

Pre-print, pre-review version. Please quote as follows:

Beria, P. (2020). Il metr  di Milano. Struttura e progetti futuri. *Trasporti & Cultura*, XX (57), 74-81.

IL METR  DI MILANO. STORIA, STUTTURA E PROGETTI FUTURI

Paolo BERIA, Politecnico di Milano

La rete della metropolitana di Milano, insieme al trasporto di superficie e ferroviario, costituisce l'ossatura della mobilit  nell'area urbana. Sebbene non perfetto, grazie alla sua estensione ed l'integrazione il sistema milanese risulta piuttosto efficace e i numeri dei passeggeri in costante crescita ne sono una testimonianza. L'articolo propone una descrizione quantitativa e geografica della metropolitana di Milano e sulla sua integrazione con gli altri sistemi, partendo dall'analisi della domanda di mobilit  della citt . In chiusura verranno discussi i principali progetti in corso, quasi tutti proiettati verso l'area urbana pi  allargata tentando di superare uno dei limiti storici del sistema, cio  la sua eccessiva "milanesit ".¹

1. La rete metropolitana di Milano: storia e struttura

La prima tratta della metropolitana di Milano   stata aperta nel 1964, dopo soli 7 anni di lavori. Cinque anni dopo aprivano le prime stazioni della linea 2. Da quel momento l'espansione della rete   andata avanti quasi senza soluzione di continuit , se si esclude l'ultimo decennio del XX secolo. Oggi la rete   composta da quattro linee mentre la quinta (chiamata per  M4, essendo stata progettata prima)   in fase di completamento e dovrebbe finalmente aprire tra il 2021 e il 2023 (Figura 1).

¹ Ci sia permesso di iniziare con una nota poco seria, relativa ai nomi – pi  precisamente i generi – con cui i milanesi indicano le componenti del sistema di trasporto pubblico. "Il 14", maschile, sar  certamente un tram. "La 60", femminile, sar  sicuramente un autobus (forse sottintendendo "la linea 60"?). La versione colloquiale della metropolitana  , tradizionalmente, maschile e pronunciata alla francese: *il metr *, con l'accento chiuso. Ma, purtroppo, quest'ultima usanza si sta perdendo in favore di una pi  internazionale *m tro*. In questo articolo, tuttavia, si utilizzer  esclusivamente la dizione tradizionale!

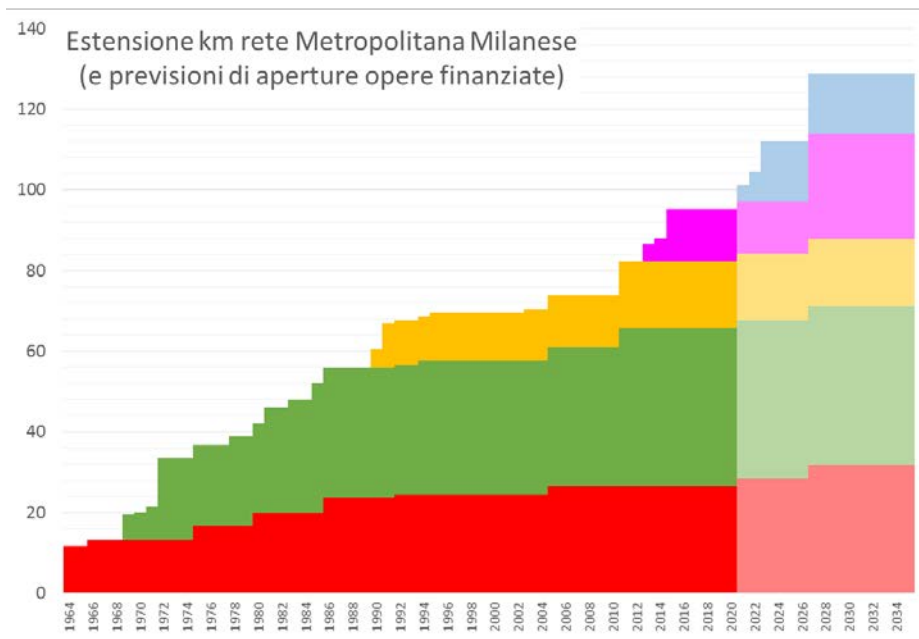


Figura 1. Estensione della rete metropolitana milanese, suddivisa per linea. Dal 2020 vengono indicate solo le estensioni in costruzione o per cui esiste già un finanziamento integrale.

Dal punto di vista spaziale, si tratta di una rete piuttosto densa (Figura 2), a servizio prevalentemente della città compatta (vi è una sola antenna extraurbana in aree a media densità). Le fermate distano in media circa 500 metri – una distanza molto piccola che garantisce da una parte ottima capillarità ma dall'altra riduce le velocità commerciali – e i numerosi interscambi sono generalmente ben posizionati in modo da minimizzare i percorsi. Le prime due linee, che si intersecano in due punti a formare il caratteristica figura a rombo che è tratto distintivo anche del logo del gestore storico ATM, sono poi attraversate da nord a sud dalla M3. M5 è stata la prima linea a non passare dal centro, ma interseca nel suo percorso da nord a ovest la stazione di Porta Garibaldi e importanti centralità urbane, in particolare le due di recente realizzazione di Porta Nuova e Tre Torri, che garantiscono buoni carichi nonostante l'eccentricità. M4, purtroppo, non avrà un percorso altrettanto felice dal punto di vista dell'effetto-rete (in particolare non interseca M5 e non avrà un interscambio diretto con M3), ma attraversa quartieri molto popolosi e connette il centro con l'aeroporto di Linate, ormai destinato a restare attivo dopo le ipotesi di ridimensionamento degli anni 2000 mai davvero portate a compimento.

