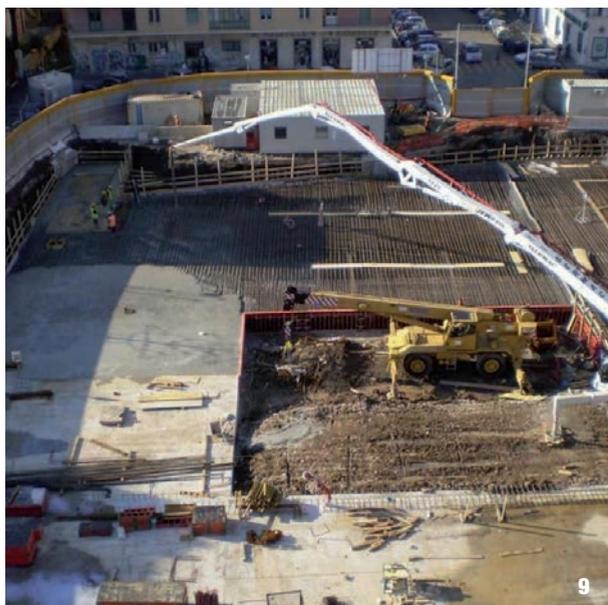
ne dallo scudo esterno e quindi senza cedimenti indotti. L'intasamento a tergo dei conci con una malta cementizia iniettata e il posizionamento di adeguate guarnizioni in materiale plastico lungo i giunti tra i conci prefabbricati garantiscono la tenuta idraulica del rivestimento definitivo della galleria.

Stazioni e pozzi intermedi

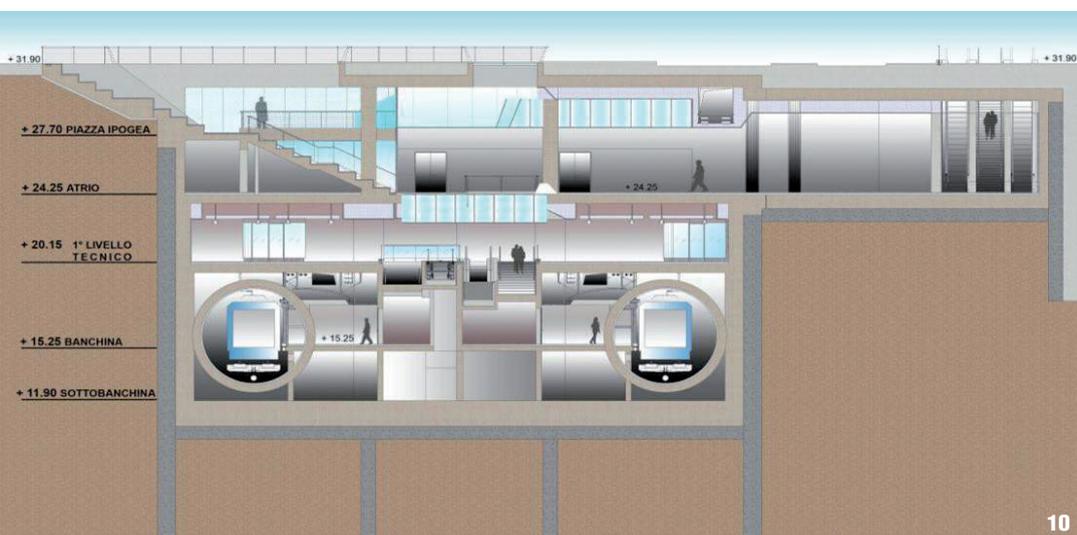
Per quanto riguarda le stazioni e i pozzi di ventilazione di metà tratta, si è scelto di realizzare manufatti tra paratie e di adottare la metodologia costruttiva cut and cover, in grado di minimizzare l'impatto dei cantieri sul contesto urbano. Lo scavo all'interno dei manufatti è stato eseguito con il metodo top-down, realizzando i solai definitivi con l'approfondirsi dello scavo, al fine di minimizzare le deformazioni delle paratie perimetrali e quindi i possibili cedimenti indotti. Per la realizzazione delle paratie, la profondità degli scavi di pozzi e stazioni (fino a 45 m di profondità) ha richiesto l'adozione della tecnologia dell'idrofresa, capace di garantire al meglio la stabilità delle pareti dello scavo (minime deformazioni indotte), la regolarità delle operazioni di getto (qualità e durabilità), nonché la complanarità delle paratie e dei relativi giunti fino a quelle profondità (tenuta idraulica). Nella realizzazione delle

