

Transit Costs Project: capire i fattori che influenzano i costi di costruzione delle infrastrutture di trasporto rapido di massa

Marco Chitti^{1*}, Eric Goldwyn², Alon Levy², Elif Ensari², Andrea Spinosa³

¹ McGill University, NYU – Marron Institute of Urban Management

² NYU – Marron Institute of Urban Management

³ Università La Sapienza

L'articolo illustra i risultati della ricerca Transit Costs Project condotta dal Marron Institute of Urban Management della New York University, il cui obiettivo è identificare i fattori economici, gestionali, politici e ambientali che influenzano i costi di costruzione delle infrastrutture di Trasporto Rapido di Massa (TRM) e danno luogo a una grande variabilità a livello internazionale. La ricerca si sviluppa in due fasi: la raccolta sistematica di una banca dati di oltre 900 progetti e, soprattutto, un'analisi dettagliata di casi studio in paesi ad alto e basso costo di costruzione, basata su fonti documentali ufficiali e oltre 150 interviste con addetti ai lavori. L'esame comparato dei casi studio ha portato alla luce come i costi di costruzione siano influenzati da molteplici fattori: alcuni di natura ambientale (geologia, contesto urbano) e altri frutto di scelte progettuali e di *procurement*, legate alla *governance* dei progetti, all'interpretazione di norme e standard e alle capacità tecnico-gestionali delle amministrazioni pubbliche.

Parole Chiave: costi di costruzione; trasporto rapido di massa; metropolitane

1 Introduzione

Perché costruire una metropolitana costa più di due miliardi di dollari al chilometro a New York mentre a Seoul costa in media poco più di cento milioni? Quest'articolo propone in forma condensata i risultati del progetto di ricerca "Transit Costs" condotto da un gruppo di lavoro del Marron Institute of Urban Management della New York University (Goldwyn, Levy, Ensari, & Chitti, 2023). Il progetto nasce da una crescente preoccupazione per gli elevati costi di costruzione dei progetti di trasporto rapido di massa urbano (TRM) negli Stati Uniti e dalla constatazione di una grande differenza di costi nel contesto internazionale.

Nella letteratura scientifica si è fino ad ora posta grande attenzione soprattutto ai meccanismi politico-istituzionali che portano a sottostimare i rischi e a sopravvalutare i benefici quando si tratta

* Corresponding author: marco.chitti@umontreal.ca

della realizzazione di Grandi Opere (Flyvbjerg, Bruzelius, & Rothengatter, 2003). Sorprendentemente, invece, pochi studi analitici sono stati condotti sulla variabilità internazionale dei costi di costruzione di queste opere in termini assoluti e sulle cause di questa variabilità, complice la mancanza¹ di una base dati completa ed omogenea a livello internazionale. Il progetto di ricerca Transit Costs mira a colmare questa lacuna, concentrandosi sui progetti di TRM urbano su ferro in sede prevalentemente segregata². Il progetto si articola in due fasi: i) la raccolta di una banca dati il più possibile completa e omogenea; ii) l'analisi di una serie di casi studio approfonditi di progetti in paesi ad alto, medio e basso costo, identificati grazie alla banca dati.

2 La banca dati

La prima fase del progetto è consistita nella raccolta dei costi di costruzione di oltre 900 progetti di TRM in 58 paesi, per la maggior parte realizzati negli ultimi trent'anni³. Per ogni progetto sono state indicate una serie di caratteristiche significative (lunghezza, percentuale del tracciato in galleria, numero di stazioni). Il costo di costruzione totale (*headline costs*), che include *hard cost* (opere civili e di sistema ma non il materiale rotabile) e *soft costs* (somme a disposizione della stazione appaltante), è riportato in valuta locale in termini nominali e convertito in dollari PPP⁴ 2021 per ottenere un costo in termini reali comparabile a livello internazionale.