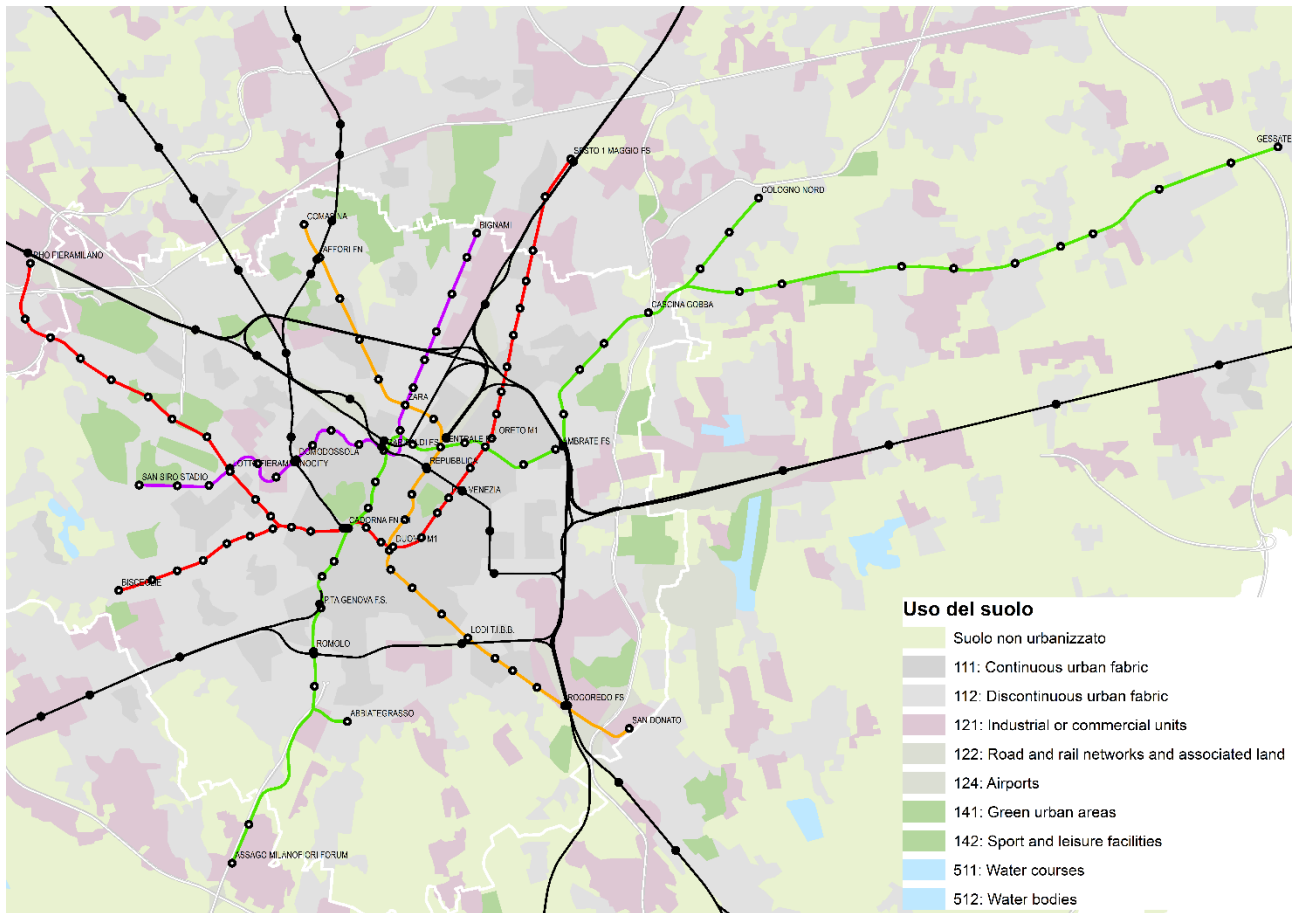


Figura 2. La rete metropolitana e ferroviaria milanese. Fonti: nostre elaborazioni (rete), CORINE land cover (uso del suolo).

Una caratteristica importante della rete milanese, che ne costituisce il principale limite e la differenza da altre realtà europee, è che essa sia stata concepita come un’infrastruttura essenzialmente “comunale”. Oltre alla già citata estensione extraurbana verso Cologno e Gessate, in funzione da decenni e frutto della lungimirante conversione a metropolitana di un’antica linea tranviaria extraurbana, le uniche fermate fuori dagli (stretti) confini comunali sono due a Sesto San Giovanni, due a Rho/Pero e due ad Assago, queste ultime quattro recentissime (2005 e 2011). Per superare questo limite, a partire dal PUMS del 2015, le estensioni previste sono quasi esclusivamente esterne, anche se questo avrà come effetto naturale un minore bacino di utenza a causa delle inferiori densità abitative (in particolare M5 a Monza, tra i prolungamenti certi).

Dal punto di vista costruttivo, la storia della metropolitana milanese è anche parte della storia dell’ingegneria italiana, avendo sviluppato negli anni tecniche costruttive all’avanguardia – soprattutto relative allo scavo in terreni sabbiosi e con acqua – oggi utilizzate in tutto il mondo.

Le tecnologie utilizzate nella metropolitana di Milano sono oggi due: le tre linee storiche sono “metropolitane pesanti”, con banchine e treni da 107 metri e guida semi-automatica (M2 è in corso di adeguamento in tal senso). M5 e M4 sono invece metropolitane “leggere”² ad automazione integrale (senza guidatore), con banchine e treni da 50 metri e di larghezza leggermente inferiore (2,65 m rispetto a 2,85 m). I treni di M1, M2 ed M3 hanno un portata di circa 1000 persone, mentre M4 ed M5 di circa 500.

2. I numeri della mobilità a Milano

² Nel caso milanese, il termine “leggero” è da riferirsi solo al veicolo, dato che per l’infrastruttura – lunghezza delle banchine a parte – è del tutto paragonabile alle tre linee maggiori.

Il Comune di Milano, che conta circa 1,4 milioni di abitanti, è il centro di un'area metropolitana molto più ampia sia territorialmente che socio-demograficamente. Mentre a nord l'urbanizzato raggiunge quasi senza soluzione di continuità la fascia pedemontana (da Varese a Lecco e Bergamo), a sud la pianura agricola definisce più nettamente i confini della città. Complessivamente, l'area metropolitana (che non comprende solo la città metropolitana amministrativa) conta dai 3 ai 5 milioni di abitanti, a seconda del criterio di definizione della stessa, su circa 10 milioni dell'intera regione.

