

Metodologie Costruttive

Viaggio in TBM oltre il Colosseo

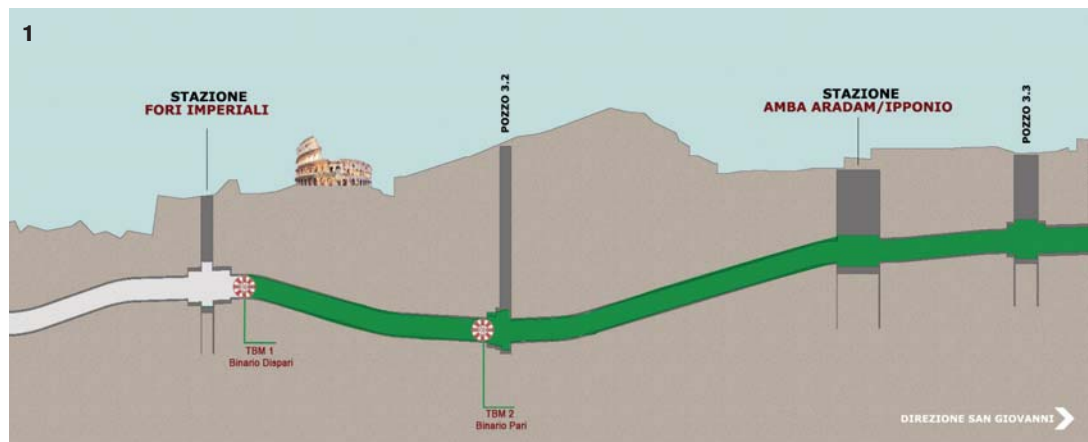
Federico Blasevich
Ingegnere
PhD Dottore di Ricerca
in Infrastrutture e Trasporti
Funzionario Agenzia Nazionale
per la Sicurezza delle
Ferrovie*

ENTRO AGOSTO LE TBM CHE STANNO REALIZZANDO LA TRATTA T3 DELLA METRO C DI ROMA DOVREBBERO COMPLETARE LO SCAVO. IL PROGETTO DEFINITIVO NON INCLUDE UN POZZO DI ESTRAZIONE TBM, MA FA TERMINARE LE GALLERIE A CIRCA 100 METRI DA PIAZZA VENEZIA, SEDE INDICATA DELLA PRIMA STAZIONE DELLA TRATTA T2. A POCHE SETTIMANE DALLA FINE SCAVO NON SONO STATE ANCORA ASSUNTE DECISIONI SU COME E SE LA LINEA CONTINUERÀ. L'ARTICOLO PROPONE UN APPROCCIO OPERATIVO, BASATO SUL METODO DEL "SOFT-EYE" RIDONDANTE, PER CONSENTIRE UN'EVENTUALE PROSECUZIONE DELLO SCAVO IN ASSENZA DEL PROGETTO ESECUTIVO DELLA STAZIONE VENEZIA.

La tratta in esercizio della Linea C della Metropolitana di Roma si estende dal capolinea di Monte Compatri/Pantano alla Stazione San Giovanni con uno sviluppo pari a circa 19 km e 22 stazioni di cui la metà realizzate lungo gli 8,5 km in cui i binari si trovano in superficie. In avvicinamento a Roma, in prossimità della stazione di Giardinetti, la tratta in esercizio prosegue in galleria con 11 stazioni in sotterraneo. L'attuale frequenza dei convogli è di 5 treni/h (un treno ogni 12') per senso di marcia e potrà incrementare fino a 15 treni/h (un treno ogni 4') con l'apertura all'esercizio del pozzo di inversione marcia di "Via Sannio" a condizione di avere un parco rotabili adeguatamente dimensionato, ad oggi ancora non disponibile. Il vigente programma di esercizio prevede l'effettuazione di 91 coppie di treni al giorno dalla domenica al giovedì (05:30-23:30) e 101 coppie di treni al giorno il venerdì ed il sabato sera (05:30-01:30).