9. Getto del solettone di copertura di una stazione

10. Sezione di una stazione



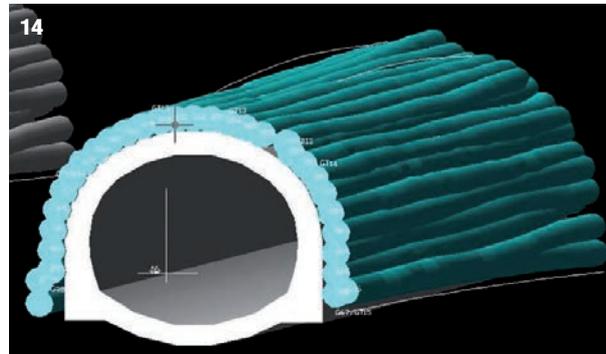
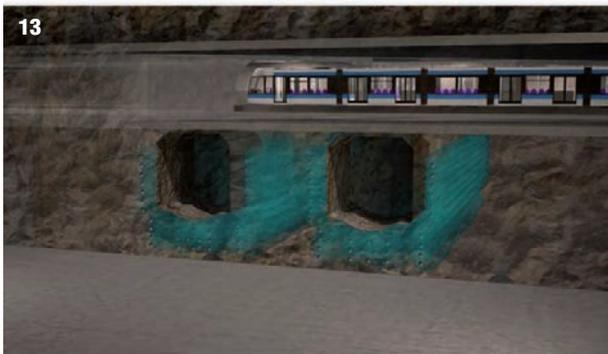
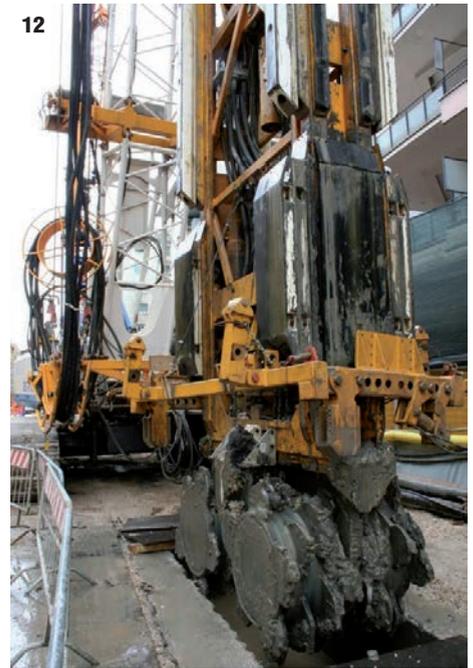
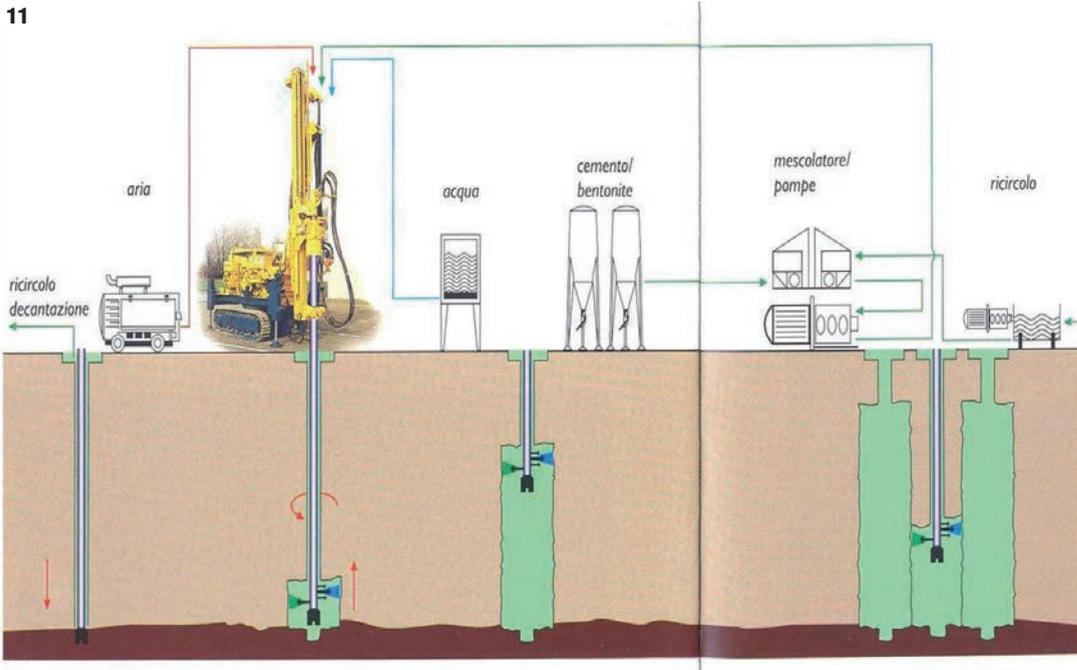
stazioni e dei pozzi (manufatti tra paratie) la gestione del rischio archeologico connesso all'inevitabile attraversamento dello stato potenzialmente sede di testimonianze residuali è stata risolta prevedendo lo scavo di tali spessori di terreno mediante scavo stratigrafico, con assistenza diretta e supervisione da parte della Soprintendenza, eseguito per piccoli livelli orizzontali estesi su tutta l'impronta del manufatto, fino a raggiungere il terreno sterile (geologicamente in posto). Tale modalità di scavo, imposta dalla Soprintendenza, ha richiesto una modifica del metodo top-down, non potendo realizzare i solai definitivi intermedi con dei getti contro terra al di sotto dei quali non si sarebbe più potuto eseguire lo scavo stratigrafico prescritto. Si è quindi dovuto prevedere la realizzazione dei solai con travi prefabbricate, posate in opera su dei cordoli predisposti in fase di approfondimento dello scavo, rese poi solidali mediante una piccola soletta gettata in opera. È risultato necessario prevedere anche specifiche predisposizioni e attrezzature per la movimentazioni delle travi prefabbricate fino al punto di posa in opera, con notevoli soggezioni imposte dagli spazi disponibili e dalle dimensioni delle travi stesse.