Ma la forza della metropoli è, dal punto di vista economico e strutturale, ancora maggiore e questo lo si può visualizzare abbastanza efficacemente guardando all'area di influenza, cioè alla quota di spostamenti in uscita da ogni comune e diretti a Milano (Figura 3). Per percepire correttamente il fenomeno si noti che da quasi tutti i capoluoghi regionali, cioè da città ben fornite di servizi, funzioni e posti di lavoro e posizionate anche a 70km di distanza, si registrano una quota di spostamenti diretti a Milano compresa tra il 2 e il 5% del totale. E non si tratta solo di spostamenti per lavoro o studio, ma anche di spostamenti occasionali e personali, come shopping o visite mediche (Figura 4). Le percentuali di dipendenza raggiungono anche il 30% nelle prime fasce di comuni periferici.

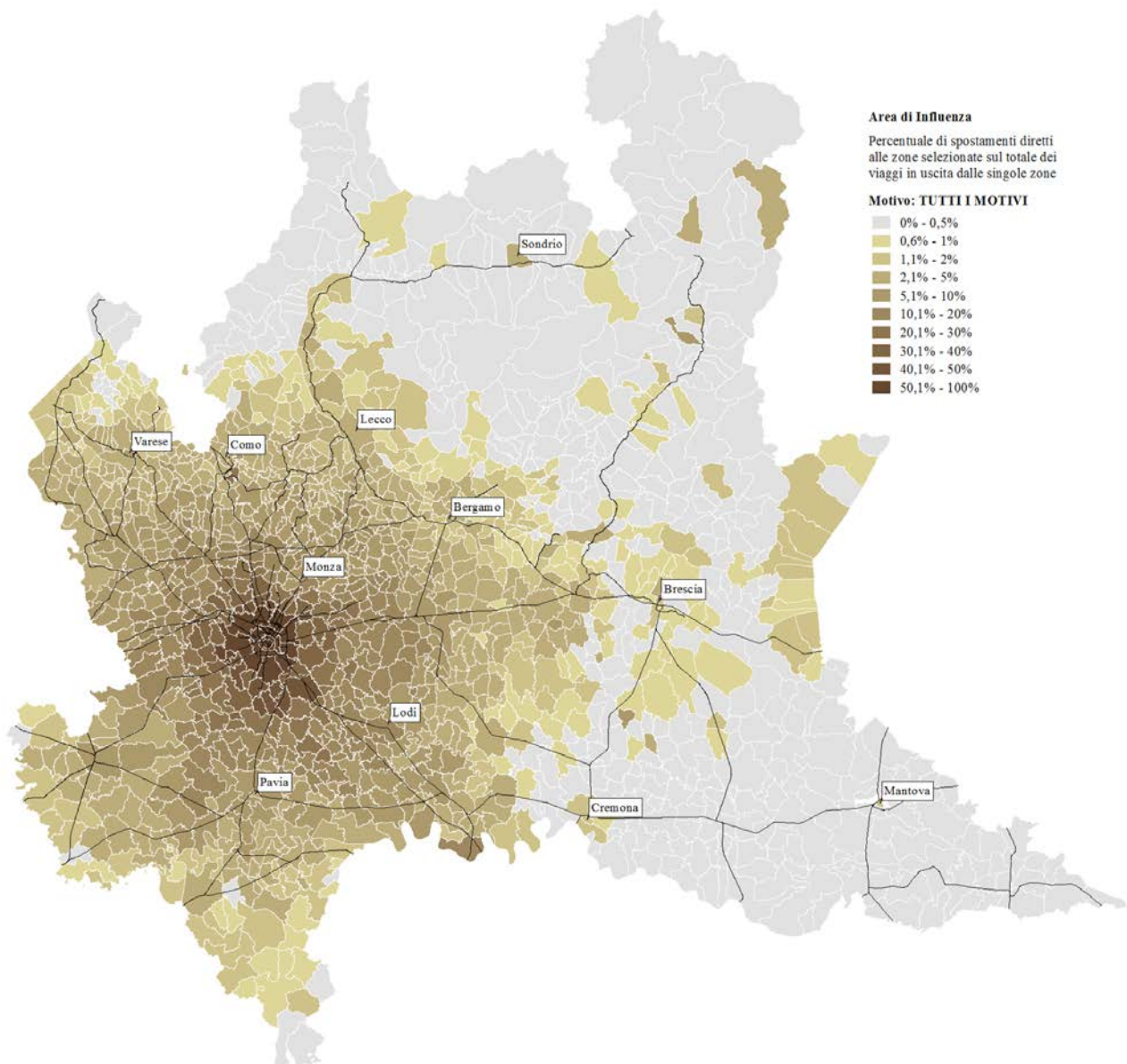


Figura 3. Area di influenza di Milano – frazione spostamenti verso il capoluogo da tutta la regione, per tutti i motivi di spostamento (nostre elaborazioni su OD Regione Lombardia 2014).

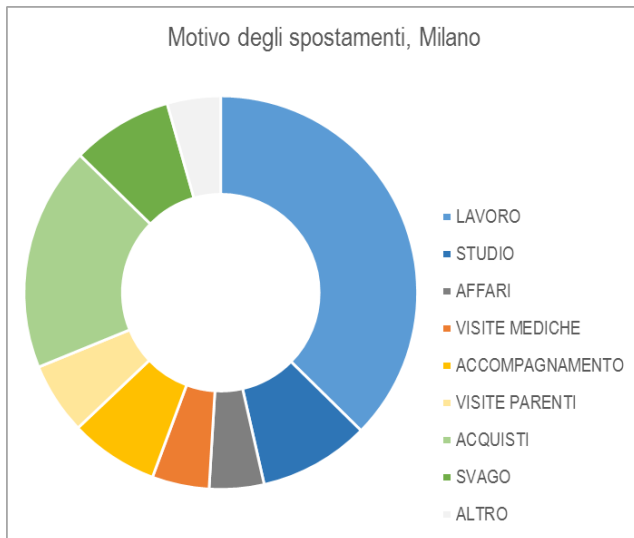


Figura 4. Motivo degli spostamenti entro e verso Milano, 2013. Fonte: nostre elaborazioni su dati PUMS (Comune di Milano, 2018)

Tutto ciò si traduce in flussi di mobilità notevoli, che mettono a dura prova tutte le reti infrastrutturali. Secondo il PUMS (Comune di Milano, 2018), il Comune di Milano era interessato nel 2013 da 5,2 milioni di spostamenti, di cui il 43% attraverso il confine e gli altri interni (Figura 5, sinistra). Per un confronto, il PUMS di Roma (2019), nello stesso anno, stimava in 6 milioni circa gli spostamenti nella capitale (che ha oltre il doppio della popolazione ed è sette volte più grande per superficie), di cui solo il 22% provenienti dall'esterno.

