

Mettere il tpl al centro della sfera urbana

Studio per lo sviluppo di nuove corsie preferenziali a Roma

Agosto 2026

Mettere il TPL al centro della sfera urbana

Studio per lo sviluppo di nuove corsie preferenziali a Roma

Uno dei principali fattori che compromettono l'efficienza del trasporto pubblico di superficie è la condivisione dello spazio stradale con le altre modalità di trasporto e, in particolare, con il traffico veicolare privato. L'elevato utilizzo dell'automobile, favorito da modelli di mobilità fortemente car-dependent, genera infatti significative esternalità negative, prima fra tutte la congestione del traffico urbano, che incide inevitabilmente sulla regolarità e sull'affidabilità del servizio di trasporto pubblico, determinandone un progressivo deterioramento delle performance.

Tra le principali conseguenze si riscontrano ritardi diffusi, coincidenze mancate e una qualità dell'esperienza utente spesso insoddisfacente. Questa condizione produce disagi rilevanti per l'utenza e può tradursi in un maggiore ricorso al mezzo privato, alimentando un circolo vizioso che amplifica le esternalità già associate all'uso estensivo dell'automobile. Allo stesso tempo, tali criticità aggravano le problematiche operative e gestionali che caratterizzano il settore del trasporto pubblico, tra cui la necessità di un maggiore impiego di personale in un contesto e momento storico segnato dalla carenza di autisti, l'aumento dei costi operativi e una minore efficienza nell'utilizzo della flotta.

È alla luce di queste problematiche che, nel presente report, le corsie preferenziali dedicate al trasporto pubblico vengono individuate come uno strumento importante per migliorare l'efficienza della mobilità collettiva e promuovere un modello di mobilità urbana più inclusivo e sostenibile.

Cosa emerge da questo lavoro

Rete e ruolo degli autobus

La rete di trasporto pubblico di superficie copre circa 4.710 km e comprende oltre 367 linee autobus, continuando a svolgere un ruolo centrale nella mobilità quotidiana dell'area metropolitana. Roma è un caso particolarmente significativo perché la rete metropolitana e ferroviaria urbana è ancora sotto dimensionata, rendendo gli autobus l'ossatura principale su molte direttrici.

Principali criticità

La rete di bus è spesso obsoleta e frutto di stratificazioni avvenute nel tempo senza però le necessarie pulizie e riorganizzazioni strutturate. La troppa offerta su un arco, mostra come Roma privilegi l'idea di servire la rete *point to point* invece di favorire gli interscambi. Ciò porta ad una concentrazione delle inefficienze in alcuni corridoi centrali ad alta sovrapposizione di linee e congestione elevata. A questo si aggiungono le interferenze con il traffico privato e colli di bottiglia operativi. Questo genera lunghezza media delle linee fino a 13 km, con percorsi troppo lunghi e con bassa velocità commerciale.

Obiettivi e scenari di miglioramento

Obiettivo PUMS prevede l'incremento della velocità commerciale del TPL del 20% sugli assi portanti.

Tre scenari simulati:

- Conservativo: miglioramento del 9,2% sui tempi di percorrenza

- Realistico: miglioramento del 18% sui tempi
- Obiettivo: miglioramento del 30%

Questi vengono applicati a tre livelli di intervento (Priorità 1, 2, 3) per un totale di 159 km di rete sulla quale è possibile intervenire con gradualità

Accessibilità e bacino di utenza

Scenario finale (Priorità 3): fino a 67 scuole e 84 strutture sanitarie aggiuntive raggiungibili. Bacino potenziale di utenza: da 406.000 abitanti a oltre 773.000 abitanti, intervenendo con azioni sui 159 km individuati.

Diagnostica del deflusso e nodi critici

L'indagine su un totale di 5.685,60 km di tracciato e 15.066,84 km di servizio, ha individuato i segmenti con velocità <15 km/h, che incidono per oltre il 65% dei tempi di percorrenza e coinvolgono 244 linee. I corridoi prioritari coprono il 24,4% della rete ma assorbono il 36,5% del tempo complessivo.

Nella rete individuata nella Priorità 1, nello stato di fatto, il 12,6% della rete, incide per il 18,7% del tempo operativo di tutto il sistema, con una velocità commerciale media di 9,07 km/h.

I nodi strategici sui quali intervenire: Piazza Venezia, Ara Coeli, Via del Plebiscito, Teatro Marcello, Termini, Via Enrico De Nicola, Via del Tritone, Via XX Settembre, Tiburtina.

Prestazioni nei tre scenari

Scenario Conservativo: risparmio 22,38-42,40 ore-

veicolo; velocità commerciale nella rete selezionata va da 13,40-13,60 km/h.

Scenario Realistico: risparmio 33,17-63,26 ore-veicolo; velocità commerciale nella rete selezionata va da 14,20-14,60 km/h.

Scenario Obiettivo: risparmio 47,87-91,70 ore-veicolo; velocità commerciale nella rete selezionata va da 15,66-16,00 km/h.

Migliorare le corsie preferenziali solo nella Priorità 1, può contribuire ad un risparmio sui tempi per il 41-42%

Benefici ambientali

I tratti più congestionati generano circa il 45% delle emissioni complessive. L'introduzione delle corsie preferenziali riduce progressivamente le emissioni di NOx, CO, HC e PM, migliorando qualità dell'aria e sostenibilità. Riduzione percentuale sulle emissioni:

- Idrocarburi (HC): da 4,7% (scenario base) fino a 12,3% (obiettivo)
- Ossidi di Azoto (NOx): da 3,3% fino a 8,8%
- Monossido di Carbonio (CO): da 3,3% fino a 8,7%
- Particolato (PM): da 2,6% fino a 7,3%.

Azioni future

- Revisione del numero delle fermate per aumentare velocità commerciale.
- Revisione dei percorsi della rete TPL, verso un concetto di assi di forza per linee principali.
- Possibile trasformazione di alcuni assi in busvie ad alto livello di servizio, tranvie o metropolitane, basandosi sulle priorità identificate.

Indice

1. INTRODUZIONE	6
2. IL TRASPORTO PUBBLICO DI SUPERFICE: CROCE E DELIZIA	11
2.1. La semplicità del trasporto pubblico su strada	12
2.2. Cosa potrebbe andare storto?	13
3. UNA SOLUZIONE STRATEGICA: LE CORSIE PREFERENZIALI	15
3.1. Perché proprio nuove corsie preferenziali?	16
3.2. Ridership-first vs coverage trap: come approcciarsi (e non) al ridisegno della rete	18
3.3. Riequilibrare lo spazio urbano	20
4. MODELLI INTERNAZIONALI	22
4.1. Partire dai modelli internazionali	23
5. IL CASO STUDIO DI ROMA	31
5.1. Roma <i>wasn't built in a day</i>	32
5.2. Funzionamento della rete autobus	36
5.3. Priorità di intervento	43
5.4. Imparare dai modelli di Eccellenza	54

Indice

6. SIMULAZIONE DEGLI SCENARI	62
6.1. Metodologia	63
6.2. Un bus per ogni esigenza	65
6.3. “Più bus per tutte e tutti”	68
6.4. Il giro di Roma in meno di 100 minuti	69
6.5. Gerarchizzazione degli Interventi	88
6.6. Valutazione del risparmio delle emissioni	96
7. CONCLUSIONI	100
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	105

1. INTRODUZIONE

Perchè questo approfondimento?

Il presente lavoro nasce dall'esigenza di approfondire il ruolo che le corsie preferenziali possono assumere nel miglioramento delle prestazioni del trasporto pubblico urbano in un contesto complesso come quello romano. Considerate come interventi relativamente semplici, flessibili e implementabili anche nel breve periodo, le corsie dedicate al trasporto pubblico rappresentano uno strumento potenzialmente efficace per incrementare l'efficienza operativa del servizio, migliorare l'esperienza dell'utenza e contribuire alla riduzione degli impatti ambientali legati alla mobilità urbana.

L'obiettivo del report è quindi quello di analizzare il potenziale trasformativo di tali interventi sulla rete, evidenziandone gli effetti in termini di velocità, affidabilità e attrattività del trasporto collettivo. Questo è affrontato attraverso l'analisi del caso studio della città di Roma. La città è particolarmente adatta a questo studio poiché la sua rete ferroviaria urbana e metropolitana è ancora sotto dimensionata rispetto alla densità e all'estensione territoriale, rendendo gli autobus un elemento fondamentale dell'ossatura della mobilità su molte direttrici principali. La complessità dei flussi di mobilità che la caratterizzano rende quindi evidente la necessità di un sistema di trasporto efficiente, affidabile e capace di rispondere a una domanda eterogenea, espressa sia dai residenti sia dai numerosi *city users* che quotidianamente attraversano la città.

Lo scopo finale del report è quindi dimostrare che, senza interventi onerosi (come infrastrutture metropolitane o tramviarie), è possibile comunque ottenere benefici nel breve-medio periodo.



Fig.1 - Effetti del traffico motorizzato - Creative commons

Struttura del documento

Il presente report si articola in tre parti principali e si articola in 7 capitoli.

La prima affronta il tema delle corsie preferenziali da un punto di vista teorico, soffermandosi inizialmente sulle principali criticità che caratterizzano il trasporto pubblico di superficie e approfondendo successivamente il potenziale delle corsie dedicate come strumento strategico per il miglioramento del servizio.

La seconda parte è invece dedicata all'analisi di casi studio internazionali che hanno implementato corsie preferenziali o altre azioni finalizzate all'efficientamento del trasporto pubblico di superficie.

La terza e ultima parte si concentra sul caso studio della città di Roma, presentando i risultati delle analisi e delle simulazioni sviluppate nel corso di questo approfondimento.

Per facilitare la lettura e la comprensione del lavoro, il report è strutturato nei seguenti capitoli:

Capitolo 1 - Introduzione

Capitolo 2 - Il trasporto pubblico di superficie: croce e delizia

Il capitolo introduce il tema del trasporto pubblico di superficie, con particolare riferimento al trasporto su gomma. Vengono approfondite le sue potenzialità come sistema di mobilità urbana, evidenziandone la flessibilità

operativa e la relativa semplicità di implementazione e gestione rispetto al ventaglio di modalità di trasporto esistenti. Il capitolo affronta inoltre le principali criticità del settore, con particolare attenzione agli effetti derivanti dalla condivisione dello spazio stradale con il traffico privato e ai conseguenti impatti sulla qualità del servizio.

Capitolo 3 - Le corsie preferenziali come strumento strategico

Il terzo capitolo individua nelle corsie preferenziali uno strumento strategico per il ripensamento della mobilità urbana, approfondendone le caratteristiche operative e i benefici potenziali. Vengono analizzati i vantaggi derivanti dall'introduzione di infrastrutture dedicate e i differenti approcci alla progettazione delle reti di trasporto pubblico su gomma, con particolare riferimento al rapporto tra massima copertura territoriale (*maximum coverage*) e massima attrattività della domanda (*maximum ridership*).

Capitolo 4 - Casi studio internazionali

Questo capitolo analizza alcuni casi studio internazionali particolarmente significativi nel ripensamento delle reti di trasporto pubblico su gomma attraverso l'introduzione di corsie preferenziali e di interventi integrati per l'efficientamento del servizio. In particolare, vengono approfonditi i casi di Barcellona, del distretto del Queens a New York e del progetto di riqualificazione delle fermate autobus di Parigi.

Capitolo 5 - Il caso studio di Roma

Il quinto capitolo presenta il caso studio della città di Roma e le principali analisi di contesto condotte. Viene proposto un excursus storico sul sistema di trasporto pubblico di superficie, con particolare attenzione alla definizione e allo sviluppo delle cosiddette "linee celeri". Il capitolo prosegue con l'analisi degli strumenti di pianificazione della mobilità, tra cui il PUMS di Roma Capitale, che è stato base per l'individuazione di una rete potenziale di corsie preferenziali a sviluppo incrementale.

Capitolo 6 - Simulazione degli scenari

Sulla base della rete individuata, il sesto capitolo presenta i risultati della ricerca attraverso l'applicazione di tre differenti scenari di intervento, elaborati a partire dalla letteratura esistente e finalizzati a simulare differenti livelli di trasformazione della rete di corridoi individuata: scenario conservativo, scenario realistico e scenario obiettivo. L'analisi approfondisce in particolare la variazione delle velocità, la possibile estensione del bacino di utenza servito e la potenziale gerarchizzazione degli interventi mediante l'applicazione di un *benefit score*. Il capitolo si conclude con una valutazione delle variazioni nelle emissioni e delle concentrazioni prodotte nei diversi scenari analizzati.

Capitolo 7 - Conclusioni

Il capitolo dimostra come l'inserimento di corsie preferenziali sia uno strumento trasformativo e importante per la città di Roma. Esso ripercorre e sintetizza i risultati delle analisi condotte nei capitoli sopra citati.

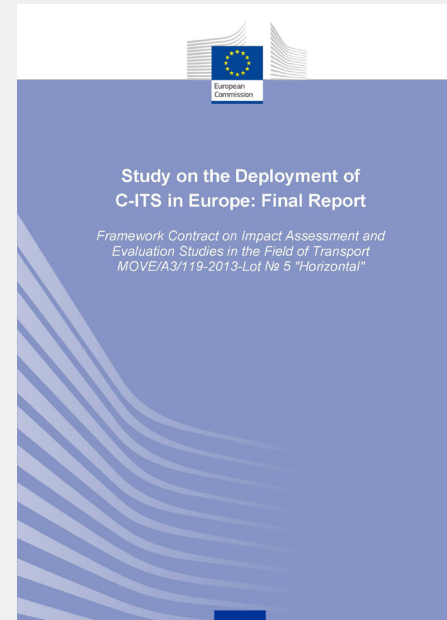
Letteratura di riferimento



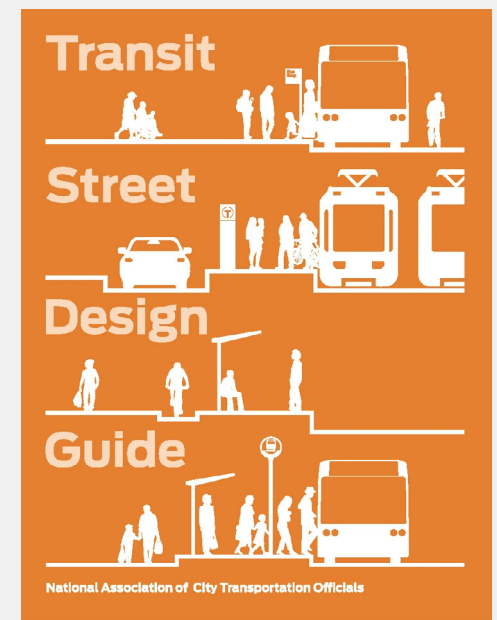
**Pums Roma Capitale
Volume 1 / 2**
Comune di Roma
2025



**Regions Thrive with
Congestion-Free Bus
Networks**
UITP
2025



**Study on the Deployment
of C/ITS in Europe: Final
Report**
European Commission
2016



Transit Street Design Guide
NACTO
2016



Barcelona's New Bus Network

Barcelona City Council and
TMB
2019



MQueens Bus Network Redesign

MTA
2023



Bus priority design guidance

Transport For London
2025

Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome*

Martin W. Adler^a, Federica Liberini^b, Antonio Russo^a, and Jos N. van Ommeren^c
March 4th 2021

Abstract. Buses are the mainstay of public transport systems in many cities but are typically subject to significant delays due to traffic congestion. We examine the welfare effects of providing dedicated bus lanes in the city of Rome, Italy. We demonstrate that a dedicated bus lane reduces bus travel time by at least 15 percent. Our welfare analysis focuses on the situation where mixed road lanes are turned into dedicated bus lanes. We find that bus lanes are undersupplied, despite the additional time costs due to reducing road capacity available to cars.

JEL codes: H23, R41, H76
Keywords: congestion, bus lanes, public transit.

^aUniversity of Bath, email: m.w.adler@bath.ac.uk
^bLoughborough University and CEPR, email: a.russo@lboro.ac.uk
^cDepartment of Spatial Economics, VU University Amsterdam and Tinbergen Institute, email: econo@vrijeuniversiteit.nl
*We thank Rome's Mobility Agency (Agenzia per la Mobilità) and the Italian regulator for public sector utilities (Commissione di Garanzia per gli Servizi) for timely providing data. We would like to thank Alex Jones, Richard Annet, Pierre-Philippe Combes, Gilles Duranton, Dan Jagan, Ismael Khalil, Luis Rizzo, Chris Severens, Ken Small and Erik Verhoef for insightful comments. We are grateful to audiences at UC Irvine, University of Toronto, Newcastle University, London School of Economics, VU Amsterdam, HEC University of Technology, Vienna University of Economics and Business, Institut d'Economia de Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona, Danish Technical University (DTU), Lyon, RWTH Aachen, University of Tokyo, the IFA meeting in Minneapolis, the IFA conference in Lake Tahoe, the International Trade and Urban Economics workshop in St. Petersburg, the Verkehrswissenschaft und -politik Conference in Berlin and the meeting of the Italian Society for Transport Economics. All errors are our responsibility. We acknowledge financial contribution by the European Research Council-ERC program.

Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome

Martin W. Adler , Federica
Liberini, Antonio Russo, and
Jos N. van Ommeren
2021

2. IL TRASPORTO PUBBLICO DI SUPERFICIE: CROCE E DELIZIA

2.1. La semplicità del trasporto pubblico su strada

Con il termine trasporto pubblico si intende l'insieme dei sistemi e dei servizi collettivi destinati al trasporto di persone, caratterizzati da continuità o periodicità, frequenze prestabilite e itinerari definiti (Clean Cities Campaign, 2025). Tra questi rientra il trasporto pubblico di superficie e in particolare quello su gomma, che rappresenta una delle forme più semplici ed efficaci di mobilità collettiva.

La sua diffusione all'interno delle città è legata principalmente a tre fattori: l'economicità rispetto ad altre modalità di trasporto pubblico, come ferrovie e metropolitane sotterranee; la flessibilità operativa, che consente rapide modifiche alla rete e ai percorsi; e la possibilità di modulare il servizio alle esigenze del territorio in termini di orari di servizio e domanda, nei limiti di efficienza del sistema. L'organizzazione del trasporto su gomma si basa inoltre su pochi elementi essenziali che lo rendono un sistema di facile costruzione:

- la **strada**, un'infrastruttura già presente nelle città e la cui manutenzione è garantita attraverso la fiscalità generale;
- le **fermate**, punti della rete generalmente realizzabili con interventi semplici e di costo contenuto che ne determinano la praticità in un eventuale spostamento;

- **gli spazi di deposito**, destinati alla sosta e alla gestione dei veicoli in pausa dal servizio.

Grazie a questi elementi, il trasporto pubblico di superficie presenta una struttura relativamente semplice sia dal punto di vista tecnico, sia da quello operativo che lo rendono di fatto un sistema dalle grandi potenzialità, nonostante l'immagine opaca che spesso ne viene fornita

Oltre alla semplicità organizzativa, nel trasporto pubblico su gomma risiede anche un'elevata capacità di trasporto simultaneo di persone. Infatti, un singolo autobus può trasportare tra 50 e 80 persone (Fig. 2), arrivando anche a numeri di 150 passeggeri in caso di bus da 18 metri. Per questo motivo, esso rappresenta una delle alternative più competitive all'uso del mezzo privato, oltre a risultare più sostenibile sotto il profilo dei consumi e dell'occupazione dello spazio stradale (EEA, 2024; UITPref.).

In questo senso, il trasporto pubblico di superficie su gomma, si costituisce come un sistema di mobilità collettiva dalle alte potenzialità, capace di garantire flessibilità operativa, economicità, copertura territoriale e un significativo contributo agli impatti generati dall'utilizzo di mobilità sostenibile.

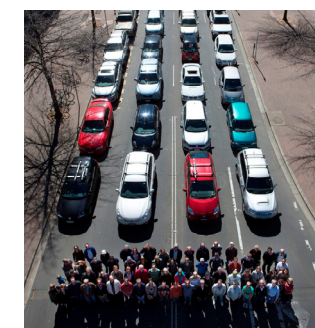
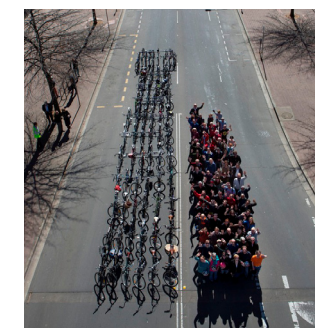
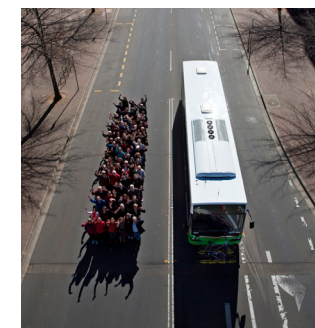


Fig.2 - Passeggeri e mezzi di trasporto a confronto - "The Kirkwood Gadfly"
thekirkwoodgadfly.com

2.2. Cosa potrebbe andare storto?

Criticità, effetti e impatti sul servizio di trasporto pubblico di superficie

Nonostante le peculiarità precedentemente descritte, che rendono il trasporto pubblico su gomma una valida opportunità di spostamento all'interno delle città, esso si confronta con diverse criticità operative. La principale risiede nella necessità di condividere la sua infrastruttura (cioè la strada) con altri veicoli.

Tale condizione, che implica la ripartizione dello spazio con altri veicoli e utenti, di cui principalmente le automobili, ha come conseguenza la compromissione dell'efficienza e la regolarità del servizio di trasporto.

Questa situazione produce effetti diretti sulla qualità del servizio, tra cui ritardi generalizzati, coincidenze mancate e un'esperienza di viaggio spesso insoddisfacente, con il rischio di generare una progressiva disaffezione nei confronti del trasporto pubblico e una conseguente preferenza per il mezzo privato, alimentando così un circolo vizioso di causa-effetto.

Traffico e congestione rappresentano infatti una delle principali cause dei ritardi nei servizi di trasporto di superficie, incidendo negativamente sull'attrattiva del mezzo pubblico (Fig. 3). A ciò si aggiungono spesso ulteriori problematiche, come la presenza di fermate poco accessibili e prive di adeguato comfort climatico, elementi che di fatto scoraggiano l'utilizzo dell'autobus

e incentivano l'uso di altri mezzi di trasporto. Tali criticità contribuiscono progressivamente a una perdita di fiducia nel servizio e a un conseguente, e possibile, cambio modale verso il trasporto individuale.

Le conseguenze relative al traffico e congestione non riguardano soltanto l'utenza, ma anche la gestione operativa delle aziende di trasporto.

Tra gli effetti indiretti più rilevanti vi sono infatti:

- la **necessità di incrementare il numero di turni** e di **personale** necessario a garantire la copertura delle linee, a causa della riduzione della velocità commerciale;
- un **utilizzo meno efficiente della flotta** (poiché il tempo perso nel traffico riduce il numero di corse effettuabili rispetto al potenziale reale dei mezzi);
- e, infine, una **riduzione della frequenza** del servizio dovuta al calo dell'utenza.

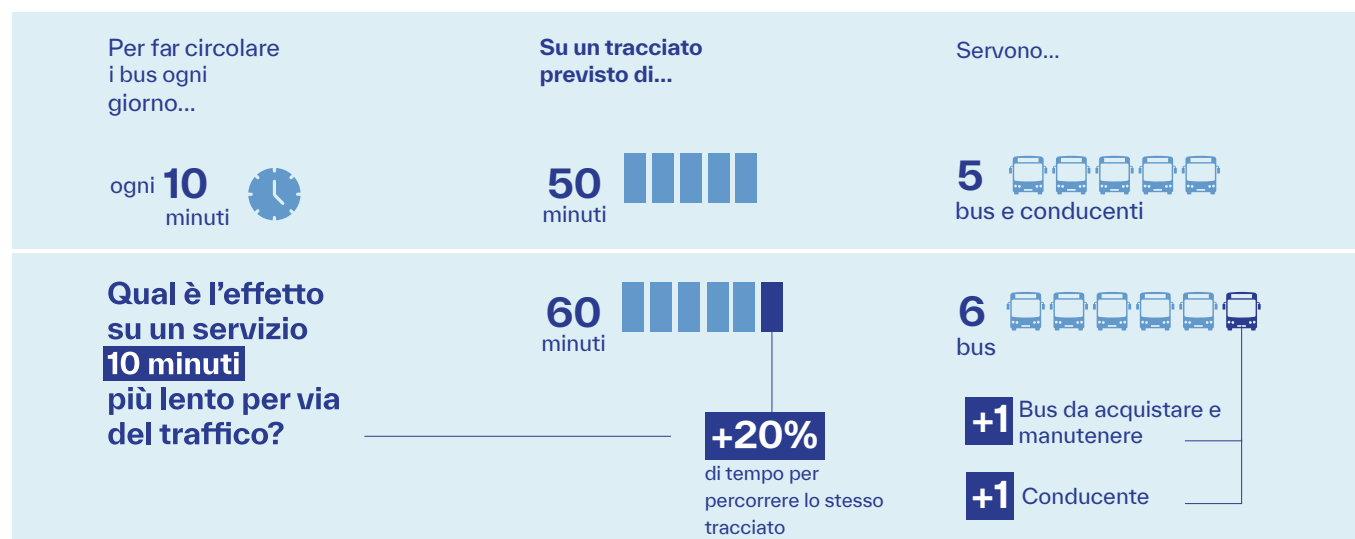


Fig.3 - Effetti del traffico - Regions thrive with congestion-free bus networks - UITP 2025

Questa situazione non è esacerbata dalla crescente difficoltà di reperire personale addetto alla guida dei mezzi, si pensi infatti che in Italia, secondo dati ASSTRA (2025), la carenza di conducenti ha raggiunto circa 8.000 unità e prevede un aumento nei prossimi anni.

In questo contesto, in cui la semplicità e la competitività del servizio di TPL di superficie risultano compromesse, i disagi ricadono spesso sulle fasce di popolazione che, per necessità o per l'impossibilità di utilizzare mezzi alternativi, dipendono maggiormente dal trasporto pubblico per i propri spostamenti quotidiani. Quando il servizio urbano non è adeguatamente finanziato, con frequenze ridotte e infrastrutture incomplete, spostarsi diventa infatti più costoso o addirittura impossibile per una parte crescente della popolazione. (Pendolaria, 2025)

È in questo scenario che si manifesta la *mobility poverty*: famiglie che destinano una quota sempre più elevata del proprio reddito agli spostamenti, lavoratori e studenti che rinunciano a opportunità di lavoro, studio o cura a causa di un servizio non affidabile o poco accessibile. I dati del rapporto Pendolaria 2025 mostrano come la carenza di trasporto pubblico stia diventando un grave fattore di esclusione sociale. Questa condizione viene misurata attraverso il peso della spesa per i trasporti sul bilancio familiare: secondo un report della Commissione

europea, il superamento del 6% indica una situazione di vulnerabilità. In Italia, la spesa media raggiunge il **10,8% del budget mensile** delle famiglie, ben oltre la soglia europea.

3. UNA SOLUZIONE STRATEGICA: LE CORSIE PREFERENZIALI

3.1. Perché proprio nuove corsie preferenziali?

Le difficoltà che interessano il sistema di trasporto pubblico di superficie, unite alla crescente esigenza di rendere il servizio più veloce, efficiente e affidabile, hanno spinto molte città a ripensare la progettazione e la gestione dello spazio stradale. In questo contesto, l'implementazione di corsie preferenziali dedicate al trasporto pubblico si è affermata come una soluzione particolarmente efficace, in grado di migliorare la regolarità del servizio, ridurre i tempi di percorrenza e aumentare l'attrattività del trasporto collettivo.

La congestione all'interno delle città rappresenta una condizione sempre più diffusa e persistente, alimentata anche dalla forte dipendenza dal mezzo privato, spesso percepito come l'unica reale alternativa tra le diverse modalità di spostamento. Tale situazione rende necessario un cambiamento nel modo di concepire la mobilità urbana, non solo per migliorare la qualità della vita delle persone, ma anche per ridurre gli impatti ambientali legati al traffico e contribuire alla salubrità dell'ambiente.

In questa prospettiva, le corsie preferenziali assumono un ruolo strategico, poiché consentono di riattribuire maggiore priorità al trasporto pubblico, incentivandone l'utilizzo e favorendo una progressiva riduzione dell'uso dell'automobile privata.



Fig.4 - Corsie preferenziali a Roma - "RomaToday" www.romatoday.it

Dal punto di vista teorico, come indicato anche nel codice della strada all'articolo 3, le corsie preferenziali sono corsie "di marcia destinata alla circolazione esclusiva di una o solo di alcune categorie di veicoli", dunque implicitamente riservate al transito dei mezzi in servizio

pubblico, collettivo o individuale.

Dal punto di vista operativo, le corsie preferenziali possono essere considerate l'estrema applicazione del principio della separazione delle correnti di traffico, e quindi utili ad evitare punti di congestione della circolazione

per le vetture che la percorrono. Per garantire una migliore regolarità di marcia, ed una maggiore velocità commerciale, è peraltro necessario che i vari tratti di corsia siano per quanto possibile tra loro collegati a formare interi itinerari, e che le intersezioni semaforiche in essi contenute siano regolate con sistemi di priorità al trasporto pubblico (Russo et al, 2022).

Da tempo, pianificatori urbani e decisori politici hanno mostrato un forte interesse per l'efficacia degli interventi di priorità nel migliorare la velocità del trasporto pubblico all'interno del traffico misto. In particolare, la realizzazione di una rete continua di corsie riservate permette di ottenere vantaggi significativi sia per gli utenti del servizio, grazie a tempi di percorrenza più rapidi e regolari, sia per i gestori, attraverso una maggiore efficienza operativa del sistema. In particolare, i mezzi del trasporto pubblico possono mantenere una velocità commerciale più elevata e regolare, risultando meno influenzati dalle variazioni del traffico urbano.

Per i **passenger** ciò comporta tempi di viaggio più contenuti, una maggiore puntualità e un servizio complessivamente più **affidabile**. Dal punto di vista dei **gestori**, invece, l'aumento della velocità commerciale consente di ottimizzare l'impiego delle risorse disponibili, garantendo lo stesso livello di servizio con una gestione

più efficiente. Un autobus, infatti, sarà in grado di completare un intero percorso in meno tempo e quindi di effettuare un numero maggiore di corse utilizzando le stesse risorse, incrementando così la frequenza senza aumentare i costi. Grazie a tutto questo, le città possono scegliere di reinvestire i risparmi operativi ottenuti per affrontare altre priorità (Avenali et al, 2016).

Nel loro insieme, questi benefici contribuiscono a rendere il trasporto pubblico più competitivo e attrattivo rispetto all'uso dell'auto privata: un servizio più rapido e prevedibile può infatti incentivare una parte degli automobilisti a scegliere modalità di spostamento collettive (Göransson e Andersson, 2023), con effetti positivi sulla riduzione della congestione stradale e delle emissioni inquinanti.

Benefici sulla qualità dell'aria

L'introduzione di corsie preferenziali e la creazione di una rete di itinerari riservati al trasporto pubblico comportano vantaggi sia per gli utenti sia per i gestori del servizio. Tuttavia, i benefici di questa strategia non si limitano ai soli soggetti direttamente coinvolti nel sistema di trasporto pubblico, ma si estendono all'intera collettività. Uno degli effetti più rilevanti riguarda infatti la riduzione dell'inquinamento atmosferico prodotto dal traffico veicolare nelle aree urbane.

Un trasporto pubblico più efficiente e regolare, aumenta la propria attrattività rispetto all'automobile privata, favorendo così il possibile trasferimento dell'utenza dal trasporto individuale a quello collettivo. È ormai risaputo che, a parità di servizio reso, il trasporto privato presenta consumi energetici maggiori ed emissioni superiori rispetto al trasporto collettivo (EEA, 2024), in questo senso, un utilizzo maggiore del mezzo pubblico a sfavore di quello privato, potrebbe portare a un risparmio notevole di agenti inquinanti prodotti ed emessi nell'ambiente. A ciò si aggiunge un ulteriore beneficio diretto derivante dall'utilizzo delle corsie preferenziali: la maggiore velocità commerciale e, soprattutto, la maggiore regolarità di marcia dei mezzi pubblici consentono un funzionamento più efficiente dei motori e una riduzione dei consumi di carburante, fattori che incidono in modo significativo sulla quantità di emissioni prodotte dai mezzi lungo la linea.

Infine, soprattutto nelle ore di punta, il trasferimento di una parte degli spostamenti dall'auto privata al trasporto pubblico può contribuire ad attenuare i fenomeni di congestione stradale. Una circolazione meno congestionata comporta infatti condizioni di marcia più regolari anche per il traffico veicolare residuo, riducendo ulteriormente consumi ed emissioni legati alle continue accelerazioni, frenate e rallentamenti tipici del traffico urbano intenso

3.2. Ridership-first vs coverage trap: come approcciarsi (e non) al ridisegno della rete

Per assicurare una circolazione più regolare e, di conseguenza, aumentare le velocità commerciali, è necessario che i diversi tratti di corsia siano tra loro collegati, così da formare percorsi continui e funzionali. In questa prospettiva, diventa centrale interrogarsi su come progettare una rete di corridoi dedicati al trasporto pubblico realmente efficace.

Il punto di partenza è riconoscere che il trasporto pubblico non è un servizio residuale, ma una vera e propria infrastruttura essenziale delle città e dei territori. Progettare il TPL implica affrontare una scelta politica di fondo tra efficienza e copertura: decidere come allocare le risorse pubbliche tra linee ad alta frequenza su corridoi strategici o un servizio più diffuso ma meno rapido è una decisione cruciale a cui molti attori politici tendono a sottrarsi. L'obiettivo è quello di rendere il trasporto pubblico un'alternativa attraente all'auto privata, questo dovrebbe essere progettato per competere in termini di affidabilità e accessibilità, e non semplicemente essere pensato per servire chi non ha alternative.