Tecnologie speciali

In particolari situazioni sono state adottate tecnologie speciali per il miglioramento di resistenza, deformabilità e permeabilità dei terreni. La tecnologia del jet-grouting è stata utilizzata per la realizzazione dei tamponi di fondo dei manufatti tra paratie, migliorando impermeabilità e resistenza dei terreni ubicati al di sotto della quota di fondo scavo. Con la roto-iniezione di una miscela cementizia ad altissima pressione (fino a 450 bar) si sono realizzati elementi colonnari di terreno cementato che, affiancati l'uno all'altro e distribuiti sull'intera area di scavo, hanno costituito un "tappo" impermeabile (riduzione del rischio di sollevamento e sifonamento del fondo scavo) e un "puntone" resistente (riduzione della deformazione delle paratie verso lo scavo). In altri casi gli elementi colonnari sono stati affiancati a costituire dei setti rigidi a sviluppo prevalentemente lineare, ubicati tra l'area di scavo e le pre-esistenze limitrofe, a limitare l'estensione delle deformazioni indotte all'esterno delle paratie e/o dallo scavo delle gallerie. E ancora con il jet-grouting sono stati realizzati i tamponi di ingresso e/o uscita delle TBM dalle paratie di pozzi e stazioni. Per la realizzazione in sicurezza di scavi sotto falda si è fatto ricorso all'esecuzione di iniezioni di miscele cementizie e chimiche, attraverso le quali si migliorano le caratteristiche di resistenza e di permeabilità dei terreni. Iniezioni selettive di miscele cementizie e chimiche - a bassa pressione ("permeazione") o ad alta pressione ("claquage") a seconda delle caratteristiche del terreno - sono state utilizzate per gli scavi in allargato sotto falda delle gallerie di banchina di alcune stazioni, creando provvisoriamente al contorno del profilo di scavo un setto impermeabile (per la riduzione delle venute d'acqua) e resistente (per l'effetto arco).