L'uso del costo chilometrico attualizzato e omogeneizzato come parametro di comparazione permette un primo confronto tra i progetti e le varie situazioni nazionali. In linea di massima, è possibile identificare paesi ad "alto costo" (per esempio Stati Uniti, Australia, Gran Bretagna, Singapore), "medio costo", per esempio Francia, Germania, Danimarca, Norvegia, Cina, e a "basso costo", come Corea, Turchia, Spagna, Svezia e Italia, queste ultime nella fascia alta della categoria (Figura 1). La comparazione del semplice costo chilometrico ha però dei limiti metodologici dovuti alla qualità del dato e alla natura delle opere comparate. Le fonti ufficiali disponibili da cui viene desunto il *headline cost*, infatti, non riportano spesso con sufficiente chiarezza quali componenti di costo siano incluse. Questo può portare ad una distorsione del risultato, soprattutto per quei paesi dove i costi di finanziamento vengono computati⁵ o per quelle opere in finanzia di progetto che includono anche i costi del ciclo vita che fanno parte delle concessioni di tipo *Design-Build-Finance-Operate-Maintain*. Ulteriore elemento di disomogeneità del dato è la natura dell'opera: il database contiene infrastrutture TRM di tipo metropolitano dalle caratteristiche tecniche assai differenti, in termini di lunghezza delle banchine, distanza interstazione, via di corsa, inserimento urbanistico, limitando la significatività di una comparazione basata sul semplice costo chilometrico. Per questa ragione, l'analisi di questi dati non ha una rilevanza statistica assoluta, ma ha costituito solo un primo passo della ricerca, teso ad informare la scelta di casi studio approfonditi.

¹ Non esisteva fino ad ora un database organico ed omogeneo, ma solo studi di "benchmarking" limitati nello scopo e non esaustivi, condotti prevalentemente da autorità nazionali, dalla Banca Mondiale e dallo UITP.

² I progetti selezionati sono prevalentemente metropolitane leggere e pesanti, ferrovie urbane e sistemi di tipo LRT (Light Rail Transit), ovvero sistemi metrotranviari con via di corsa prevalentemente segregata. Sono stati esclusi i sistemi tranviari moderni in sede dedicata a raso per ragioni di comparabilità.

³ La banca dati può essere consultata a: <https://transitcosts.com/data/>

⁴ Per tassi di conversione dalla valuta locale ai dollari a parità di potere d'acquisto (\$PPP) sono stati utilizzati i coefficienti forniti della Banca Mondiale per l'anno 2020.

⁵ Vi sono poi casi dove i criteri di definizione degli *headline cost* sono cambiati nel tempo, come per esempio il Canada, dove i quadri economici fino alla metà degli anni 2010 non riportavano i costi finanziari, che sono invece inclusi per i progetti successivi a seguito del mutamento delle norme contabili.

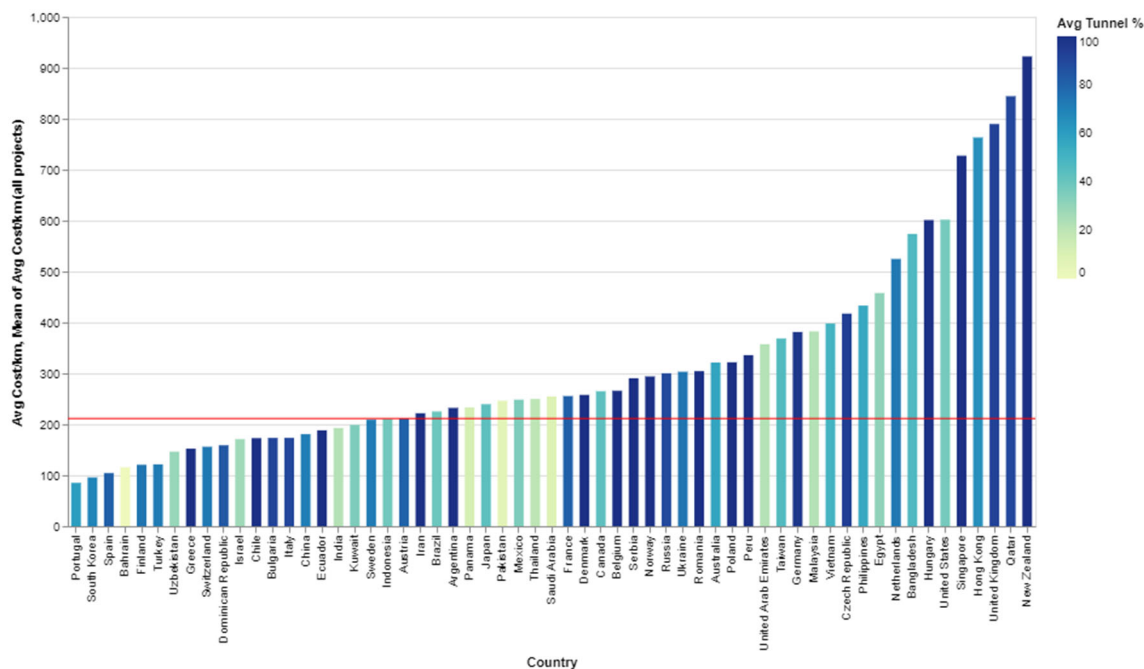


Figura 1 – Costi medi per chilometro per paese e percentuale in tunnel.