Tuttavia, molto spesso le agenzie di trasporto non si sono dotate di un obiettivo chiaro e condiviso, finendo per adottare implicitamente una logica di massima copertura territoriale, secondo cui il servizio di trasporto è da garantire “ovunque”, distribuendo così le risorse

in modo il più possibile uniforme.

Questo approccio, pur comprensibile sul piano dell'equità, produce spesso effetti controproducenti. Le risorse, per loro natura limitate (Clean Cities Campaign, 2025), si frammentano su molte linee, comportando l'inevitabile abbattimento delle frequenze a cui segue l'aumento dei tempi di attesa e quindi dei tempi di viaggio. È ciò che viene definito “*coverage trap*”: una rete che cerca di servire ogni area, ma finisce per non servire realmente bene nessuna (Giuffrida et. al., 2021).

Se invece l'obiettivo cambia e le risorse vengono concentrate su alcuni corridoi principali, il risultato è radicalmente diverso: si possono ottenere servizi ad alta frequenza, percorsi più diretti e tempi di attesa ridotti. La frequenza, infatti, è uno dei fattori più determinanti nella qualità percepita del servizio: attese più brevi rendono il sistema più semplice da usare, migliorano le coincidenze e aumentano la competitività complessiva del trasporto pubblico rispetto all'auto privata.

Questo approccio viene spesso definito “*ridership-first*”, perché mira a massimizzare l'utenza rendendo il servizio più attrattivo e performante nei corridoi a maggiore domanda reale e potenziale. In questo quadro, come evidenziato anche nel dibattito internazionale, non esiste

un unico obiettivo “corretto” per il trasporto pubblico: si tratta piuttosto di una scelta tra priorità diverse.

Un sistema orientato al “ridership-first” concentra dunque le risorse sui corridoi più forti, costruendo servizi ad alta frequenza, percorsi diretti e tempi competitivi, anche attraverso infrastrutture dedicate come corsie preferenziali e priorità semaforica. In questo modo il trasporto pubblico può diventare realmente competitivo rispetto all'automobile privata e trasformarsi in una scelta preferibile per una quota crescente di utenti.

Massima copertura

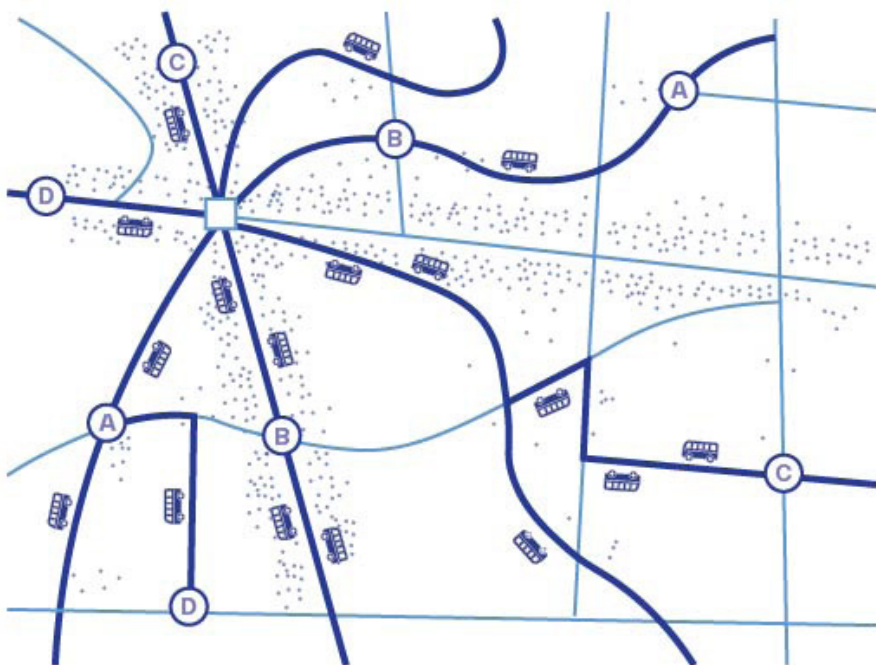
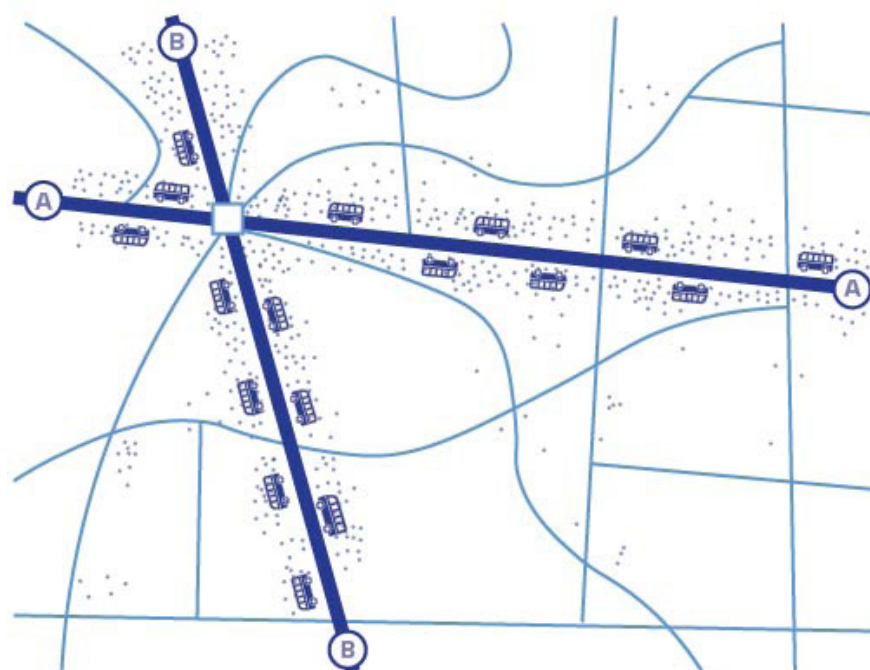


Fig.5 - Massima ridership vs massima copertura - Walker "The Human transit", 2018

I grafici mostrano come le destinazioni (servizi, posti di lavoro e abitazioni), rappresentate dai piccoli punti, tendano a collocarsi lungo alcune strade. Avendo a disposizione una flotta teorica di 17 autobus, il servizio può essere impostato secondo due modalità: prioritizzando la copertura, o massimizzando la ridership. Nel primo caso, i 17 autobus sono distribuiti in modo da coprire ogni strada con una linea. Tutti abitano vicino a una fermata, ma ogni linea ha una frequenza ridotta, quindi i tempi di attesa sono lunghi. Poche persone sono

Massima ridership



disposte ad aspettare così tanto e, di conseguenza, il numero di passeggeri è basso. Nel secondo caso i 17 autobus sono concentrati nelle aree più frequentate, i tempi di attesa per il servizio sono brevi, ma i percorsi a piedi per raggiungere le fermate risultano più lunghi per le persone che vivono nelle aree meno popolate. La frequenza del servizio e il numero di passeggeri sono elevati.

3.3. Riequilibrare lo spazio urbano

L'inserimento di corsie preferenziali all'interno delle città non rappresenta soltanto una strategia efficace per il miglioramento del servizio di trasporto pubblico, ma costituisce anche un'occasione per ripensare l'infrastruttura stradale. Prima dell'affermazione egemonica dell'automobile, le strade urbane erano infatti spazi dedicati prevalentemente alla pedonalità e al transito dei mezzi collettivi, considerati la principale soluzione di mobilità all'interno delle aree urbane (si pensi al marciatram).

Con l'avvento dell'automobile, tali infrastrutture furono progressivamente smantellate per rispondere alle esigenze del traffico motorizzato e, per decenni, la massimizzazione del flusso veicolare e la disponibilità di parcheggi hanno rappresentato gli obiettivi centrali della pianificazione e dell'ingegneria del traffico.

Solo negli ultimi anni si è iniziato a considerare le strade urbane come sistemi complessi, chiamati a garantire sicurezza, produttività e vivibilità per l'intera gamma dei loro utenti. Il crescente interesse per le corsie preferenziali, e in particolare per quelle dedicate agli autobus, può essere compreso anche alla luce di questo significativo cambiamento di paradigma, che interessa sia la gestione sia la progettazione delle strade urbane. In questo senso, la loro introduzione non può essere

considerata una pratica recente, bensì un elemento di **riscoperta utile alla riappropriazione dello spazio oggi occupato dalle automobili.**

L'introduzione di corsie preferenziali nello spazio che implica il ripensamento della strada, da la possibilità di applicazione delle cosiddette “*complete streets*”, definite come:

“strade progettate e gestite per consentire un accesso sicuro a tutti gli utenti [...] persone di tutte le età e capacità possono muoversi in sicurezza lungo e attraverso le strade di una comunità, indipendentemente dal mezzo con cui si spostano” (National Complete Streets Coalition, 2016).

Di fatto, l'introduzione di corsie preferenziali richiede il ridisegno e la riconfigurazione dello spazio stradale, poiché lo spazio disponibile è quello già esistente e vi sono inevitabilmente trade-off da considerare quando si introduce una nuova infrastruttura dedicata al trasporto pubblico (Sukaryavichute e Prytherch, 2018). In quest'ottica, risultano necessari obiettivi condivisi tra i decisori politici sul modo in cui ripensare le città (Möller e Thynell, 2020).

Poiché l'introduzione di corsie preferenziali avviene

spesso attraverso interventi infrastrutturali consistenti, la loro realizzazione può comportare tempi lunghi, tali da scoraggiarne l'adozione come soluzioni strategiche. Negli ultimi anni, tuttavia, si sono diffuse anche forme “tattiche” di implementazione di corsie o fermate dedicate al trasporto pubblico (*tactical transit*) in alcune città. Si tratta di interventi relativamente semplici che, ispirandosi ai principi dell'urbanistica tattica, riconfigurano spazi della carreggiata precedentemente destinati al traffico veicolare privato (come file di parcheggi o corsie di strade a più carreggiate per senso di marcia) a favore del trasporto pubblico collettivo. Questo approccio consente una maggiore flessibilità e un ridotto impiego di risorse, pur garantendo effetti di notevole impatto (Richardson, 2016; NASEM, 2019).

Nel complesso, l'introduzione delle corsie preferenziali rappresenta uno strumento concreto per riequilibrare l'uso dello spazio urbano, contribuendo a una redistribuzione più equa tra trasporto privato e collettivo. Oltre a migliorare l'efficienza del sistema di mobilità pubblica, tali interventi favoriscono un ripensamento più ampio delle priorità urbane, in cui la strada non è più concepita esclusivamente come infrastruttura per il traffico automobilistico, ma come spazio condiviso tra diversi utenti.

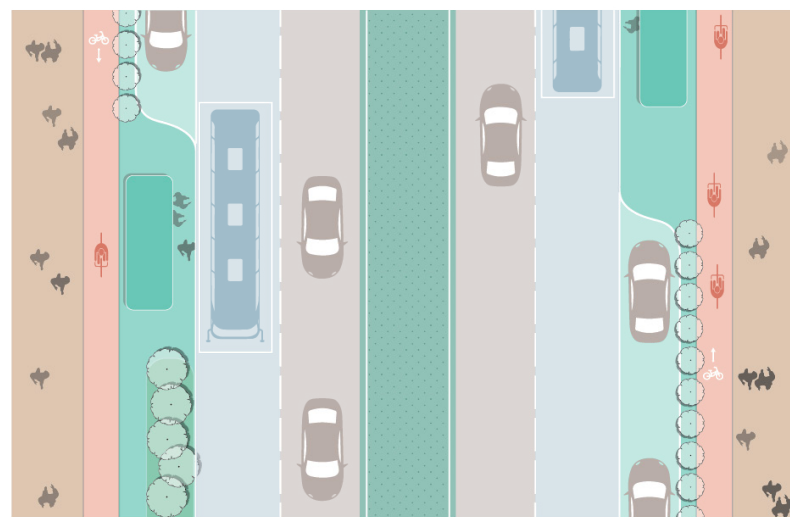
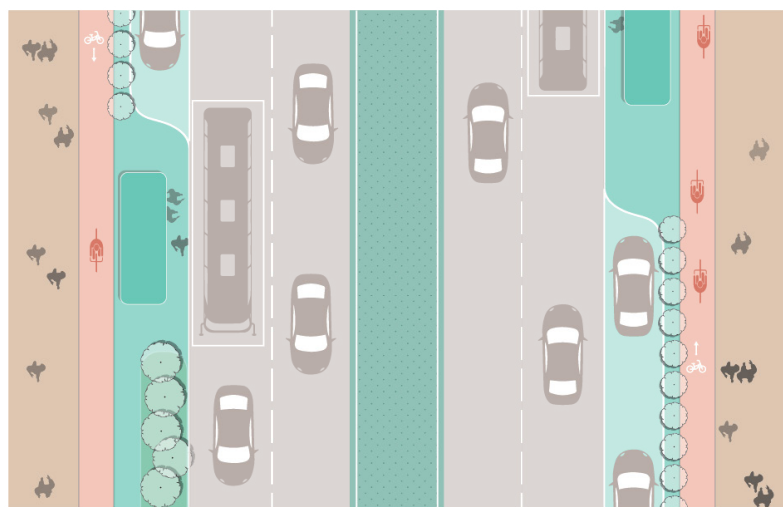


Fig.6 - Equità e riconfigurazione spaziale dello spazio pubblico stradale prima e dopo l'inserimento delle corsie preferenziali

4. MODELLI INTERNAZIONALI

4.1. Partire dai modelli internazionali

La selezione dei casi studio presentati è stata guidata dalla volontà di individuare esempi di trasporto pubblico di superficie che offrano spunti concreti per la definizione di strategie urbane efficaci nel breve e nel lungo periodo. Ogni città analizzata possiede una peculiarità distintiva che ne giustifica l'inclusione:

- Barcellona mostra come la creazione di una griglia ortogonale di linee ad alta frequenza possa aumentare efficienza e chiarezza del servizio;
- Queens -NY evidenzia l'importanza di ridisegnare le linee su gomma per servire le aree scarsamente coperte dalla metropolitana;
- Parigi si concentra sull'accessibilità e sul miglioramento dell'esperienza utente alle fermate;
- il New York Busway dimostra l'impatto immediato di interventi rapidi sulla velocità, affidabilità e inclusione socio-economica;
- il caso TELF di San Francisco mostra come la restituzione dello spazio stradale al trasporto pubblico favorisca il trasferimento modale e la crescita della domanda.

La lettura di queste esperienze internazionali ha permesso di costruire scenari di pianificazione realistici e di definire con precisione gli obiettivi di calcolo proposti in fase di analisi, fornendo una base solida per la progettazione di interventi mirati e sostenibili nel contesto urbano romano.

Una nuova rete per Barcellona - mettere l'affidabilità al centro

Barcellona, capoluogo della Catalogna, è una città caratterizzata dall'imponente «griglia di Cerdà», ovvero un disegno urbano composto da isolati regolari di 113 metri per lato, che hanno guidato la creazione di una maglia regolare di strade. Questo schema ha naturalmente definito e assecondato la costruzione di una rete di trasporto pubblico di superficie a griglia.

Con le stratificazioni avvenute nel passare dei decenni, e con l'aumentare della mobilità privata, la rete bus tradizionale non era più adeguata ai bisogni della metropoli catalana.

Sulla scia di altre trasformazioni urbane in corso, nel 2012 si è quindi presa la decisione di ridisegnare la rete di trasporto pubblico della città, partendo dai seguenti concetti chiave:

- Creare una griglia ortogonale di corridoi TPL ad alta frequenza, caratterizzati da meno fermate e da percorsi il più possibile diretti.
- Rinnovare le fermate e i nodi di interscambio.
- Definire una nuova visual identity, estesa anche al wayfinding ed alla nomenclatura delle stesse linee.
- Costruire corsie preferenziali e corridoi della mobilità, utilizzabili da queste e dalle linee di tpl tradizionali.

Una nuova nomenclatura per la rete:

Per rafforzare la nuova identità della rete, è stato deciso di adottare una nuova nomenclatura delle linee, basata sulla direzione geografica delle stesse. Ad ogni nuova linea è stato associato un codice alfanumerico composto da una lettera ed un numero, numerate progressivamente ed organizzate nel seguente modo:

- Lettera H+numero pari: linea "orizzontale" nord-sud (es: H2, H4 ecc);
- lettera V+numero dispari: linea "verticale" est-ovest (es: V1, V3 ecc);
- lettera D+decina pari: linea "diagonale", non legata ad

alcuna direzione geografica specifica, che permette di mantenere alcune connessioni trasversali alla griglia (linee D20, D40, D50).

Risultati:

I risultati di questa rete hanno premiato la scelta operata da TMB (gestore) e dalla Municipalità di Barcellona.

Nello specifico:

- Il numero di passeggeri è aumentato, superando le 700.000 persone/giorno feriale medio;
- La velocità dei mezzi è aumentata, portando ad una riduzione percepita dei tempi di viaggio per l'utenza

Questi risultati si sono estesi anche alla rete tradizionale, la quale beneficia delle nuove corsie riservate e dei rinnovati nodi di interscambio.



Fig.7 - Mappa della nuova rete bus di Barcellona - "Destino Barcellona", <https://destinobarcellona.com>



Fig.8 - Nuove fermate bus Barcellona - "Barcelona Home", <https://barcelona-home.com>

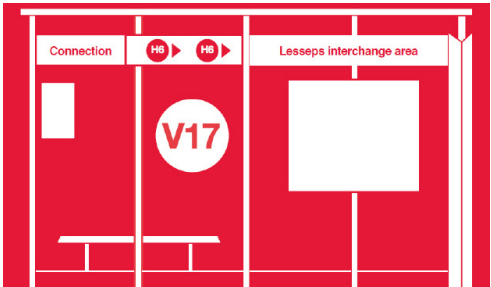


Fig.9 - Schema di una fermata bus a Barcellona - BCC, "Barcelonas new bus network", 2019

Una nuova rete per il Queens-NY. Come rinnovare una rete storica.

La rete dei trasporti pubblici della città di New York non è composta solo dalla nota ed estesa rete metropolitana (New York City Subway), ma anche da un'estesissima rete di linee TPL di superficie, ad oggi tutte operate tramite linee automobilistiche.

Questa rete svolge un ruolo di primaria importanza in quanto, pur essendo una delle reti più estese al mondo, la metropolitana di New York presenta oggi numerose zone in cui mancano dei collegamenti trasversali. Come nel Bronx, dove le linee su ferro sono tutte a servizio della domanda da/per Manhattan, o addirittura di zone in cui il servizio della metropolitana è totalmente assente. Queste zone sono definite dei "deserti del trasporto su ferro" (*transit deserts*), e sono il regno delle linee di superficie.

Uno dei principali *transit desert* è proprio il distretto del Queens, la cui rete metropolitana è divisa in due sezioni di rete ben distinte e separate fra di loro, una situata nel nord del distretto (linee N/W Astoria Local, 7 Flushing Local e E/F/M/R Queens Boulevard Local/Express) ed una nel sud-est del distretto (linee A/C

Fulton Street Express/Local), collegati solo dalla linea metropolitana J/Z Jamaica Local. Altre due linee (G Crosstown e M Myrtle Avenue Local) servono la fascia costiera fra il Queens e Brooklyn (linea G) oppure le aree del Queens a ridosso del confine con Brooklyn. Per tutta la fascia orientale del distretto, e per i collegamenti nord-sud, l'unica forma di trasporto è rappresentata dalle linee su gomma, spesso rimaste ai percorsi delle linee tranviarie e filoviarie soppresse fra gli anni '40 e gli anni '60.

Verso una nuova rete di superficie

A partire dalla fine degli anni 2010, su mandato dall'Amministrazione della città di New York, la Metropolitan Transportation Agency (MTA), responsabile della rete TPL newyorkese, ha iniziato una serie di progetti volti a ridisegnare la rete su gomma della città. I ridisegni si sono svolti in collaborazione con le comunità servite, le amministrazioni dei cinque distretti ed il NYC DOT, il Dipartimento dei Trasporti di New York City, responsabile della gestione dell'infrastruttura stradale.

I focus di questi ridisegni sono stati:

- Un servizio più affidabile
- Offrire un viaggio più veloce all'utenza

- Un miglioramento delle connessioni ferro-gomma e gomma-gomma
- Un servizio più chiaro per l'utenza

Il Piano (*The Queens Bus Network Redesign*)

Il piano finale è stato presentato a Dicembre 2023, e la nuova rete del Queens è stata implementata fra il 2024 ed il 2025. A differenza di Barcellona, il piano non prevedeva la creazione di specifiche linee ad alta frequenza, ma bensì la creazione di corridoi di linee. Tale situazione è dovuta dalla caratterizzazione del TPL del Queens (bassa capillarità della metropolitana, concentrata solo su alcuni assi). Ciò porta ad un'alta propensione dell'uso del bus, specialmente per due tipologie di viaggi:

- Per i viaggi attraverso zone non coperte dal servizio su ferro;
- Per i viaggi di adduzione da e per la rete su ferro.

È quindi impossibile non notare un parallelismo con la situazione romana, dove la rete metropolitana presenta un'estensione limitata e dove il servizio di superficie ha un ruolo primario negli spostamenti.



Fig.10 - La rete metropolitana del Queens a New York - "New York City", NewYorkCity.it

Le due mappe rappresentano rispettivamente la rete metropolitana del Queens e la rete autobus di superficie. Dal confronto emerge il carattere complementare dei due sistemi: la metropolitana serve principalmente alcune direttrici del distretto, mentre la rete autobus garantisce collegamenti più capillari tra i quartieri e le aree non raggiunte dal trasporto su ferro. Il Queens costituisce infatti uno dei principali casi di *transit desert*, dove il trasporto di superficie svolge un ruolo fondamentale nell'integrare la rete metropolitana.

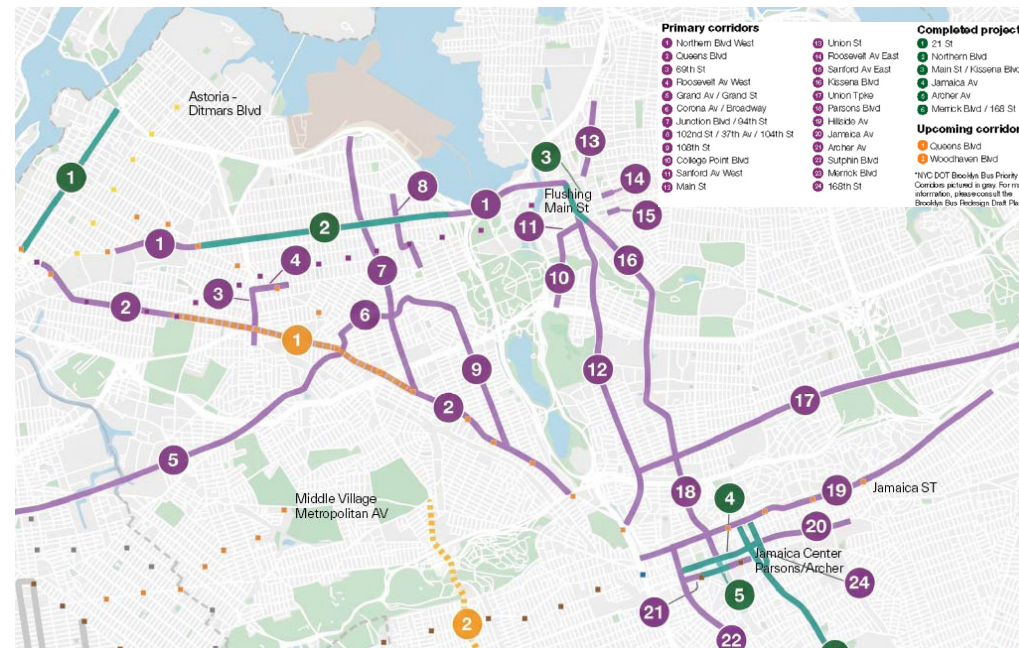


Fig.11 - La rete bus del Queens a New York - MTA New York "Queens Bus Network redesign - Proposed final plan"

Rinnovamento delle fermate bus a Parigi - questione di look ed efficienza

Negli anni 2010, a Parigi è emersa l'esigenza di rinnovare l'immagine del trasporto pubblico di superficie e di migliorarne l'attrattività nei confronti degli utenti. Per perseguire questo obiettivo, *Île-de-France Mobilités*, l'autorità organizzatrice del trasporto pubblico regionale, in collaborazione con RATP (*Régie Autonome des Transports Parisiens*), ha avviato un programma di riqualificazione delle fermate autobus presenti sul territorio cittadino.

Le nuove fermate sono state progettate secondo criteri di accessibilità universale, riconoscibilità nello spazio urbano e miglioramento dell'esperienza dell'utente. Gli interventi hanno previsto l'installazione di strutture più visibili e moderne, dotate di sistemi di informazione in tempo reale, dispositivi per l'accessibilità delle persone con disabilità, porte USB per la ricarica di dispositivi elettronici e spazi dedicati alla sosta dei velocipedi. L'obiettivo dichiarato era quello di trasformare la fermata da semplice punto di attesa a elemento qualificante del servizio di trasporto pubblico.

L'intervento si inserisce in una più ampia strategia di valorizzazione del trasporto pubblico di superficie, fondata

sull'idea che la qualità percepita del servizio dipenda non soltanto dall'offerta di corse e collegamenti, ma anche dall'esperienza complessiva dell'utente durante tutte le fasi del viaggio. In quest'ottica, la fermata assume un ruolo centrale: rappresenta il primo punto di contatto tra cittadino e sistema di trasporto e contribuisce a costruire l'immagine del servizio (Fan et al., 2021).

Le nuove fermate parigine sono state concepite per rendere l'attesa più confortevole, ridurre l'incertezza legata ai tempi di arrivo dei mezzi e facilitare l'accesso al servizio da parte di tutte le categorie di utenti. La presenza di informazioni in tempo reale, una maggiore visibilità nello spazio urbano e l'introduzione di servizi complementari hanno contribuito a rendere il sistema più intuitivo e accogliente, migliorando l'integrazione tra trasporto pubblico e mobilità attiva.

L'esperienza parigina mostra come il rinnovamento delle fermate possa essere utilizzato come strumento di qualificazione del trasporto pubblico, intervenendo contemporaneamente su aspetti funzionali, comunicativi e simbolici. Oltre a migliorare le condizioni di utilizzo del servizio, tali interventi contribuiscono infatti a rafforzare l'identità della rete, aumentarne la riconoscibilità e renderla maggiormente competitiva rispetto ad altre modalità di spostamento.



Fig.12 - Nuove fermate bus a Parigi - creative commons



Fig.13 - Nuove fermate bus a Parigi, sistemi di accessibilità - creative commons

14th Street Busway, New York

In risposta alla crisi pandemica tramite interventi d'urgenza (*quick-build*), a New York è avvenuta la realizzazione di oltre 24 km (15 miglia) di corsie dedicate. Tra questi interventi ricordiamo il caso "14 Mission" in cui su un asse da 46.000 passeggeri al giorno (l'80% a basso reddito), sono stati introdotti 10 km di corsie esclusive (dipinte di rosso per renderle inviolabili), priorità semaforica in ben 50 incroci e aree di attesa protette. Il risultato di tutto ciò sono stati un incremento delle performance e della sicurezza dei tracciati di tpl. In particolare i tempi di percorrenza sono stati ridotti del 31% (nel segmento SoMa, *South of Manhattan*) e l'affidabilità del servizio è aumentata del +25%. Straordinario l'impatto sulla sicurezza, con un crollo del 70% degli incidenti che coinvolgevano i mezzi pubblici.

L'accessibilità ed il conseguente impatto socio-economico è stato favorito dall'aumento delle velocità commerciali del sistema di superficie. La maggiore velocità dei mezzi, ha permesso di includere ben 26.000 nuove sedi di lavoro all'interno di un tempo di viaggio di 30 minuti, cambiando strutturalmente le prospettive economiche degli abitanti.

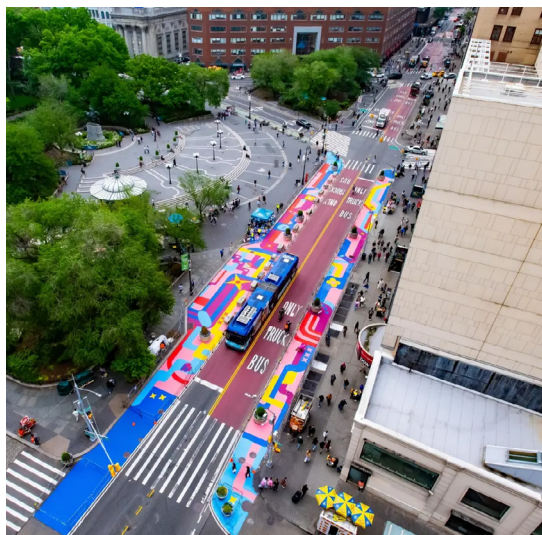


Fig.14 - Immagini Streetbus New York - NYC.gov, 2020

Programma TETL, San Francisco

L'intervento ha previsto l'eliminazione totale del traffico privato da una delle arterie storicamente più congestionate di San Francisco. L'azione definita TETL (*Temporary Emergency Transit Lanes*) ha agito su velocità e conseguentemente tempi di percorrenza. In particolare la velocità commerciale degli autobus è migliorata in un range compreso tra il +24% e il +47%, restituendo ai pendolari fino a 9,7 minuti di tempo per ogni singolo viaggio. La puntualità (*on-time performance*) ha registrato un rapido e netto salto di qualità, passando dal 45% al 68% nel giro di pochissime settimane, aumentando non solo la performance in generale ma soprattutto l'affidabilità del servizio.

Questo ha portato ad una crescita massiccia della domanda, in cui l'aumento dei passeggeri è stato significativo sia nei giorni feriali (+15-24%, raggiungendo la quota di 30.000 utenti medi al giorno), sia nei fine settimana, dove si è registrato un boom superiore al +30%.

Dopo aver restituito lo spazio stradale e la priorità al trasporto collettivo, il trasferimento modale da parte dei cittadini (abbandono dell'auto a favore del mezzo pubblico) è risultato automaticamente significativo.

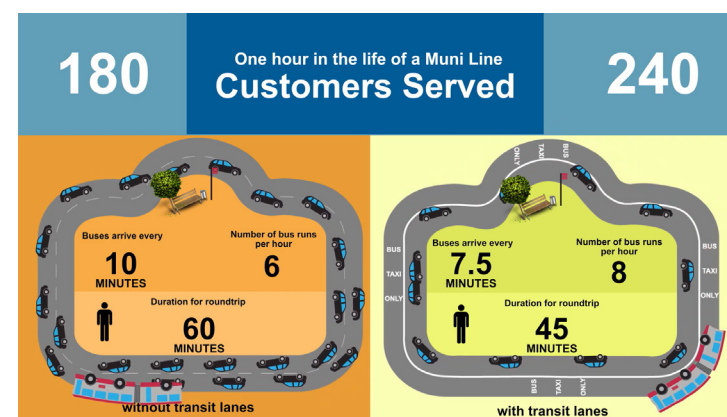
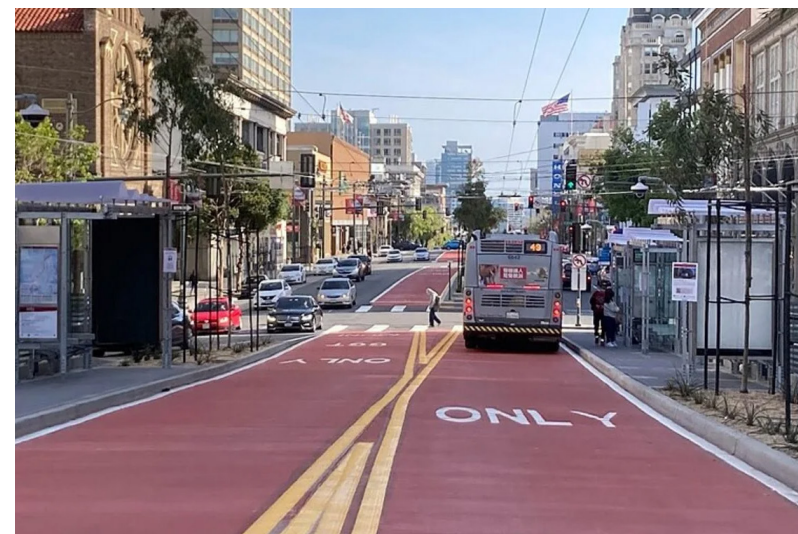


Fig.15 - Immagini Programma TETL San Francisco - smfta.com, 2021

Tabella Riassuntiva

Città	Peculiarità	Interventi Chiave	Risultati e impatti
Barcellona	Griglia urbana regolare che favorisce la rete TPL	Ridisegno della rete bus con corridoi ad alta frequenza, rinnovamento fermate e nodi, nuova nomenclatura e identità visiva, corsie preferenziali.	+700.000 passeggeri/giorno, aumento velocità mezzi, benefici estesi alla rete tradizionale
New York (Queens)	“Transit deserts” con limitata copertura metropolitana	Riorganizzazione linee su gomma, collaborazione con comunità e NYC DOT, creazione di corridoi di linee	Servizio più affidabile e veloce, migliori connessioni ferro-gomma, servizio più chiaro per l’utenza
Parigi	Necessità di rinnovare l’immagine delle fermate autobus	Nuove fermate accessibili, ben visibili, con informazioni in tempo reale e amenities (porte USB, sosta bici)	Migliore esperienza utente, maggiore accessibilità e comfort
New York – 14th St Busway	Intervento rapido in risposta alla crisi pandemica	Realizzazione di corsie dedicate (<i>quick-build</i>), priorità semaforica, aree di attesa protette	Tempi di percorrenza ridotti del 31%, affidabilità +25%, sicurezza +70%, 26.000 nuove opportunità di lavoro entro 30 minuti
San Francisco (TETL)	Eliminazione del traffico privato su arteria congestionata	Assegnazione totale dello spazio alla mobilità pubblica	Velocità +24-47%, puntualità 45→68%, aumento passeggeri +15-24% feriali, +30% weekend, significativo trasferimento modale dall’auto al TPL

Tab.1 Tabella Riassuntiva Benchmarking

5. IL CASO STUDIO DI ROMA

5.1. Roma wasn't built in a day

5.1.1. L'evoluzione del trasporto pubblico a Roma

Come tutte le grandi città e capitali europee del periodo, anche a Roma, verso la fine dell'Ottocento, è stato introdotto il tram, dapprima con trazione animale, e poi con trazione elettrica.