In alcuni casi particolari, analoghi risultati possono essere conseguiti con la tecnologia del ground freezing (congelamento del terreno). Mediante il circolo di un fluido refrigerante ("salamoia" o azoto liquido) all'interno di sonde congelatrici è possibile portare la temperatura del terreno e dell'acqua in esso contenuta al di sotto dello zero, realizzando così un volume di terreno congelato a permeabilità e deformabilità molto basse. Nel caso del tratto di passaggio delle gallerie della Linea C al di sotto dell'esistente Linea A (stazione San Giovanni), con tale tecnologia è stato realizzato un arco di terreno congelato immediatamente al contorno del profilo di scavo a foro cieco delle nuove gallerie, ubicate praticamente a contatto con le fondazioni dell'esistente stazione della Linea A e quindi con la soletta di appoggio delle vie di corsa della Linea A, a una profondità di circa 30 m dal piano stradale. Con tale protezione è risultato possibile scavare a foro cieco in tradizionale circa 30 m delle gallerie della Linea C senza interrompere l'esercizio della Linea A, in terreni sciolti e sotto un battente idraulico di circa 2-2,5 bar, evitando l'innescio di venute d'acqua e minimizzando le deformazioni. Dove il contesto richiede un controllo minuzioso dei possibili cedimenti indotti dalle operazioni di scavo è previsto il ricorso alla tecnica del compensation grouting (iniezioni di compensazione). In una fase preliminare allo scavo si predispongono nel terreno - nello spazio tra le gallerie e le pre-esistenze da salvaguardare - una maglia di tubi dotati di valvole di iniezione a coprire

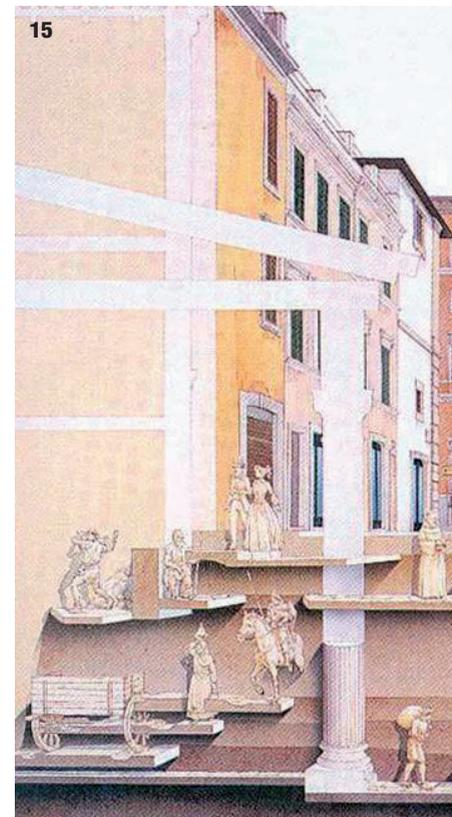


l'intera area di influenza teorica del bacino di subsidenza atteso, e si realizza una prima fase di iniezioni di piccole quantità di miscele cementizie (contatto e pre-compensazione), al fine di mettere il sistema in condizioni di pronta efficacia. Allo stesso tempo si predispongono un accurato e dettagliato sistema di monitoraggio dei possibili cedimenti e rotazioni in dotto sulle strutture da salvaguardare, mediante strumenti in grado di consentire l'acquisizione delle letture da remoto in tempo reale. Durante lo scavo, qualora dal sistema di monitoraggio si rilevi il superamento di soglie di cedimento fissate, si procede con l'iniezione selettiva di miscele cementizie (compensazione) nelle aree e nei settori in cui si sta rilevando il cedimento, fino a far rientrare tali valori entro quelli accettabili. Tale metodologia è prevista in corrispondenza del sotto-atteveramento delle Mura Aureliane (piazzale di Porta Metronia) e dell'esistente Linea B in prossimità del Colosseo.