La tratta in costruzione e le incognite future

La tratta T3 da San Giovanni (esclusa) a Fori Imperiali, in costruzione dal 21 marzo 2013, ha uno sviluppo di 3,6 km e comprende 2 stazioni (Amba Aradam/Ipponio e Fori Imperiali/Colosseo) e 2 pozzi di ventilazione (3.3 "Via Sannio" e 3.2 "Piazza Celimontana") che saranno funzionali anche all'inversione di marcia dei treni: nel primo caso con capolinea a San Giovanni e nel secondo caso quando il capolinea



sarà Fori Imperiali. Il progetto in corso di realizzazione prevede la prosecuzione delle gallerie oltre la stazione Fori Imperiali/Colosseo per circa 500 m (fig. 1).

Quando, il 22 luglio 2010, il Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica ha approvato il progetto definitivo e il finanziamento della tratta T3 Colosseo-San Giovanni (G.U. n. 52 del 4 marzo 2011) ha contestualmente preso atto delle risultanze dell'istruttoria svolta dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, e in particolare, ha sancito "l'aggregazione della stazione Venezia alla tratta T2 a seguito del prolungarsi delle indagini archeologiche nell'area di piazza Venezia, della necessità di realizzare un unico

1. Tratta T3 della Metro C di Roma: scavo meccanizzato con TBM (avanzamento al 20/6/2019)

Fonte: Metro C SCpA

2. Lo scudo (testa fresante+mantello) di una TBM della Metro C, il cui peso è di circa 450 ton, viene calato nel pozzo di Via Sannio
Fonte: Metro C SpA



pozzo per la connessione con la futura linea D, nonché della necessità di realizzare prima possibile la seconda connessione con le linee esistenti e in particolare quella con la linea B a Colosseo*.

Inoltre, considerata la vicinanza tra le stazioni Fori Imperiali e Venezia, fu deciso di non realizzare un pozzo di intertratta in quanto lo stesso non fu ritenuto necessario, come peraltro sancito dal legislatore con l'approvazione del successivo Decreto Ministeriale 21 ottobre 2015 concernente "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane" (G.U. n. 253 del 30 ottobre 2015) che stabilisce la presenza di almeno un accesso di emergenza nelle metropolitane solo per le gallerie di lunghezza superiore ai 900 metri. All'atto dell'approvazione della tratta T3 non era mai stata messa in discussione la successiva tratta T2 Clodio/Mazzini-Venezia, né, tantomeno la stazione Venezia dove era stato ipotizzato di estrarre le due TBM utilizzate per scavare la tratta T3, ovvero di mantenerle per poi farle proseguire verso Clodio/Mazzini. A distanza di 9 anni, in assenza di ulteriori atti tecnico-amministrativi, le TBM stanno completando lo scavo senza che si sappia il loro destino a galleria ultimata: difatti, mentre il backup potrà essere recuperato facendolo uscire dalle gallerie appena realizzate, lo scudo non potrà essere estratto in quanto il relativo diametro risulta essere più grande di quello delle gallerie; né sarebbe gestibile, a linea completata e aperta all'esercizio, continuare lo scavo delle gallerie verso Clodio/Mazzini in assenza di un pozzo dedicato ad alimentare le TBM e a gestire il materiale proveniente dallo scavo (fig. 2).