Fortunatamente, e non potrebbe esser altrimenti dati i vincoli fisici della città, una quota importante di questi spostamenti (Figura 5, destra) non avviene in auto (38% contro il 49% della capitale), ma con trasporto pubblico (44%) o in bici e a piedi (13%). Anche il tasso di motorizzazione, che resta altissimo rispetto alla media europea, è inferiore a quello italiano e soprattutto in calo costante almeno dal 1996, raggiungendo un valore di circa 1 auto ogni 2 abitanti (la media italiana è circa 1,4 ogni 2 abitanti).

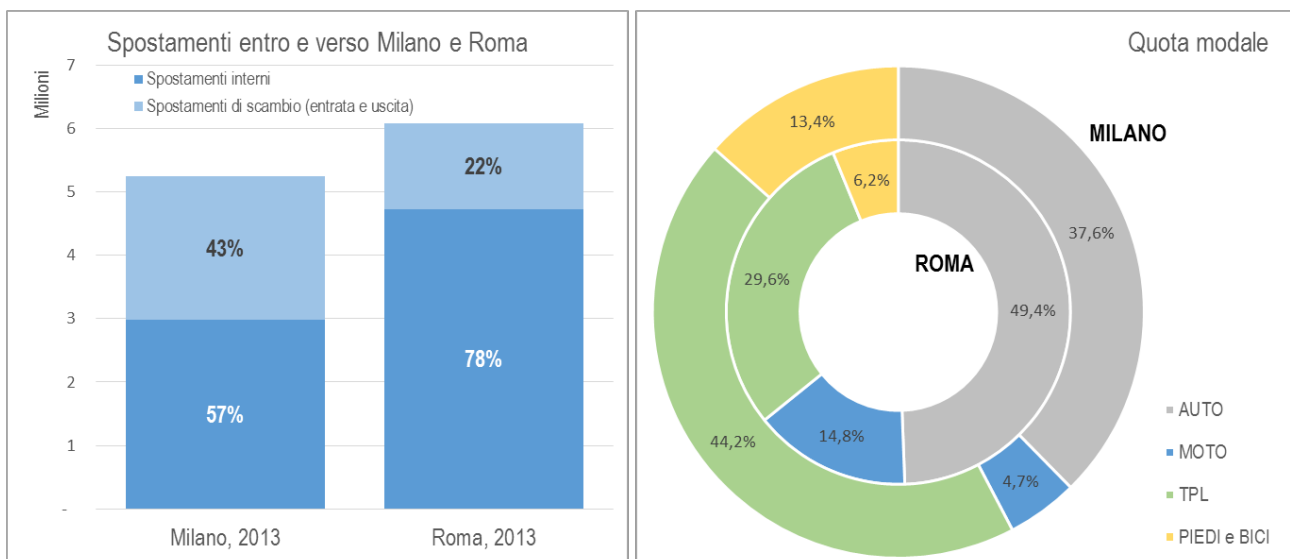


Figura 5. Sx: Totale e suddivisione interni/esterni degli spostamenti a Milano e Roma. Dx: Suddivisione per motivo degli spostamenti a Milano. Fonte: nostre elaborazioni su dati PUMS (Comune di Milano, 2018 e Comune di Roma, 2019).

E' abbastanza evidente attribuire una parte importante della differenza tra quote modali milanesi e romane, oltre che alle politiche di disincentivo dell'auto (regolazione parcheggi, AreaC³, AreaB) e di regolazione degli

³ Per una rassegna dell'esperienza di AreaC si veda Beria et al., 2018

spazi (aree pedonali, zone 30), alla maggiore efficacia del sistema di trasporto pubblico. E, all'interno del trasporto pubblico, molto è reso possibile dall'ottima e ormai molto estesa rete della metropolitana che è l'ossatura portante della mobilità sia interna alla città (insieme al TPL di superficie) che in ingresso (insieme al sistema ferroviario regionale, di cui si parlerà oltre).

Purtroppo non sono disponibili molti dati storici e disaggregati per linea che permettano di raccontare compiutamente il ruolo del *metrò* all'interno del complessivo sistema di TPL milanese (Figura 6). Quello che è noto è che sui 775 milioni di passeggeri trasportati complessivamente da ATM (31/12/2018, fonte Sito ATM) a Milano e nei dintorni, circa 365 utilizzano la metropolitana. In altre parole, circa 1 passeggero su 2 effettua almeno parte dello spostamento con il *metrò*, il che è abbastanza normale dato l'estremo livello di gerarchia della rete milanese. Rapportando i passeggeri all'estensione della rete si ottiene un valore di "densità di utilizzo" di circa 4 milioni di passeggeri all'anno per ogni km. Questo valore è abbastanza costante nel tempo e significa che l'estensione della rete verso aree via via meno dense ed importanti (ad esempio lontane dal centro, storicamente destinazione largamente dominante della mobilità cittadina) è stata bilanciata dall'effetto rete e non ha quindi complessivamente ridotto la densità di utilizzo del sistema.