Metropolitana archeologica

L'articolazione del tracciato all'interno del centro storico di Roma e la necessità di attraversare verticalmente l'intero strato archeologico per porre in collegamento il sottosuolo, dove sono ubicate gallerie e banchine, con la superficie, dove sono presenti gli accessi, forniscono alla Linea C la connotazione di "metro archeologica", ovvero di un'infrastruttura

che costituisce non solo un mezzo di trasporto, ma anche un mezzo di conoscenza e possibile valorizzazione del patrimonio storico. Tuttavia la sovrapposizione tra le finalità, entrambe di interesse pubblico, di realizzazione dell'infrastruttura e di salvaguardia del patrimonio archeologico non consente di ritenere il progetto dell'opera pubblica, in questo caso, completamente esente da incertezze. Tali incertezze non si limitano ai tempi e ai costi della fase di indagine, in quanto in un contesto come quello romano l'ultima e più completa esplorazione degli strati archeologici può essere effettuata solo in sede di realizzazione dell'opera. Sotto la direzione scientifica della Soprintendenza archeologica, per la Linea C è stata effettuata tra il 1998 e il 2003 un'estesa campagna di indagini preventive, incrociando la raccolta analitica di dati d'archivio con accertamenti strumentali più o meno distruttivi e infine con i risultati di saggi di scavo definiti e mirati. Inoltre, successivamente all'aggiudicazione della gara (2006) per l'affidamento a Contraente Generale della progettazione definitiva/esecutiva della linea, è stata avviata una campagna di indagini con scavi archeologici che ha interessato 28 diversi siti, finalizzata alla redazione da parte del CG della progettazione definitiva delle tratte. All'atto pratico, si è dovuto tuttavia prendere atto che le indagini preventive, così come regolamentate dalla



11. Intervento di Jet Grouting: schematizzazione del processo

12. Idrofresa

13, 14. Il congelamento è una delle tecnologie speciali adottate per consolidare il terreno prima dello scavo

15. Roma, gli strati della storia

16. L'antica Via Labicana rinvenuta nel cantiere del pozzo di Via Casilina Vecchia

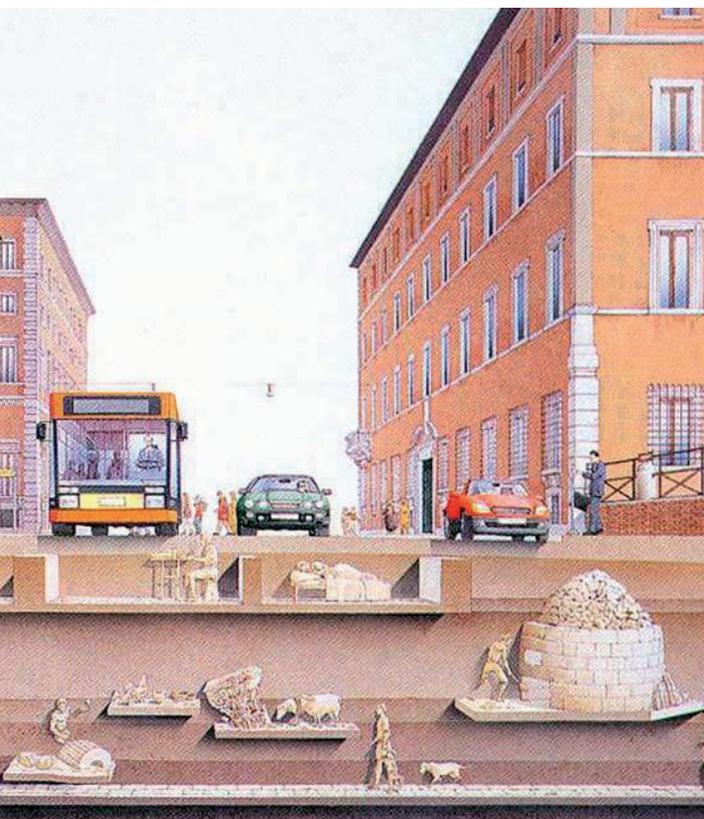
normativa vigente (I e II fase), non risultavano sufficienti ai fini della ricostruzione delle preesistenze presenti nel sottosuolo: nel caso della Linea C le esigenze di tutela archeologica devono prevedere anche una fase di attività durante la costruzione. Il Comitato Tecnico Scientifico per i Beni Archeologici (cd. "Comitato di Settore" del Ministero per i Beni e le Attività Culturali) ha quindi prescritto per le tratte T2 e T3 (centro storico) che le indagini archeologiche nella fase realizzativa fossero comunque sempre eseguite fino al terreno "vergine" sull'intera impronta degli scavi dei manufatti (scavo con metodologia archeologica fino all'affioramento del sedime sterile). In considerazione, dunque, dell'estensione delle aree da assoggettare a indagine, della profondità dei sedimenti archeologicamente sensibili (fino a 15-20 m di profondità), nonché della vicinanza agli scavi delle preesistenze, per effettuare indagini archeologiche esaustive risulta necessario realizzare, preventivamente, delle rilevanti opere di contenimento, sostegno e protezione degli scavi. È evidente che tali opere non possono che coincidere con quelle, definitive, da realizzare per la costruzione della metro. Pertanto il Comitato di Settore, pur affermando l'impraticabilità nelle aree di interesse archeologico delle lavorazioni dal piano stradale quali jet-grouting, iniezioni, ecc. - usualmente utilizzate in maniera estesa su tutta l'area di scavo per evitare la risalita dell'acqua di falda in pressione, ma potenzialmente distruttive dello strato archeologico - ha considerato invece possibile l'autorizzazione di tutte le attività ritenute indispensabili per procedere direttamente agli scavi dei pozzi e delle stazioni quali diaframmi, pali, micropali da realizzare sul perimetro degli scavi, ovvero che la prosecuzione dello scavo archeologico preventivo proceda contestualmente alle attività costruttive. Al fine di assicurare le necessarie condizioni di sicurezza dello scavo, nelle