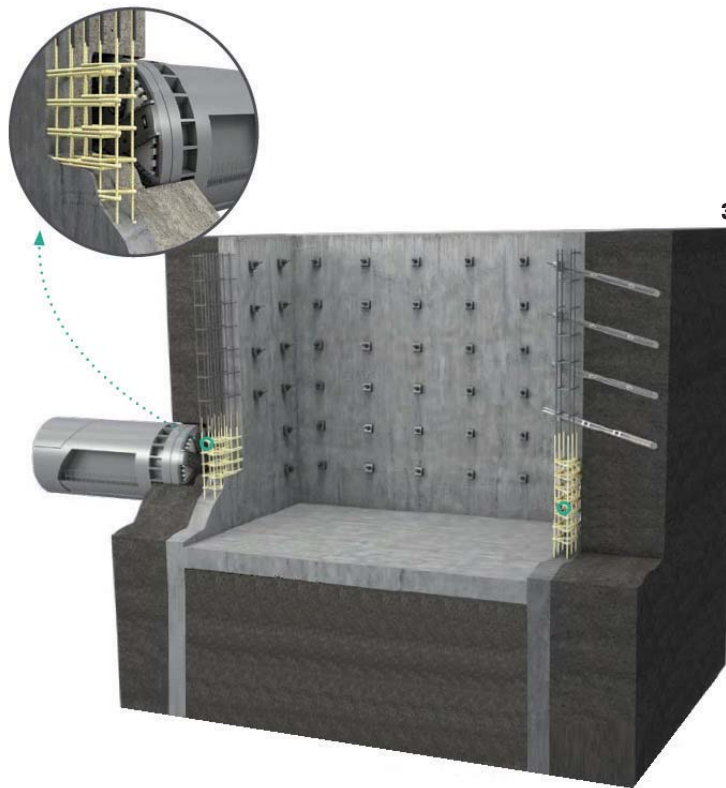
* Le opinioni espresse in questo articolo impegnano esclusivamente l'autore e in alcun modo l'istituzione di appartenenza.

Lo scavo meccanizzato

La tecnologia costruttiva scelta per la realizzazione delle gallerie della Linea C della Metropolitana di Roma prevede lo scavo meccanizzato con TBM, cosiddetto a fronte sostenuto, cioè che esercita una costante azione di spinta sull'area oggetto di escavazione (il fronte). Il metodo di avanzamento prescelto si avvale, dunque, di una macchina lavorante a "sistema chiuso", ovvero di uno scudo a pressione di terra bilanciata (EPBS, Earth Pressure Balance Shield) che consente di sostenere il fronte, contrastando in tal modo la pressione naturale esercitata dal terreno. Le TBM in questione sono costituite da una testa fresante di 6,70 m di diametro e un mantello lungo 10 m, oltre a un backup che ha una lunghezza di circa 90 m e che contiene la struttura servizi nella quale sono collocate la cabina di guida, i cablaggi degli impianti e il nastro trasportatore necessario all'estrazione del terreno scavato. Il rivestimento interno delle gallerie è costituito da conci prefabbricati in calcestruzzo armato con uno spessore di 30 cm e un diametro interno di 5,80 m. Ogni anello prefabbricato, lungo 1,40 m è costituito da 6 conci principali più 1 concio di chiave. Gli anelli sono del tipo "universale" e si adattano a 19 possibili diverse posizioni in funzione del raggio di curvatura da ottenere.

Venezia, passare a pieno... in assenza di stazione

Durante la realizzazione delle gallerie della Metro C tra San Giovanni e Giardinetti le TBM hanno attraversato quasi tutte le stazioni nella modalità del "passaggio a pieno", indipendentemente dalla fase di avanzamento della costruzione di ciascuna stazione. In buona sostanza entrambe le TBM hanno scavato il terreno interno allo scatolare di ogni stazione attraversata a pieno, prima ancora e indipendentemente dal completamento della stazione stessa, demolendo le paratie di contorno delle stazioni, che erano state realizzate precedentemente al passaggio delle TBM. Questa modalità di attraversamento ha consentito di non rischiare interferenze tra i cantieri di superficie, condizionati in particolare dai sottoservizi e dai ritrovamenti archeologici, e il passaggio delle TBM, evitando così a priori eventuali disturbi reciproci e ritardi. I diaframmi di testata delle stazioni interessati dal passaggio delle TBM sono stati armati utilizzando armature in materiale composito GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) realizzando il cosiddetto "soft-eye", cioè una paratia in calcestruzzo avente una parte della propria armatura in GFRP