La rete tranviaria di Roma ha rappresentato la prima vera rete di trasporto pubblico moderna per la Capitale, continuando a crescere a dismisura nei primi decenni del 20° secolo, sotto la spinta di due compagnie, una di proprietà municipale (AATG), ed una interamente privata (SRTG).

Questa repentina crescita ha fatto sì che, al principio degli anni '20, la rete si presentasse come un insieme disordinato di linee, con tratti eccessivamente carichi, come ad esempio presso la stazione tranviaria di Piazza Venezia.

Un primo tentativo di riforma della rete

Sotto la spinta delle necessità, e delle motivazioni politiche del tempo, si decise di operare una riforma radicale della rete, passata alla storia come la Riforma Tranviaria del 1930, entrata in vigore il 1° Gennaio dello stesso anno.

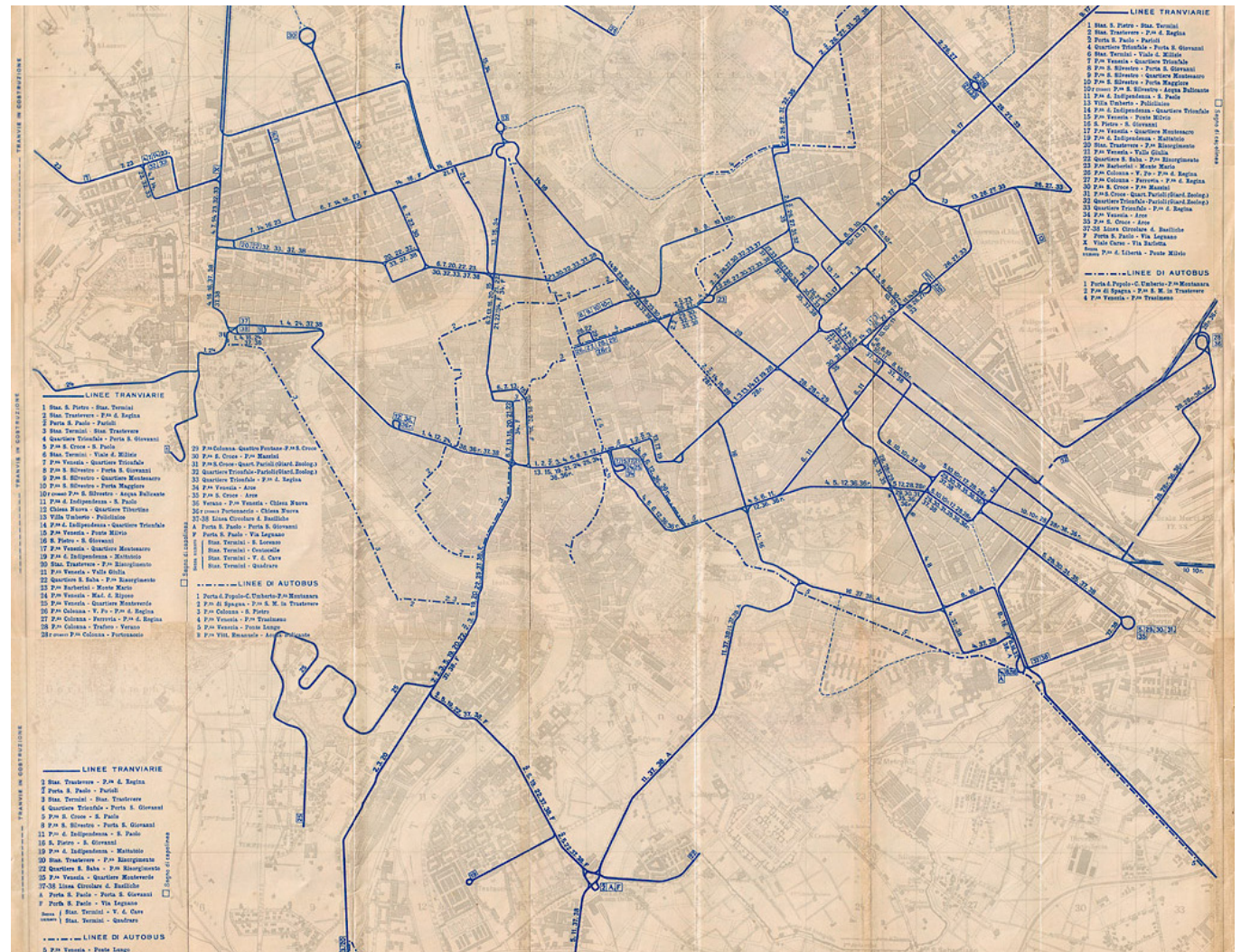


Fig.16 - Rete autobus e tranviaria a Roma 1925 - "Stagniweb" stagniweb.it

La riforma prevedeva:

- eliminazione del transito tranviario all'interno del centro storico, con la scomparsa di alcuni assi diametrali importanti, le linee afferenti a Piazza del Popolo e le linee su Corso Vittorio Emanuele II e Via Nazionale;
- l'istituzione di due linee circolari, denominate Circolare Nera (linee CS e CD) e Circolare Rossa (linee ES e ED), presso i cui nodi vengono attestate le linee tranviarie, divenute tutte radiali, numerate 1-37 in base al quartiere di destinazione;
- l'istituzione di linee automobilistiche prima, e filoviarie poi, limitate al solo percorso interno al centro storico fra due nodi lungo la Circolare Nera e denominate da due lettere, rappresentanti i nomi dei nodi serviti (es: linea FR - linea collegante il nodo Flaminio F con il nodo Bocca della Verità R).

Tale riforma, nel medio periodo, si rivelò poco pratica, tant'è che già verso la fine degli anni '30 molte linee bus interne al centro storico, ora divenute filoviarie, avevano esteso il loro servizio ben oltre i nodi originari, riproponendo di fatto il servizio delle linee tranviarie diametrali soppresse con la riforma del 1930.

Le revisioni del Dopoguerra: la rete degli anni Cinquanta

Con la fine delle ostilità e la graduale ricostruzione del paese, verso l'inizio degli anni '50 si ha una successiva riforma della rete, volta a semplificare la rete ed a estenderla verso i quartieri di nuova realizzazione.

Gli anni '50 sono l'ultimo grande periodo per la rete tranviaria e per quella filoviaria, dato che le modifiche alla rete stradale imposte dalle Olimpiadi del 1960 comporteranno una serie di chiusure di numerosi pezzi di rete, in quanto non più adeguati a nuovi sensi di circolazione o ad opere previste per l'evento. Guardando la mappa ATAC del 1955, è possibile notare come la componente principale sia rappresentata dalle linee tranviarie (in rosso) e dalle linee filoviarie (in blu, numeri dal 31 al 75).

Gli anni Cinquanta sono anche il momento in cui l'ATAC adotta un sistema di numerazione chiaro e razionale, nel quale le linee ordinarie assumono una numerazione chiara ad una o due cifre:

- linee tranviarie: numeri da 1 a 28, più le due circolari CS/CD e ES/ED;
- linee filoviarie: numeri da 31 a 79;

- linee automobilistiche: numeri da 80 a 99

- le linee periferiche, indipendentemente dal tipo di mezzo che le esercita, assumono una numerazione a tre cifre, secondo il sistema "numero linea di origine + 100". Ad esempio, una linea periferica originante dalla linea 15 sarà la linea 115; una seconda linea periferica originante dalla linea 15 sarà la linea 215 e così via

L'istituzione delle Linee Celeri

Nel 1948 l'ATAC avvia l'istituzione di alcune linee di autobus, dette celeri per via del loro ridotto numero di fermate intermedie. Ben presto, con l'aumentare del traffico romano, e data l'assenza di qualsivoglia tipologia di corsia riservata, queste linee, a tariffa maggiorata, si troveranno ad essere sempre meno celeri, non offrendo alcun vantaggio competitivo rispetto alle linee ordinarie. Nel sistema del 1955, queste linee assumono come denominazione una lettera singola (es: A-B-C ecc).

Dagli anni '60 ad oggi, una rete in balia dell'entropia

Superato il periodo olimpico, la rete TPL romana ha attraversato un periodo di scelte contrastanti, dovute a continui cambi di decisioni.

Negli anni '60 si riprende in mano il discorso relativo all'espansione della rete metropolitana, la cui prima tratta, da Termini all'EUR, è entrata in funzione nel 1955 (attuale linea B/B1). Iniziano i lavori per la linea A, che saranno afflitti da continui ritardi, fino all'inaugurazione della linea nel 1980. Tale esperienza fa sì che l'ATAC si trovi sempre più costretta ad espandere la rete automobilistica, anche a causa della soppressione totale di quella filoviaria e della quasi eliminazione di quella tramviaria, della quale, all'inizio degli anni '70, rimaneva nulla più di un pugno di linee, concentrate sulla ex Circolare Rossa e sull'asse della Prenestina (linee 12-13-14-30, ex ED).

Sempre negli anni '70, l'ATAC adotta un nuovo sistema di denominazione delle linee, basato sul criterio origine-destinazione, il quale divide la città in nove quadranti all'interno del GRA (Grande Raccordo Anulare), numerati da 1 a 9, contrassegnando l'area esterna ad esso col numero 0. Una linea che va dal quadrante 5 al quadrante 2 sarà quindi denominata 52x o 25x, dove "x" è un numero progressivo da 1 a 9; una linea da Ostia al quadrante 8 sarà la linea 08x o 80x, mentre una linea interna ad un quadrante sarà una linea "11x", se nel quadrante 1, o "0x" se nel quadrante esterno.

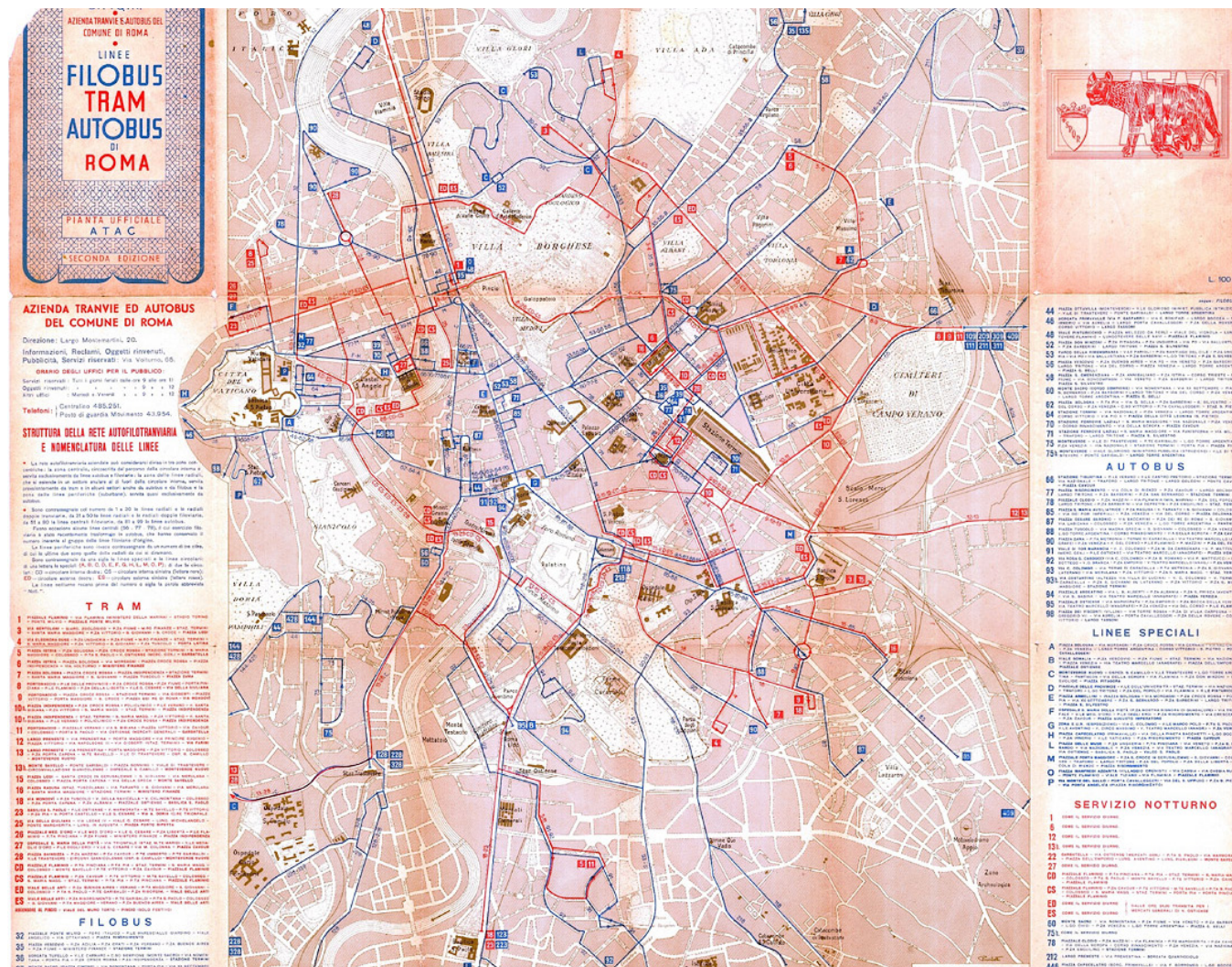


Fig.17 - Rete autobus e tranviaria a Roma 1955 - "Stagniweb" stagniweb.it

La rete oggi

La rete TPL romana oggi vede una prevalenza netta del mezzo su gomma, per i motivi storici anzidetti. Si è però registrata una timida rinascita del mezzo tranviario, con il rinnovamento della linea verso Casaletto (attuale linea 8) e l'apertura di quella verso Piazzale Mancini (linea 2) nel 1990. Sono inoltre in corso i lavori per l'estensione delle linee verso la stazione Tiburtina e per il primo lotto della tranvia sulla Togliatti, mentre verso il 2027 è previsto l'avvio dei lavori per la conversione della ferrovia Termini - Centocelle in tranvia.

A livello di rete metropolitana, è stata inaugurata, dopo lunghi anni di lavori, la Linea C, che collega Colosseo con Pantano, servendo l'asse della Casilina.

La rete di bus è spesso obsoleta e frutto di stratificazioni avvenute nel tempo senza però le necessarie pulizie e riorganizzazioni strutturate. Quello che si verifica è che c'è troppa offerta su un arco, poichè verosimilmente si privilegia l'idea di servire la rete *point to point* invece di favorire gli interscambi.

Servizio express

A partire dalla fine degli anni '90, sono state istituite

delle linee bus definite «express», caratterizzate da un numero minore di fermate.

Lo schema di numerazione iniziale era il seguente:

- Linee x0, ovvero linee express «ordinarie»
- Linee 1x0F, ovvero linee express festive

Con il passare del tempo, tale sistema non è stato sempre rispettato, come si vede nel caso delle linee 51 e 91, o della linea 70, la quale, pur avendo una numerazione da linea express, è una linea urbana ordinaria a tutti gli effetti.

Linee Express ordinarie

- 20 Anagnina – Cambellotti
- 30 Laurentina – Clodio
- 40 Circolare su Roma Termini FS-MA-MB
- 51 Circolare su San Giovanni MA-MC
- 60 Piazza Venezia – Largo Pugliese
- 80 Porta di Roma – Piazza Venezia
- 90 Largo Labia – Termini FS-MA-MB

- 91 Circolare su Battistini/Soria MA

Linee Express festive

- 120F Recanati – Villa Borghese/Washington
- 150F Tonino Bello – Villa Borghese/Washington
- 180F Mazzacurati – Dalla Chiesa
- 190F Piazza Venezia – Mombasiglio

5.2. Funzionamento della rete autobus

5.2.1. Contesto e Criticità del Sistema Attuale - Analisi degli strumenti di pianificazione (PUMS)

Il trasporto di superficie dell'area metropolitana di Roma presenta attualmente prestazioni compromesse, causate dall'elevato livello di promiscuità con il traffico veicolare privato. L'assenza di un'infrastruttura metropolitana adeguata ha costretto la rete su gomma (estesa per 4.710 km su 367 linee) a operare come sistema di trasporto di massa. Questo dato restituisce una lunghezza media per singola linea di quasi 13 km, evidenziando una struttura di percorsi spesso eccessivamente lunghi, tortuosi e vulnerabili alle micro-perturbazioni del traffico. Il principale indicatore di tale inefficienza è la bassa velocità commerciale dei mezzi.

Obiettivi strategici e metodologia di intervento

Per superare queste criticità, il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) fissa l'obiettivo macro-strategico di incrementare la velocità commerciale della rete portante a un valore non inferiore al 20% di quella attuale. A tal fine, è indispensabile la realizzazione di oltre 100 chilometri aggiuntivi di corsie preferenziali protette. L'individuazione delle arterie da convertire non è casuale, ma si basa su algoritmi di selezione spaziale che privilegiano:

- **tracciati con elevato transito cumulato di veicoli del Trasporto Pubblico Locale (TPL) all'ora;**

- **arterie che presentano coefficienti di saturazione critica del traffico misto**

intervenendo miratamente dove il ritardo accumulato dal mezzo è sproporzionato.

Soluzioni progettuali

Al fine di limitare l'impatto sulla viabilità generale massimizzando il rendimento per il trasporto pubblico, il piano adotta i seguenti criteri ingegneristici innovativi:

- **Corsie di attestamento e protezione agli incroci:** Creazione di tratte preferenziali brevissime in prossimità delle intersezioni semaforizzate per consentire agli autobus di bypassare le code e raggiungere la testa della linea di arresto.
- **Flessibilità temporale e monodirezionalità:** Progettazione di corridoi preferenziali attivi solo nella direzione di massimo carico pendolare o limitatamente alle fasce orarie di punta (*peak hours*). Nei momenti di morbida, lo spazio viene riconvertito per la sosta o il carico/scarico merci.
- **Sgombro della viabilità principale:** Trasferimento sistematico della sosta laterale verso strade secondarie per restituire le grandi arterie alla loro funzione di scorrimento.

Impatto sui Costi Operativi (OPEX) e sull'Efficienza

La creazione di corsie riservate genera un abbattimento esponenziale dei costi operativi (OPEX) grazie alla "liberazione" del parco mezzi.

A parità di passeggeri trasportati, un autobus che riduce il proprio tempo di giro (*round-trip time*) grazie all'assenza di congestione, può erogare lo stesso numero di corse con meno veicoli, oppure prevedere un maggior numero di corse nell'unità di tempo.

La diminuzione delle soste improvvise causate da ingorghi riduce drasticamente i guasti meccanici, ottimizza l'impiego del personale conducente e migliora l'efficienza dei costi complessiva delle aziende gestrici.

Integrazione Tecnologica (ITS) e Asservimento Semaforico

Tracciare una linea gialla sull'asfalto è inutile senza un controllo capillare e un'infrastruttura intelligente a supporto. La strategia d'azione del PUMS integra l'infrastruttura fisica e richiede il supporto indispensabile dei Sistemi di Trasporto Intelligenti (ITS) per garantire efficacia operativa. Le misure prevedono:

- **Sanzionamento automatico:** Una moltiplicazione radicale dei varchi elettronici per azzerare l'invasione indebita delle corsie preferenziali da parte del traffico privato.
- **Priorità semaforica intelligente:** Il target fissato al 2025 puntava ad applicare l'asservimento semaforico sul 50% della rete portante. I sistemi AVM/AVL a bordo trasmettono la posizione GPS alla centrale, che dialoga con i controller semaforici per prolungare la fase di "verde" in avvicinamento o accorciare il "rosso", trasformando l'autobus in un sistema ad alta prestazione paragonabile a un BRT (Bus Rapid Transit).

Misurazione e Key Performance Indicators (KPIs)

L'investimento (sostenuto da un'Analisi Costi-Benefici basata su risparmio di tempo, calo dell'inquinamento e riduzione dell'incidentalità) è vincolato a un monitoraggio continuo tramite specifici KPIs:

- **Indicatori di Processo:** Computo dei chilometri di corsie preferenziali realizzate e incremento percentuale delle tecnologie di controllo attivate (es. varchi, paline)
- **Indicatori di Risultato (Outcome):** Misurazione del trasferimento modale verso il TPL (aumento passeggeri e abbonati, puntando a oltre 180 tesserati

ogni 1000 abitanti) e abbattimento delle emissioni di CO2 al di sotto di 1,45 tonnellate annue pro-capite

- **Indici di Accessibilità:** Utilizzo del parametro PTAL (Public Transport Accessibility Level) per misurare l'eccellenza della copertura del servizio sul territorio.

Allineamento Strategico con il PUMS

In piena aderenza alle direttive programmatiche del PUMS di Roma, la presente ricerca è stata strutturata per agevolare l'iter progettuale e l'implementazione delle nuove corsie preferenziali. Il Piano subordina l'efficacia della "Rete di Forza" alla realizzazione di oltre 100 chilometri di sedi protette, condizione imprescindibile per garantire al Trasporto Pubblico Locale (TPL) una velocità commerciale quanto più possibile vicina alle medie europee. Affinchè si possa raggiungere l'obiettivo stabilito nel Piano, è necessaria la pianificazione di una serie di interventi infrastrutturali ed organizzativi, come ad esempio una riorganizzazione dell'intera rete di superficie del TPL romano a livello di percorsi, le cui specifiche esulano dallo scopo di questo lavoro

Per rispondere a questa urgenza, la nostra analisi recepisce e applica la rigorosa metodologia di selezione spaziale dettata dal PUMS. Lo studio si focalizza sulle arterie che combinano un elevato transito di mezzi pubblici a

coefficienti di saturazione critica del traffico veicolare misto, mirando alla protezione di nodi di penetrazione chiave, arrivando comunque a dei livelli di velocità commerciale in rete molto ambiziosi.

Lettura dello stato di fatto

Nei paragrafi successivi verrà illustrata la condizione dello stato di fatto del sistema di trasporto pubblico locale nella capitale, in particolare verranno identificati i seguenti elementi:

- linee con la maggiore disponibilità di autobus rilevata rispetto all'orario programmato contenuto nei file GTFS dell'operatore. (*General Transit Feed Specification*);
- distribuzione delle frequenze sulla rete di autobus sul programmato dei file GTFS;
- corridoi con la maggiore concentrazione di linee di autobus (durante l'ora osservata in GTFS-RT (*real time*), dalle 10:00-11:00 di un giorno feriale);
- condizioni attuali relative alla velocità degli autobus (durante l'ora osservata sempre da file GTFS-RT);
- accessibilità al sistema autobus - considerando salite e discese (attraverso calcolo del PTAL-*Public Transport Accessibility Level*).

5.2.2. Linee con la maggiore disponibilità di autobus

I dati GTFS-RT rilevati indicano che, nella fascia oraria 10:00-11:00, sono in servizio 237 linee di autobus. L'offerta di trasporto più consistente è concentrata in un gruppo di linee ad alta frequenza, molte delle quali coprono anche lunghi corridoi che attraversano la città. La fascia oraria considerata è una delle due ore di picco indicate nel PUMS.

Linee	Max. Viaggi/ora	Vcomm (Km/h)
46	28	10.29
916	24	9.65
904	24	20.35
983	23	8.80
905	21	20.23
712	21	18.74
708	20	16.98

Viaggi per giorno

- 4 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- >200



Fig.18 - Offerta di Linee di Trasporto

5.2.3. Distribuzione delle frequenze degli autobus sulla rete

Rispetto alla frequenza massima media osservata nell'offerta programmata, la maggior parte delle linee si concentra tra le 7 e le 10 corse all'ora, il che suggerisce una rete a media frequenza nel periodo osservato. Tuttavia, 81 linee superano le 10 corse all'ora, formando una dorsale ad alta frequenza. Queste linee sono particolarmente importanti per la mobilità quotidiana, perché riducono i tempi di attesa, rendendo il sistema più attrattivo per gli utenti.

Viaggi/ora	n. di linee
Più di 10	81
7-10	92
5-6	36
1-4	28

Frequenza autobus per ora

- Più di 30 minuti
- Tra 30 e 20 minuti
- Tra 20 e 15 minuti
- Tra 15 e 10 minuti
- Tra 10 e 5 minuti
- Meno di 5 minuti

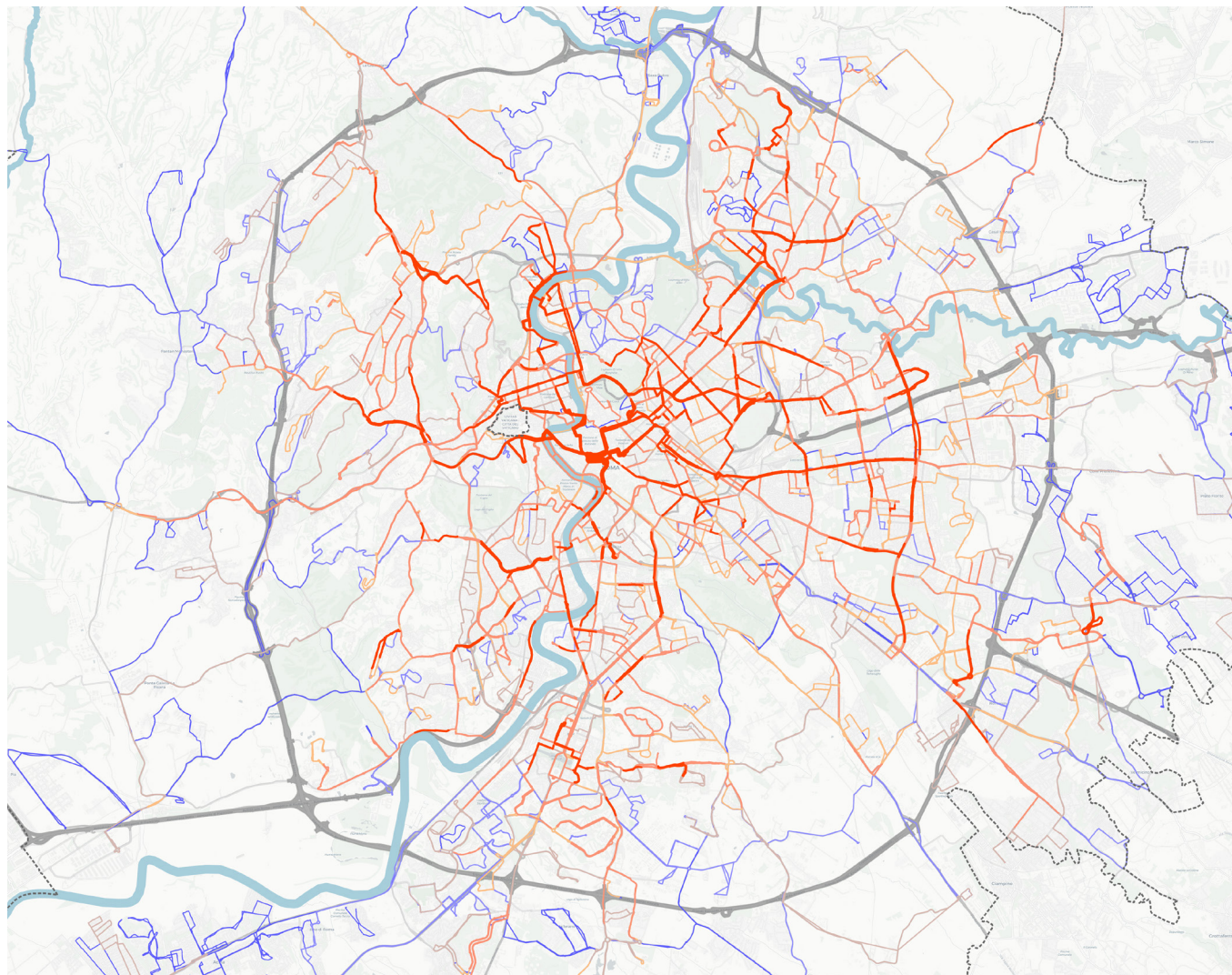


Fig.19 - Frequenza oraria delle linee di bus sui singoli tratti di rete

5.2.4. Corridoi con la maggiore concentrazione di linee di autobus

Diversi corridoi centrali presentano un'elevata sovrapposizione di linee autobus: 571 tratti sono condivisi da più di 10 linee e 36 da più di 20. Questa concentrazione, localizzata soprattutto nel centro storico, evidenzia corridoi ad alta domanda, ma caratterizzati da potenziali criticità operative e basse velocità commerciali. Tali assi rappresentano quindi ambiti strategici per interventi prioritari, quali corsie riservate, priorità semaforica e misure di gestione del traffico.

Strada	N Linee	V _{comm} (km/h)
Piazza d'Aracoeli	25	7.20
Piazza Venezia	23	4.34
Via del Teatro di Marcello	22	7.87
Piazza del Gesù	21	8.76
Via dei Polacchi	19	11.15
Piazza dei Cinquecento	17	6.09

Linee autobus per segmento

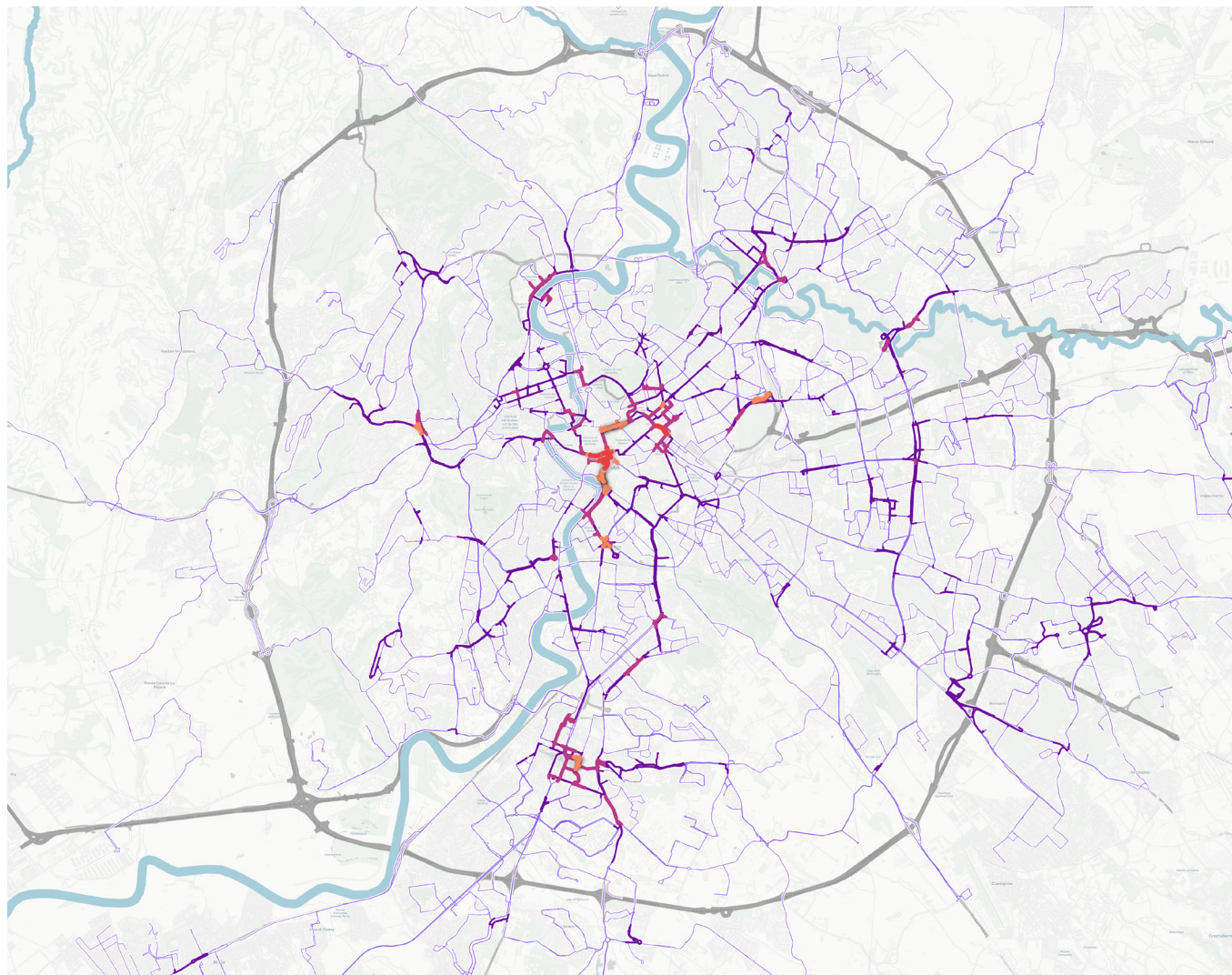
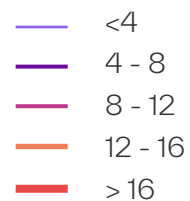


Fig.20 - Concentrazione delle linee di autobus

5.2.5. Condizioni attuali relative alla velocità degli autobus

L'analisi nell'ora di punta evidenzia velocità operative generalmente basse, con una velocità media ponderata di circa 12,7 km/h. Le criticità risultano più marcate nei corridoi condivisi del centro città, dove la sovrapposizione delle linee e la congestione incidono sulle prestazioni del servizio. La differenza tra la velocità di marcia e quella commerciale dimostra che i tempi di sosta e le interruzioni del traffico incidono in modo significativo sulle prestazioni.