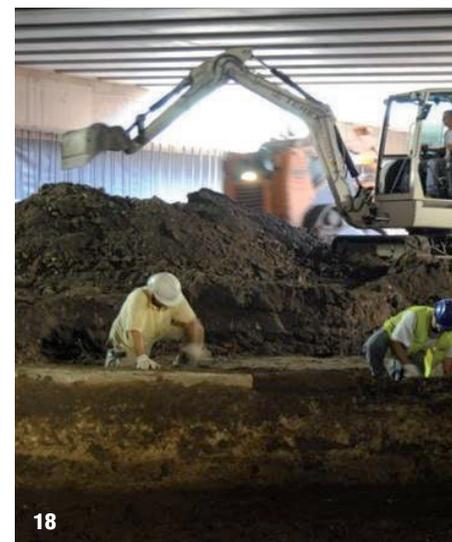
zone centrali della città le paratie di protezione perimetrali sono state estese in profondità, con crescente complessità ingegneristica ed esecutiva rispetto a quanto previsto in progetto, in modo da raggiungere strati di terreno aventi caratteristiche naturali di impermeabilità (nelle zone centrali di Roma profondità dell'ordine dei 50 m e oltre), che non necessitano di trattamento. Il "modus operandi" che si è andato così delineando nelle fasi di indagine è stato successivamente codificato ed esteso a tutte le stazioni del centro, definendo la seguente procedura:

- esecuzione di indagini non distruttive dalla superficie (georadar, geoelettriche e altro) e di carotaggi di ispezione disposti lungo tutto il perimetro della futura stazione (o altro manufatto), per raccogliere elementi sulle preesistenze interrante incidenti con le paratie laterali da eseguire per la sua realizzazione;
- a seguito di una prima autorizzazione della Soprintendenza, basata sui risultati della fase precedente, realizzazione delle paratie perimetrali definitive di stazione, spinte a elevata profondità per raggiungere gli strati impermeabili delle argille plioceniche;
- infine, all'interno della "scatola" così confinata dalle paratie laterali sul perimetro della stazione e dal tampone di fondo naturale rappresentato dallo strato impermeabile, esecuzione, in sicurezza, di scavi con metodologia di indagine archeologica fino al terreno vergine, seguendo quanto stabilito, per ogni sito, dai Prontuari archeologici.