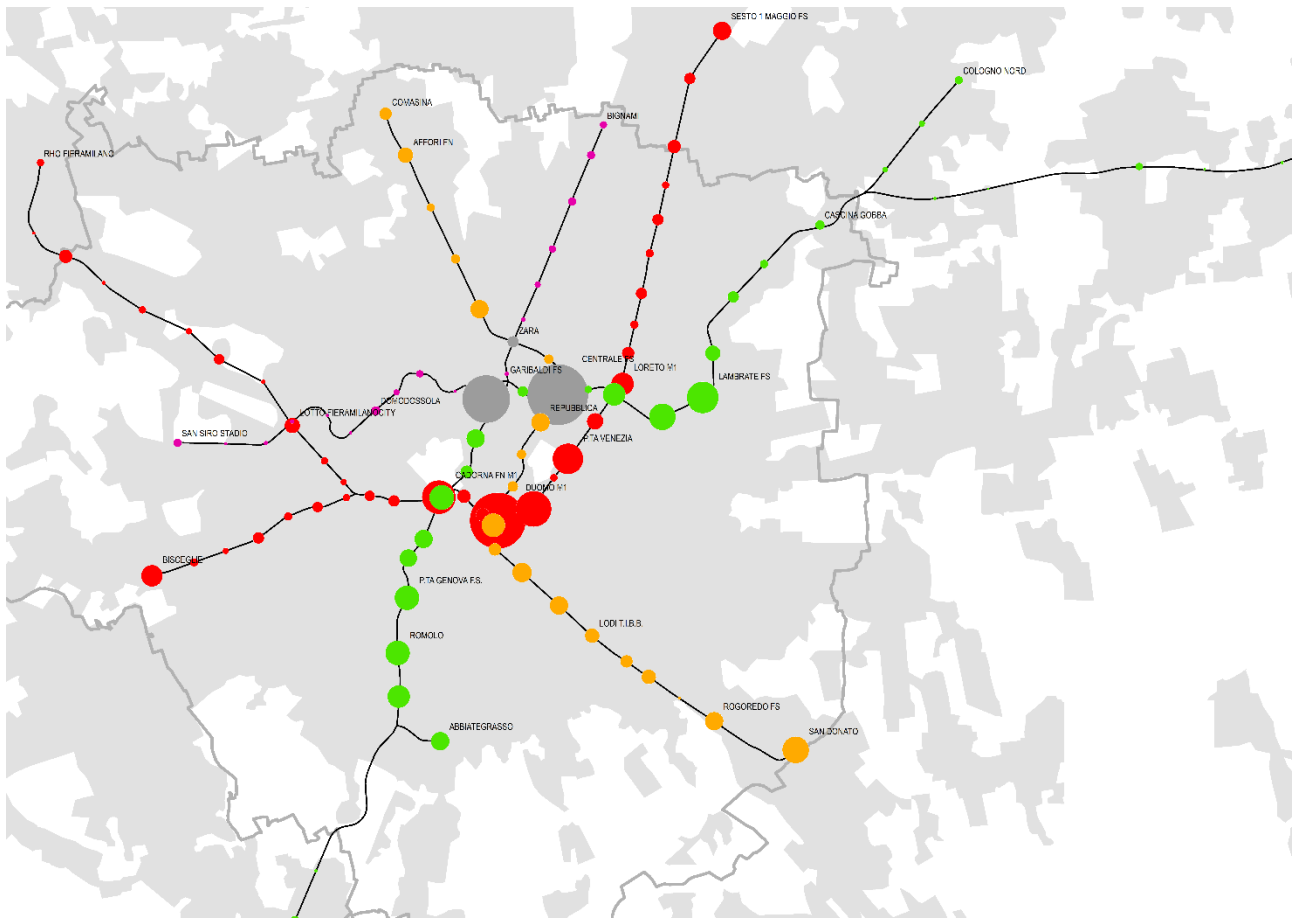


Figura 6. Stima degli ingressi per stazione dall'esterno (tornellati), giorno feriale tipo 2017. M5 presenta valori limitati rispetto a quelli attuali, essendo stata aperta interamente solo due anni prima e non essendo ancora completi in quel momento alcuni grandi interventi urbanistici.

3. L'integrazione

Come si è poc'anzi detto, la metropolitana di Milano è solo una delle componenti del sistema di trasporto urbano. Oltre ad un'estesa rete di bus e tre linee filoviarie, a Milano sono in esercizio anche 19 linee di tram (su 180 km di rete) e 12 linee ferroviarie suburbane cadenzate alla mezz'ora. Di queste ultime, sei percorrono il "Passante Ferroviario", andando a costituire una sorta di "quinta linea" urbana ad alta frequenza.

La rete milanese è caratterizzata, più di altre in Italia, da un livello molto spinto di gerarchizzazione tra modi. Se si escludono gli spostamenti interquartiere, sono pochissimi i viaggi che avvengono interamente attraverso una sola linea. E l'interscambio, quando avviene, non è tra diverse linee di bus, ma tra bus e sistemi di massa, cioè tram e metropolitana e – più recentemente – anche trasporto ferroviario. In un sistema così organizzato, tre sono gli elementi necessari:

- a. Qualità fisica degli interscambi (brevi distanze, protezione, segnaletica, informazione all'utenza, etc.);
- b. Frequenza di passaggio;
- c. Integrazione tariffaria.

Nonostante sia considerato un'eccellenza, il TPL milanese non è certamente perfetto secondo questi tre criteri. Mentre l'ultimo è stato recentemente risolto in maniera convincente, i primi due meritano qualche attenzione.

In termini di qualità degli interscambi, la metropolitana milanese è sempre stata piuttosto felice. Rispetto alle grandi capitali europee, passare da una linea ad un'altra comporta pochi passi e poche rampe di scale. Questo non sarà purtroppo del tutto vero per M4⁴, ma le prime quattro linee non hanno problemi particolari. Gli interscambi di superficie, e soprattutto quelli con il sistema ferroviario ormai sempre più importante ed integrato, presentano invece spesso una qualità architettonica e spaziale insufficiente. Vi sono naturalmente casi virtuosi per prossimità e interconnessioni⁵ (ad esempio Romolo, Rogoredo o Garibaldi), ma anche casi davvero malriusciti. Ad esempio lo scambio tra Lodi TIBB M3 con la stazione di Porta Romana, o l'infelice accesso alla Stazione Centrale, o la lunga distanza tra Rho-Fiera e l'omonima stazione. Per non parlare del Passante, capolavoro dell'ingegneria degli anni '90 che, nei fatti, comporta lunghe e stranianti passeggiate sotterranee, tali da inibire il passeggero occasionale (non il pendolare, che non ha alternativa).