3 I casi studio

La parte più consistente del progetto di ricerca è stata la realizzazione di casi studio approfonditi in paesi identificati come ad alto o basso costo. I due casi di progetti ad alto costo sono situati negli Stati Uniti: la Green Line Extension (GLX) a Boston, e la Second Avenue Subway (SAS) di New York, linea quest'ultima che ha il non invidiabile primato di essere la linea di metropolitana più costosa mai realizzata. I casi di paesi a basso e medio costo sono: Istanbul, impegnata in un ambizioso piano di ampliamento della sua rete metropolitana; l'Italia, e in particolare progetti a Milano (M4, M5), Torino (M1), Roma (MB1, MC) e Napoli (linea 1); e infine Stoccolma. A completamento dei casi studio approfonditi sono state condotte interviste esplorative e raccolti documenti in altri paesi, come per esempio la Francia, la Spagna, la Germania, la Corea, la Danimarca, il Canada.

Per ricostruire la storia e le caratteristiche di ogni singolo progetto, nonché il contesto istituzionale e legale che ne costituisce la cornice, ci si è basati su più di 150 interviste con addetti ai lavori, documenti ufficiali e report di istituzioni di sorveglianza, articoli di riviste specializzate. La raccolta di dati dettagliati di costo per componente (opere civili, sistema, etc.) è stata fatta laddove possibile, visto il livello molto variabile di trasparenza dei documenti disponibili, ma l'elevata disomogeneità delle pratiche contabili tra i diversi contesti permette solo un'analisi più qualitativa del dato.

È possibile comunque derivare alcune considerazioni importanti, per esempio che il costo delle stazioni è il maggior fattore di variabilità tra progetti tanto all'interno di uno stesso contesto nazionale (figure 2 e 4) che a livello internazionale. Per esempio, il costo "volumetrico" di una stazione sotterranea in Italia (opere civili e impianti di stazione su un campione di 81 stazioni) si situa attorno ai 590 \$PPP al mc, con valori che superano i 1.500 \$PPP per le stazioni centrali della Metro C di Roma e della linea 1 di Napoli. A New York, questo valore si colloca tra 3.460 \$ e 5.580 \$ per metro cubo nelle tre stazioni della Second Avenue Subway. Per quanto riguarda il costo delle opere di linea (tunnel e pozzi), il campione è più limitato e il dato più disomogeneo, ma è possibile identificare una forchetta di variazione più contenuta (21,6 – 49,0 M\$PPP/km nei casi italiani (figura 2), che comprendono sia canne singole che doppie di diametri variabili). Vi sono però alcuni casi limite dovuti a condizioni particolari (figura 3) come la tratta T3 della metro C (136,9 M\$PPP/km) il cui costo è dovuto alle numerose interruzioni nello scavo con TBM, alla presenza di manufatti di linea importanti dovuti alla frammentazione delle fasi funzionali e a tecniche di scavo particolarmente onerose (*microtunneling* e congelamenti) usate per brevi tratte di sottoattraversamento di manufatti esistenti. Un altro fattore di aumento dei costi è l'uso della TBM su brevi tratte (Lotto 2 Metro B1), a causa dell'impatto dei costi fissi di trasporto, assemblaggio, realizzazione dei cameroni di lancio, etc.