Prontuari archeologici

I Prontuari archeologici, elaborati dal progettista dell'opera nella fase di progettazione esecutiva, a valle di tutte le indagini preliminari eseguibili, e condivisi dalla Soprintendenza di riferimento, definiscono l'organizzazione, le procedure e una





17. Scavi archeologici in coabitazione con il cantiere (stazione San Giovanni)

18. Scavi archeologici in coabitazione con il cantiere

quantificazione generale delle attività che saranno effettuate durante la realizzazione delle opere, con i limiti dovuti all'oggettiva impossibilità di conoscere preventivamente l'esatta situazione stratigrafica del sottosuolo urbano. Sulla base delle prime valutazioni sull'entità e la qualità dei depositi archeologici da esplorare, si ipotizzano le modalità e le risorse necessarie al completamento dello scavo. Le modalità di classificazione per valutare gli scavi (modalità di scavo e modalità di rimozione delle strutture murarie) sono state definite per la prima volta in occasione della realizzazione della stazione San Giovanni della Linea C (primo Prontuario archeologico, sviluppato nel 2010). Per ogni modalità viene determinata, sulla base delle esperienze pregresse, la produttività media giornaliera al fine di ipotizzare la durata e il costo degli scavi archeologici. Per snellire le procedure operative e rendere più fluida la circolazione delle informazioni tra Soprintendenza, progettista ed esecutore, si è individuata un'unica figura di riferimento: il Responsabile del cantiere archeologico. A tale figura fanno riferimento il capo cantiere e gli operatori archeologici e specialistici impegnati nello scavo, nella documentazione e nella classificazione preliminare dei reperti.

L'archeologia nella tratta T3

La metodologia descritta ha trovato piena applicazione nella tratta T3. L'esame dei dati ha consentito di determinare le caratteristiche di ognuno dei periodi in cui è ipoteticamente divisibile il deposito stratigrafico di ogni sito. Quindi, sono state individuate le quantità di terre e di resti strutturali atte-

si (m^3) per ogni periodo. Sono stati poi individuati i contesti archeologici attesi e individuata la consistenza quantitativa attesa (m^3) per ogni contesto all'interno del singolo periodo. Successivamente, a ognuna delle differenti tipologie di contesto archeologico sono state associate specifiche modalità operative di scavo, per complessive 5 modalità, e le previste quantità di resti strutturali di ciascun periodo sono state ripartite per 3 modalità di rimozione dei reperti. I Prontuari specifici per ogni sito contengono indicazioni sulle modalità di scavo, pulitura delle interfacce e raccolta dei reperti basate sulla quantificazione ipotetica degli interri per periodi cronologici, prevedendo le durate delle attività e i relativi costi. Tali Prontuari sono quindi diventati parte integrante del progetto esecutivo della tratta T3, approvato nel 2013. La fase di scavo archeologico da svolgere a valle della realizzazione dei diaframmi perimetrali risulta tuttora in corso e si sta svolgendo con la direzione scientifica della Soprintendenza che effettua sopralluoghi settimanali in cantiere. In ottemperanza a quanto previsto dal "Programma delle Attività riguardanti il Patrimonio Archeologico interessato dalla Linea", condiviso nel 2003-2004 con la Soprintendenza, il CG ha anche costituito un Comitato Tecnico-Scientifico composto da sei autorevoli esponenti del mondo accademico internazionale. Sotto il loro indirizzo è stato predisposto lo studio di interazione linea-monumenti. Su questa base il Comitato ha fornito al CG le linee guida per la progettazione definitiva degli interventi di salvaguardia dei monumenti e del sistema di monitoraggio degli stessi durante le fasi esecutive.