Anche in termini di frequenza il quadro è variegato. Mentre tutta la rete metropolitana lavora su frequenze ormai prossime al limite fisico (2 minuti per M1 e presto anche per M2 e M5) per riuscire a gestire decine di migliaia di passeggeri/ora, vi è stato negli anni un forte impoverimento della rete di superficie, che ora viaggia, anche sulle linee tranviarie di forza, sui 5-8 minuti nella sola ora di punta e 7-10 nel resto della giornata lavorativa. Mentre da una parte questo è ritenuto sostenibile grazie alla sempre maggiore estensione della rete sotterranea, dall'altra impoverisce l'assunto di base di un sistema gerarchico, cioè che il costo di interscambio deve essere minimizzato. Dunque oggi, nella percezione degli utenti, c'è un sistema di adduzione al *metrò* che è ad un livello inferiore di servizio e dunque da evitarsi, se possibile, per l'ultimo miglio.

Infine, dopo molti anni di soluzioni parziali, anche il problema dell'integrazione tariffaria ha trovato soluzione nel 2019, sebbene solo per l'area corrispondente alla città metropolitana. L'integrazione tariffaria a Milano esiste dal 1989, sotto il nome di SITAM. Si trattava di un sistema a spicchi e fasce concentriche, molto Milano-centrico (così come la rete stessa, del resto) e limitato al solo trasporto urbano e provinciale su gomma. Dal sistema era esclusa la ferrovia. Con l'apertura del Passante e l'attivazione delle linee S anche le tratte ferroviarie urbane erano entrate nel biglietto urbano SITAM. Ma effettuare uno spostamento da, poniamo, Monza a Milano richiedeva di scegliere tra due opzioni e due sistemi tariffari: la tariffa ferroviaria (e rispettivo abbonamento) o quella SITAM, che però non permetteva l'accesso al treno. In un sistema sempre più integrato, queste scelte portano a distorsioni evidenti. Oltre a quella della duplicazione dei titoli di viaggio, la più sentita dall'utenza era quella dei limiti dalla tariffa urbana. In pratica, le diramazioni della metropolitana extraurbane risultavano sottoutilizzate per la preferenza degli utenti all'uso dei parcheggi di interscambio e del biglietto urbano. Conseguenza era anche lo scarso interesse degli utenti per i bus extraurbani di

⁴ Gli interscambi tra M4 e le altre linee non saranno brevi e lineari come quelli storici. Addirittura, tra M3 e M4, nonostante le linee si intersechino, non è previsto un collegamento diretto sotterraneo.

⁵ Ma raramente per la qualità architettonica, in realtà.

adduzione al ferro, che necessitavano di un secondo abbonamento. Solo nel 2011 venne introdotto un nuovo sistema, sovrapposto al SITAM, chiamato "lo viaggio" e di origine regionale. Questo sistema è ferro-centrico e sostanzialmente permette di abbinare ad un abbonamento ferroviario anche quello urbano di un capoluogo (o dell'intera regione). Un limite di questo sistema, peraltro apprezzato dall'utenza pendolare, è il fatto che è limitato agli abbonamenti ma non è disponibile per le corse singole⁶.

Nel 2019 il SITAM è stato finalmente superato con un nuovo sistema, detto STIBM, organizzato a fasce (ma non a spicchi) entro le quali è possibile utilizzare ogni sistema di trasporto e ogni compagnia, in maniera libera. Oltre agli abbonamenti, è ora disponibile anche per i titoli singoli. L'urbano di Milano ora comprende anche la prima fascia di comuni e permette quindi di utilizzare le stazioni extraurbane con il biglietto urbano. Non sono ancora disponibili dati sul nuovo sistema, ma è lecito aspettarsi un aumento dei passeggeri dai capolinea esterni, ma anche sul sistema di bus di adduzione.

4. Una misura dell'accessibilità del sistema (PTAL)

E' complesso misurare l'efficacia complessiva di un sistema di trasporto al di là della percezione individuale. Il modo naturale è quello di utilizzare misure di accessibilità, siano esse monodimensionali (es. isocrone di accessibilità) o multidimensionali (es. misure di accessibilità potenziale). Tra le molte definizioni esistenti di accessibilità, una delle più interessanti per il trasporto pubblico è quella cosiddetta del PTAL (*public transport accessibility level*). E' una misura utilizzata soprattutto nel Regno Unito (TfL, 2015) e nasce in origine come misura di supporto a scelte insediative. Non è certamente la più completa, ma è per contro relativamente semplice da quantificare perché non necessita di un modello di trasporto e di una matrice OD dei costi generalizzati.

La misura è relativa ad un luogo specifico (o ad un punto di una griglia) e parte dalla misura del tempo a piedi necessario per raggiungere i punti di accesso dei diversi servizi di trasporto pubblico (es. una fermata). La seconda componente è quella della frequenza di passaggio di ciascuno di essi, che si traduce in un tempo di attesa. Poiché l'indice è la somma degli indici di ciascun modo/linea di trasporto, un valore alto di PTAL può essere dovuto a:

- a. Vicinanza delle fermate/stazioni;
- b. Alta frequenza di passaggio;
- c. Varietà di servizi presso le fermate/stazioni.

Gli elementi non considerati, e presenti solo in più complesse misure di accessibilità, sono invece:

- d. La velocità commerciale dei servizi;
- e. Cosa è raggiungibile con tali servizi;
- f. Qualità (es. affollamento);
- g. Costi di interscambio.

Pur nella sua parzialità, dunque, la misura è capace di dirci quanto un luogo è centrale nella rete TPL e quanto essa è efficace in quel punto. Utilizzando i medesimi criteri e la medesima scala cromatica del documento originale per la città di Londra, è stato calcolato e mappato il PTAL di tutta la rete TPL milanese e della prima fascia di comuni (vedi Figura 7).

⁶ Quindi un viaggiatore occasionale da Mantova a Milano continua a dover acquistare un biglietto ferroviario e l'urbano di Milano.