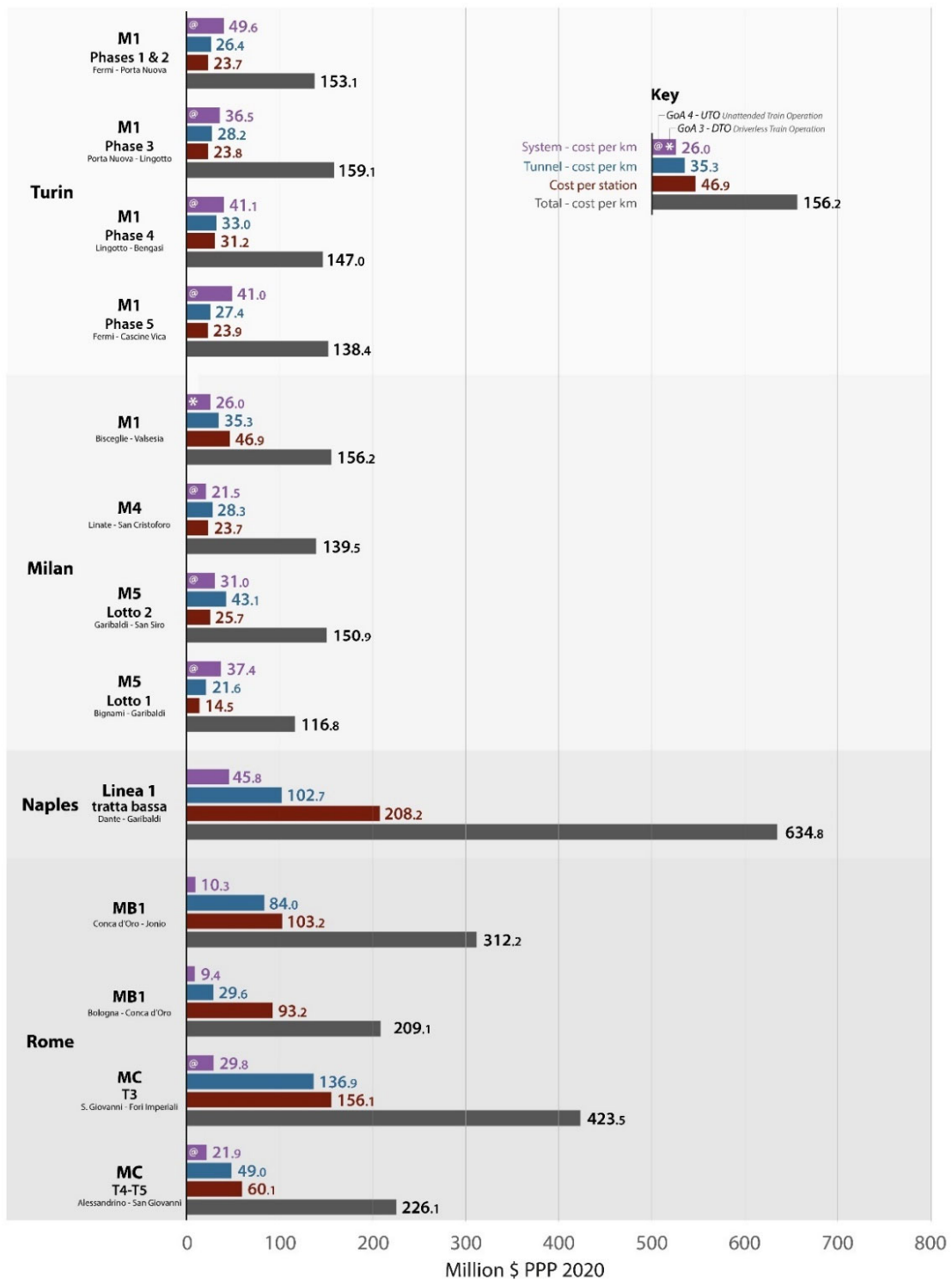


Figura 2 – Costo al chilometro in \$PPP 2020 di alcuni progetti italiani e di alcune sottocomponenti (opere di linea, stazioni, sistema).