dal diametro (da qui il termine inglese "eye", "occhio") poco superiore a quello della testa fresante in corrispondenza delle sezioni circolari interessate dal passaggio delle TBM; in tali condizioni le TBM sono state in grado di demolire il diaframma ("soft", cioè più "morbido" del calcestruzzo con armatura metallica) in un'unica soluzione senza particolari interventi in camera di scavo e senza danneggiare l'apparecchiatura di realizzazione della galleria (figg. 3, 4 e 5). La scelta del soft-eye, pur essendo stata più onerosa nella fase di costruzione dei diaframmi con armatura mista metallica-GFRP, ha mantenuto sotto controllo i costi relativi allo scavo meccanizzato che è proceduto in maniera continua e autonoma, garantendo le tempistiche previste nel cronoprogramma ed esponendo i lavoratori a minori rischi nelle fasi di demolizione dei diaframmi che sono avvenute totalmente in maniera meccanizzata. Considerati gli aspetti positivi del passaggio a pieno delle TBM attraverso i manufatti di linea e di stazione, si ritiene che, in questa fase di incertezza che sta caratterizzando il proseguimento della Metro C verso Clodio/Mazzini, la metodologia co-

struttiva del soft-eye possa contribuire, fuori tempo massimo, a individuare soluzioni "tampone" in grado di non condizionare scelte e scenari futuri. Difatti, anche qualora fosse assunta immediatamente la decisione di realizzare la stazione Venezia, i tempi per la relativa progettazione esecutiva e per la realizzazione dello scatolare di stazione risulterebbero comunque incompatibili con la fine delle lavorazioni in corso sulla tratta T3. Tra le ipotesi al vaglio dei progettisti, circa l'ubicazione dello scatolare di un'eventuale stazione Venezia, vi sono quella del progetto preliminare andato in gara nel 2005, quella del progetto definitivo della tratta Venezia-Fori Imperiali/Colosseo su cui nel 2014 è stato avviato il procedimento amministrativo per effetto del cosiddetto "Decreto Sblocca Italia" (Decreto Legge n. 133/2014), e le ulteriori soluzioni progettuali emerse nell'ambito della project review ancora in corso. Poiché in caso di stazione passante i diaframmi sono attraversati 4 volte dalle TBM, sovrapponendo in pianta tutte le n ipotesi progettuali inerenti la stazione, le TBM si troverebbero ad attraversare al massimo $4 \cdot n$ diaframmi.

3. Scatolare di stazione: tipica applicazione soft-eye. L'armatura gialla è costituita da barre GFRP che saranno tagliate dalla TBM durante la fase di sfondamento del pannello perimetrale
Fonte: ASTEC, immagine modificata dall'autore

4, 5. Paratie perimetrali eseguite con idrofresa; posa in opera dei diaframmi con armatura mista metallica-GFRP
Fonte: Trevi SpA

6. La metodologia operativa proposta: soft-eye con passaggio a pieno in "assenza di stazione".

Fase 1: esecuzione dei diaframmi del pozzo e dei 4 diaframmi di "stazione" di ciascuna delle n ipotesi progettuali