19, 20. Antica caserma romana emersa a seguito degli scavi per la realizzazione della stazione di Amba Aradam

Prosecuzione del tracciato e nuove metro per Roma

Chiudiamo questa rassegna fornendo qualche spunto, frutto dell'esperienza accumulata, riguardante la prosecuzione del tracciato e le nuove linee metro di Roma. Nel 2010, a fronte di notevoli difficoltà evidenziate negli scavi da effettuare nelle zone più centrali della città, la progettazione definitiva della Tratta T2 (Clodio/Mazzini-Fori Imperiali) era stata sospesa in attesa di superiori determinazioni da parte dell'amministrazione comunale e di un formale preliminare assenso da parte del MIT alle nuove soluzioni progettuali prospettate in seguito alla lunga e difficile campagna di indagini, soprattutto archeologiche, effettuata e alla complessa opera di concertazione condotta dal Commissario Straordinario per la Prosecuzione e il Completamento delle Nuove Linee Metropolitane di Roma e Napoli. Il Quadro Economico della tratta restava peraltro privo di copertura da parte degli Enti finanziatori. L'esperienza realizzativa della Tratta T3 e le nuove metodologie codificate hanno consentito di riprendere l'approfondimento progettuale. Dopo la realizzazione, nel 2014, di uno studio preliminare della tratta Ottaviano-Fori Imperiali e del progetto definitivo della subtratta Venezia-Fori Imperiali, è ora in corso un'attività di project review che ha assunto come indirizzo la ricerca di soluzioni costruttive, per le stazioni e pozzi intermedi, tali da limitare l'area di scavo al fine di ridurre il più possibile il volume di terreno interessato dallo scavo stratigrafico in modalità archeologica.

Sulla base dei traguardi già acquisiti si può infatti affermare che, pur nella considerazione di evidenti difficoltà costruttive, i progetti delle metro romane hanno introdotto soluzioni tecniche che sono in grado di ridurre i costi di investimento facendo salve le prestazioni funzionali e trasportistiche, nonché le esigenze di tutela dei beni archeologici e monumentali. Nello studio del tracciato delle nuove linee all'interno del centro storico, soprattutto al fine di perseguire la riduzione dei costi diretti e indiretti di realizzazione, si ravvisa la necessità di ricercare, per la localizzazione di stazioni e altri manufatti, siti con ridotte problematiche geologiche, archeologiche e altre interferenze. Non sarebbe da escludere

anche l'eventualità di ridurre il numero totale delle stazioni, puntando soprattutto al mantenimento e anche alla massimizzazione delle capacità di interscambio con gli altri mezzi di trasporto di superficie. Un altro aspetto sul quale si può ragionare utilmente riguarda la profondità della linea. Atteso che la profondità delle gallerie nel centro storico non può essere ridotta per evidenti motivi di impatto con gli strati archeologici e le pre-esistenze, nelle tratte terminali potrebbe invece essere esaminata la possibilità di realizzare tratti superficiali. Rimane sempre molto impegnativa la previsione dei rischi legati all'archeologia. Non si può escludere l'eventualità di dover studiare adattamenti e modifiche delle soluzioni progettuali prospettate a livello preliminare. La definizione della metodologia di scavo e la redazione dei Prontuari archeologici consentono oggi la massima affidabilità nella definizione preventiva di costi e tempi di indagine, anche se rimane l'aleatorietà legata all'entità e al valore dei ritrovamenti. Inoltre, i lavori vengono inquadrati non più come eventi di disturbo lesivi del patrimonio archeologico ma piuttosto come un'opportunità di ricerca. Senza l'esecuzione di lavori di tale entità, importanza ingegneristica, costi complessivi e organizzazione di impresa, non sarebbe infatti possibile raggiungere la medesima completezza di esplorazione. Nel caso, imprevedibile in quanto non rilevabile in alcun altro modo, di ritrovamenti di importanza tale da non consentire alla Soprintendenza di rilasciare l'autorizzazione alla rimozione, il Ministero competente mantiene comunque la facoltà di richiedere soluzioni progettuali in variante, atte a "inglobare" i reperti nel nuovo manufatto - è questa la scelta operata per la stazione Amba Aradam, nella quale saranno collocate gran parte delle strutture della grande caserma romana rinvenuta a circa 9 m di profondità - oppure, in ultima analisi, di non approvare il progetto, imponendo quindi una diversa localizzazione dell'opera. L'ipotesi di dover in corso d'opera modificare il progetto per fare in modo che reperti di particolare rilevanza diventino "parte integrante" della nuova struttura implica la necessità di una particolare flessibilità dell'impianto normativo di affidamento lavori, nonché di quello contrattuale per la gestione della fase realizzativa. ■■