Tunneling cost comparison, lines MB1 and MC - Rome

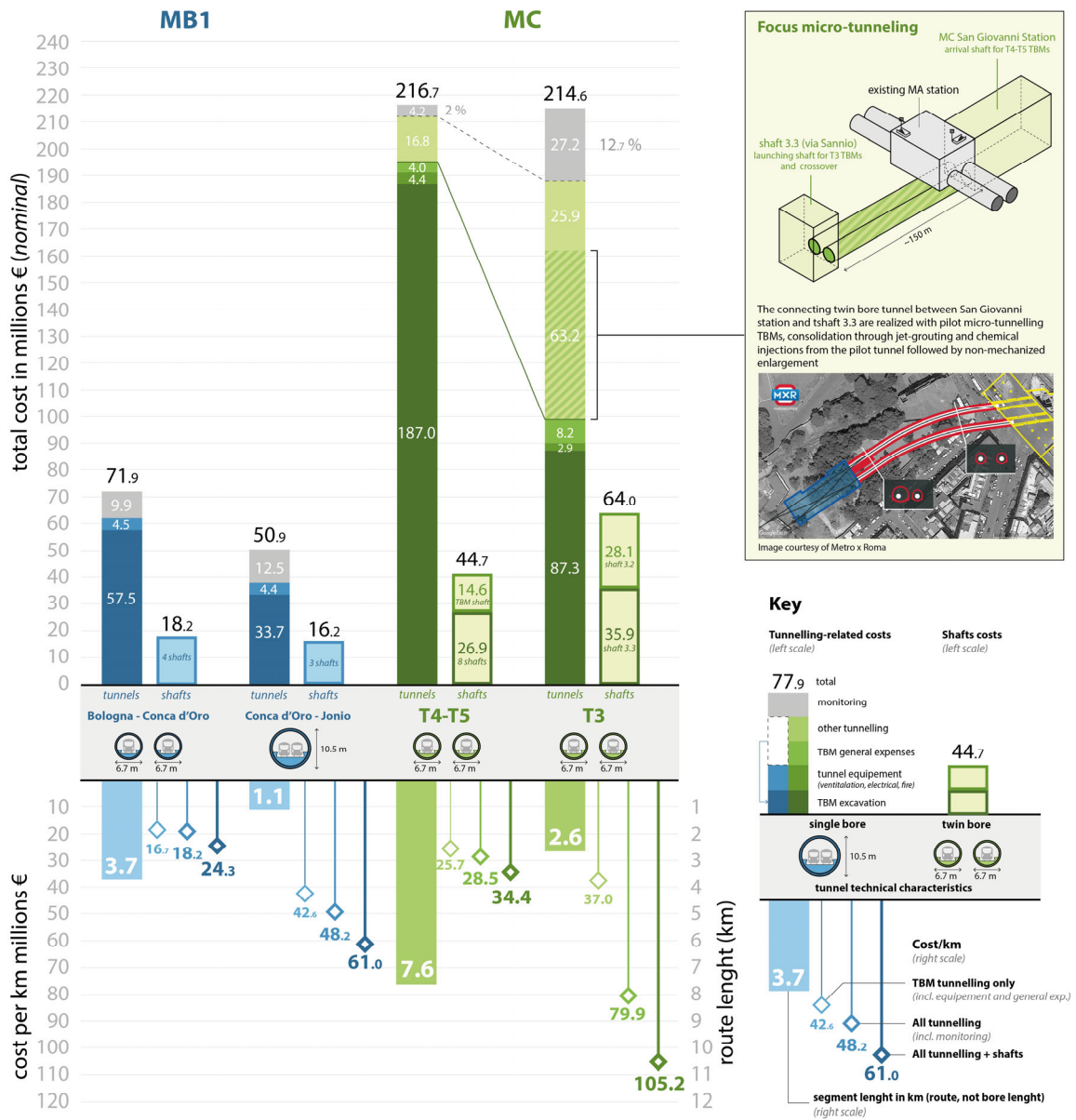


Figura 3 – costo di costruzione totale in termini nominali delle opere di linea delle tratte T3 e T4-T5 della Metro C e dei 2 lotti della Metro B1 a Roma.

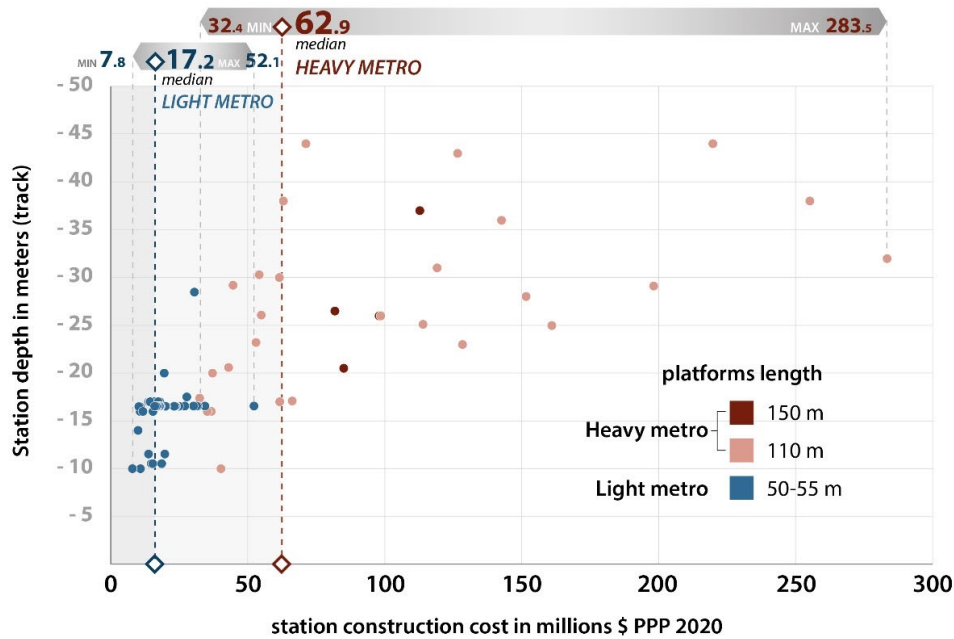


Figura 4 – costo di costruzione totale (opere civili e impianti non di sistema) in milioni di \$PPP 2020 di un campione di 81 stazioni sotterranee realizzate in Italia in funzione della profondità e della lunghezza delle banchine.