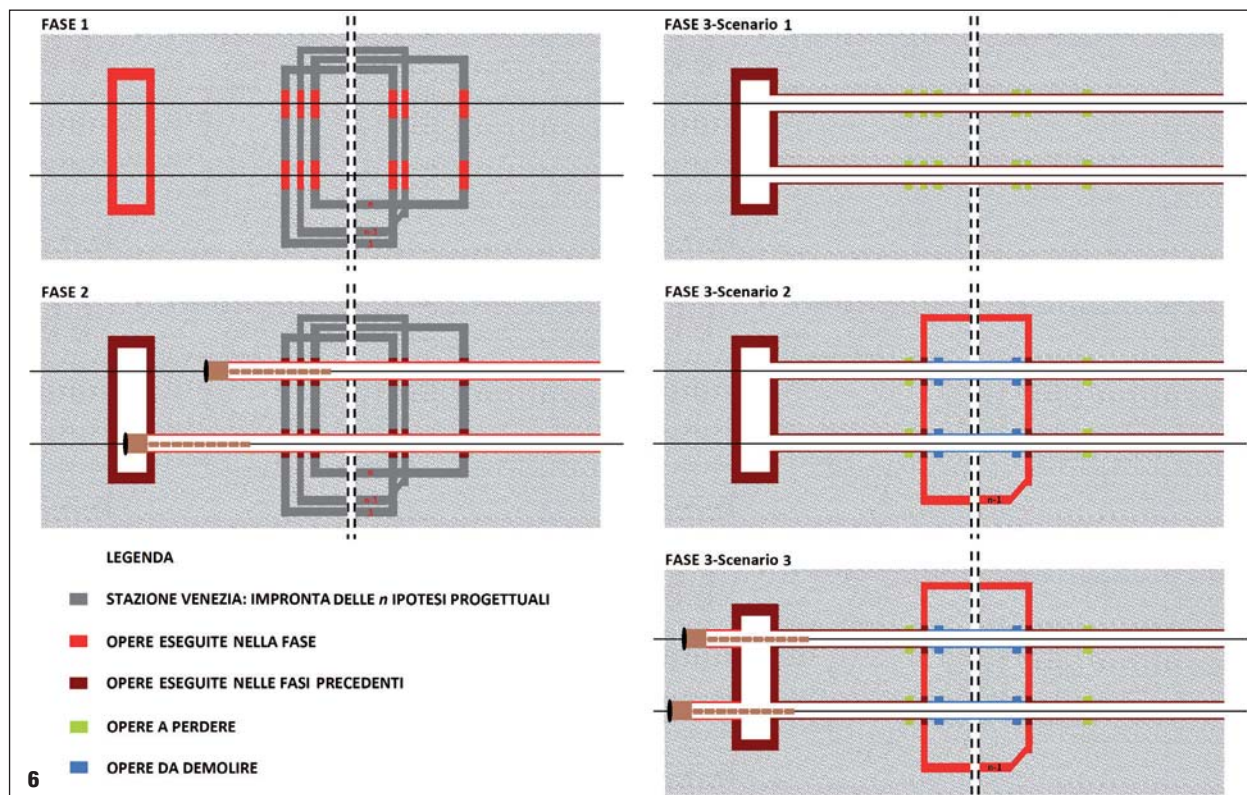
Fase 2: le TBM scavano fino al pozzo

Fase 3- Scenario 1 "La Metro C si ferma a Fori Imperiali"

Fase 3-Scenario 2 "La Metro C si ferma a Venezia"

Fase 3-Scenario 3 "La Metro C prosegue verso Clodio/Mazzini"

7. Stazione Libia/Gondar, sezione architettonica



In assenza di un progetto esecutivo della Stazione Venezia si propone di realizzare, e di far attraversare dalle TBM, le sole paratie di contorno della stazione che le macchine incontrerebbero nelle n ipotesi progettuali al vaglio dei progettisti. Il passaggio delle paratie avverrebbe attraverso elementi di calcestruzzo armato con materiale composito GFRP e sarebbe del tutto analogo a un "passaggio a pieno" differenziandosi solo per l'esiguo numero dei diaframmi dello scatolare realizzati (fig. 6).

Dopo aver passato a pieno l'inesistente scatolare della stazione Venezia lo scavo meccanizzato delle due TBM proseguirebbe fino ad primo pozzo che potrebbe essere collocato a Via degli Astalli o a Piazza del Gesù: nel primo caso le gallerie avrebbero un'estesa di circa 400 m più lunga rispetto all'attuale progetto in costruzione, mentre nella seconda ipotesi le gallerie risulterebbero più lunghe di ulteriori 100 m

rispetto al caso precedente, attraversando, in entrambi i casi, il luogo dove è stata prevista la realizzazione della stazione Vene-

zia. I due luoghi ipotizzati per la realizzazione del pozzo sono caratterizzati entrambi dal limitato spazio a disposizione per il cantiere (circa 11x110 m nel caso di Via degli Astalli e circa 35x45 m nel caso di Piazza del Gesù), condizione che comporterebbe una complessa gestione del cantiere anche in ragione della necessità di non poter interrompere per lunghi periodi la viabilità lungo l'asse di Via del Plebiscito che è attraversata da numerose linee di autobus. Tuttavia, proprio in ragione della limitata occupazione del cantiere si potrebbero trovare soluzioni condivise con la Soprintendenza per i Beni Archeologici di Roma in relazione alle attività di scavo archeologico. La necessità di dover realizzare un pozzo raggiungendo elevate profondità in adiacenza a edifici storici tutelati, a causa dell'indisponibilità di spazi disponibili dove poter scavare a cielo aperto, esclude la modalità esecutiva delle paratie del pozzo mediante benna mordente preferendo l'esecuzione delle stesse mediante idrofresa in ragione dell'esigenza di allineare i pannelli il più possibile contigui, di garantire la tenuta idraulica dei giunti tra i pannelli primari e secondari¹ e di minimizzare le deviazioni dalla verticale teorica (fig. 7).