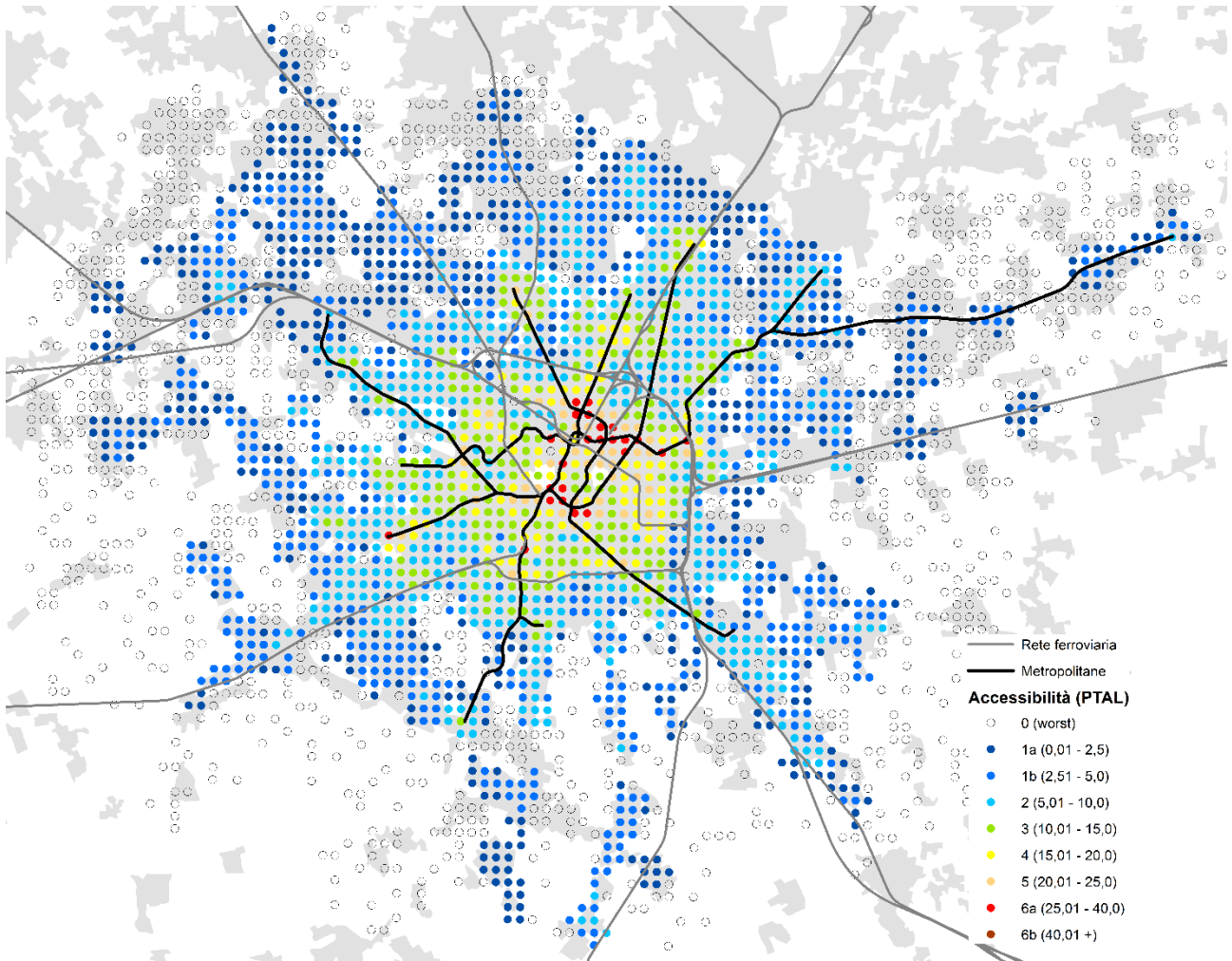


Figura 7. Indice di accessibilità (PTAL). Fonte: elaborazioni da Yao and Beria (2019).

Come si vede, nessun punto di Milano raggiunge il livello 6b (quello del centro di Londra), ma comunque vi sono zone ad altissima accessibilità. In particolare le zone a nord del centro (Zara, Garibaldi, Centrale, Loreto) e il centro vero e proprio (Duomo, Cadorna). Tuttavia, anche il resto della città compatta ha indici alti (oltre 10) e molto omogenei (cioè non vi sono zone mal collegate). In periferia l'indice cala (soprattutto per la minore densità della rete) e iniziano ad evidenziarsi differenze tra i quartieri con la metropolitana o il servizio ferroviario e quartieri serviti solo da bus.⁷ Le zone "bianche" potrebbero non avere servizi TPL o essere serviti da linee extraurbane non ATM.

Nel complesso si può dire che, pur essendovi differenze visibili, non è la metropolitana a fare la differenza in termini di PTAL (in termini di qualità del servizio ovviamente sì) per i quartieri, grazie alla tradizione di alta capillarità del sistema milanese anche in quartieri periferici.

5. I progetti futuri: analisi multiscenario, modelli e valutazioni.

Nel panorama italiano la rete milanese gode certamente di una posizione invidiabile. Ma i problemi della mobilità dell'area (oltre che di inquinamento) hanno sempre posto il tema del trasporto pubblico sempre in alto nella scala degli indirizzi politici. L'ultimo PUMS, e i progetti che da esso sono gemmati, non è certo un'eccezione. Accanto a misure di tipo regolamentare (zone 30, pedonalizzazioni, Area C, Area B, tariffazione

⁷ Sono evidenti alcuni punti non centrali con PTAL 6a. Si tratta sempre di capilinea o di stazioni importanti dove convergono molti bus extraurbani, alzando l'indice.

integrata, etc.) e di miglioramento della rete di superficie (velocizzazione, estensioni varie) il Piano prevede anche importanti investimenti sulla rete di forza, quasi tutti esterni al Comune (Figura 8).