4 I fattori che influenzano i costi di costruzione

Il panorama dei fattori che influenzano i costi di costruzione che scaturisce dall'analisi comparativa dei casi studio è complesso. Non emerge infatti un fattore univoco o prevalente che possa spiegare questa grande variabilità. Si tratta piuttosto di cause e concause ricorrenti che si presentano come tipiche nei casi di progetti con costi elevati. Questi fattori spaziano dalla *governance* dei progetti, alla gestione degli appalti, dalle capacità dell'industria locale, alle scelte progettuali e di cantierizzazione, al contesto urbanistico e geologico, alle norme e agli standard di sicurezza. Ognuno di questi fattori può contribuire ad influenzare i costi di realizzazione. Tuttavia, essi si possono raggruppare in due grandi tipologie: i fattori "dati", a loro volta di tipo ambientale o economico-industriale, e i fattori "auto-imposti", frutto di scelte politiche, normative e di gestione del progetto.

4.1 I fattori ambientali ed economico-industriali

I fattori ambientali sono le condizioni di contesto in cui si inserisce l'infrastruttura di TRM. Il contesto idro-geologico, come terreni sciolti poco coesi, la presenza di una falda poco profonda, o il rischio sismico possono contribuire ad aumentare sensibilmente i costi di realizzazione, richiedendo soluzioni ingegneristiche onerose, come i tamponi di fondo, il congelamento dei fronti di scavo, etc. Lo stesso si può dire per le opere realizzate in contesti molto densi, in particolare se ricchi di preesistenze storiche e archeologiche, o in ambiti urbani con un sottosuolo "affollato" da altre infrastrutture sotterranee che possono richiedere consolidamenti estesi, piani di monitoraggio, scavi più profondi. Questi fattori impongono vincoli e rigidità nelle scelte progettuali, ma si può agire su di essi solo relativamente per contenere i costi, se non aumentando la tolleranza al rischio o rivedendo le norme e le pratiche di tutela del patrimonio storico e archeologico.

Una seconda serie di fattori contestuali è legata alle capacità del settore industriale locale, ai livelli salariali e alla rigidità del mercato del lavoro, soprattutto per le figure altamente specializzate. Per esempio, i paesi in cui l'industria domestica del tunneling è poco sviluppata (come alcuni paesi emergenti, ma anche il Canada e gli Stati Uniti) tendono ad avere costi più elevati per la mancanza di concorrenza e la necessità di ricorrere all'importazione di *expertise* dall'estero. Questi fattori rappresentano "condizioni d'ingaggio" per i promotori dei progetti tanto quanto quelli ambientali, ma, a differenza di quest'ultimi, possono essere modificati nel tempo con azioni mirate a livello di politiche nazionali. In questo senso è molto interessante il caso di Istanbul, dove le autorità locali sono state

capaci di promuovere lo sviluppo di una filiera locale. Dopo una prima fase di sviluppo della metropolitana affidata ad imprese francesi ed italiane alla fine degli anni '90, i successivi ampliamenti hanno permesso la crescita di un ecosistema locale di imprese specializzate, che hanno potuto contare su certezze di lungo periodo nella committenza grazie all'impegno politico per un vasto programma pluriennale di espansione della rete. Ciò ha permesso di aumentare la concorrenza e di ridurre i costi grazie ad un perfezionamento delle tecniche e ad economie di scala.

4.2 I fattori auto-imposti

Infine, vi sono i fattori che possiamo definire "auto-imposti" o, addirittura, "auto-inflitti". Si tratta di una vasta gamma di motivi legati alle scelte progettuali, alla regolamentazione, alle capacità *in-house* delle stazioni appaltanti e alla gestione dell'appalto che sono in gran parte riconducibili a problemi di *governance* dei progetti.