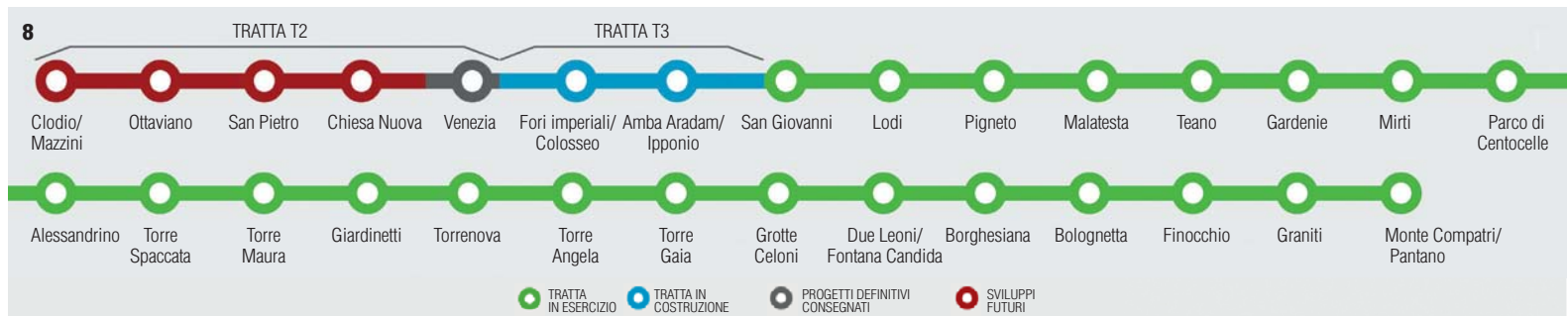
1. La particolare sequenza costruttiva di un diaframma con idrofresa e la fresatura dei pannelli primari durante lo scavo dei pannelli secondari consentono di ottenere giunti a tenuta idraulica di affidabilità superiore rispetto ai giunti utilizzati con la tecnica di scavo con benna.



La peculiarità tecnica

Focus sulle deviazioni massime dalla verticale in caso di paratie perimetrali eseguite con idrofresa: il caso della stazione Libia/Gondar. Ecco quanto scrivevano, al proposito, Andrea Sciotti e Antonio Zechini circa un decennio fa: "Per la stazione Libia/Gondar della Linea B1 della Metropolitana di Roma, 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%" (Fonte: Sciotti A., Zechini A., 2008).



Scelte operative e scenari

Le descritte scelte operative (soft-eye e pozzo) offrirebbero aspetti positivi in caso di tutti e tre gli scenari possibili. Passiamoli in rassegna.

Scenario 1. La Metro C si ferma a Fori Imperiali

La realizzazione del pozzo è utile per estrarre le TBM e per assicurare una migliore strategia antincendio. Nel caso di pozzo realizzato in Via degli Astalli, a causa dello spazio molto limitato, per garantire il recupero delle TBM sarebbe necessario ruotare lo scudo in fondo al pozzo che dovrebbe essere allargato con scavo tradizionale in corrispondenza dei diaframmi attraversati dalle TBM. Le gallerie più lunghe consentirebbero il parcheggio in galleria di un numero maggiore di treni.

Scenario 2. La Metro C si ferma a Venezia

La realizzazione del pozzo è utile per estrarre le TBM e per assicurare una migliore strategia antincendio. Le gallerie più lunghe consentirebbero il parcheggio in galleria di un numero maggiore di treni rispetto a una stazione di testa con due soli binari. L'aver fatto passare a pieno la stazione Venezia in "assenza di stazione" consentirebbe di diminuire tempi e costi di realizzazione della galleria tra la tratta T3 e la stazione Venezia. L'aver realizzato la stazione passante non preclude la possibilità di un futuro prolungamento.