Linee	Differenza di velocità (km/h)
448	3.59
119	5.80
64	5.81
40	5.81
100	6.53
62	6.77

Velocità (Km/h)

- > 30
- 20 - 30
- 10 - 20
- 5 - 10
- < 5

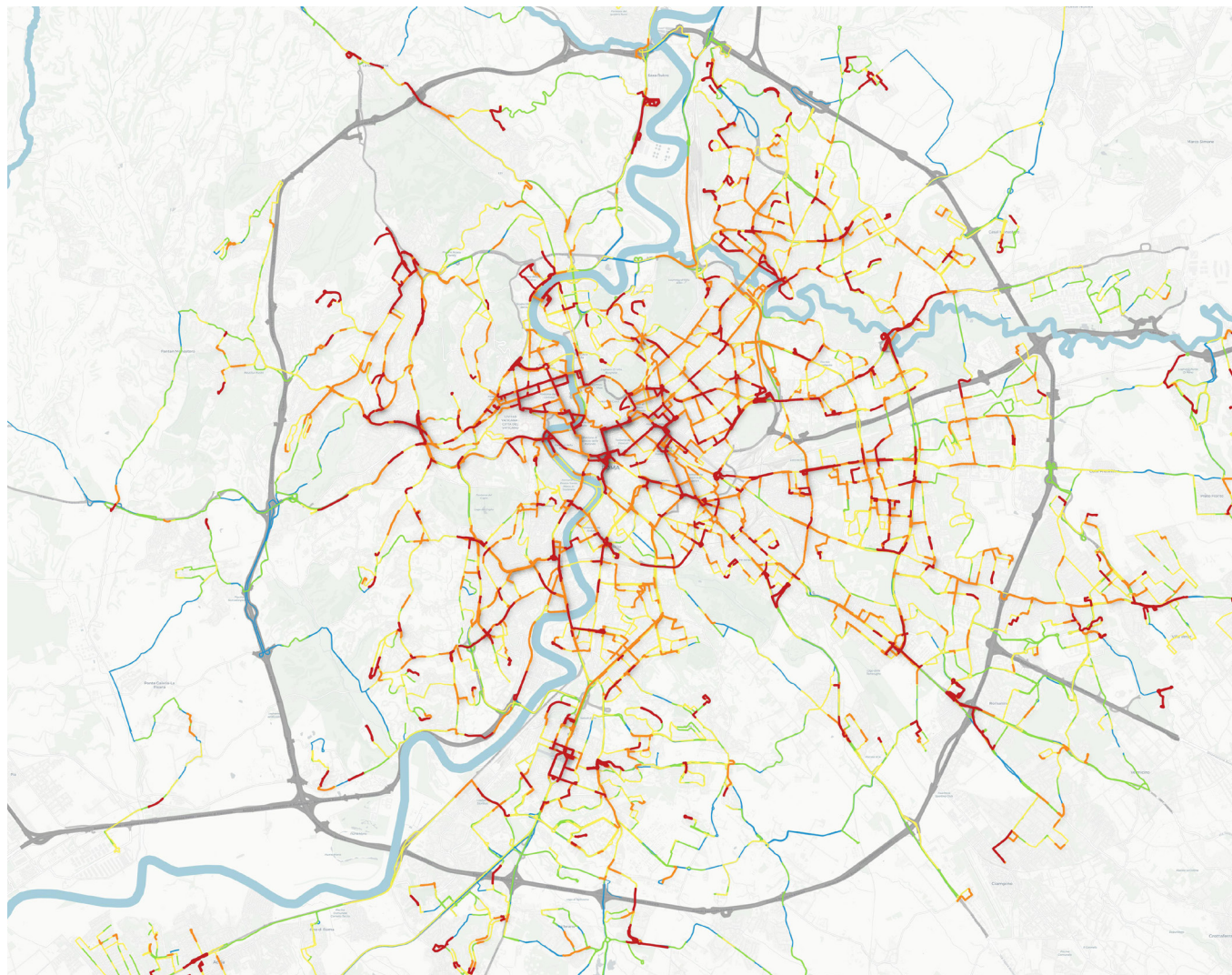


Fig.21 - Velocità

5.2.6. Accessibilità - PTAL

Il PTAL, o *Public Transport Accessibility Level*, è un indicatore utilizzato per misurare quanto bene un'area sia servita dal trasporto pubblico. Tiene conto di elementi quali la vicinanza a fermate o stazioni, la frequenza del servizio e la varietà delle opzioni di trasporto disponibili. Valori più alti di PTAL indicano generalmente aree in cui le persone possono accedere più facilmente al trasporto pubblico e con tempi di attesa più brevi. Nel caso di Roma, l'analisi PTAL mostra una maggiore accessibilità nelle aree urbane centrali e, in particolare, lungo i corridoi della metropolitana, dove il servizio è più veloce, frequente e diretto. Tuttavia, i livelli di accessibilità rimangono più bassi e più stabili lungo molti corridoi serviti dagli autobus. Questo evidenzia l'importanza strategica della rete di autobus, soprattutto per i residenti che non vivono vicino a una stazione della metro. Per queste aree, gli autobus sono essenziali perché forniscono la connessione principale al sistema di trasporto pubblico più ampio e contribuiscono a ridurre le disuguaglianze spaziali nell'accesso alla mobilità.

Viaggi per giorno

- Molto povero
- Povero
- Moderato
- Buono
- Molto buono
- Eccellente

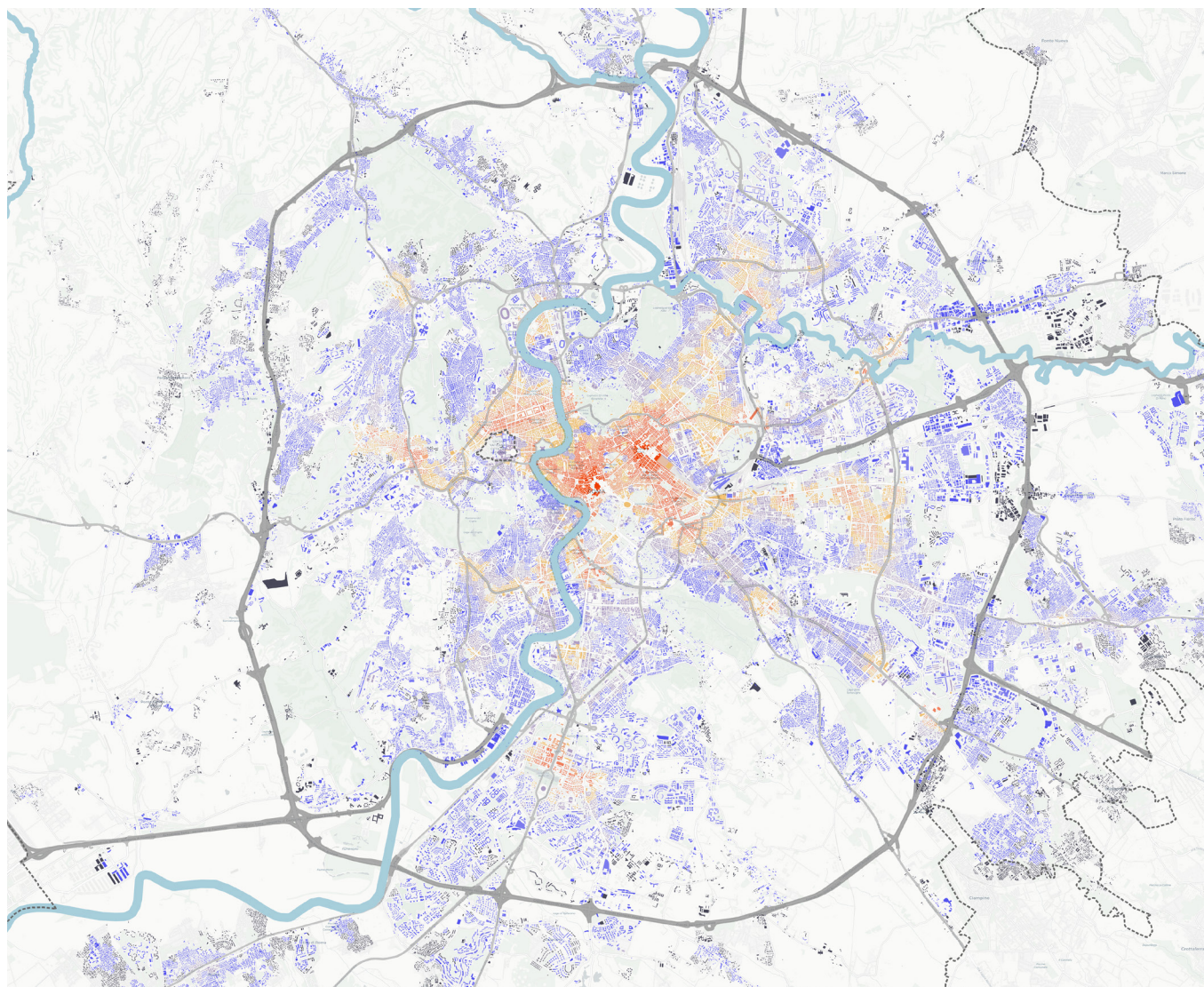
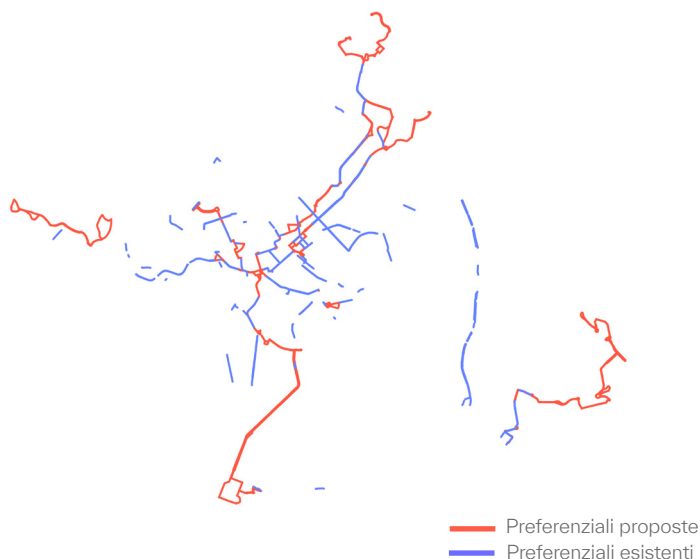


Fig.22 - Accessibilità PTAL

5.3. Priorità di intervento

5.3.1. Identificazione della rete proposta per priorità incrementali

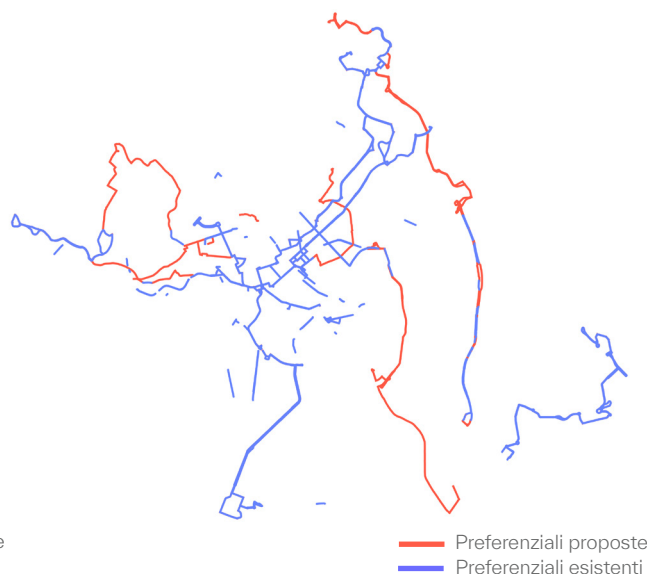
Priorità 1



Infrastrutture esistenti: autobus, tram e linee express

Questo step punta alla creazione di una rete di corsie preferenziali ricavate partendo dai percorsi delle storiche linee celeri, oggi linee Express.

Priorità 2



Il rafforzamento delle direttrici - rete ad alta domanda

Il secondo step, integra la fase precedente e si concentra sui corridoi di trasporto ordinario che oggi riportano il maggior traffico veicolare e la peggiore velocità commerciale.

Priorità 3



Il rammendo funzionale - ricucitura della rete

Il terzo step prevede interventi di ricucitura della rete individuata negli step precedenti, per consolidare un network di priorità e di accesso ai servizi di mobilità su gomma.

Fig.23 - Priorità di Implementazione

Priorità 1. Infrastrutture esistenti: autobus, tram e linee express

Attualmente, diverse corsie preferenziali sono già presenti nel tessuto urbano, ma operano spesso come segmenti isolati e frammentati, limitando di fatto i benefici di fluidificazione che avrebbero i servizi su gomma del trasporto pubblico. Parallelamente, le direttrici di trasporto rapido "Linee Express" non operano nel loro pieno potenziale: i mezzi viaggiano spesso in traffico promiscuo e il sistema è mancante di sistemi di asservimento semaforico alle intersezioni. Utilizzando questo scenario come base di partenza, la prima fase punta al potenziamento di questi assi portanti. La proposta prevede la realizzazione di nuove corsie riservate lungo i percorsi delle Linee Express e del Tram, ricucendo i tratti esistenti per creare direttrici continue, protette e prioritarie. L'obiettivo è saldare tra loro i monconi esistenti mediante l'aggiunta di ben 87 Km di nuovi corridoi (considerando i due sensi di marcia laddove disponibile). Si forma così una solida rete portante di tpl di superficie, dalla quale partire per implementare e migliorare il sistema successivo.

-  Nuove Corsie: Linee Express
-  Corsie Esistenti: Tram + Autobus

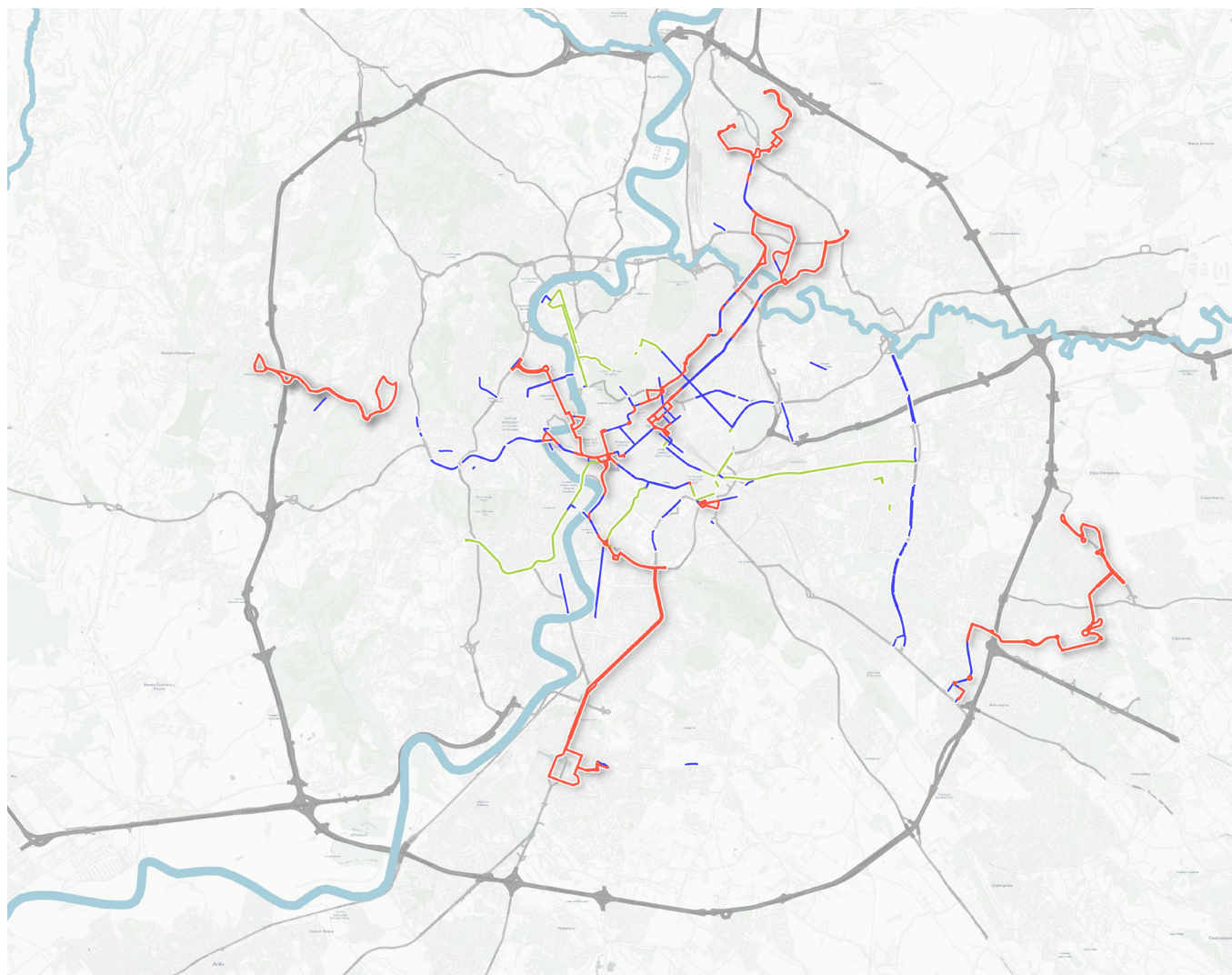


Fig.24 - Priorità 1 di implementazione

Elenco delle strade coinvolte nei tracciati

La prima fase di intervento, incentrata sull'efficientamento delle linee Express e del sistema tramviario, rivela ora importanti dati sulle lunghezze stradali da inserire. Considerando entrambe le direzioni, emerge in modo chiaro Via Cristoforo Colombo, con una previsione di intervento di ben 11,6 chilometri, seguita da Via di Boccea con circa 6,8 chilometri e dall'asse Via Nomentana e Via di Tor Bella Monaca. Dal punto di vista dei carichi, si confermano i volumi altissimi di Viale Adriatico (766 transiti giornalieri) e del quadrante Sorbona/Ciamarra/Heidelberg (760 transiti). Analizzando lo stato di fatto, la Via Cristoforo Colombo rappresenta una sfida cruciale: attualmente dotata di corsie centrali a scorrimento veloce, spesso promiscue, è al centro di studi per l'implementazione di sistemi ad alta capacità, come il Bus Rapid Transit (BRT), per isolare completamente il trasporto pubblico dal resto della carreggiata. Via di Boccea, cronicamente afflitta dalla congestione veicolare, vede in questo scenario il necessario completamento dei progetti di allargamento e di protezione dei flussi di adduzione verso il capolinea della Metro A (Battistini). Viale Antonio Ciamarra, come già emerso, si conferma invece un'infrastruttura già completata e modello per il quadrante sud-est.

Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)
Via Cristoforo Colombo	5.81	Via Marcantonio Colonna	1.66
Via di Boccea	3.41	Corso Vittorio Emanuele II	1.63
Via Nomentana	2.86	Via Venti Settembre	1.57
Via di Tor Bella Monaca	2.54	Via Nizza	1.42
Corso Trieste	2.23	Via Ugo Ogetti	1.40
Viale Titina de Filippo	1.99	Viale Adriatico	1.32
Viale Marco Polo	1.92	Via delle Valli	1.31
Via delle Isole Curzolane	1.86	Via Ettore Romagnoli	1.30
Via di Tor Vergata	1.85	Via Mario Soldati	1.23
Via Virgilio Talli	1.81	Via del Corso	1.15
Via Mattia Battistini	1.80	Viale Duilio Cambellotti	1.09
Via della Sorbona	1.78	Via Cambridge	1.08
Via dell'Archeologia	1.74	Viale Carmelo Bene	1.07
Viale Tirreno	1.73	Via Nomentana Nuova	1.05
Viale Giuseppe Mazzini	1.69	Via del Teatro di Marcello	1.04

Tab.2 - Elenco stradale priorità 1, Parte 1

Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)
Via Amico Aspertini	0.96	Via Boncompagni	0.64	Via Postumia	0.43
Viale dell'Aeronautica	0.95	Viadotto Giuseppe Saragat	0.61	Viale Europa	0.43
Viale Oxford	0.93	Piazzale Clodio	0.59	Piazzale dei Partigiani	0.42
Via dei Monti di Primavalle	0.93	Via di Valle Melaina	0.57	Viale delle Cave Ardeatine	0.41
Viale Antonio Ciamarra	0.90	Via delle Vigne Nuove	0.56	Piazza Venezia	0.41
Via Amalia Bettini	0.81	Via Cilicia	0.53	Largo delle Vittime delle Foibe Istriane	0.41
Via Marmorata	0.76	Via Cernaia	0.51	Via Giuseppe Zanardelli	0.41
Via La Spezia	0.76	Viale dell'Arte	0.50	Via Ulpiano	0.41
Via del Fosso di Santa Maura	0.74	Viale Carnaro	0.50	Via Nairobi	0.41
Via Taranto	0.73	Via Ulrico Hoepli	0.47	Via Vincenzo Giudice	0.40
Piazza dei Cinquecento	0.71	Viale Cesco Baseggio	0.46	Viale Enrico de Nicola	0.40
Via Columbia	0.68	Corso del Rinascimento	0.45	Via Vittorio Veneto	0.36
Viale Heidelberg	0.66	Lungotevere Marzio	0.44	Corso d'Italia	0.36
Viale dell'Umanesimo	0.65	Viale Pietro Anderioni	0.43	Piazza del Gesù	0.32
		Via del Forte Braschi	0.43		

Tab.3 - Elenco stradale priorità 1, Parte 2

Tot: +87Km

Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)
Piazza della Repubblica	0.32	Ponte Umberto Primo	0.22	Via Palestro	0.17
Viale Luigi Einaudi	0.30	Largo Magnanapoli	0.22	Via Cargano	0.17
Via Laurentina	0.29	Via Pastrengo	0.21	Via Monte Cervialto	0.16
Via Cesare Battisti	0.29	Via Carlo Bertinazzi	0.21	Piazza Fiume	0.16
Via di Casalotti	0.29	Via Giuseppe Imer	0.20	Via di San Marco	0.15
Via del Plebiscito	0.28	Via Vittorio Emanuele Orlando	0.20	Via Calabria	0.15
Corso Sempione	0.28	Via dei Fiori Imperiali	0.20	Via Rosina Anselmi	0.15
Piazza Ottaviano Vimercati	0.27	Ponte Cavour	0.19	Via Stelvio	0.15
Via di San Claudio	0.27	Via dei Verbiti	0.19	Viale Libia	0.10
Via Romagna	0.27	Piazza Cavour	0.19	Via Maiella	0.10
Piazza Fabio Sabatini	0.25	Piazza di Tor Sanguigna	0.19	Piazza Trento	0.09
Piazza dell'Emporio	0.24	Via Acciaiuoli	0.17	Via Salaria	0.08
Sottovia Lungotevere in Sassia	0.23	Piazza Ettore Viola	0.17	Via Viterbo	0.07
Piazza Barberini	0.23	Via Parigi	0.17	Piazza Gimma	0.04
				Via Emanuele Filiberto	0.03

Tab.4 - Elenco stradale priorità 1, Parte 3

Priorità 2: il rafforzamento delle direttrici - rete ad alta offerta

Per la seconda fase, è stata condotta un'analisi dell'offerta del sistema di trasporto attuale basata sui dati GTFS, che ha permesso di individuare i corridoi di superficie con il maggior volume di spostamenti giornalieri.

L'obiettivo di questa fase è la realizzazione di nuove corsie riservate lungo i corridoi TPL ad alto traffico, con la funzione cruciale di favorire l'intermodalità.

Priorità 2

- Priorità 1
- Priorità 2
- Corsie riservate ad uso Tram+Bus
- Corsie riservate ad uso Tram

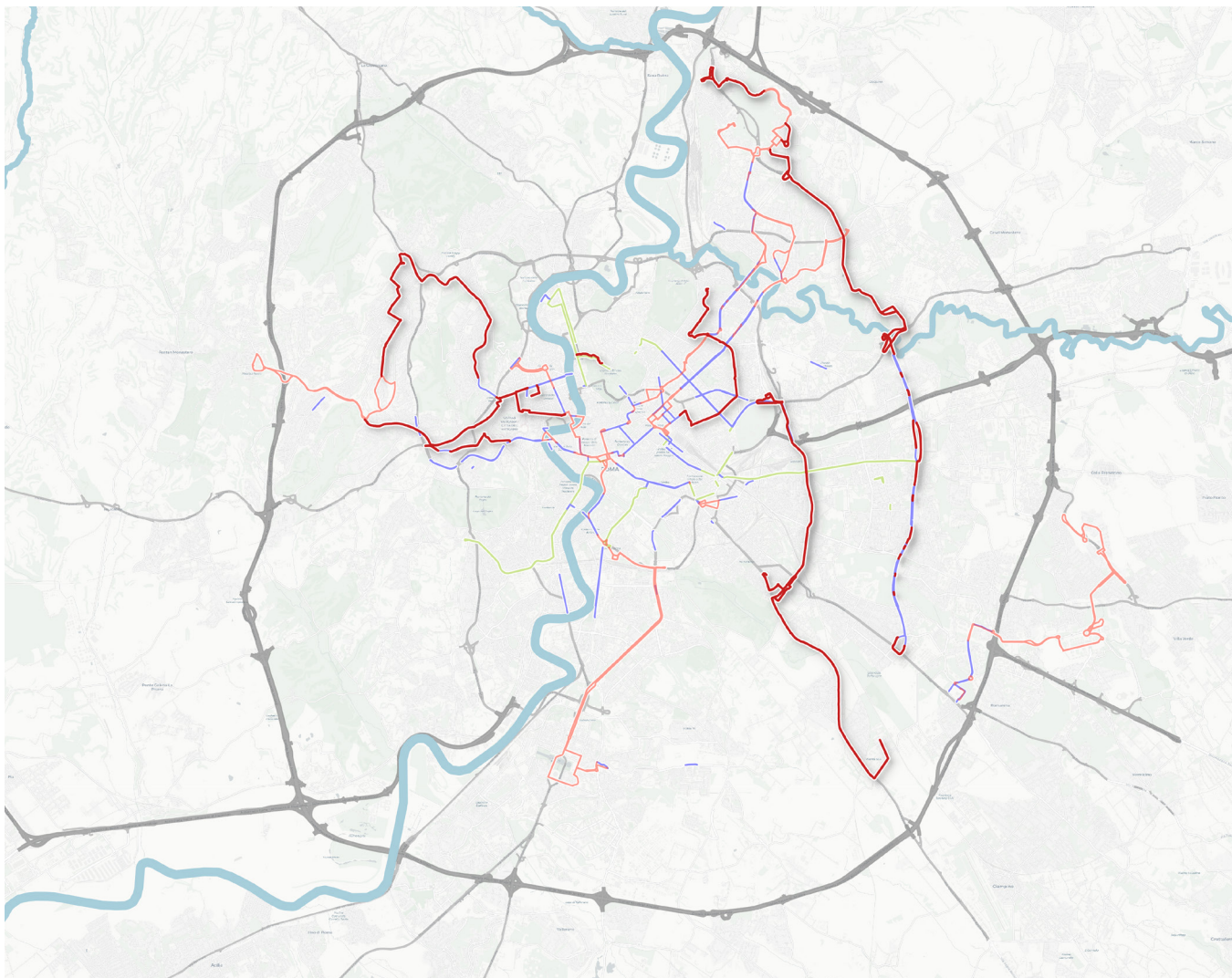


Fig.25 - Priorità 2 di implementazione ed integrazione al sistema proposto nella priorità 1

La realizzazione di ulteriori 53 Km di nuovi corridoi permetterebbe di allargare l'area di interesse dal centro verso i poli attrattori semicentrali.

Queste nuove direttrici collegheranno i flussi di superficie con le fermate della metropolitana e del sistema ferroviario urbano (nodi di scambio), fungendo da fondamentale rete di immagliamento per il sistema di trasporto su ferro.

Priorità 2

- Trasporto su Ferro
- Metropolitana
- Rete Tramviaria
- Priorità 1
- Priorità 2

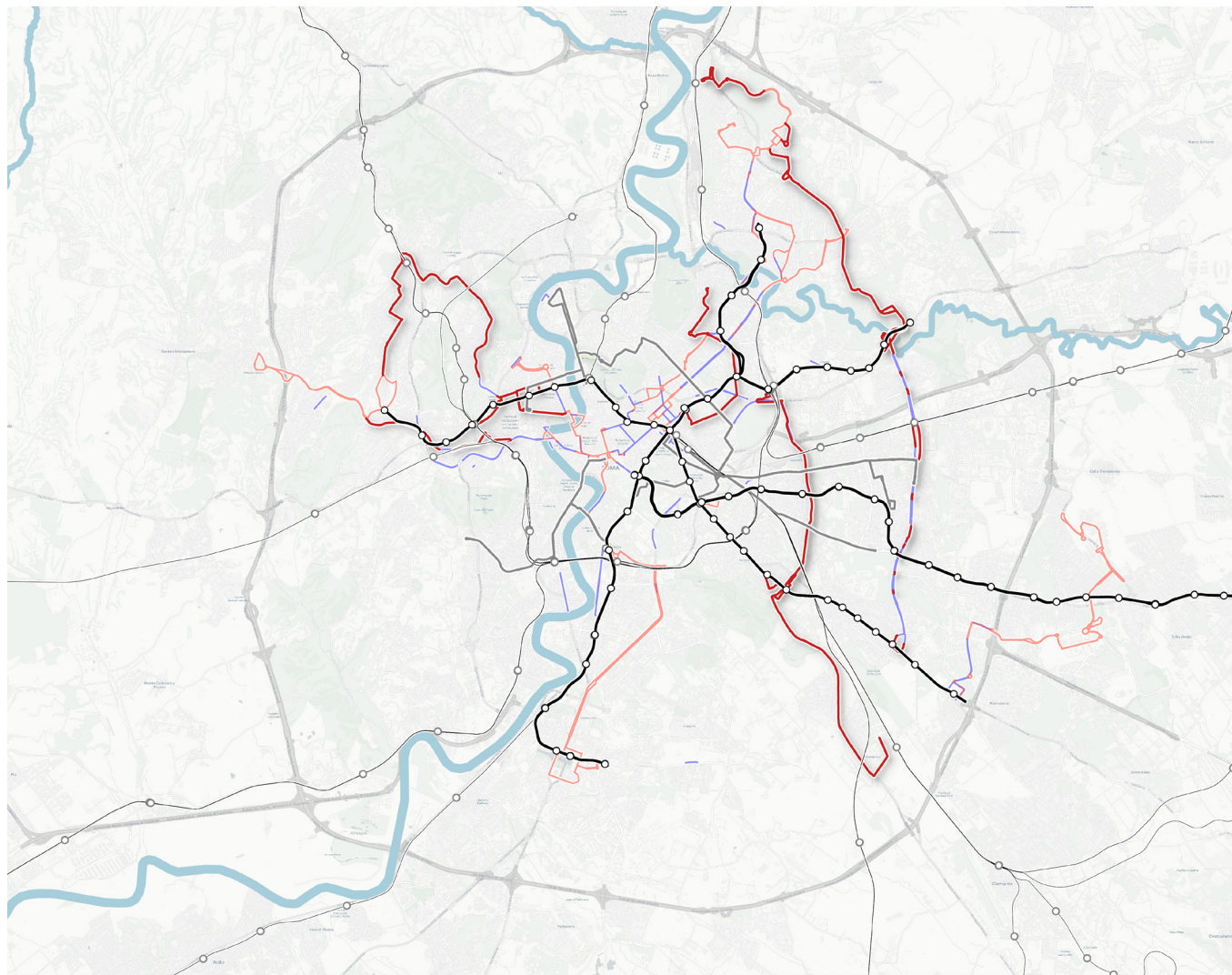


Fig.26 - Priorità 2 in integrazione con l'offerta esistente di TPL

Elenco delle strade coinvolte nei tracciati

Il secondo step, focalizzato sulla creazione di direttrici ad alto carico per l'adduzione ai nodi intermodali, evidenzia un forte spostamento del baricentro infrastrutturale verso il quadrante est della Capitale. Via Appia Nuova risulta l'asse di intervento più lungo con circa 5.9 chilometri, seguito da Viale Palmiro Togliatti, Via Trionfale e via Aurelia, tutte comprese tra i 3 e i 2 chilometri.

I dati sui transiti mostrano un impressionante allineamento: tutto l'asse continuo composto da Via dell'Arco di Travertino, Via di Porta Furba, Via di Tor Pignattara, Via di Acqua Bullicante e Via di Portonaccio registra un picco costante di 782 corse giornaliere. Guardando alla realtà urbana, questo dato riflette l'urgenza di proteggere i mezzi che alimentano i nodi di scambio della Metro C (come le stazioni Malatesta e Pigneto) e della Metro A (Arco di Travertino). Mentre Via di Portonaccio è già un'infrastruttura protetta e presidiata da telecamere con ottimi livelli di servizio, l'asse Acqua Bullicante - Tor Pignattara soffre oggi di forti rallentamenti a causa della sosta irregolare e necessita di cantierizzazioni incisive. Viale Palmiro Togliatti, in questo scenario, si prepara alla transizione verso la cantierizzazione della nuova e omonima linea tranviaria finanziata dai fondi europei.

Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)
Via Appia Nuova	5.95	Via Crescenzo	0.89
Viale Palmiro Togliatti	3.30	Viadotto Giovanni Gronchi	0.88
Via Trionfale	2.43	Viale dell'Università	0.86
Via Aurelia	2.13	Viale Ventuno Aprile	0.86
Via di Boccea	1.93	Via dell'Arco di Travertino	0.81
Via Carlo Ludovico Bragaglia	1.45	Viale Egidio Galbani	0.81
Via di Portonaccio	1.43	Via Sebastiano Vinci	0.78
Via di Acqua Bullicante	1.39	Viale delle Belle Arti	0.77
Via Tiburtina	1.36	Via di Torre Vecchia	0.77
Via Renato Fucini	1.23	Via Nomentana	0.73
Via delle Medaglie d'Oro	1.20	Via Masaniello	0.70
Viale Kant	1.19	Via Federico Borromeo	0.67
Viale Carmelo Bene	1.16	Via di Tor Pignattara	0.67
Via Baldo degli Ubaldi	1.06	Via Pietro Maffi	0.67
Via Angelo Emo	0.97	Via di Porta Furba	0.60

Tab.5 - Elenco stradale priorità 2

Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)
Via Enrico Pestalozzi	0.59	Viale Giulio Cesare	0.39	Via Mondragone	0.26
Via delle Capannelle	0.58	Piazza della Stazione Ponto Mammolo	0.38	Via Topino	0.25
Via di Santa Costanza	0.58	Via Piediluco	0.36	Via dei Colli Albani	0.20
Viale Gino Cervi	0.58	Via Marcello Provenzale	0.36	Viale San Martino della Battaglia	0.17
Via di Casal dei Pazzi	0.57	Via di Priscilla	0.34	Piazza Alfonso Capelatro	0.16
Via Leone Quarto	0.53	Via Giovanni Palombini	0.31	Via Franco Basaglia	0.15
Viale Ippocrate	0.52	Viale delle Milizie	0.30	Via Francesco Caracciolo	0.11
Viadotto Sandro Pertini	0.52	Via di Novella	0.30	Via Ruggero do Æsauria	0.10
Via delle Vigne Nuove	0.50	Via Monte Gilberto	0.29	Via Allumiere	0.10
Viale delle Proviencie	0.50	Piazza del Risorgimento	0.29	Via Vittor Pisani	0.08
Via del Calice	0.50	Via Ciciliano	0.27		
Via Andrea Doria	0.47	Via San Leo	0.27		
Viale Castro Pretorio	0.43	Via della Pineta Sacchetti	0.27		
Via Arturo Graf	0.41	Via Cesare Lombroso	0.26		
Via Prisciano	0.41				

Tot: +53Km

Priorità 3: il rammando funzionale - ricucitura di rete

L'ultima fase di intervento riguarda la realizzazione di nuove corsie preferenziali che serviranno a garantire la continuità della rete, sia esistente che di progetto. L'obiettivo è connettere i restanti segmenti isolati per generare un vero e proprio "effetto rete" continuo ed efficiente. Anche in quest'ultima fase, i tracciati sono stati selezionati in base ai livelli di servizio, dando priorità alle linee con la maggiore offerta di trasporto disponibile.

Nuovi 19 Km totali di corridoi volti unicamente a garantire la "continuità" della rete, chiudendo tutti quei varchi in cui le preferenziali attuali svaniscono nel nulla, costringendo il bus a re-immettersi nel traffico misto e dissipando così il vantaggio accumulato.

Priorità 3

- Priorità 1
- Priorità 2
- Priorità 3
- Corsie riservate ad uso Tram+Bus
- Corsie riservate ad uso Tram

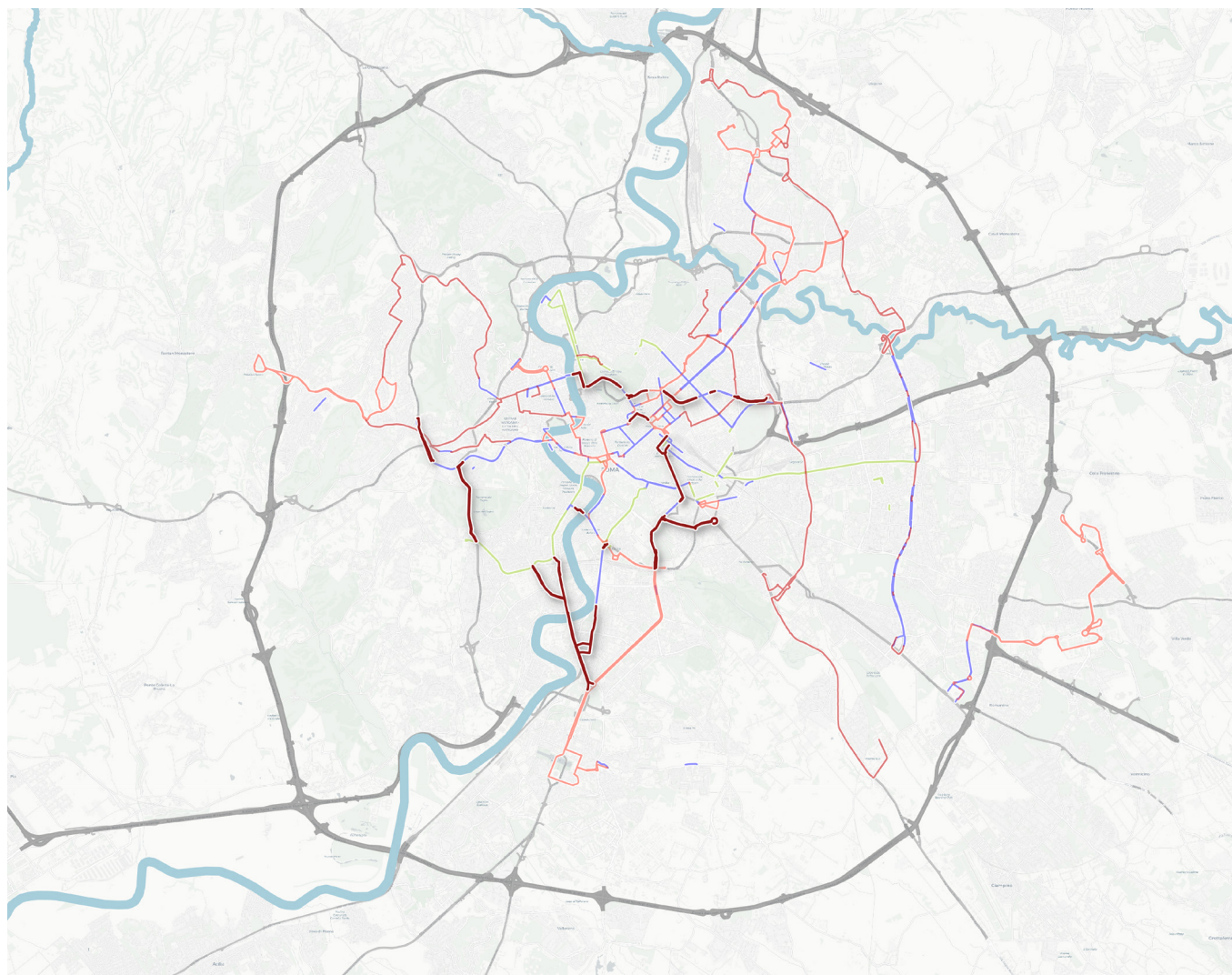


Fig.27 - Priorità 3 di implementazione e completamento della rete

Tot: +19Km

Elenco delle strade coinvolte nei tracciati

Le direttrici che richiedono il maggiore sviluppo lineare includono Viale Guglielmo Marconi, con 2.9 chilometri, affiancate da interventi strategici su Via Leone XIII e la Circonvallazione Cornelia.

Dal punto di vista dei carichi, il nodo di Via di Porta Cavalleggeri emerge nettamente come punto di convergenza primario con ben 922 transiti giornalieri. L'impatto di questo terzo scenario si intreccia profondamente con le grandi opere infrastrutturali previste dal PUMS e finanziate dal PNRR. Viale Palmiro Togliatti, ad esempio, è destinato a una radicale trasformazione per ospitare la nuova sede protetta della "Tranvia Togliatti", la quale andrà a sostituire e integrare l'attuale preferenziale posizionata in terza corsia all'interno di un nuovo corridoio verde intermodale. Parallelamente, la realizzazione della corsia riservata su Viale Marconi rappresenta un passaggio cruciale e da lungo tempo atteso per eliminare la cronica sosta irregolare posta al centro della carreggiata; tale intervento permetterà di dimezzare i tempi di percorrenza degli autobus verso i fondamentali hub di interscambio della Stazione Trastevere e della Metro B, anticipando di fatto la posa della futura e omonima linea tranviaria.

Strada	Corridoio mono.(Km)	Strada	Corridoio mono.(Km)
Viale Guglielmo Marconi	2.92	Via Giambattista Vico	0.38
Via Leone Tredicesimo	1.65	Via Druso	0.37
Corso d'Italia	1.23	Via Efeso	0.36
Via Ostiense	1.05	Viale dei Colli Portuensi	0.34
Circonvalazione Cornelia	0.91	Via Francesco Grimaldi	0.33
Via Quirino Majorana	0.86	Via Leonida Bissolati	0.33
Via Delle Terme di Caracalla	0.86	Via Cristoforo Colombo	0.29
Via Gallia	0.86	Via Valco di San Paolo	0.27
Via Merulana	0.82	Via di San Basilio	0.26
Viale Fiorello La Guardia	0.82	Via Gioberti	0.24
Via della Lega Lombarda	0.77	Via Dell'Amba Aradam	0.20
Viale del Policlinico	0.65	Via Soana	0.18
Via Cavour	0.62	Via Domenico Alverto Azuni	0.18
Via di Porta Portese	0.50	Via Gregorio Settimo	0.16
Via Cerveteri	0.48	Viale San Paolo del Brasile	0.16

Tab.6 - Elenco stradale priorità 3

5.4. Imparare dai modelli di Eccellenza

5.4.1. Definizione degli scenari in base all'approccio di calcolo

Per ancorare la pianificazione infrastrutturale dei tracciati di corsie preferenziali, a basi oggettive e razionali, il processo metodologico è iniziato con un'analisi di casi studio. Esaminando la letteratura specialistica, i dati empirici locali e le *best practices* globali, sono stati definiti tre orizzonti di impatto (Scenari di Efficienza), successivamente impiegati per le simulazioni geospaziali sulla rete di Roma Capitale.

Per la costruzione degli scenari di simulazione, sono stati definiti tre soglie di miglioramento operativo, descritti nello schema di fianco, applicati alle tre priorità di pianificato e selezione della rete viste nel paragrafo precedente. Queste soglie percentuali non devono essere interpretate come previsioni deterministiche, ma come riferimenti di *benchmarking* tecnico. Il loro scopo è valutare l'impatto per la città di Roma. Per ogni modello progettato, sono state quantificate variabili critiche di accessibilità, velocità operativa e risparmio nei tempi di viaggio, direttamente collegate alla trasformazione delle corsie convenzionali in corsie preferenziali. Le percentuali dei singoli scenari fanno riferimento alle riduzioni sui tempi di viaggio complessivi.

Scenario Conservativo: miglioramento del 9,2%.

L'esperienza europea dei C-ITS

(EC "Study on the Deployment of C/ITS in Europe: Final Report", 2016)

Riduzione media dei tempi di percorrenza grazie alla priorità semaforica.

Scenario Realistico: miglioramento del 18%.

L'evidenza scientifica diretta su Roma

(Martin et.al, "Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome", 2021)

Riduzione media dei tempi di percorrenza grazie alla priorità semaforica e alla separazione con corsie preferenziali.

Scenario Obiettivo: miglioramento del 30%.

Le rivoluzioni infrastrutturali di San Francisco e New York

(SFMTA, "The Fast Lane to Recovery", 2022 e Sam Schwartz, "14th street transit & truck priority pilot project", 2019)

Riduzione media dei tempi di percorrenza grazie alla priorità semaforica, separazione con corsie preferenziali e sistemi di controllo dei corridoi.

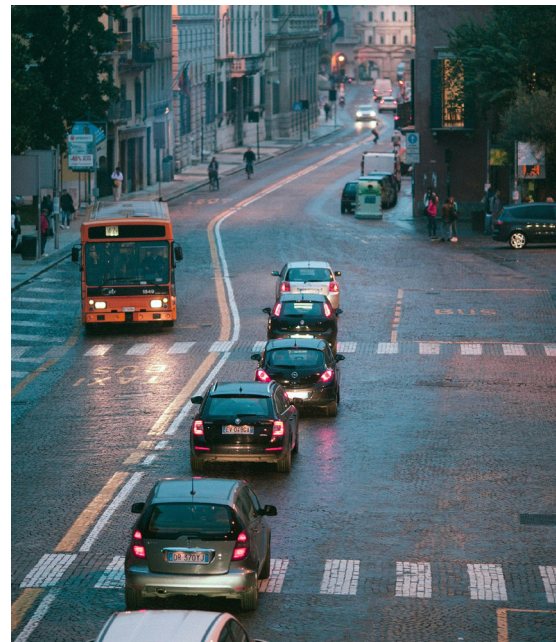


Fig.28 - Tipologie di corsie preferenziali

Scenario Conservativo: 9,2%.

Il primo scenario, quello conservativo, è caratterizzato da un miglioramento sistemico del 9,2% in termini di affidabilità o velocità. 9,2% rappresenta un parametro di riferimento per le agenzie di trasporto pubblico che operano in contesti caratterizzati dalla presenza di vincoli di spazio e di budget.

Le basi logiche dell'adozione di un miglioramento del 9,2% derivano dalle esperienze consolidate documentate nell'ambito del progetto europeo C-ITS (*Cooperative Intelligent Transport Systems*). Questo programma transnazionale ha valutato in modo sistematico l'applicazione di misure tecnologiche di priorità semaforica e di interconnessione *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I) in numerose realtà urbane, tra cui Aalborg, Cardiff, Genova, Göteborg, Helsinki, Praga, Stoccolma, Stoccarda, Tolosa e Torino.

In assenza di cantieri invasivi o di modifiche sostanziali alla geometria stradale, l'implementazione puntuale di sistemi semaforici intelligenti in grado di rilevare l'avvicinamento degli autobus (tecnologie V2I "Day 1") genera, in media, una riduzione del 9,2% dei tempi di viaggio complessivi. Tale soglia empirica viene adottata nel presente studio come scenario di garanzia minimo e rappresenta il beneficio immediatamente conseguibile, considerando anche l'utilizzo di corsie a priorità dinamica in prossimità delle intersezioni a priorità semaforica.

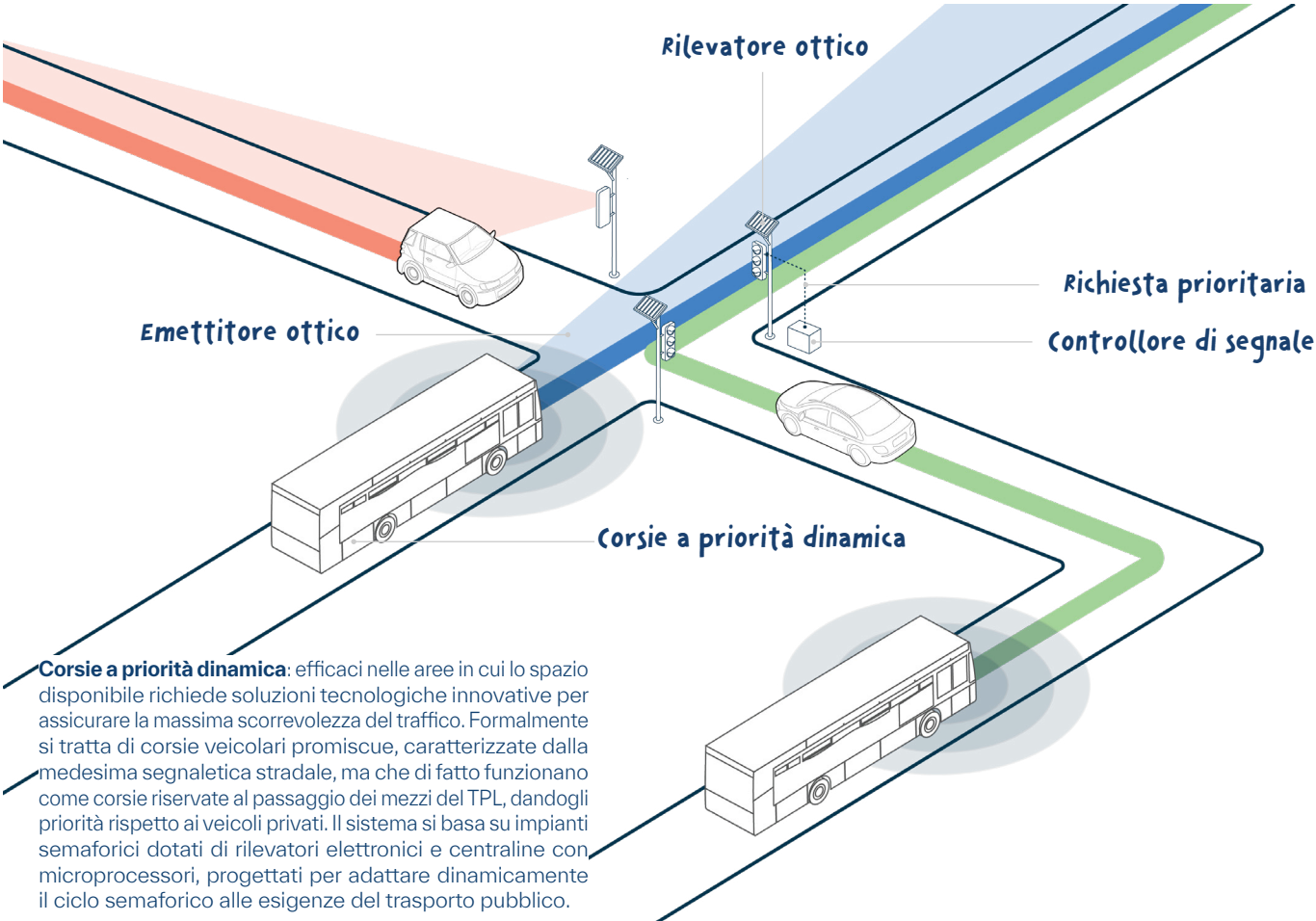


Fig.29 - Scenario conservativo, priorità semaforica all'interno della rete

Scenario Realistico: 18%.

Il secondo scenario di miglioramento, definito “realistico” e pari al 18%, si basa su un approccio diverso rispetto a quello precedente: non utilizza confronti con altre città, ma deriva direttamente da una analisi empirica su Roma, che considera le condizioni orografiche e della rete viaria della città.

La letteratura scientifica, e in particolare lo studio intitolato *Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome* (Russo et al., 2022), ha sottoposto a rigorosa analisi econometrica e di traffico le corsie dedicate già esistenti (*disconnected bus lanes*) nella capitale. I risultati dello studio mostrano come la conversione di un singolo chilometro di corsia a traffico misto in una corsia preferenziale genera un crollo netto del tempo di percorrenza del bus pari al 18%.

Oltre a tale significativo miglioramento, l'analisi evidenzia che la separazione dei flussi di traffico produce un impatto strutturale sul servizio, determinando una riduzione dei tempi di attesa stimati intorno al 12% e un conseguente aumento della frequenza dei bus pari al 20%.

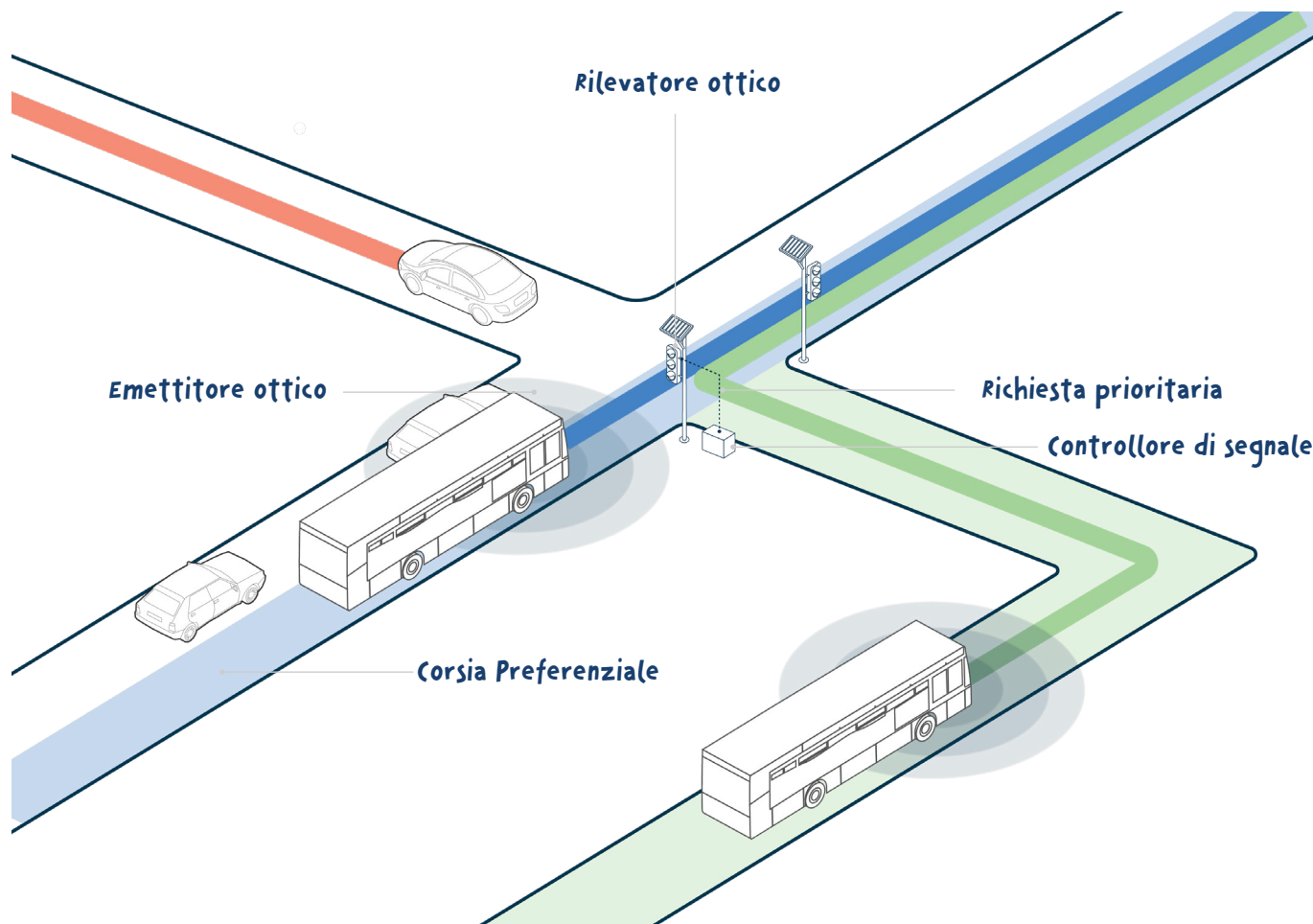


Fig.30 - Scenario realistico, priorità semaforica e corsie preferenziali

Nonostante la diminuzione dello spazio carrabile disponibile, i risultati dimostrano che l'effetto netto sul benessere collettivo risulta tendenzialmente positivo, essendo quest'ultimo strettamente legato all'elasticità della domanda di mobilità privata.

In questo scenario, le stime prodotte indicano che l'adozione delle corsie preferenziali favorirebbe un notevole spostamento delle abitudini di spostamento (*shift* modale) verso il trasporto pubblico, la cui quota passerebbe dall'attuale 29% a circa il 40%. Per quanto auspicabile questo cambiamento, in questo studio non si è tenuto conto di tale stima nella valutazione complessiva dello scenario realistico.

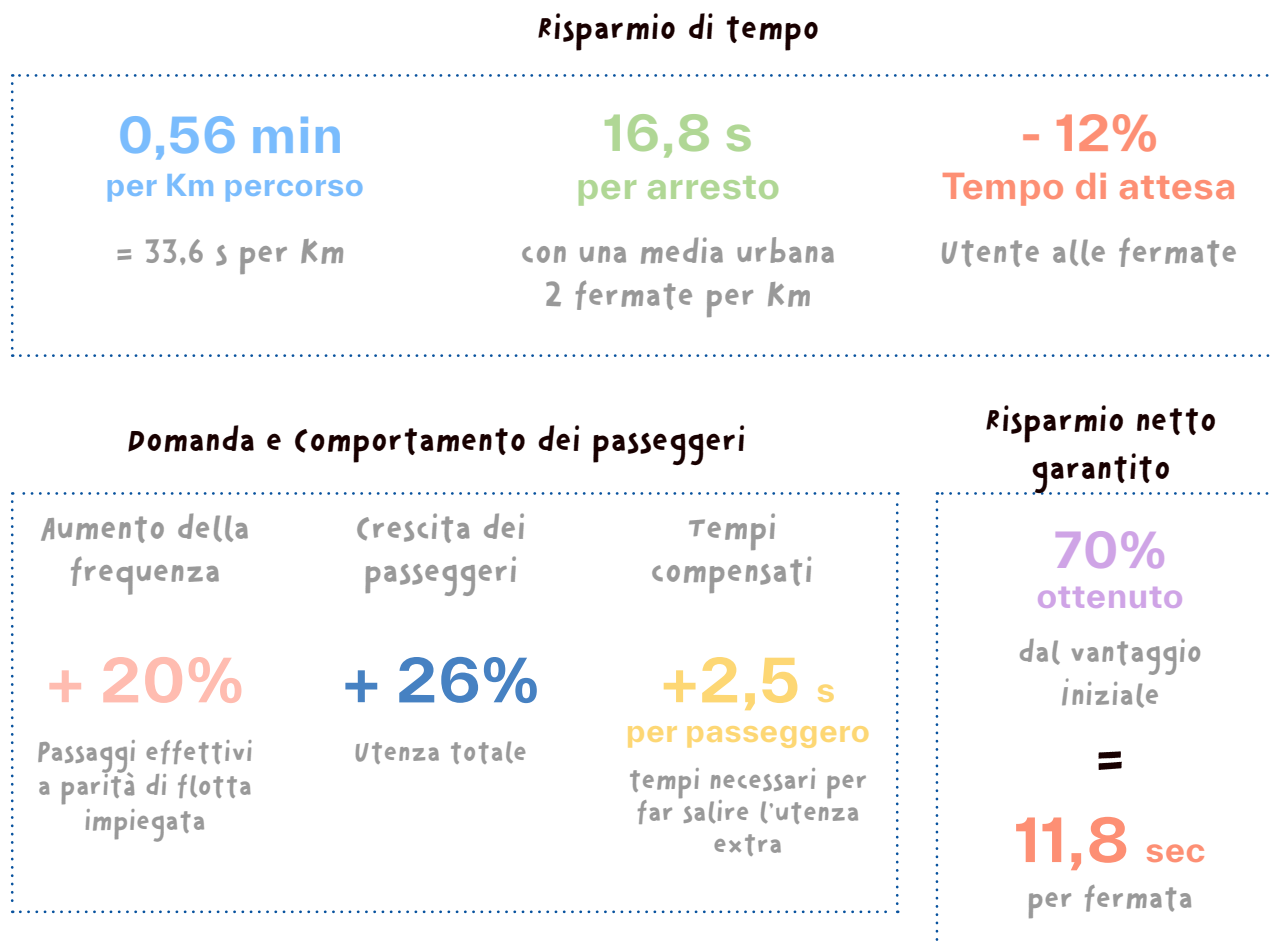


Fig.31 - Scenario realistico; livelli di miglioramento secondo lo studio (Russo et. al., 2022)

Scenario obiettivo: 30%

Il terzo e ultimo orizzonte, lo scenario “obiettivo” che postula un salto di efficienza del 30%, esplora i limiti massimi teoricamente raggiungibili replicando modelli d'eccellenza internazionali, spesso inquadrati sotto la nomenclatura di BRT leggeri o corridoi “*Busway*”, che hanno recentemente rivoluzionato la scena nordamericana.

Il BRT (*Bus Rapid Transit*) è un sistema di trasporto pubblico su gomma progettato per combinare la flessibilità degli autobus con alcune caratteristiche tipiche del trasporto su ferro, come tram e metropolitane. Il suo obiettivo principale è garantire tempi di percorrenza più rapidi, maggiore affidabilità e una capacità di trasporto elevata rispetto ai servizi bus tradizionali. La caratteristica distintiva dei sistemi BRT è l'utilizzo di corsie preferenziali protette o semi-protette, dedicate esclusivamente al transito dei mezzi pubblici. I riferimenti per quantificare questo obiettivo sono stati i progetti precedentemente descritti nel capitolo 4 di San Francisco (14 Mission & TETL) e New York (14th St. Busway).

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei riferimenti studiati per impostare la metodologia di calcolo articolata nel capitolo successivo.

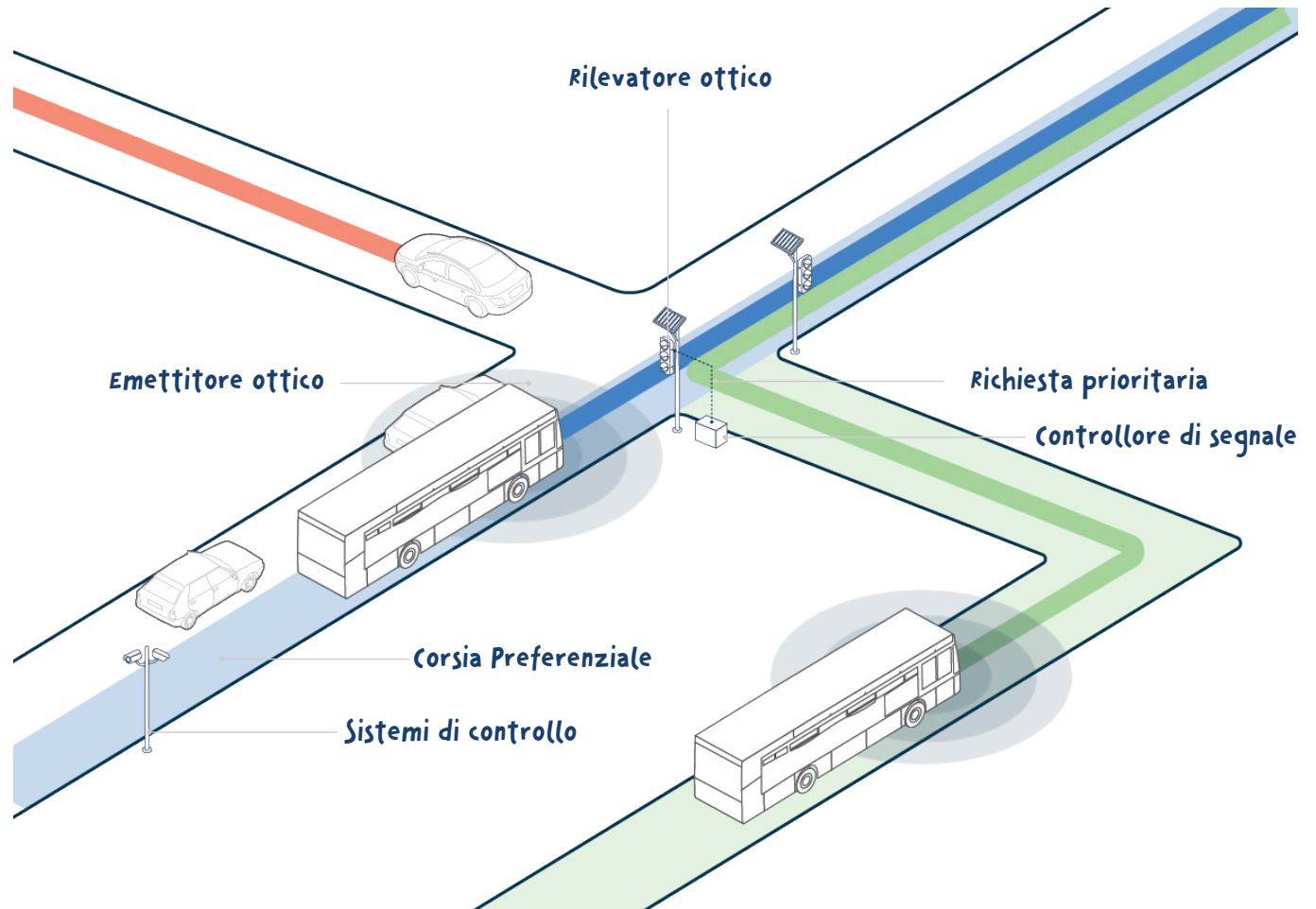


Fig.32 - Scenario obiettivo, priorità semaforica, corsie preferenziali e sistemi di controllo

Tabella Riassuntiva dei riferimenti

Città	Intervento	Metrica	Risultato Chiave	Rilevanza per Roma
Città Europee - (Studio C-ITS)	Priorità per gli autobus nelle intersezioni e adozione di misure tecnologiche a supporto del trasporto pubblico.	Riduzione globale dei tempi di percorrenza.	-9,2% in media sui percorsi testati.	Fissa lo scenario conservativo (9,2%), associato a miglioramenti puntuali in termini di priorità ed efficienza operativa, senza richiedere una trasformazione strutturale e profonda del corridoio stradale.
Roma (Russo, Adler, van Ommeren, 2022)	Conversione fisica di corsie miste in corsie preferenziali dedicate ai bus.	Velocità commerciale e tempi di attesa alle fermate.	Riduzione del 18% dei tempi di viaggio e del 12% dei tempi di attesa.	Definisce lo scenario base di riferimento (18%), in quanto i dati corrispondono in modo diretto e specifico all'attuale contesto urbano romano.
San Francisco – (14 Mission & TETL)	Corsie esclusive bus, design chiaro delle corsie, riqualificazione infrastrutturale delle fermate, TSP e isole pedonali protette.	Tempi di viaggio, affidabilità del servizio, sicurezza e accessibilità ai poli occupazionali.	-31% dei tempi di percorrenza, aumento del 25% dell'affidabilità e ben 26.000 posti di lavoro extra accessibili in un isocrona di 30 minuti.	Sostiene lo scenario obiettivo (30%), mostrando come un intervento continuo e ben integrato sia in grado di ampliare concretamente le opportunità e l'accessibilità urbana.
New York – 14th St Busway	Prioritizzazione del trasporto pubblico tramite <i>busway</i> e limitazione totale del traffico automobilistico di passaggio.	Incrementi di velocità operativa e domanda dell'utenza.	+24%-47% in velocità commerciale; incremento della domanda fino al 30%.	Rafforza l'ipotesi che miglioramenti chiari e percepibili in termini di velocità e affidabilità fungono da catalizzatore per attrarre nuovi utenti, favorendo il trasferimento modale.