Tra i fattori "auto-imposti" ricadono le scelte progettuali volte a minimizzare ad ogni costo gli impatti durante la cantierizzazione e l'esercizio, come la scelta di realizzare tunnel profondi con scavo meccanizzato anche in contesti suburbani dove rilevati, gallerie artificiali o viadotti sarebbero possibili, o l'adozione di tecniche costruttive per le stazioni che minimizzano gli scavi a cielo aperto anche quando non strettamente imposti dal contesto urbanistico. Di forte impatto sui costi è l'approccio al progetto delle stazioni: optare per architetture emblematiche caratterizzate da ampi volumi sotterranei liberi contribuisce ad aumentare il costo delle opere civili di stazione, che incidono per oltre 2/3 dei costi. In Italia, al caso napoletano, caratterizzato da architetture uniche, ampie riqualificazioni di superficie e finiture di pregio che hanno portato ad un costo medio per stazione di 1.140 \$/mc (1.580 \$/mc nel centro storico), fa da contraltare l'approccio sobrio della M1 a Torino (665 \$/mc) e quello ultra-minimalista di M5 a Milano (412 \$/mc).

Un altro esempio di fattore autoimposto è l'interpretazione eccessivamente cautelativa negli USA delle norme di prevenzione incendi (spesso non basata su una reale analisi di costi e benefici dei singoli requisiti imposti dalla normativa) e in particolare l'adozione dello standard NFPA 130. Si tratta di un fattore che influisce sulle scelte progettuali, spesso richiedendo volumi di stazione più ampi per accomodare le vie di esodo (per esempio in alcune giurisdizioni nordamericane, le scale mobili non vengono contabilizzate nel calcolo delle capacità di esodo, risultando in un numero più importante di scale fisse), impianti di smaltimento fumo e calore adeguati agli standard di sicurezza e dimensionati con metodologie avanzate di calcolo, e vasche di accumulo antincendio per gli impianti a pioggia nel caso il servizio idrico locale non garantisca le prestazioni e l'affidabilità richiesta. Allo stesso tempo, la mancanza di standard tecnici condivisi a livello nazionale o continentale (per esempio, negli Stati Uniti non esiste un corrispettivo altrettanto sviluppato che le norme UNI-EN), unita alla tendenza delle stazioni appaltanti ad applicare standard propri che impongono la *customizzazione* di molte componenti, aumentano i costi di sviluppo e progettazione per i fornitori e quindi i costi finali.

La gestione dell'appalto è un altro tema estremamente complesso che non è possibile trattare esaustivamente qui. Vale la pena però di accennare che pratiche come appalti di grandi dimensioni assegnati a corpo e al massimo ribasso, uniti alla mancanza di strumenti di trasparenza come i prezzari di riferimento pubblici, sono comuni nei paesi anglosassoni caratterizzati da alti costi e scarsa trasparenza del processo di gara. Nel caso italiano, è importante rilevare come procedure d'appalto non concorrenziali, come nel caso della concessione di sola costruzione affidata a trattativa privata della linea 1 di Napoli, o basate su progetti non sufficientemente definiti e formule che limitano la capacità di supervisione del pubblico, come il modello del contraente generale adottato per la Metro C, si siano rivelati più costosi dell'appalto tradizionale o dell'appalto integrato. Se la finanza di progetto utilizzata nella realizzazione di M4 ed M5 a Milano sembra non avere un impatto diretto sui costi di costruzione puri (*hard costs*), che sono in linea con opere gestite tramite appalto tradizionale, come M1 a Torino, i maggiori oneri sono piuttosto rilevanti nei costi accessori (*soft costs*) sotto forma di costi di transazione elevati nonché, spesso in maniera non del tutto trasparente, sull'intero ciclo vita dell'opera, sotto forma di canoni di disponibilità e contributi in conto esercizio più elevati e sui costi finanziari più alti rispetto a un *public procurement* tradizionale.

Infine, si è potuto rilevare come alla base di molti di questi motivi "auto-imposti" vi sia un progressivo svuotamento delle capacità progettuali e gestionali *in-house* delle strutture pubbliche a tutti i livelli, unito ad una tendenza al *micromanagement* politico di scelte progettuali eminentemente tecniche, come i tracciati, il posizionamento delle stazioni e la gestione della cantierizzazione, e al prevalere di

logiche manageriali sui contenuti tecnici. In particolare, l'esternalizzazione delle funzioni di pianificazione e sorveglianza verso il settore privato, in un'ottica che vede il pubblico come "puro cliente", ha concorso all'aumento vertiginoso dei costi nei paesi del mondo anglosassone che più hanno abbracciato questa filosofia. Il risultato è la perdita di quelle professionalità *in-house* che permettono al pubblico di essere un cliente capace di fare un acquisto "tecnicamente informato".