Scenario 3. La Metro C prosegue verso Clodio/Mazzini

La realizzazione del pozzo è utile per estrarre o mantenere le TBM e per assicurare una migliore strategia antincendio sia rispetto alla tratta T2 che rispetto alla stazione Venezia. Il pozzo, in entrambe le ipotesi di Via degli Astalli e di Piazza del Gesù, si troverebbe a più di 100 m da piazza Venezia; tali ubicazioni garantirebbero l'agevole demolizione della galleria realizzata a pieno nello scatolare della stazione Venezia senza compromettere l'integrità e la funzionalità del backup della TBM in tutta la sua lunghezza che potrebbe rimanere in galleria prima di riprendere lo scavo della galleria verso Clodio/Mazzini. Una volta completato lo scatolare della stazione Venezia il relativo cantiere potrebbe essere adibito anche ad alimentare le TBM ed a gestire il materiale proveniente dallo scavo delle gallerie. In alternativa, senza aspettare i tempi di realizzazione e di scavo dello scatolare della stazione Venezia il pozzo già realizzato potrebbe essere



adibito anch'esso ad alimentare le TBM ed a gestire il materiale di scavo ma gli spazi esigui a disposizione complicheranno notevolmente la gestione delle attività compromettendo la produttività di scavo ed escludendo la possibilità di un contemporaneo avanzamento di entrambe le TBM.

Osservazioni conclusive

Il progetto definitivo della tratta T3 della Linea C della Metropolitana di Roma approvato dal CIPE costituisce un lotto funzionale dal punto trasportistico ma non entra nel merito di come debbano essere recuperate le TBM una volta completate le gallerie. La proposta operativa presentata in questo articolo descrive come i vantaggi delle aperture soft-eye possano suggerire una variante migliorativa della tratta T3 che garantisca, dal punto di vista tecnico e della sostenibilità economica, la possibilità di concludere lo scavo meccanizzato delle gallerie dopo Piazza Venezia così da poter recuperare le TBM senza precludere nessuno degli scenari futuri: concludere la metropolitana a Fori Imperiali, realizzare la stazione Venezia o proseguire la costruzione della metropolitana verso Clodio/Mazzini (figg. 8, 9). ■

8. Le stazioni della Metro C: in esercizio, costruzione e progetto

9. La Metro C oltre il Colosseo, sì, ma con quali modalità? La tecnica può fornire delle risposte concrete e ben documentate a questa domanda

Bibliografia e Sitografia

- [1] Fabrizio Apostolo, "Viaggio al centro della Città eterna", *leStrade*, Giugno 2018 Monografico Gallerie&Sotterraneo, pagg. 48-52.
- [2] Andrea Sciotti Andrea, Antonio Zechini, "Lo sviluppo della mobilità capitolina. Una nuova linea per la Metro Roma", *Quarry&Construction*, agosto 2008, pp. 74-90.
- [3] Roma Capitale, "Linea B1, scavo da Conca d'Oro a Jonio: abbattuto l'ultimo diaframma. La TBM entra nella stazione Jonio", Scheda tecnica allegata al Comunicato stampa, 22 febbraio 2012.
- [4] Nodavia SCpA, Committente RFI, Progetto esecutivo di 1° livello, Nodo di Firenze AV, Elaborato "Cantierizzazione. Fasi Esecutive. Passaggio al Cameron. Individuazione sezioni di scavo", Rev. B, Emissione CdL 409 del 08/05/2009.
- [5] <https://metrocspa.it>
- [6] <https://romamobilita.it/it/piani-e-opere-della-mobilita/C3/A0/metro-c/la-tbm-e-lo-scavo-delle-gallerie>
- [7] ATP Srl, "Rockworm - RWB. Armatura GFRP per conci prefabbricati" - Scheda tecnica, atp.sa.it
- [8] Aslan FRP, "FIDASLAN 100 GFRP Reba®" Scheda tecnica, aslanfrp.com
- [9] Aslan FRP, "TBM Launch & Reception. Soft-Eye Openings & Earth Anchors" - Scheda tecnica, aslanfrp.com