Tab.7 - Tabella riassuntiva dei casi studio riferimenti di calcolo

Lavorare sui corridoi: un'estensione incrementale della rete

	Priorità 1 Infrastrutture esistenti: autobus, tram e linee express	Priorità 2 Il rafforzamento delle direttrici - rete ad alta offerta:	Priorità 3 Il rammento funzionale - ricucitura della rete
Scenario Conservativo: miglioramento del 9.2%. Primo livello di miglioramento, basato sull'esperienza europea dei C-ITS (EC, 2016) in cui si ha una riduzione media dei tempi di percorrenza grazie alla priorità semaforica.	+87Km • priorità semaforica • corsie a priorità dinamica	+53Km • priorità semaforica • corsie a priorità dinamica	+19Km • priorità semaforica • corsie a priorità dinamica
Scenario Realistico: miglioramento del 18%. Il secondo livello di miglioramento, nasce su una ricerca applicata sulla città di Roma, in cui l'implementazione di corsie preferenziali e priorità semaforica propongono un impatto positivo sulle velocità.	+87Km • priorità semaforica • corsie preferenziali	+53Km • priorità semaforica • corsie preferenziali	+19Km • priorità semaforica • corsie preferenziali
Scenario Obiettivo: miglioramento del 30%. Il terzo ed ultimo livello, esplora i limiti massimi teoricamente raggiungibili replicando modelli d'eccellenza internazionali, spesso inquadrati sotto la nomenclatura di BRT.	+87Km • priorità semaforica • corsie preferenziali • sistemi di controllo	+53Km • priorità semaforica • corsie preferenziali • sistemi di controllo	+19Km • priorità semaforica • corsie preferenziali • sistemi di controllo

6. SIMULAZIONE DEGLI SCENARI

6.1. Metodologia

6.1.1. La Metrica Multidimensionale dell'Accessibilità

Il salto di paradigma metodologico adottato nella presente ricerca si colloca in coerenza con gli indirizzi del PUMS e con gli indicatori PTOL (*Public Transport Opportunity Level*), assumendo il concetto multidimensionale di accessibilità come criterio centrale di valutazione della rete di trasporto pubblico. In tale prospettiva, la riduzione dei tempi di percorrenza a bordo dell'autobus non viene interpretata come un obiettivo isolato, ma come una condizione tecnica abilitante per ampliare l'insieme delle opportunità urbane effettivamente raggiungibili dalla popolazione.

Per molti residenti localizzati oltre l'Anello Ferroviario o nei quartieri anulari, i lunghi tempi di connessione rappresentano una barriera funzionale all'accesso alla città consolidata e ai suoi principali servizi. Una riduzione anche limitata dei tempi di viaggio può modificare in modo significativo il bacino di destinazioni accessibili, consentendo di raggiungere, entro soglie temporali più compatibili con gli spostamenti quotidiani, poli sanitari, sedi universitarie, centralità amministrative, servizi pubblici e aree direzionali precedentemente marginali o difficilmente accessibili.

L'approccio proposto considera quindi l'infrastruttura di priorità al trasporto pubblico non soltanto come un intervento di efficientamento della rete, ma come una vera e propria politica urbana di accessibilità. L'efficacia dell'intervento viene misurata attraverso la variazione

del numero e della tipologia di servizi raggiungibili entro specifiche soglie temporali, assumendo le fermate del trasporto pubblico come punti realistici di accesso alla rete.

A tal fine, l'analisi geospaziale ha previsto la costruzione di isocrone multimodali pedonali-bus generate a partire dalle fermate, considerate come nodi effettivi di ingresso al sistema di trasporto. Le isocrone sono state calcolate per intervalli temporali progressivi di 5, 10, 15 e 20 minuti, al fine di valutare in modo comparabile l'estensione spaziale dell'accessibilità e il numero di servizi intercettabili entro ciascuna soglia. Questo metodo consente di passare da una semplice valutazione della velocità o della regolarità del servizio a una misura più concreta dell'impatto territoriale: ciò che conta non è solo quanto rapidamente si percorre una tratta, ma quante opportunità urbane diventano effettivamente raggiungibili a partire da una fermata.

Le isocrone sono state utilizzate per quantificare la dotazione di servizi accessibili entro ciascun intervallo temporale, distinguendo le diverse categorie funzionali rilevanti per la vita quotidiana, quali attrezzature sanitarie, servizi educativi, poli universitari, uffici pubblici, nodi di interscambio, centralità commerciali e attrezzature collettive. In questo modo, l'analisi consente di confrontare scenari differenti e di stimare il contributo delle misure di

priorità al bus nel miglioramento dell'accessibilità urbana.

In aggiunta all'analisi delle destinazioni raggiungibili tramite isocrone, è stata condotta una valutazione della popolazione residente servita attraverso la definizione di una *catchment area* attorno alle fermate. Nella pianificazione standard, l'area di influenza pedonale di una fermata autobus in traffico misto viene generalmente stimata attraverso un raggio di 300 metri. Considerando una velocità di camminata media pari a circa 70 metri al minuto (1,167 metri al secondo), tale distanza corrisponde a circa 4,5 minuti a piedi.

La realizzazione di nuove corsie preferenziali modifica questo equilibrio. L'aumento dell'affidabilità del servizio, che si avrà soprattutto sia nello scenario obiettivo che in quello realistico, riduce l'incertezza legata ai tempi di percorrenza e di attesa, rendendo accettabili distanze pedonali leggermente maggiori.

Per questo motivo, negli scenari simulati, il raggio di influenza viene elevato e standardizzato a 400 metri, equivalenti a circa 5 minuti di cammino. In coerenza con le raccomandazioni delle Linee Guida Europee per i PUMS, questa estensione consente di includere e quantificare quote di utenza precedentemente escluse dalla rete ad alta qualità del servizio.

La lettura dell'utenza servita nasce dalla necessità di gerarchizzare gli interventi in base al loro potenziale trasformativo della rete. A tal fine, lo studio approfondisce l'evoluzione demografica e funzionale dei territori interessati dalle corsie preferenziali, mettendo a confronto la rete attuale con le tre priorità progressive di intervento. Il bacino di utenza leggerà l'accessibilità potenziale generata dalla qualità del servizio. In questa prospettiva, la capacità della rete di attrarre nuovi utenti entro un raggio pedonale definito, dipende da: l'incremento della velocità commerciale, l'affidabilità del servizio e la continuità infrastrutturale. Una rete più rapida, regolare e continua amplia infatti la disponibilità degli utenti a raggiungere il servizio a piedi, rafforzandone il ruolo all'interno del sistema di mobilità. L'integrazione tra isocrone temporali e *catchment area* pedonali permette quindi una lettura più completa dell'accessibilità: da un lato, misura quali e quanti servizi possono essere raggiunti entro 5, 10, 15 e 20 minuti a partire dalle fermate; dall'altro, quantifica quanta popolazione residente si trova in prossimità funzionale delle stesse. Questo doppio livello di analisi consente di valutare non solo la performance trasportistica dell'intervento, ma anche la sua rilevanza territoriale e sociale, evidenziando il potenziale miglioramento delle condizioni di accesso della città alle opportunità per i quartieri più periferici e meno connessi.

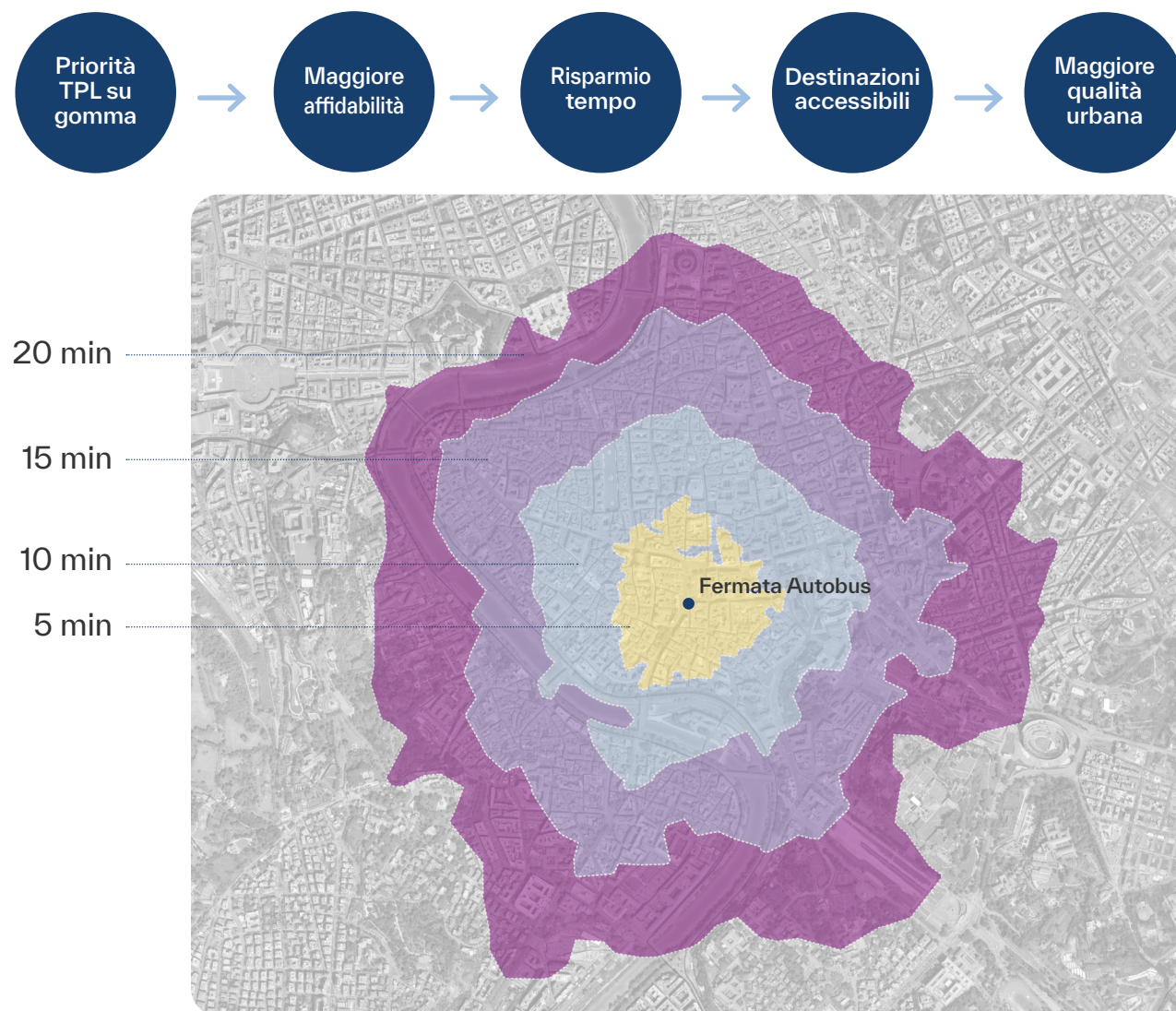


Fig.33 - Isocrone temporali e catchment area 5, 10, 15 e 20 minuti dalla fermata autobus

6.2. Un bus per ogni esigenza

6.2.1. Aumento dell'accessibilità ai servizi

L'efficacia della rete è misurabile concretamente attraverso il numero di servizi di prima necessità raggiungibili. La ricerca ha interrogato il software geospaziale proiettando isocrone pedonali-bus combinate a intervalli di 5, 10, 15 e 20 minuti, misurando l'accesso a cinque macro-categorie: Istruzione, Salute, Esercizi alimentari, Aree verdi, Commercio e Uffici Pubblici. Questi indicatori si collegano strettamente alle metriche del *15-Minute City Score*, che nello stato di fatto rileva che solo il 2% della superficie di Roma sia in grado di offrire tutti i servizi essenziali a 15 minuti di distanza (TT et al, 2025).

Il dato esposto mostra come l'efficienza del trasporto non sia confinata al regno dell'ingegneria del traffico, ma si traduca in equità sociale. Il confronto tra la priorità 1 e la priorità 3 mostra un guadagno netto di 67 scuole e 84 strutture sanitarie aggiuntive per la collettività. Tali benefici spaziali, non rimangono inquadri nei quartieri centrali storicamente privilegiati, ma traslano progressivamente verso i quadranti semi-periferici e anulari. Disintegrare la barriera del tempo di viaggio significa abbattere quella che gli studiosi definiscono la "povertà di tempo associata al trasporto", tramutando la mobilità pubblica in uno strumento fondamentale di inclusione ed emancipazione quotidiana.

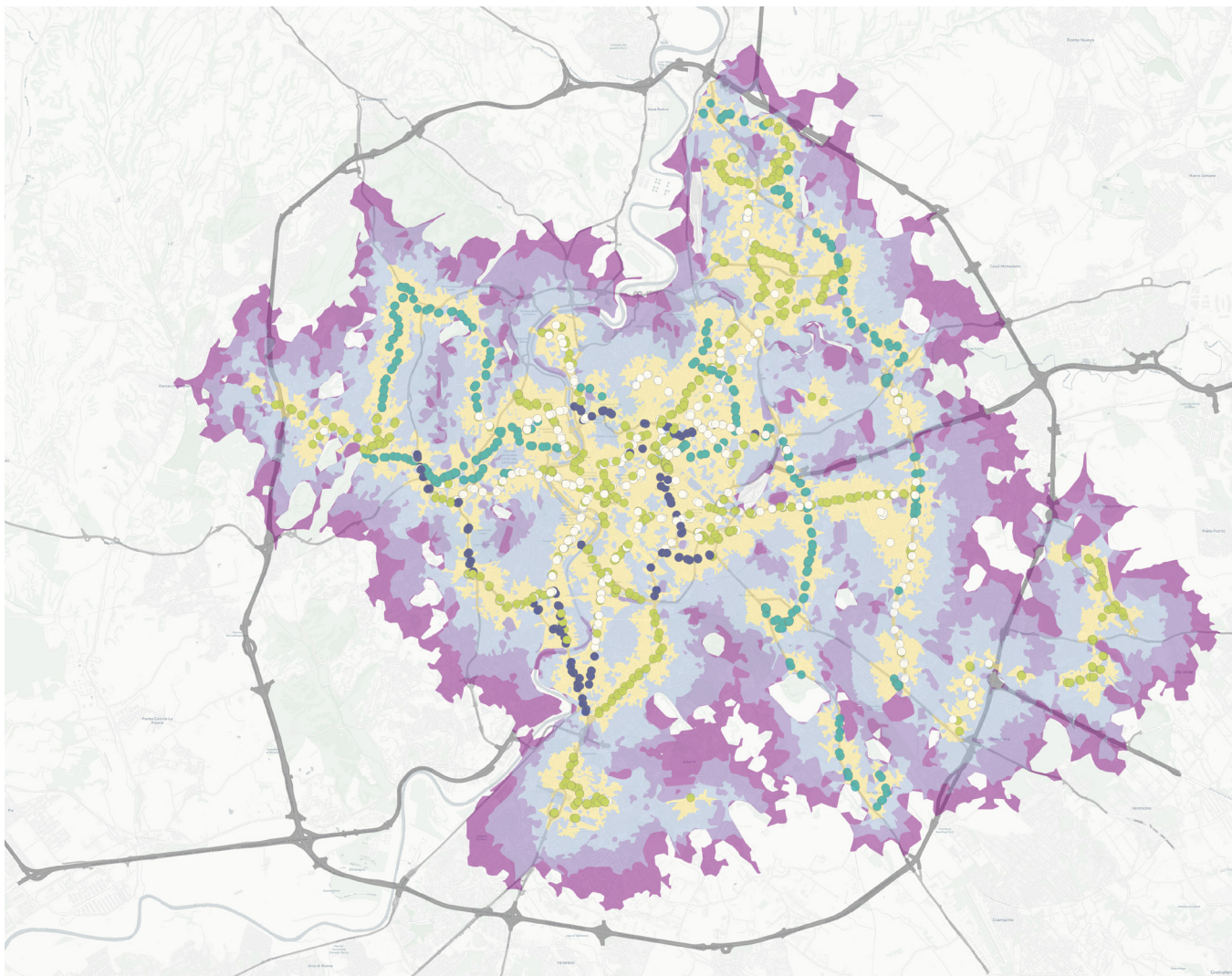


Fig.34 - Isocrone temporali e cachement area 5, 10, 15 e 20 minuti dalle fermate bus interessate lungo la rete

Priorità 1

Già con i minimi interventi previsti in fase 1 sulla rete express, il cittadino medio che impiega un massimo di 5 minuti di tragitto a piedi verso e dalla fermata, può accedere a ben 304 plessi scolastici, 352 presidi sanitari o cliniche, 137 parchi e oltre 1.200 esercizi commerciali e/o di prima necessità. Qualora il raggio temporale venga esteso a 15 minuti di viaggio, i numeri aumentano: si rendono raggiungibili 790 scuole, 597 ospedali/servizi sanitari e 1.446 punti di vendita alimentare.

Priorità 2

L'estensione della rete dei corridoi di corsie preferenziali aumenta il bacino d'influenza, con ricadute soprattutto nei servizi legati a salute e commercio. L'isocrona dei 5 minuti raggiunge 429 presidi sanitari (con un +77 rispetto al primo step di priorità) e oltre 1.107 punti di vendita alimentare (generando un +150 rispetto alla priorità 1). Nei 15 minuti si raggiungono circa 841 servizi educativi e 630 servizi legati alla salute.

Priorità 3

Nella priorità 3 di completamento della rete, la fascia oraria di 5 minuti raggiunge 371 servizi educativi, 436 strutture sanitarie, 170 grandi aree ricreative/parchi e 1.128 hub alimentari. Nei 15 minuti invece, la griglia stabilizza le proprie performance su vette ideali: 841 poli scolastici, 630 poli sanitari e 1.502 attività primarie legate all'alimentazione.

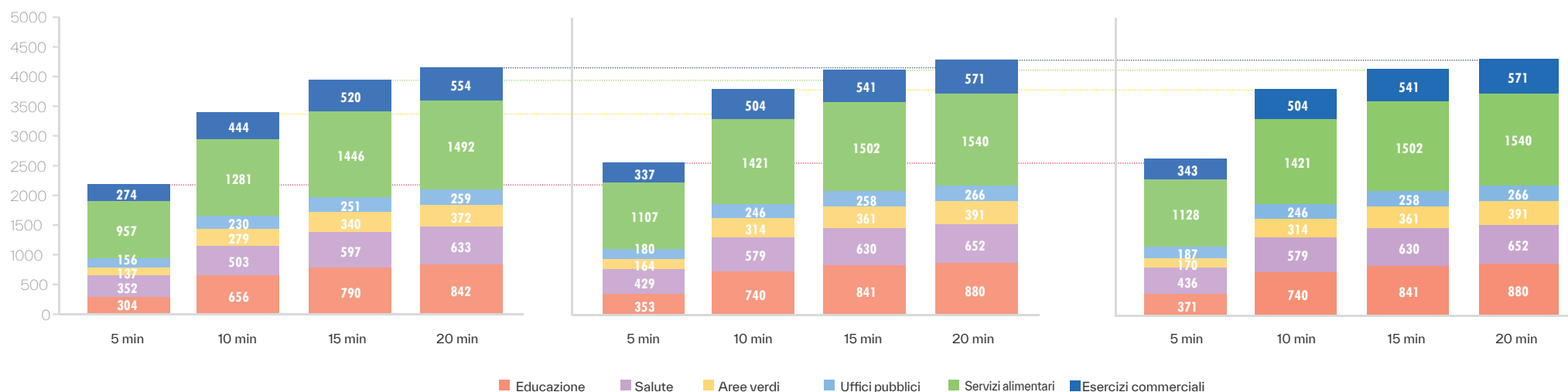


Tabella riassuntiva dei servizi di prima necessità raggiungibili tramite le corsie preferenziali in un raggio di 5 e 15 minuti

Priorità 1

Educazione

5 min - 15 min

304 790

Salute

5 min - 15 min

352 597

Parchi

5 min - 15 min

137 340

Uffici Pubblici

5 min - 15 min

156 251

Servizi alimentari

5 min - 15 min

957 1446

Commercio

5 min - 15 min

274 520

Priorità 2

Educazione

5 min - 15 min

323 880

Salute

5 min - 15 min

429 652

Parchi

5 min - 15 min

164 391

Uffici Pubblici

5 min - 15 min

180 266

Servizi alimentari

5 min - 15 min

1107 1540

Commercio

5 min - 15 min

337 571

Priorità 3

Educazione

5 min - 15 min

371 880

Salute

5 min - 15 min

436 652

Parchi

5 min - 15 min

170 392

Uffici Pubblici

5 min - 15 min

187 266

Servizi alimentari

5 min - 15 min

1128 1540

Commercio

5 min - 15 min

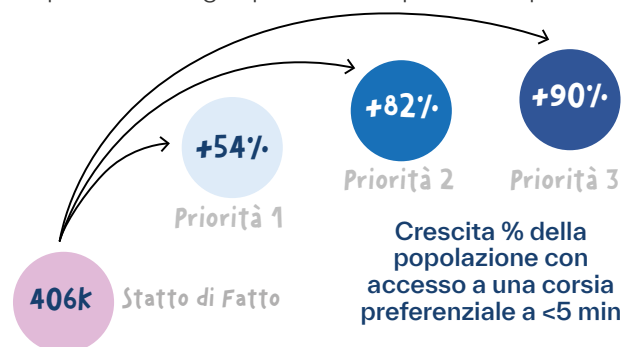
343 571

6.3. “Più bus per tutte e tutti”

La prima fase dello studio definisce lo stato di fatto (baseline) analizzando le corsie preferenziali esistenti e la popolazione servita. I bacini di utenza sono fissati a 300 m per gli autobus e 400 m per i tram, associati alle infrastrutture operative e ai corridoi preferenziali multimodali. La baseline quantifica così la quota di popolazione con accesso diretto a servizi prioritari rispetto al traffico privato.

Nelle fasi di progetto, l'introduzione di corsie esclusive per gli autobus migliora qualità e affidabilità del servizio, estendendo il relativo bacino di utenza a 400 m, in linea con quello del tram.

Questa distanza rappresenta una soglia pedonale realistica per definire l'utenza potenziale del trasporto pubblico. L'intersezione tra le aree di influenza delle fermate e i dati demografici consente di stimare i residenti che possono accedere al servizio entro una distanza compatibile con gli spostamenti pedonali quotidiani.



Corsie esistenti: stato di fatto



Corsie implementate



6.4. Il giro di Roma in meno di 100 minuti

6.4.1. Metodologia di calcolo

Per mappare le reali inefficienze dei percorsi urbani, il modello applicato respinge la premessa di un miglioramento uniforme e lineare sull'intera rete. Al contrario, si è optato per un calcolo granulare segmento per segmento, integrando variabili quali: tempo osservato, lunghezza del tratto, velocità registrata e geometria WKT (*Well-Known Text*) per garantire la massima precisione geospaziale.

Fonti di dati e rappresentatività temporale

Per garantire che le velocità di esercizio riflettano la realtà del sistema, la base informativa del modello è stata ottenuta mediante l'osservazione e l'elaborazione di dati in tempo reale (GTFS-RT). Nello specifico, sono stati utilizzati i protocolli di aggiornamento dei viaggi e della posizione dei veicoli:

- **rome_rtgtfs_trip_updates_feed.pb**
- **rome_rtgtfs_vehicle_positions_feed.pb**

L'acquisizione di questi dati è stata effettuata durante la fascia oraria di punta compresa tra le 10:00 e le 11:00, intervallo identificato dal Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) di Roma come periodo ad alta criticità operativa. Per assicurare un giorno tipo rappresentativo della congestione ricorrente, è stato selezionato un martedì in condizioni di traffico ordinario

(senza incidenti eccezionali o festività), consentendo così una diagnosi fedele degli attriti strutturali del sistema.

Approccio di simulazione

L'approccio dettagliato sulla rete consente una simulazione in cui il miglioramento non viene distribuito in modo arbitrario, ma si concentra laddove le condizioni del contesto favoriscono un impatto maggiore, ovvero dove troviamo:

- Indici di congestione elevati e velocità critiche.
- Alta densità di sovrapposizione delle linee.
- Disponibilità potenziale di sezione stradale (spazio fisico).
- Fattibilità della riduzione delle interferenze alle intersezioni e ottimizzazione dei tempi di attesa.

Per affinare la gerarchizzazione, il modello incorpora indicatori di priorità specifici: velocità inferiori a 15 km/h, soglie critiche inferiori a 10 km/h e segmenti condivisi da quattro o più linee. Questi parametri permettono di identificare non solo i punti di maggiore risparmio temporale, ma anche gli interventi strategici che garantirebbero la massima efficacia della rete.

La conclusione sull'approccio metodologico è: l'efficacia

dell'intervento non risiede in un miglioramento generalizzato di tutta la rete, ma nella selezione di corridoi strategici con un elevato potenziale di impatto scalabile.

Separazione tra tempo di fermata e tempo di marcia: Incorporazione del '*Dwell Time*'

La letteratura sull'esercizio degli autobus e sulla priorità semaforica segnala che il tempo totale osservato di un servizio combina componenti eterogenee: tempo di marcia tra le fermate, tempo di sosta alla fermata per la salita e la discesa dei passeggeri, ritardi alle intersezioni e variabilità associata alla congestione (Lin et al., 2014). Ciò implica che, applicare un miglioramento dell'infrastruttura stradale nel tempo totale osservato, può portare a sovrastimare il beneficio, specialmente quando una frazione rilevata del ritardo deriva dalle operazioni di fermata.

Al fine di migliorare la precisione dell'analisi, il tempo osservato in ciascun segmento è stato scomposto in due componenti: **running time e dwell time**. Il primo corrisponde al tempo di marcia effettivo del veicolo tra le fermate, mentre il secondo rappresenta il tempo di sosta alla fermata. Questa distinzione è rilevante perché gli interventi analizzati in questo studio, come le corsie preferenziali e la priorità semaforica, agiscono

principalmente sulla circolazione dell'autobus e non riducono in modo diretto il tempo dedicato alla salita e alla discesa dei passeggeri.

La separazione è stata effettuata a partire dagli intervalli osservati nel feed **GTFS-Realtime**, combinando le informazioni relative alla sequenza della fermata:

- **Current_stop_sequence**: all'identificativo della fermata (**stop_id**),
- **Stopped_At, In_Transit_to**: Allo stato del veicolo e al movimento effettivo tra osservazioni consecutive.

Un intervallo è stato classificato come 'dwell-like' (assimilabile a una sosta), quando il veicolo rimane associato alla stessa fermata e alla stessa sequenza di fermate, presentando uno stato di arresto in almeno una delle due osservazioni e mostrando uno spostamento minimo o una velocità molto bassa. In termini operativi, ciò ha permesso di identificare in modo conservativo gli intervalli in cui il veicolo non stava avanzando lungo la rete, ma era fermo a una fermata.

Una volta individuati questi intervalli, la loro durata è stata assegnata al segmento la cui fermata di arrivo coincideva con la fermata osservata. Questa convenzione è stata adottata poiché, dal punto di vista dell'esercizio, il tempo di fermata si verifica alla fine del tragitto tra due

fermate consecutive e fa parte dell'intera esperienza di viaggio sul segmento. I restanti intervalli sono stati considerati tempo di marcia e aggiunti al 'running time'.

A partire da questa scomposizione sono state definite le seguenti variabili:

- **Observed_running_time_s**,
- **Observed_dwell_time_s**,
- **Observed_total_time_s**.

Dove il tempo totale del segmento è pari alla somma del tempo di marcia e del tempo di fermata. Allo stesso modo, sono state calcolate due diverse velocità:

- **Observed_running_speed_kmh**: che rappresenta la velocità del veicolo in movimento, e,
- **Observed_commercial_speed_kmh**: che rappresenta la velocità commerciale effettiva del segmento, includendo anche le soste alle fermate.

Questa distinzione consente una lettura più realistica dei risultati. Se un segmento è lento principalmente a causa della congestione stradale, la differenza tra velocità di marcia e velocità commerciale tenderà a essere minore. Al contrario, se una parte rilevante del

ritardo si concentra alla fermata, il *dwell time* assume un peso maggiore e la velocità commerciale scende più della velocità di marcia. In questo modo, l'analisi non solo identifica dove l'autobus va piano, ma anche perché va piano.

Scenari di Miglioramento

Se la definizione delle nuove corsie preferenziali è l'obiettivo ultimo di questa proposta, l'ottimizzazione dei tempi di viaggio costituisce la base essenziale che la rende fattibile. Sulla base del benchmarking internazionale analizzato in precedenza, sono stati strutturati tre scenari di miglioramento progettati per valutare l'impatto sistemico della trasformazione delle corsie bus convenzionali in vere e proprie corsie preferenziali, caratterizzate da continuità, leggibilità e controllo rigoroso.

Questi scenari non rappresentano semplici proiezioni teoriche, bensì soglie di efficienza che permettono di stimare come diversi livelli di priorità per il trasporto pubblico si traducano in benefici tangibili per la rete di superficie di Roma. La valutazione si articola in tre livelli progressivi, presentati in precedenza:

- **Scenario di miglioramento conservativo (9,2%):**

Definisce la soglia dei benefici minimi attesi in seguito a un intervento iniziale di risanamento e controllo della rete esistente.

- **Scenario di miglioramento realistico (18%):** Rappresenta un obiettivo equilibrato e direttamente legato alla potenzialità trasformativa del contesto romano, emulando gli standard di efficienza delle città con infrastrutture consolidate.
- **Scenario di miglioramento obbiettivo (30%):** Esplora il potenziale massimo di una rete di corsie preferenziali ad alta competitività, permettendo di proiettare l’impatto di una trasformazione urbana su una scala più ampia.

Il confronto tra questi modelli consente di costruire una lettura incrementale dell’impatto: mentre il primo scenario convalida la fattibilità della proposta, i livelli successivi evidenziano il potenziale di Roma di ridefinire i propri tempi di collegamento, consentendo che la città sia percorsa secondo una logica di efficienza e regolarità finora riservata unicamente ai sistemi di trasporto metropolitani su ferro.

Applicazione degli scenari sul tempo di marcia

Una volta separati *running time* e *dwell time*, gli scenari

Scenario	Livelli di miglioramento	Riferimento	Elementi utilizzati nel modello
Benchmarking Città Europee	9,2% - Scenario conservativo	<i>Study on the Deployment of C-ITS in Europe</i>	Misure di priorità parziale, gestione intelligente delle intersezioni e ottimizzazione operativa del servizio.
Applicazione realistica su Roma	18% - Scenario realistico	<i>“Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome” - (Russo, Adler, van Ommeren, 2022)</i>	Analisi fondata su evidenze empiriche locali relative alle corsie dedicate agli autobus a Roma. Simula l’impatto di una corsia riservata e fisicamente separata, all’interno di un corridoio a traffico misto.
Pianificazione Obbiettiva	30% - Scenario obbiettivo	Benchmark Analizzato: Imparando dai Modelli di Eccellenza (cap. 5)	Associato alla creazione di corridoi preferenziali ad alta continuità, pienamente integrati e soggetti a un controllo rigoroso, seppur applicati in un contesto urbano circoscritto e spazialmente eterogeneo.

Tab.8 Tabella Scenari di Miglioramento

di miglioramento sono stati applicati esclusivamente alla componente di marcia. Ovvero, il tempo di fermata è stato mantenuto costante in tutti gli scenari. Questa decisione si basa sull’idea che misure come le corsie preferenziali e la priorità semaforica riducano soprattutto il conflitto con il traffico veicolare e i ritardi alle intersezioni, ma non modificano automaticamente i tempi di salita e discesa dei passeggeri. In termini analitici, il nuovo tempo del segmento è stato calcolato come la somma

del nuovo tempo di marcia e dello stesso *dwell time* osservato. Pertanto, il risparmio finale stimato è più conservativo rispetto a una modellazione che applica il miglioramento all’intero tempo totale. Questa formulazione evita di sovrastimare i benefici degli interventi stradali e permette di distinguere tra miglioramento operativo potenziale e miglioramento sulle velocità commerciali effettivo.

Costruzione dell'indice composto: *Benefit Score*

Il presente studio sviluppa un indice composto che consente di definire le priorità, denominato *benefit score*, con l'obiettivo di identificare i segmenti della rete di autobus di Roma dove un intervento di priorità al trasporto pubblico potrebbe generare i maggiori benefici operativi e di rete. Questo indice non corrisponde a una metrica unica standardizzata in letteratura con tale denominazione, bensì a una costruzione analitica specifica per questo caso studio. La sua formulazione si basa su tre tradizionali metodologie complementari:

- Letteratura sugli indicatori composti;
- Valutazione delle misure di priorità al trasporto pubblico;
- Approccio di prioritizzazione multicriterio applicati a corridoi e reti di autobus (*Nardo et al., 2008; Hadas & Nahum, 2016; Lin et al., 2014; Redelmeier et al., 2025*).

Costruire un indice composto risponde alla necessità di sintetizzare, in un'unica misura, diverse dimensioni, che altrimenti rimarrebbero disperse in molteplici variabili difficili da interpretare congiuntamente. In questo senso, il *benefit score* deve essere inteso non come

una misura assoluta del beneficio sociale o economico, ma come uno strumento di prioritizzazione relativa tra segmenti di rete.