La *Second Avenue Subway* è un caso emblematico di come l'intreccio tra questi "vincoli auto-inflitti" e le situazioni ambientali contribuiscano a far lievitare i costi di costruzione, in particolare per le stazioni. Per esempio, per evitare riduzioni delle carreggiate veicolari su richiesta del comune di New York, si è optato per stazioni cosiddette "a caverna", realizzate a foro cieco partendo da pozzi laterali costruiti in terreni privati adiacenti (con relativi alti costi di esproprio e demolizione), invece di un più economico *cut & cover* nel sedime della 2nd Avenue. Inoltre, per esplicita richiesta politica, le stazioni presentano ampi volumi liberi per obiettivi di natura architettonica piuttosto che funzionale. Le richieste dell'operatore e dei sindacati hanno portato a prevedere spazi tecnici sovradimensionati e, assieme ad un'interpretazione molto cautelativa della norma NFPA 130, queste scelte progettuali hanno per effetto un'impronta complessiva delle stazioni fino a 2,6 volte più lunga delle banchine (contro un 5-15%⁶ in più tipico di Italia e Turchia per le stazioni delle metropolitane pesanti). Le finestre di lavoro ridotte per ragioni di "buon vicinato" hanno, infine, allungato i tempi costruzione di molti manufatti. L'accumulo di queste scelte costruttive ha portato a costi di costruzione compresi tra i 620 e i 790 milioni di dollari per stazione. Ad un contesto urbanistico difficile come quello newyorkese, caratterizzato da alta densità abitativa, sottosuolo ingombro e valori immobiliari elevati, si aggiungono quindi scelte progettuali volte a rispondere a richieste particolari di varie controparti, dando luogo a un comportamento opportunistico favorito da una *governance* frammentata e dalla mancanza di un processo approvativo codificato, una situazione simile a quella italiana prima dell'introduzione della conferenza dei servizi.

5 Conclusione

Il progetto Transit Costs, grazie alla sua base dati ed ai casi approfonditi qui presentati, avanza alcune raccomandazioni per riconsiderare le cattive pratiche che hanno un impatto importante sui costi di costruzione. Sebbene esse siano indirizzate prevalentemente al contesto americano, costituiscono insegnamenti importanti anche per quello italiano ed europeo. Dal punto di vista delle scelte progettuali, sarebbe opportuno privilegiare l'aspetto funzionale, lavorare per un corretto dimensionamento dell'infrastruttura e valutarne attentamente il tracciato e l'inserimento urbanistico, optando, ovunque possibile, per soluzioni di inserimento meno onerose anche se più impattanti in fase di cantierizzazione, come trincee, rilevati, viadotti e gallerie artificiali. A livello normativo, bisognerebbe considerare l'impatto delle norme e dei requisiti tecnici in un'ottica di benefici/costi (cosa che non è stata fatta per la regola tecnica di prevenzione incendi del 21 ottobre 2015). A livello di gestione del progetto, è importante mantenere un'*expertise* adeguata in seno all'amministrazione, valorizzando le varie esperienze *in-house* esistenti (MM, InfraTO, Brescia Infrastrutture) e lavorando sulla qualificazione tecnica delle stazioni appaltanti pubbliche. Per concludere, è importante che i decisori pubblici siano coscienti che tutte le scelte progettuali implicano dei costi che andrebbero valutati a fronte di benefici reali e, possibilmente, quantificabili. E che ricordino che la funzione primaria di un'opera di TRM è offrire un servizio di mobilità efficiente al minor costo possibile per la collettività.

Riferimenti bibliografici

Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & Rothengatter, W. (2003). *Megaprojects and risk: An anatomy of ambition*: Cambridge university press.

Goldwyn, E., Levy, A., Ensari, E., & Chitti, M. (2023). *Transit Costs Project: Understanding Transit Infrastructure Costs in American Cities*. Retrieved from

⁶ Per l'Italia, questo valore è riferito alle stazioni di metropolitana pesante (banchine da 110 e 150m) analizzate nell'ambito della ricerca, tutte realizzate prima dell'introduzione della nuova regola tecnica del 2015. Questo valore è più alto per le stazioni che seguono la nuova norma e si può stimare attorno al 25% per le metropolitane pesanti e attorno al 40% con punte del 100% per quelle leggere.