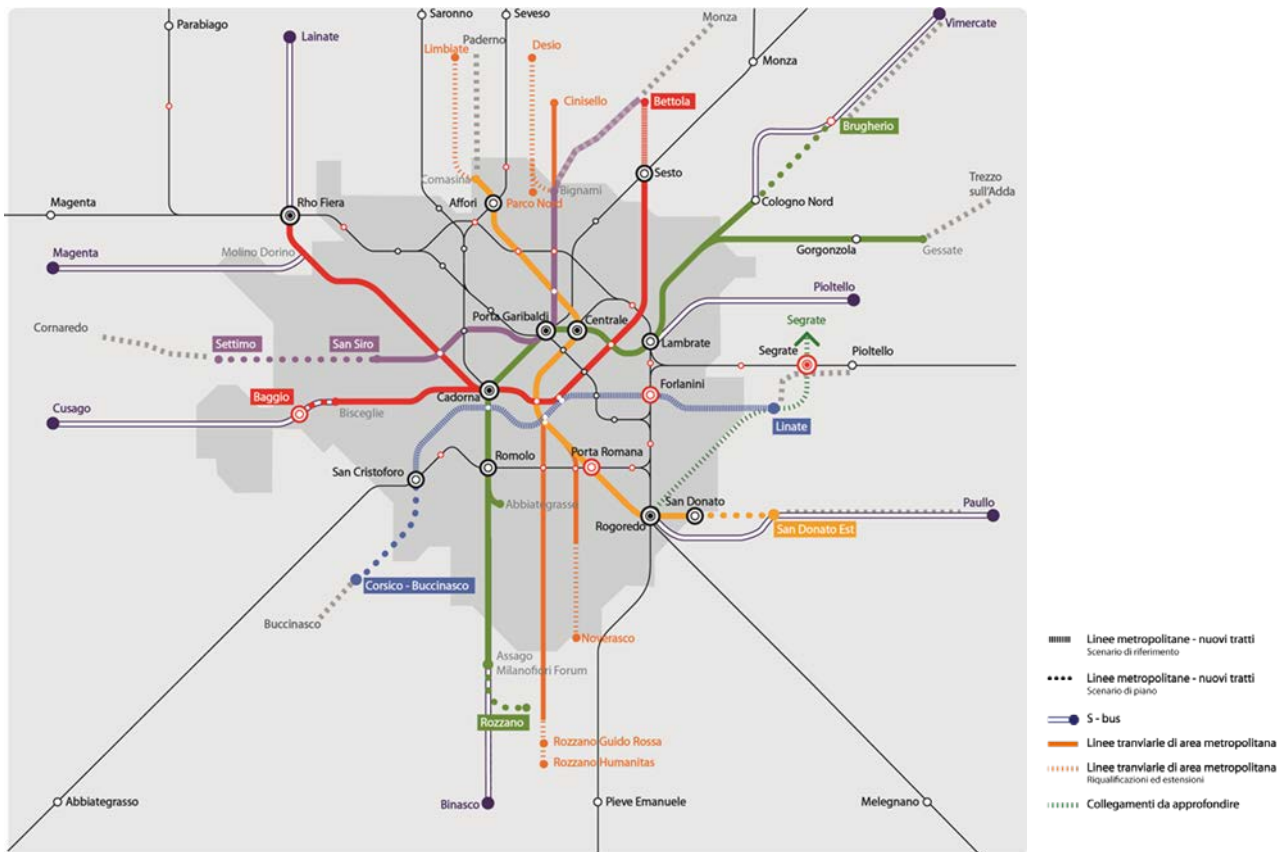


Figura 8. Schema delle estensioni della rete della metropolitana nel PUMS. Fonte: Comune di Milano, 2018.

Rispetto allo stato di fatto, sono via in apertura due importanti infrastrutture: M4 (tra il 2021 e il 2023) e l'estensione di M1 fino al confine di Monza con la creazione di un nuovo parcheggio di interscambio.

Successivamente al Piano sono andati avanti nella progettazione e hanno già ottenuto il finanziamento due ulteriori interventi. Il primo è l'estensione di M5 fino a Monza, per un'estensione di circa 12 km (e quindi pari ad un raddoppio della linea stessa), e l'altra di estensione di M1 a ovest fino al popoloso quartiere di Baggio.

Altri tre progetti, non ancora finanziati, sono in corso di elaborazione e sono ancora più interessanti proprio per le modalità con cui sono stati concepiti. Sia per l'estensione di M2 a Vimercate che di M3 a Paullo – entrambe aree a minore densità abitativa rispetto alla rete storica – sono in corso studi multi-scenario, cioè studi comparativi in cui l'estensione del *metrò* è solo una delle opzioni insieme a tecnologie alternative di minore costo (BRT, tranvia, monorotaia). In tutti i casi il progetto comprende un'Analisi Costi Benefici per la misura dell'efficienza della spesa. E' presumibile che da questi studi risultino come più interessanti soluzioni intermedie per costo e performance, ma comunque capaci di offrire velocità e frequenza comparabili a quelle di un sistema pesante. Infine, il progetto più interessante a parere di chi scrive è quello dell'estensione di M4 da Linate a Segrate. Non è solo un prolungamento, ma comprende anche la creazione di un interscambio TPL/aeroporto/treni REG e AV, tale da generare un effetto-rete e benefici almeno fino al Veneto.

In conclusione, gli ultimi progetti mostrano un evidente cambio di passo rispetto all'impostazione storica del *metrò* milanese, sia perché chiaramente proiettati oltre i confini cittadini, sia perché progettati con una logica di efficienza della spesa e di massimizzazione dell'effetto-rete.

6. Riferimenti bibliografici

Beria, P., Tosi, L., & Nuccio, D. (2018). *Four years of Milan's road charge: effectiveness, acceptability and impacts*. In: Walker J. (2018, eds). *Road Pricing: Technologies, economics and acceptability*. IET

Comune di Milano (2018). *Piano urbano della mobilità sostenibile Milano. Documento di Piano*. Approvazione delibera di Consiglio Comunale n.38. AMAT e Comune di Milano.

Comune di Roma (2019). *Roma - Piano Urbano della Mobilità Sostenibile. Documento PUMS - Volume 1. Quadro conoscitivo ed obiettivi*. Comune di Roma

TfL (2015). *Assessing transport connectivity in London*. Transport For London.

Yao J., Beria P. (2019). *Facing the Public Transport Inequality Problem of Social Housing from Accessibility Perspective*. Mimeo