La letteratura specifica sul trasporto pubblico ha mostrato che la valutazione di strategie come le corsie preferenziali, la priorità semaforica e altri interventi operativi, si basa su indicatori quali la riduzione del tempo di viaggio, la riduzione dei ritardi, il miglioramento della velocità e la riduzione del ritardo percepito dai passeggeri (*Washington State Transportation Center, 2001; Lin et al., 2014*).

Allo stesso modo, lavori recenti basati su dati AVL (*Automatic Vehicle Location*) evidenziano che l'identificazione degli interventi ad alta priorità deve basarsi sull'evidenza osservata di operatività, velocità ed esposizione del servizio, affinché i progetti selezionati rappresentino i maggiori benefici potenziali per utenti e operatori (*Redelmeier et al., 2025*). Su questa base, l'indice composto progettato per questo studio, integra variabili che catturano simultaneamente:

- ***beneficio operativo potenziale***
- ***l'effetto moltiplicatore (densità di offerta)***
- ***la solidità empirica dell'osservazione***

1. Beneficio operativo potenziale del segmento

Questa prima dimensione dell'indice è rappresentata dal risparmio di tempo stimato in scenari di miglioramento associati a misure di priorità. La centralità di questa variabile è giustificata dal fatto che la riduzione del tempo di viaggio e del ritardo costituisce uno dei criteri più frequenti e rilevanti nella valutazione delle strategie di priorità al trasporto pubblico (*Washington State Transportation Center, 2001; Lin et al., 2014*).

Nella prima versione dell'indice, tale beneficio è stato calcolato mediante il risparmio di tempo per chilometro, poiché questa misura permette di confrontare segmenti di diversa lunghezza, evitando che i tratti più lunghi appaiano automaticamente come prioritari solo per la loro estensione. Questa normalizzazione per distanza è coerente con il principio di comparabilità raccomandato nella letteratura sugli indicatori composti, che avverte della necessità di correggere gli effetti di scala prima di aggregare variabili eterogenee (*Nardo et al., 2008*).

2. L'effetto moltiplicatore (densità di offerta) nella rete TPL

La seconda dimensione corrisponde all'importanza del

segmento nella rete complessiva. La letteratura sulla priorità a percorsi multipli mostra che l'opportunità di un intervento non dipende unicamente dal risparmio di tempo di un singolo veicolo, ma anche dal numero di servizi e passeggeri che possono beneficiare di un determinato corridoio (*Lin et al., 2013*). In particolare, *Lin et al. (2013)* propongono quadri decisionali in cui la priorità viene valutata considerando diverse linee, i tempi di attesa dei passeggeri e ponderazioni specifiche per servizio. Ispirandosi a tale logica, questo studio incorpora la variabile del numero di linee che condividono spazialmente lo stesso corridoio.

In assenza di dati completi e omogenei sull'occupazione o sulla validazione dei passeggeri per l'intera rete, questa variabile viene utilizzata come *proxy* di esposizione sistemica: maggiore è il numero di linee che condividono un segmento, maggiore sarà il beneficio potenziale che riceverebbe un intervento in quel punto o, inversamente, maggiore sarà la possibilità di avere un collo di bottiglia all'interno della rete.

3. Solidità empirica dell'osservazione

La terza dimensione incorpora la solidità empirica dell'osservazione. Questa variabile non deve essere

interpretata come un indicatore di domanda, bensì come una misura legata alla densità di osservazioni empiriche effettuate. La sua inclusione risponde al criterio metodologico di evitare che valori estremi derivanti da scarse osservazioni dominino il processo di selezione dei segmenti. *Nardo et al. (2008)* insistono sul fatto che gli indicatori composti devono essere coerenti non solo con il quadro concettuale, ma anche con la qualità e la stabilità delle informazioni disponibili. In questo studio, *observed interval count* opera come un correttore di affidabilità: un segmento con un elevato risparmio stimato, ma osservato pochissime volte, non dovrebbe occupare la stessa posizione nel ranking di un altro con benefici simili supportati da una base empirica più solida.

La normalizzazione dei dati

La scelta di effettuare una trasformazione logaritmica sia per il numero di linee per corridoio, che per la solidità empirica, permette di contenere l'influenza dei valori estremi del range complessivo indagato. Questo passaggio può essere inteso come una forma di normalizzazione non lineare, che riduce gli effetti di dominanza e migliora la stabilità dell'indice rispetto a osservazioni che risultano saltuarie rispetto all'andamento normale (*Nardo et al.,*

2008). Sostanzialmente, ciò implica l'assunzione di rendimenti marginali decrescenti: il passaggio da una a tre linee condivise modifica la lettura strategica di un segmento più di quanto faccia il passaggio da venti a ventidue, e qualcosa di simile accade per la solidità empirica. Successivamente, l'indice grezzo è stato riparametrato su una metrica da 0 a 100 per facilitarne la lettura cartografica e comparativa tra i segmenti. La normalizzazione rispetto al 95esimo percentile, anziché al valore massimo assoluto, è stata adottata per limitare l'influenza degli *outlier* ed evitare che pochi segmenti comprimessero la variabilità del resto del sistema. Di conseguenza, un valore di 100 non deve essere interpretato come un beneficio "massimo assoluto", ma come l'appartenenza del segmento al gruppo di maggiore priorità relativa all'interno dell'insieme di tracciati/segmenti analizzati.

Interpretazione del *benefit score*

Il *benefit score* deve essere inteso come un indice composto di priorità relativa. Il suo obiettivo non è misurare direttamente un valore specifico, ma ordinare i segmenti in base alla loro rilevanza strategica per l'intervento. Come precedentemente anticipato, l'indice combina tre concetti:

- **beneficio operativo potenziale**
- **l'effetto moltiplicatore (densità di offerta)**
- **la solidità empirica dell'osservazione**

Concentrazione del Beneficio:

A partire da tale scomposizione sono state costruite due varianti dell'indice:

- **Benefit_score_running_100:** valuta il beneficio sul tempo di marcia e serve ad orientare la scelta dei tracciati sui quali si può intervenire con maggiori effetti positivi.
- **Benefit_score_total_100:** valuta il beneficio sul tempo commerciale totale stimato sul segmento, incorporando il fatto che una parte del tempo osservato è associato ai ritardi cumulati alle fermate per la salita e discesa dei passeggeri.

Questa differenza permette di distinguere i segmenti nei quali il problema principale è la circolazione sulla via, da quelli dove una parte sostanziale del ritardo si spiega con le operazioni di fermata. In altre parole, il primo identifica dove conviene intervenire sulla strada, mentre il secondo mostra dove tale intervento si traduce

effettivamente in un miglioramento del servizio percepito.

La scelta di queste varianti trova riscontro indiretto nella letteratura di valutazione della *transit signal priority*. Ad esempio, il *Washington State Transportation Center* (2001) distingue tra risparmio di tempo per viaggio, riduzione del ritardo dei passeggeri e riduzione del ritardo come percentuale del tempo di viaggio del corridoio, mostrando che non esiste un'unica metrica sufficiente a rappresentare i benefici di una misura prioritaria. Allo stesso modo, *Lin et al. (2014)* evidenziano che le valutazioni delle priorità sul trasporto pubblico combinano solitamente riduzione del tempo di viaggio, miglioramento della velocità, affidabilità e, quando possibile, riduzione del *total person delay*. Di conseguenza, l'utilizzo di due punteggi complementari non costituisce una vana duplicazione, ma una decisione metodologica volta a catturare due dimensioni distinte del beneficio.

Questo approccio è coerente anche con i lavori di analisi multicriteriale sulle reti di corsie preferenziali, dove le decisioni non vengono prese a partire da una singola variabile, ma attraverso la combinazione esplicita di vari criteri di prestazione, fattibilità e portata sistemica (*Hadas & Nahum, 2016*).

Tuttavia, come ogni indice composto, il *benefit score* incorpora presupposti che devono essere dichiarati. In particolare, l'utilizzo del numero delle linee per corridoio come *proxy* dell'importanza della rete e di *observed interval count* come *proxy* della robustezza empirica, è una decisione condizionata dalla disponibilità dei dati. In future applicazioni, la presenza di dati omogenei su passeggeri, validazioni o carico a bordo permetterebbe di sostituire o integrare queste variabili con misure più dirette di accessibilità della popolazione o di *person delay* reale.

In sintesi, il *benefit score* è stato costruito come un indice composto ad hoc, metodologicamente fondato sulla letteratura riguardante gli indicatori composti, la valutazione dei criteri di priorità per gli autobus e l'analisi multicriteriale. Il suo valore non risiede nel riprodurre una formula universale già stabilita, ma nel tradurre in modo trasparente un insieme di principi ampiamente accettati in letteratura in uno strumento operativo adattato al caso di Roma e alla struttura dei dati GTFS-RT/AVL disponibili per questo studio.

Fonti e Dati di Input

Costruzione della rete

Elaborazione delle caratteristiche

GTFS Statico

- Routes
- Trips
- Stops
- Stops Times
- Shapes
- Calendar

GTFS-Realtime

- Vehicle ID
- Trip ID
- Route ID
- Timestamp
- Latitude/Longitude
- Stop ID & Stop Sequence
- Vehicle Status (STOPPED_AT, IN_TRANSIT, etc).

Open Street Map (OSM)

- Geometria stradale
- Numero di corsie
- Tipologia strada
- Nome strada
- Larghezza approssimativa
- Senso unico / Direzione

Corsie Riservate Bus (Shapefile)

- Corsie riservate bus
- Corridoi bus
- Contesto infrastrutturale

Finestra di Osservazione

- Data: 21 aprile 2026
- Ora di punta: 10:00 - 11:00
- Fuso orario: Europe/Rome
- Durata: 1 ora

1. Ricostruzione della rete programmata da GTFS (Segmenti Stop-to-Stop)

Generazione dei segmenti *stop-to-stop* (per ogni linea e direzione)

2. Creazione degli intervalli di movimento da GTFS-RT

- I. Osservazioni consecutive (stesso veicolo / stessa corsa)
- II. Creazione intervallo di movimento
- III. Calcolo distanza e tempo trascorso
- IV. Velocità osservata

3. Intersezione delle mappe

Assegna ogni intervallo osservato al segmento GTFS di riferimento:

- Segmento più vicino sullo stesso tracciato
- Segmento più vicino sulla stessa linea
- Segmento più vicino nell'intera rete

4. Aggregazione degli intervalli per segmento

Aggregazione di tutti gli intervalli per ciascun segmento

- Distanza totale osservata (m)
- Tempo totale osservato (s)
- Numero di intervalli
- Numero di veicoli
- Numero di corse
- **Velocità media osservata**

5. Caratteristiche stradali (da OSM)

Indicatore di fattibilità (spazio fisico disponibile per intervento)

- Numero di corsie
- Tipologia strada
- Nome strada
- Larghezza approssimativa
- Senso unico / direzione

6. Condivisione corridoi / Importanza della rete

- I. Raggruppamento dei segmenti spazialmente sovrapposti nei corridoi individuati
- II. Computazione delle linee distinte che utilizzano ogni corridoio
- III. Computazione delle corse che passano su ogni corridoio
- IV. Numero di linee e corse nel corridoio (dato che identifica la densità di offerta)

7. Separazione del tempo di corsa dal tempo di sosta

Regole di rilevamento dei tempi di sosta:

- presenza di una fermata (Stop ID)
 - ripetizione di una sequenza di soste
 - nome della fermata di riferimento
 - minimo movimento (distanza $\leq 5m$ o velocità $\leq 3km/h$)
- I. Assegnazione del tempo di sosta al segmento di rete che termina alla fermata
 - II. $Tempo\ totale\ osservato = Tempo\ di\ Corsa\ osservato + Tempo\ di\ Sosta\ osservato$

Simulazione degli scenari

Output e priorità di azione

8. Filtro dei segmenti selezionati per:

- Congestione elevata
- Numero di corsie ≥ 2

9. Assegnazione dello scenario di miglioramento

- Candidati principali (congestione + numero di corsie):
Miglioramento applicato con percentuale massima (+9.2%, +18%, +30%)*
- Candidato secondario: Miglioramento ridotto = 1/3 del valore massimo*

10. Applicazione del miglioramento al tempo di corsa

Si riduce il tempo di corsa: il *dwell time* resta invariato per evitare sovrastime.

- Scenario Conservativo: Miglioramento del 9.2%*
- Scenario Realistico: Miglioramento del 18%*
- Scenario Obiettivo: Miglioramento del 30%*

11. Ricostruzione del tempo totale migliorato

Nuovo tempo totale = Tempo di Corsa + Tempo di Sosta

12. Calcolo dei benefici e dei miglioramenti prestazionali

Matrice:

- Risparmio di tempo
- % Risparmio
- Velocità commerciale sulle corsie selezionate
- Velocità commerciale registrata sull'intera rete

13. Costruzione del *benefit score*

Combina risparmio di tempo, numero di linee sul corridoio e numero di osservazioni disponibili:

- Beneficio operativo: risparmio di tempo o guadagno di velocità
- Offerta in rete: numero di linee nel corridoio
- Robustezza dei dati: numero di intervalli osservati

14. Interpretazione delle priorità

Classifica dei segmenti in base al *benefit score*

- Segmenti a scorrimento lento
- Principali colli di bottiglia
- Corridoi a maggior offerta e con geometrie integrabili a corsie preferenziali
- Risparmi attesi
- Aree ad alto impatto su tutta la rete

RISULTATI OTTENUTI

- Corridoi principali (geometria)*
- Segmenti prioritari (stop-to-stop)*
- Miglioramento della velocità commerciale nei 9 scenari simulati (priorità 1,2,3 + scenari di miglioramento)*
- Risparmio di tempo atteso*
- Mappa dei segmenti critici e nodi dai quali partire per gli interventi*

Note sull'applicazione dei calcoli

- I risultati rappresentano il periodo osservato, coincidente con un giorno infrasettimanale rappresentativo durante l'ora di punta indicata dal PUMS.
- Il tempo di sosta rilevato è condizionato dalle posizioni GTFS-RT e dallo stato del veicolo nell'ora di osservazione.

6.4.2. Diagnostica del deflusso: Una rete ostaggio dei colli di bottiglia

La presente analisi valuta le prestazioni operative della rete autobus e stima l'impatto potenziale dell'implementazione di corsie preferenziali su corridoi ad alta priorità. L'obiettivo è individuare i nodi in cui le misure di protezione infrastrutturale possono massimizzare il miglioramento dei tempi di viaggio e dell'efficienza complessiva del servizio. Il piano di intervento sui corridoi selezionati è stato simulato attraverso le tre fasi cumulative viste in precedenza:

- **Priorità 1:** Implementazione del primo gruppo di corridoi prioritari corrispondenti ai corridoi delle Linee Express, più le corsie preferenziali esistenti.
- **Priorità 2:** Integrazione di un secondo gruppo di corridoi in cui è maggiore l'offerta del servizio su gomma.
- **Priorità 3:** Attivazione del pacchetto completo di corsie preferenziali proposte.

Per ciascuna fase, il modello valuta i tre scenari di ottimizzazione, applicandoli esclusivamente ai tratti delle nuove corsie preferenziali proposte e alle corsie esistenti: **un miglioramento conservativo (9,2%), uno intermedio (18%) e uno obiettivo (30%).** I benefici ottenuti su questi corridoi lenti vengono successivamente aggregati per misurare l'effetto sistemico sull'intera rete.

L'analisi topologica è stata condotta su un campione di 14.066 segmenti spaziali, per un totale di 5.686 km di tracciato e 15.067 km di servizio delle linee di autobus. Nel periodo di osservazione, il sistema ha accumulato 1.187 ore-veicolo di percorrenza totale.

Quando analizziamo le velocità di percorrenza, i risultati spaziali evidenziano che i ritardi sulla rete di superficie non presentano una distribuzione omogenea, bensì si concentrano in specifici nodi critici, generando un evidente squilibrio tra estensione del servizio e tempo di viaggio:

I segmenti con velocità inferiore a 10 km/h rappresentano solo il 14,7% dei chilometri di servizio, ma influenzano il 42% dei tempi operativi totali dell'intera rete.

Ampliando la soglia ai tratti con velocità inferiore a 15 km/h (pari a 7.227 segmenti, ovvero il 51,4% dell'infrastruttura), questi servono il 37,7% del servizio, incidendo sul 65,5% dei tempi di percorrenza totali, impattando negativamente 244 linee distinte.

Tale congestione si manifesta nei segmenti viari in cui convergono due fattori determinanti: *una marcata riduzione della velocità commerciale e un'elevata sovrapposizione di linee TPL sul medesimo asse.* Il decadimento prestazionale

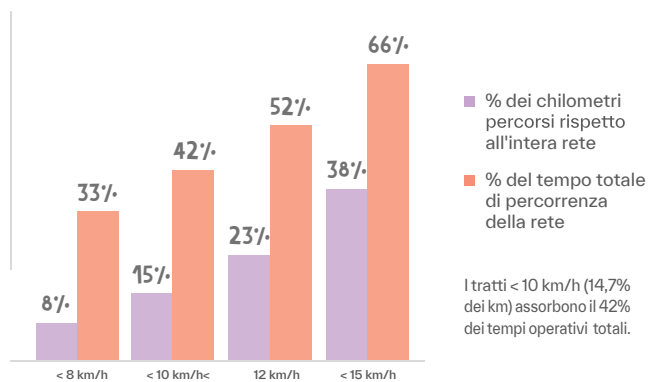
costituisce dunque una criticità sistemica. Il modello ha isolato 3.453 tratti ad "alta criticità", caratterizzati simultaneamente da velocità inferiori ai 15 km/h e dal transito sovrapposto di almeno quattro linee autobus differenti.

È in queste strozzature ad alta densità di servizio che gli interventi infrastrutturali generano un "Effetto Moltiplicatore": l'implementazione di sedi protette, anche su assi di estensione limitata (es. 200 metri), permette di decongestionare simultaneamente più linee in servizio. Intervenendo sui corridoi più lenti e critici produce benefici operativi già elevati per un grande volume di passeggeri, ottimizzando il sistema senza modifiche infrastrutturali generalizzate sull'intera rete urbana.

Sintesi Segmenti Osservati

segmenti 14.066 Rete osservata	linee 251 Percorsi unici
N° linee medio 4.33 Per segmento critico	linee impattate 244 97.2% delle linee
Segmenti con Velocità <15 km/h 51,4% 7.227 segmenti della rete	

Concentrazione delle basse velocità: dove si genera il ritardo



Composizione dei tempi operativi sull'intera rete

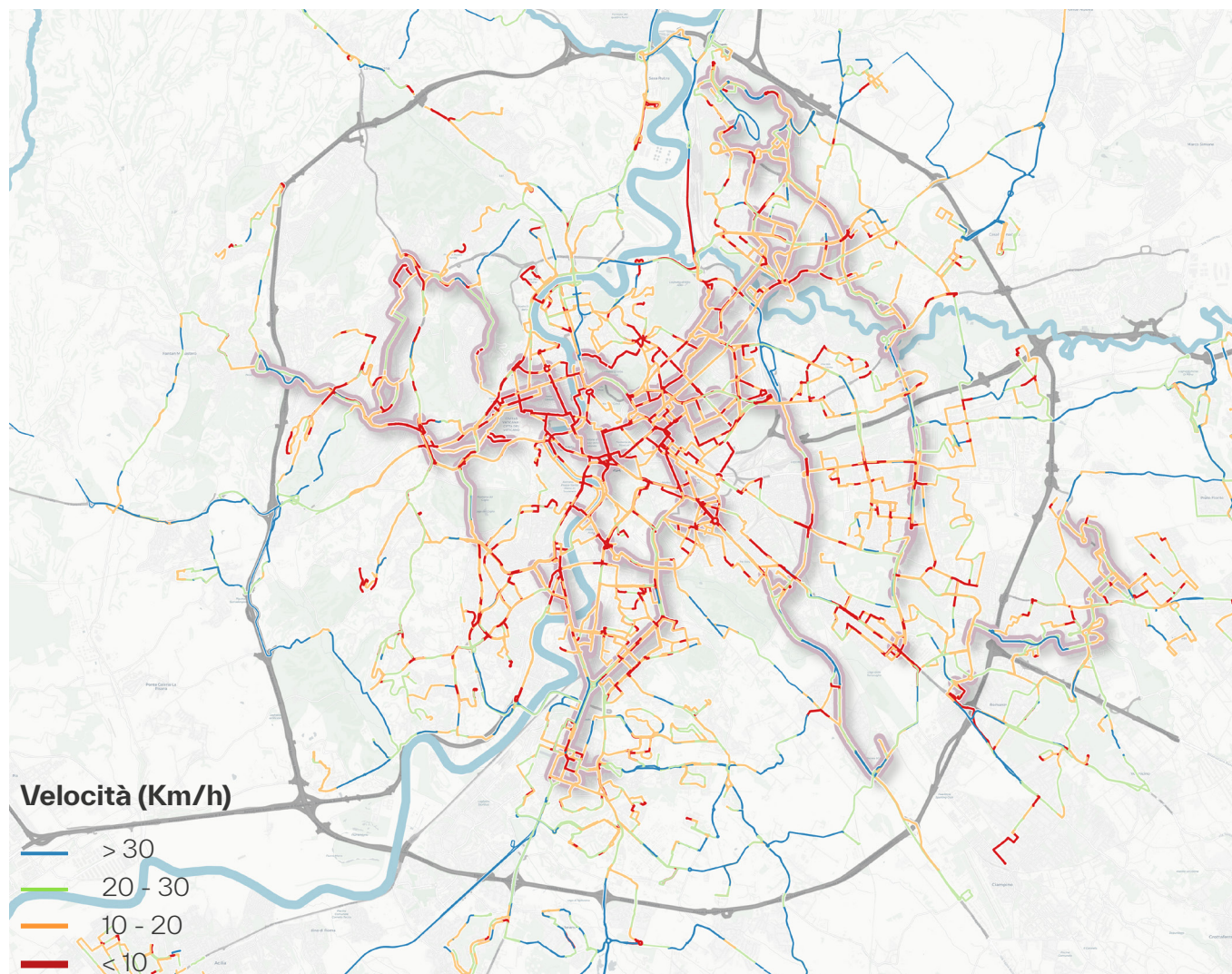
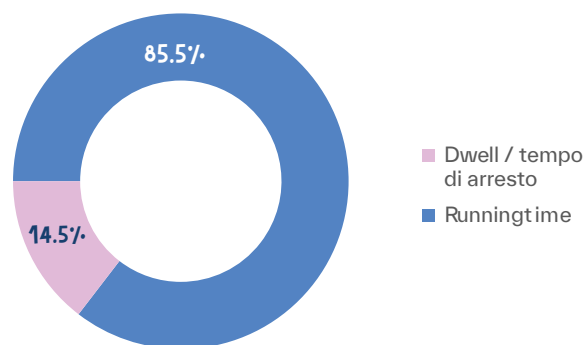


Fig.35 - Velocità commerciale media (osservata) nei segmenti della rete autobus

6.4.3. Perché i corridoi proposti sono ideali per interventi prioritari

I percorsi scelti sono il cuore del progetto per le nuove corsie preferenziali degli autobus. Rispetto al resto della città, infatti, in questi tratti, gli autobus viaggiano molto più lentamente. Di conseguenza, è proprio qui che si accumulano i ritardi più importanti e frequenti.

Deficit prestazionale. Il pacchetto completo della rete di corsie preferenziali proposto fino alla Priorità 3, attualmente opera a una velocità commerciale media di 9,39 km/h, mentre la rete esterna alle corsie selezionate viaggia a 14,59 km/h. Ciò significa che gli assi prioritari sono sostanzialmente più lenti rispetto al resto della rete e risultano pertanto più esposti a congestione, interferenze veicolari, ritardi alle fermate e conflitti con il traffico misto.

Questa differenza di velocità è fondamentale poiché dimostra che i corridoi proposti non rappresentano una semplice espansione spaziale della rete, bensì corrispondono alle porzioni del sistema in cui le operazioni degli autobus sono maggiormente compromesse. Costituiscono pertanto i target ideali per l'implementazione delle corsie preferenziali: anche un moderato miglioramento delle loro condizioni operative può generare effetti tangibili sulle prestazioni complessive dell'intera rete.

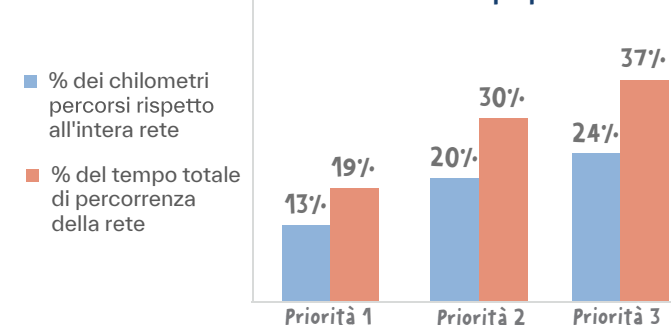
Squilibrio spazio-temporale e priorità d'intervento.

La maggior parte del tempo di viaggio di tutta la rete si concentra proprio nei percorsi che sono stati scelti per gli interventi. I tratti in cui sono previste le nuove corsie preferenziali coprono appena il 24,4% della lunghezza totale delle strade, ma “consumano” ben il 36,5% di tutto il tempo impiegato per viaggiare. Questa grande differenza dimostra in modo chiaro che in queste aree specifiche si accumulano molti più ritardi.

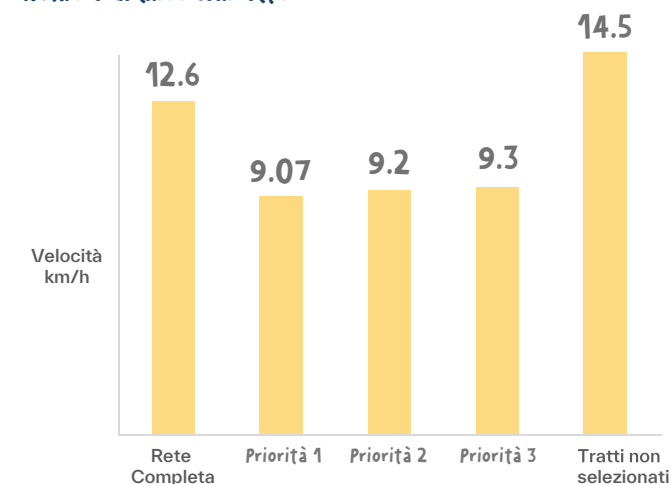
Priorità 1 degli interventi sulla rete. Pur coprendo appena il 12,6% della lunghezza dei tracciati, incide per il 18,7% sul tempo operativo totale del sistema. La sua velocità commerciale media si attesta a 9,07 km/h, il valore più basso tra le varie fasi cumulative di implementazione. Questo dato certifica che il primo pacchetto di interventi intercetta esattamente i corridoi più critici e soggetti a maggiori ritardi.

I corridoi selezionati devono essere intesi come colli di bottiglia all'interno della rete TPL. Non si tratta unicamente di assi lenti, ma di vere e proprie strozzature in cui il ritardo si accumula e si propaga, compromettendo l'efficienza di molte linee. Di conseguenza, il loro potenziamento strutturale è destinato a produrre benefici sistemici che si estendono ben oltre i singoli segmenti trattati.

Concentrazione delle basse velocità: Corridoi proposti



Numero di linee coinvolte



I corridoi selezionati operano a velocità commerciali significativamente inferiori rispetto alla rete non selezionata, confermando il loro ruolo di colli di bottiglia critici nella loro operatività.

I corridoi selezionati presentano inoltre un'elevata intensità di servizio, misurata dal numero medio di linee autobus che condividono il medesimo tracciato. Questo indicatore evidenzia il potenziale "Effetto Moltiplicatore" dell'intervento: la riqualificazione di un singolo corridoio può facilitare lo scorrimento di più linee.

Nell'intera rete, il numero medio di linee condivise per corridoio è di 3,63. Nella rete esterna ai corridoi selezionati, questo valore scende a 2,91 linee. Al contrario, i corridoi prioritari registrano valori decisamente superiori:

- **Corridoi della Priorità 1:** media di 6,99 linee condivise
- **Corridoi della Priorità 2:** media di 5,99 linee condivise
- **Corridoi della Priorità 3:** media di 5,83 linee condivise

Ciò conferma che l'intervento proposto non mira esclusivamente ad agire sugli assi lenti, ma si concentra strategicamente sui tratti in cui l'offerta di trasporto pubblico è più densa.

La Priorità 1 assume una rilevanza peculiare poiché seleziona corridoi che combinano la velocità commerciale attualmente più bassa, con il numero massimo di linee passanti. La rete selezionata presenta il numero medio più alto di linee condivise (6,99), registrando contestualmente la velocità commerciale più bassa

(9,07 km/h). Questa convergenza di criticità rende la Priorità 1 strategica per un'implementazione nel breve termine.

Di conseguenza, i miglioramenti operativi in questa prima fase avranno un impatto positivo su un vasto volume di servizi e passeggeri, nonostante l'intervento infrastrutturale fisico sia circoscritto ai soli corridoi di massima priorità.

Sotto il profilo sistemico, questo rappresenta un argomento chiave a supporto della strategia attuativa. I corridoi caratterizzati da un'alta sovrapposizione di linee sono anche le arterie in cui i ritardi tendono a diffondersi a cascata su più rotte. Se gli autobus subiscono rallentamenti in queste strozzature, l'impatto non resta confinato a livello locale, ma si diffonde: riduce l'affidabilità generale, incrementa i tempi di attesa, innesca l'accodamento delle vetture (*bunching*) e compromette le tempistiche dei segmenti a valle.

I corridoi della Priorità 1 mostrano un numero medio di linee autobus che risulta circa doppio rispetto alla rete non selezionata, confermando un potenziale molto elevato di effetto moltiplicatore sulle prestazioni complessive della rete.

Priorità 1

9,07 km/h

velocità commerciale senza interventi

6,99 linee condivise

221,6 h tempo attuale di servizio

Priorità 2

9,25 km/h

velocità commerciale senza interventi

5,99 linee condivise

359 h tempo attuale di servizio

Priorità 3

9,39 km/h

velocità commerciale senza interventi

5,83 linee condivise

433,3 h tempo attuale di servizio

6.4.4. Corsie Preferenziali Esistenti: Diagnosi Attuale e Criticità Operative

L'analisi dei segmenti dotati di corsie preferenziali preesistenti dimostra che l'attuale infrastruttura *express* non opera ancora come un sistema riservato efficace. All'interno della Priorità 1 di implementazione, sono stati individuati 464 segmenti con corsie preferenziali già esistenti. Tali segmenti rappresentano il **28,0% dei tratti totali della Priorità 1, il 33,6% dei chilometri di servizio e ben il 36,8% del tempo operativo totale** osservato per questa fase.

Ciò significa che le preferenziali esistenti non costituiscono elementi marginali della prima fase di implementazione, bensì una componente centrale dei corridoi selezionati.

Tuttavia, le loro prestazioni attuali si rivelano estremamente scarse. I segmenti con corsie preferenziali esistenti viaggiano a una velocità commerciale media di 8,33 km/h, mentre i segmenti in Priorità 1, attualmente sprovvisti di corsie preferenziali, registrano 9,55 km/h (la media complessiva della Priorità 1 è di 9,10 km/h). Questo dato evidenzia come le corsie preferenziali esistenti siano tra le porzioni più lente in assoluto del primo pacchetto di interventi.

Tale risultato indica che queste infrastrutture, trovandosi in corridoi caratterizzati da una maggiore congestione e, a causa dell'esposizione al traffico privato o del loro

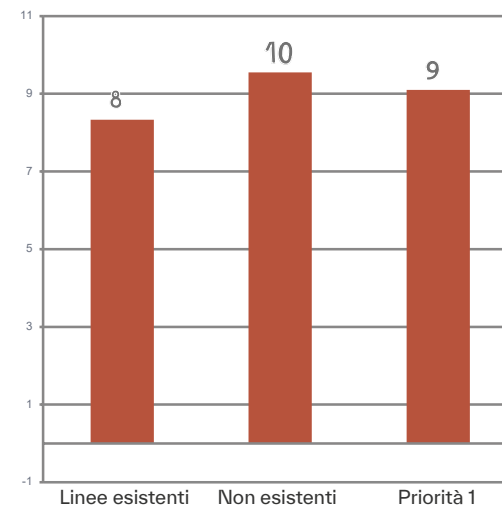
uso promiscuo, non garantiscono un livello sufficiente di priorità operativa. All'atto pratico, fungono più da corsie parzialmente condivise o debolmente protette che non da vere infrastrutture ad uso esclusivo del TPL.

La concentrazione delle basse velocità rafforza questa diagnosi: nei segmenti della Priorità 1 con corsie preferenziali esistenti, il 64,7% delle percorrenze avviene a meno di 10 km/h, il 76,1% sotto i 12 km/h e l'88,3% sotto i 15 km/h. Pertanto, la quasi totalità del tempo trascorso su queste corsie avviene tuttora in condizioni operative rallentate.

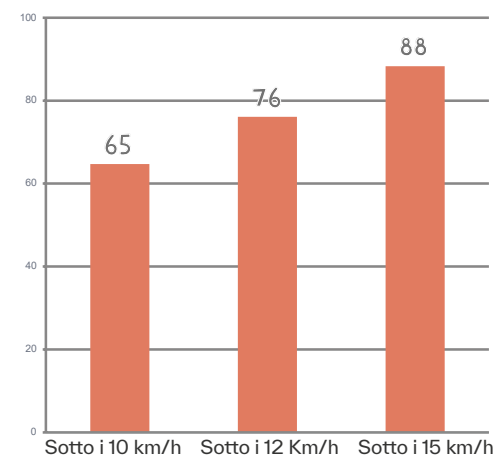
Molteplici fattori spiegano questo effetto prestazionale: le corsie esistenti sono spesso discontinue (obbligando i mezzi a reinserirsi nel traffico promiscuo), subiscono continue invasioni da parte di auto, veicoli commerciali o mezzi in sosta vietata, e perdono gran parte della loro efficacia agli incroci, dove gli autobus restano intrappolati nelle code semaforiche generali.

Per renderle funzionali, la Priorità 1 dovrà necessariamente prevedere un pacchetto di misure complementari: protezione fisica o cordolatura visiva, sanzionamento elettronico (*camera enforcement*), gestione dei margini stradali e azzeramento della sosta selvaggia, asservimento semaforico e corsie di attestamento (*queue-jump*).

Velocità Commerciale in condizioni differenti



Percentuali delle percorrenze rispetto alle velocità osservate



6.4.5. Potenziale di miglioramento delle corsie preferenziali esistenti all'interno della Priorità 1

Poiché le corsie preferenziali esistenti fanno parte della Priorità 1, il loro potenziale di miglioramento è stato testato utilizzando i medesimi tre scenari di ottimizzazione applicati ai corridoi di tale fase: +9,2%, +18% e +30%.

La condizione di base (*baseline*) dei segmenti con corsie esistenti inclusi nella Priorità 1 è di 81,44 ore-veicolo di tempo di viaggio osservato, con una velocità commerciale media di 8,33km/h. Se queste corsie raggiungessero lo stesso livello di miglioramento ipotizzato negli scenari della Priorità 1, le loro prestazioni crescerebbero in modo sostanziale:

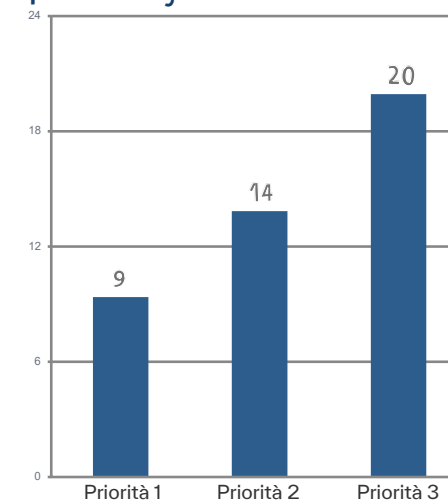
- **Scenario conservativo (+9,2%):** le corsie esistenti risparmierebbero 9,37 ore-veicolo, riducendo il proprio tempo di percorrenza dell'11,5%. La loro velocità commerciale aumenterebbe da 8,33 km/h a 9,41 km/h.
- **Scenario intermedio (+18%):** le corsie esistenti risparmierebbero 13,84 ore-veicolo, riducendo il tempo di viaggio del 17,0%. La velocità commerciale salirebbe a 10,03 km/h.
- **Scenario ottimistico (+30%):** le corsie esistenti risparmierebbero 19,93 ore-veicolo, riducendo il tempo di viaggio del 24,5%. La velocità commerciale

aumenterebbe fino a 11,03 km/h.

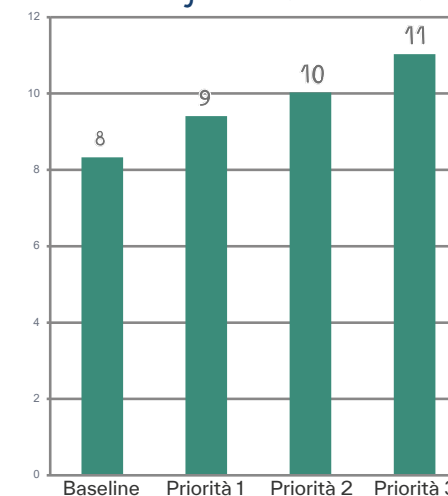
Questi valori dimostrano che la riqualificazione delle corsie esistenti può produrre un'ampia quota dei benefici dell'intera priorità 1 (che possiede ulteriori tracciati). Sebbene i segmenti con preferenziali preesistenti rappresentino solo il 28,0% dei tratti della Priorità 1, essi generano approssimativamente tra il 41,6% e il 41,9% del risparmio di tempo totale della priorità, a seconda dello scenario considerato.

Ciò conferma che le corsie esistenti non dovrebbero essere trattate come un'infrastruttura ormai completata, ma costituiscono un'opportunità di riqualificazione ad altissimo impatto all'interno della Priorità 1.

Tempo Risparmiato: Miglioramento Corsie esistenti in Priorità 1



Velocità Commerciale: Miglioramento Corsie esistenti in Priorità 1



6.4.6. Proiezioni Operative: La riduzione dei tempi nei tre scenari

Scenario Conservativo 9,2%

Lo scenario conservativo ipotizza un miglioramento del 9,2% delle condizioni operative sui corridoi preferenziali selezionati. Questo rappresenta lo scenario a minor impatto e può essere interpretato come il risultato di un potenziamento moderato della priorità semaforica per gli autobus, di una separazione limitata dai veicoli privati attraverso priorità dinamica o di un controllo operativo solo parziale.

In questo scenario, il miglioramento del 9,2% è stato applicato alla velocità operativa dei soli segmenti interessati dall'intervento di corsia preferenziale. La riduzione dei tempi di percorrenza deriva dal ricalcolo dei tempi sui segmenti trattati a partire dalla nuova velocità stimata.

Gli impatti positivi crescono progressivamente con l'estendersi dell'implementazione dalla Priorità 1 alla Priorità 3:

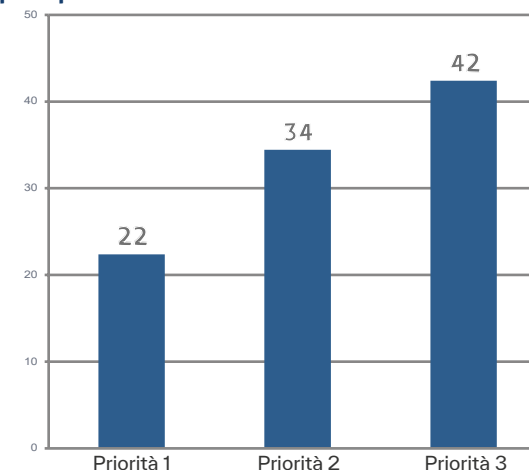
- **Priorità 1:** l'intervento si applica a 1.658 segmenti e genera un risparmio di 22,38 ore-veicolo durante il periodo osservato. Ciò corrisponde a una riduzione dell'1,89% del tempo di viaggio totale della rete e innalza la velocità commerciale complessiva a

12,94 km/h. La velocità commerciale registrata sui tratti oggetto di intervento è pari a 13,35 km/h.

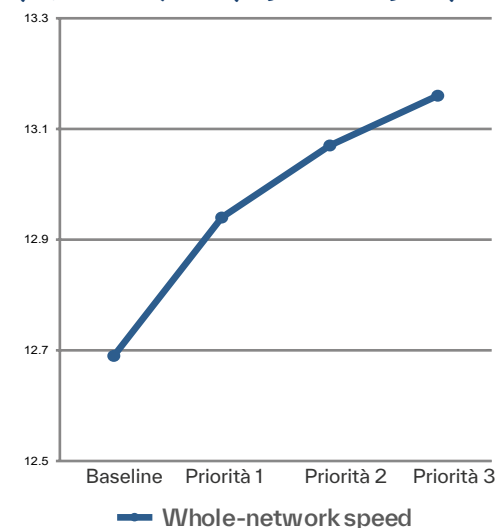
- **Priorità 2:** l'intervento cumulativo si estende a 2.866 segmenti. Il risparmio totale sulla rete sale a 34,43 ore-veicolo, equivalente a una riduzione del 2,90% del tempo totale di percorrenza. La velocità commerciale dell'intera rete raggiunge i 13,07 km/h, mentre localmente, nei tratti di intervento, raggiunge i 13,6 km/h.
- **Priorità 3:** il pacchetto completo dei corridoi selezionati comprende 3.479 segmenti. Nello scenario conservativo, questo genera un risparmio di 42,40 ore-veicolo, pari a una riduzione del 3,57% del tempo di viaggio totale della rete. La velocità commerciale complessiva in rete si attesta a 13,16 km/h, mentre nei tratti nei quali si è intervenuto si attesta intorno ai 13,73 Km/h.

Lo scenario conservativo dimostra che persino un miglioramento moderato, sebbene applicato esclusivamente a corridoi specifici, può generare benefici su tutta la rete. Il raggiungimento anche solo della soglia conservativa richiede che le corsie preferenziali operino in modo decisamente superiore rispetto allo standard odierno, specialmente laddove i tracciati esistenti subiscono ancora la promiscuità con il traffico privato.

Tempo Risparmiato: scenario conservativo



Velocità Commerciale in rete: scenario conservativo



Scenario Realistico 18%

Lo scenario intermedio ipotizza un miglioramento del 18% delle condizioni operative sui corridoi selezionati. Questo scenario riflette un pacchetto di interventi più incisivo, in cui le corsie preferenziali sono più continue e separate in modo più coerente dai veicoli privati, sottoposte a controlli più rigorosi e caratterizzate da una maggiore continuità lungo il tracciato.

In questo scenario, il miglioramento del 18% è stato applicato alla velocità operativa dei segmenti selezionati per l'intervento. I benefici in termini di tempo derivano quindi dall'aumento di velocità sui segmenti trattati, mentre il resto della rete rimane invariata.

In questo scenario, gli impatti sono sostanzialmente superiori rispetto al caso conservativo:

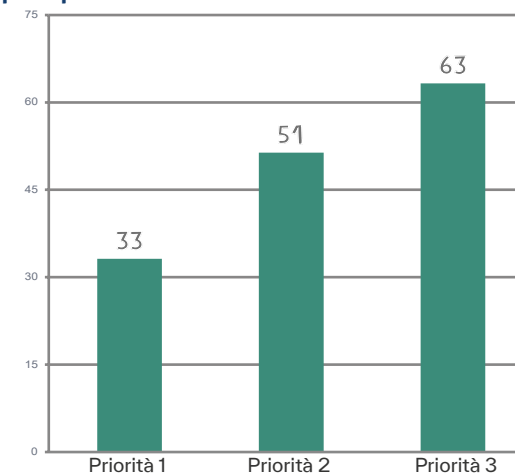
- **Priorità 1:** l'intervento genera un risparmio di 33,17 ore-veicolo, corrispondente a una riduzione del 2,79% del tempo di viaggio totale sulla rete. La velocità commerciale complessiva innalza il proprio valore da 12,69 km/h a 13,06 km/h. La velocità commerciale registrata invece sui tracciati di intervento è pari a 14,21 km/h.

- **Priorità 2:** l'intervento cumulativo espande la rete prioritaria e incrementa il risparmio totale a 51,37 ore-veicolo. Ciò corrisponde a una riduzione del 4,33% del tempo di percorrenza dell'intera rete, con la velocità commerciale complessiva che sale a 13,27 km/h. Quella registrata sui tratti nei quali si interviene è pari a 14,4 km/h.
- **Priorità 3:** il pacchetto completo dei corridoi genera un risparmio di 63,26 ore-veicolo, equivalente a una riduzione del 5,33% del tempo di viaggio totale sulla rete. La velocità commerciale dell'intero sistema raggiunge i 13,41 km/h, mentre quella sui tratti di intervento raggiunge quote pari a 14,58 km/h.

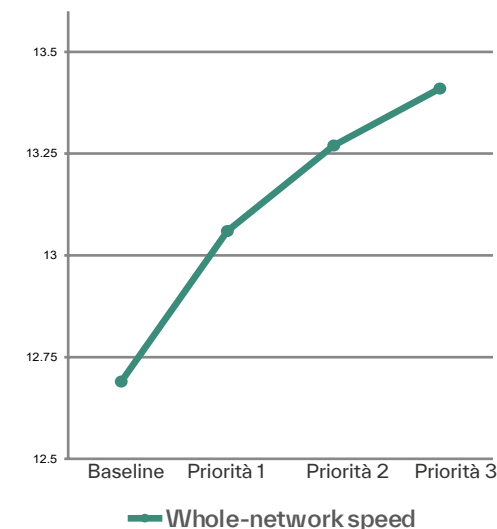
Lo scenario intermedio fornisce un caso di riferimento estremamente utile, poiché rappresenta un obiettivo più realistico per una strategia di corsie preferenziali ben progettata. I benefici non sono più marginali: raggiungendo la priorità 3, il sistema risparmia oltre 63 ore-veicolo, limitatamente al solo periodo di osservazione.

Lo scenario realistico dimostra che un miglioramento ambizioso ma allo stesso tempo realistico per il contesto romano, può generare benefici che superano gli obiettivi del PUMS in termini di velocità commerciale nella rete portante selezionata rispetto alla situazione attuale (PUMS richiede il 20% in più di velocità commerciale).

Tempo Risparmiato: Priorità 2



Velocità Commerciale in rete: scenario realistico



Scenario Obiettivo 30%

Lo scenario obiettivo ipotizza un miglioramento del 30% delle condizioni operative sui corridoi selezionati. Questo scenario rappresenta il livello massimo di impatto atteso in questo studio e richiederebbe un solido pacchetto di implementazione: corsie preferenziali continue, separazione effettiva dai veicoli privati, controlli sistematici, priorità alle intersezioni (asservimento semaforico) e una migliore gestione dei margini stradali.

In questo scenario, il miglioramento del 30% è stato applicato alla velocità operativa dei segmenti interessati dalle corsie preferenziali. La riduzione dei tempi di percorrenza è il risultato del ricalcolo dei tempi sui segmenti sui quali si è intervenuto, non di una riduzione percentuale applicata direttamente al tempo totale di rete. In questo scenario, gli impatti risultano sostanziali sin dalla prima fase di priorità:

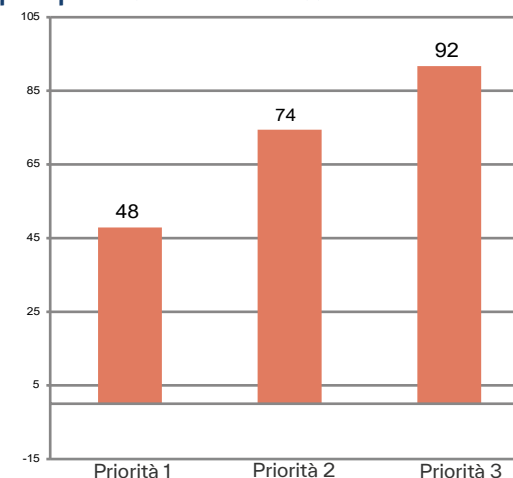
- **Priorità 1:** l'implementazione genera un risparmio di 47,87 ore-veicolo, riducendo il tempo di viaggio totale della rete del 4,03%. La velocità commerciale dell'intera rete aumenta da 12,69 km/h a 13,22 km/h. considerando la velocità commerciale delle singole corsie di intervento, la velocità commerciale

raggiunge i 15,66 km/h.

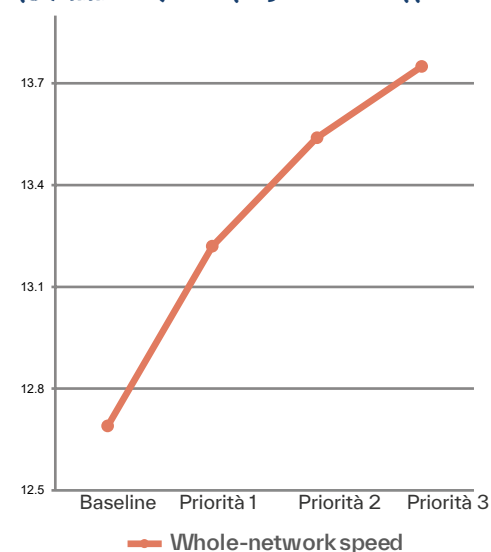
- **Priorità 2:** l'intervento cumulativo produce un risparmio di 74,46 ore-veicolo, corrispondente a una riduzione del 6,27% del tempo totale di percorrenza della rete. La velocità commerciale complessiva sale a 13,54 km/h. mentre quella sui tracciati su cui si interviene, questa risulta pari a 15,9 Km/h.
- **Priorità 3:** il pacchetto completo delle corsie preferenziali genera l'impatto massimo stimato: 91,70 ore-veicolo risparmiate durante il periodo osservato. Ciò corrisponde a una riduzione del 7,72% del tempo di viaggio totale della rete e innalza la velocità commerciale complessiva a 13,75 km/h. Mentre il valore di velocità commerciale solo sulle corsie simulate raggiunge i 16 km/h.

Lo scenario obiettivo dimostra il pieno potenziale della strategia proposta. Tuttavia, è anche il più esigente in termini di ottimizzazione degli interventi. È improbabile raggiungere un miglioramento del 30% qualora le corsie esistenti rimanessero parzialmente condivise con il traffico privato, interrotte agli incroci o soggette a controlli inefficaci. Anche in questa prospettiva, gli obiettivi del PUMS sarebbero ampiamente raggiunti, con prestazioni notevolmente superiori in ciascuna priorità di azione nella rete portante di intervento selezionata.

Tempo Risparmiato: scenario obiettivo



Velocità Commerciale in rete: scenario obiettivo



6.4.7. Lettura Comparata degli Scenari

Il confronto tra gli scenari illustra come i benefici attesi varino in funzione del livello di miglioramento operativo conseguito sui corridoi selezionati. I tre scenari non devono essere interpretati esclusivamente come proiezioni numeriche, poiché rappresentano a tutti gli effetti differenti livelli di qualità esecutiva.

- **Scenario Conservativo (9,2%):** Produce i benefici minori. Consente di risparmiare 22,38 ore-veicolo nella Priorità 1, 34,43 ore-veicolo nella Priorità 2 e 42,40 ore-veicolo nella Priorità 3. Questo scenario corrisponde a miglioramenti parziali o moderati, in cui le corsie preferenziali incrementano le prestazioni, ma restano esposte a determinati conflitti con i veicoli privati.
- **Scenario intermedio:** Genera un effetto più marcato. I risparmi salgono a 33,17 ore-veicolo nella Priorità 1, 51,37 ore-veicolo nella Priorità 2 e 63,26 ore-veicolo nella Priorità 3. Questo scenario è coerente con un pacchetto di interventi più completo, in cui le corsie sono maggiormente separate, continue e sottoposte a controlli operativi più efficaci.
- **Scenario Obiettivo:** Illustra il potenziale massimo stimato. I risparmi raggiungono le 47,87 ore-veicolo nella Priorità 1, 74,46 ore-veicolo nella Priorità 2 e 91,70 ore-veicolo nella Priorità 3. Tale scenario richiede un

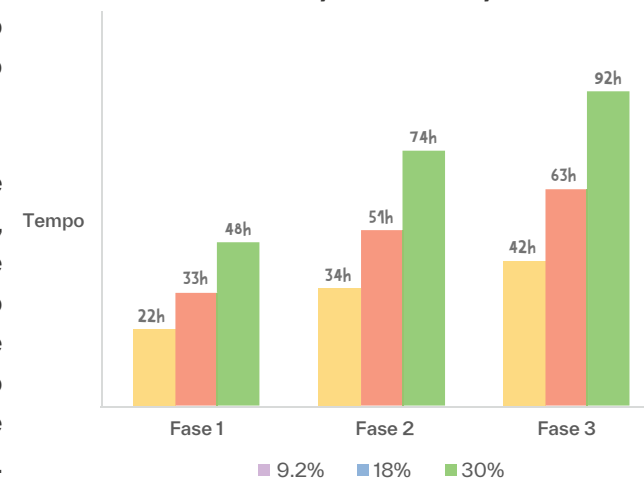
sistema di intervento di altissima qualità, che includa la separazione fisica o operativa, sanzionamento automatico sistematico, asservimento semaforico e una rigorosa gestione dei margini stradali.

In tutti gli scenari, i benefici crescono con l'espansione dell'implementazione dalla Priorità 1 alla Priorità 3. Tuttavia, l'entità del vantaggio sistemico dipende fortemente dal livello di ottimizzazione raggiunto. Considerando la Priorità 3, la forbice tra lo scenario conservativo e quello ottimistico ammonta a ben 49,30 ore-veicolo risparmiate. Ciò significa che la qualità progettuale e attuativa può arrivare a raddoppiare il beneficio atteso.

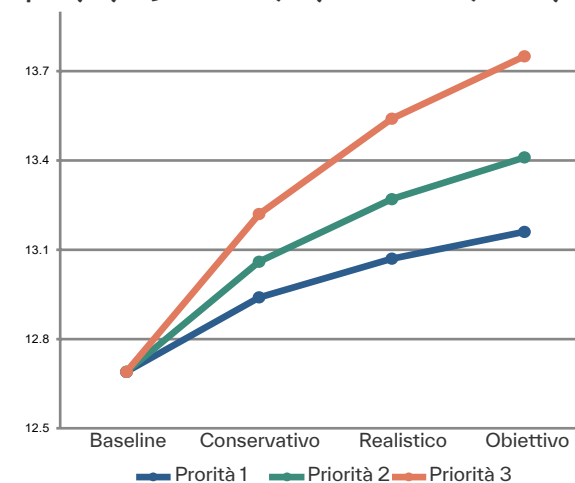
La medesima dinamica si applica alla velocità commerciale dell'intera rete. Al completamento della Priorità 3, la rete raggiunge i 13,16 km/h nello scenario conservativo, i 13,41 km/h in quello realistico e i 13,75 km/h in quello obiettivo.

All'interno della priorità 1, la riqualificazione delle corsie preferenziali preesistenti contribuisce per circa il 42% ai risparmi totali della prima fase di priorità in tutti e tre gli scenari. Pertanto, la differenza tra un risultato conservativo e uno ottimistico dipende in larga parte dal mantenimento della promiscuità con i veicoli privati su queste corsie oppure dalla loro definitiva trasformazione in un'infrastruttura riservata pienamente efficace

Confronto tra scenari: risparmio di tempo



Confronto tra scenari: velocità commerciale in rete



Massima velocità commerciale
raggiungibile in rete post priorità 3

13.75 km/h

Matrice comparativa dei risultati

Osservando la matrice dei risultati emerge come indipendentemente dalla priorità in esame, già in uno scenario conservativo verrebbero raggiunte velocità commerciali (Vc) il 20% superiori a quelle osservate nello stato di fatto sui medesimi tracciati.

		Priorità 1 +87Km	Priorità 2 +53Km	Priorità 3 +19Km	
STATO DI FATTO (nella rete selezionata)	Velocità commerciale (Km/h)	9,10	9,30	9,40	
	Vc impatto sulla rete (Km/h)	12,69	12,69	12,69	Vc costante
Scenario CONSERVATIVO	Velocità commerciale (Km/h)	13,40	13,60	13,70	
	Vc impatto sulla rete (Km/h)	12,90	13,10	13,20	
Scenario REALISTICO	Velocità commerciale (Km/h)	14,20	14,40	14,60	
	Vc impatto sulla rete (Km/h)	13,10	13,30	13,40	
Scenario OBIETTIVO	Velocità commerciale (Km/h)	15,66	15,90	16,00	
	Vc impatto sulla rete (Km/h)	13,20	13,50	13,75	

Tab.10 - Matrice Comparativa Risultati

6.5. Gerarchizzazione degli Interventi

6.5.1. Definizione del “Benefit Score”

Dato il volume dell’infrastruttura analizzata e considerati i vincoli stringenti dettati dalle casse pubbliche comunali, disperdere chilometri di cordoli e telecamere in maniera casuale produrrebbe ritorni limitati. Per contenere l’effetto boomerang di investimenti inefficaci, lo studio ha sintetizzato matematicamente un indice denominato “Benefit Score”, normalizzato su un punteggio da 0 a 100. Questo punteggio agisce come un radar per evidenziare l’impronta dove il ritorno sociale di investimento sulle corsie preferenziali raggiungerà il massimo.

Questo indicatore corrisponde a una definizione operativa specifica per il presente studio, elaborata sulla base di principi metodologici relativa agli indicatori composti, alla valutazione delle misure di priorità nel trasporto pubblico e all’analisi multicriteriale applicata al trasporto pubblico.

Su questa base concettuale, il benefit score è stato definito come un indice composito di prioritizzazione il cui obiettivo è ordinare i segmenti in base alla loro rilevanza strategica per l’intervento. Pertanto, l’indice integra tre dimensioni: (i) il potenziale beneficio operativo del segmento, espresso attraverso il risparmio di tempo stimato e miglioramento della velocità; (ii) l’importanza del segmento all’interno della rete, rappresentata dal numero di linee che condividono lo stesso corridoio; e (iii) la solidità empirica dell’osservazione, approssimata dalla quantità di intervalli osservati nei dati GTFS-RT.

1

Beneficio operativo potenziale

L’impatto operativo potenziale sul segmento

Laddove la misurazione indichi andamenti critici (e.g., crolli sistematici della marcia al di sotto dei 10 km/h).

2

L’Effetto moltiplicatore (Densità di offerta)

Il potenziale del tratto analizzato

l’importanza del segmento all’interno della rete, rappresentata dal numero di linee che condividono lo stesso corridoio

3

Solidità empirica dell’osservazione

La qualità e quantità delle osservazioni

Evita che valori estremi (*outlier*), derivanti da scarse osservazioni, distorcano le priorità, garantendo stabilità e qualità del dato (Nardo et al., 2008). A parità di risparmio di tempo stimato, viene data priorità ai segmenti supportati da una base empirica più solida.

Nota: Indice composito basato sulla letteratura relativa agli indicatori composti e alla valutazione delle misure di priorità per il trasporto pubblico.

6.5.2. La concentrazione del beneficio: massimizzare il ritorno sull'investimento

Non occorre assolutamente stravolgere né cantierizzare l'intera capitale per ottenere una rivoluzione tangibile, nel sistema TPL di superficie.

Nelle premesse dello Scenario realistico (miglioramento al 18%), l'algoritmo dimostra che è sufficiente estrarre il 10% dei segmenti, dotati del punteggio di *Benefit Score* più alto, per assorbire e risolvere oltre il 60,6% di tempo perso sull'intera rete romana.

La Priorità 1 presenta il punteggio medio di *Benefit Score* più alto, confermando che il primo pacchetto di implementazione include i segmenti prioritari più rilevanti. Il punteggio medio di *Benefit Score* raggiunge 55,70 nello scenario obiettivo, rispetto a 50,48 per l'intero pacchetto della Priorità 3.

Ciò conferma la logica di suddivisione in fasi: la Priorità 1 contiene i corridoi a maggior beneficio, mentre le Priorità 2 e 3 ampliano la rete includendo corridoi aggiuntivi rilevanti, con un punteggio medio di *Benefit Score*.

Benefit Score

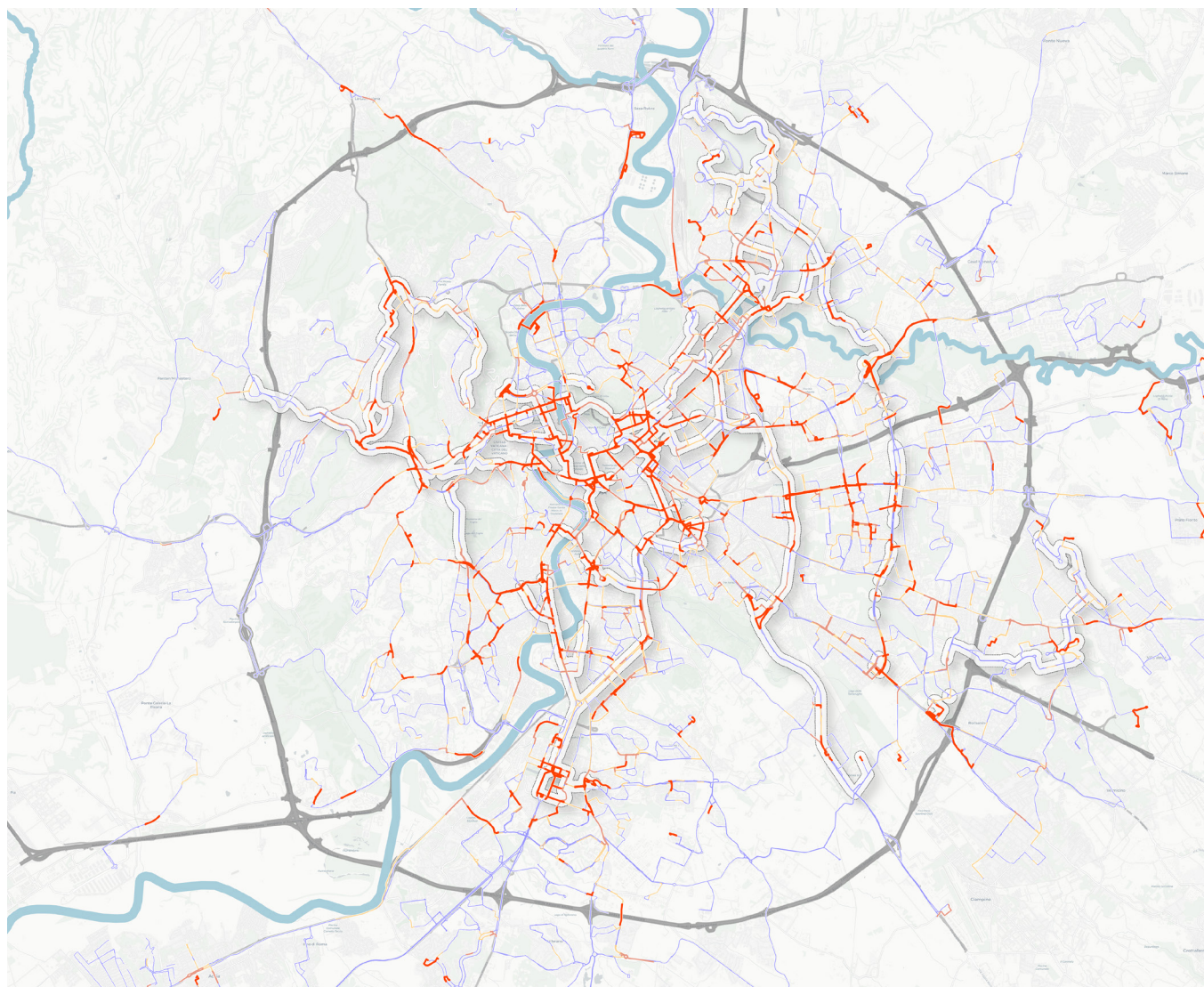
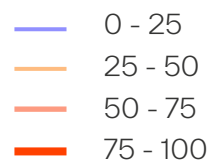


Fig.36 - Benefit score per segmento analizzato

6.5.3. Ruolo della dimensione della carreggiata nella modellizzazione

Per capire dove fosse possibile intervenire modificando la sezione della strada, abbiamo considerato la larghezza delle strade, basandoci sul numero di corsie (utilizzando i dati di *Open Street Maps*). Il motivo di questa scelta è molto pratico e intuitivo: per poter creare una corsia preferenziale dedicata agli autobus, la strada deve essere fisicamente abbastanza grande e spaziosa da poterla ospitare.

Di conseguenza, i segmenti con la minore velocità di marcia osservata e con almeno due corsie, sono stati considerati candidati prioritari di intervento. Al contrario, quando il segmento non soddisfaceva tale condizione, il miglioramento applicato è stato ridotto. In questo modo, la dimensione della strada influenza il risultato in maniera indiretta: non aumenta lo score di per sé, ma modifica l'entità del risparmio stimato, incidendo sullo scenario di miglioramento che può essere ragionevolmente applicato al segmento.

Dal punto di vista metodologico, ciò significa che la dimensione stradale è stata trattata come una condizione di applicabilità e non come una dimensione autonoma di beneficio. Questa scelta evita di confondere la capacità fisica di intervento con il beneficio effettivo del progetto, e mantiene una chiara separazione tra fattibilità e risultato atteso.

La capacità trasformativa della sezione stradale

Le strade scelte per i primi interventi devono avere una caratteristica fondamentale: lo spazio adeguato.

La scelta delle strade su cui intervenire per prime (candidati prioritari) si basa sulle caratteristiche della carreggiata, che, deve essere abbastanza larga e avere un numero di corsie sufficiente per poter inserire le nuove corsie preferenziali (incluse le necessarie barriere di separazione). L'obiettivo, infatti, è migliorare il trasporto pubblico senza bloccare o peggiorare drasticamente la normale circolazione di tutti gli altri veicoli sul resto della strada.

Candidati prioritari aggiunti per fase

Fase d'Attuazione	Segmenti aggiunti	Primi interventi	Quota del pacchetto aggiunto
Priorità 1	1,658	933	56.3%
Priorità 2	1,208	529	43.8%
Priorità 3	613	330	53.8%

6.5.4. I candidati prioritari per l'introduzione di infrastrutture di separazione nelle corsie preferenziali

Fino all'attuazione della Priorità 3, i corridoi con corsia preferenziale selezionati comprendono 1.792 segmenti candidati primari, pari al 36,0% di tutti i candidati primari presenti nella rete di autobus osservata.

La Priorità 1 presenta la più alta concentrazione di candidati primari, con il 56,3% dei suoi segmenti classificati come tali. Ciò conferma che la Priorità 1 concentra le opportunità operative più forti per l'implementazione della corsia preferenziale.

Anche i segmenti aggiunti nella Priorità 3 mostrano una forte concentrazione di segmenti con il 53,8% di candidati primari. La Priorità 2 aggiunge invece il maggior numero di nuovi segmenti, ma presenta una densità di candidati primari inferiore, pari al 43,8%.

Dal punto di vista delle fasi, la Priorità 1 dovrebbe essere intesa come il pacchetto con la massima necessità di implementazione, la Priorità 2 come la principale espansione della copertura e la Priorità 3 come il completamento della rete di corridoi strategici con segmenti aggiuntivi ad alto beneficio.

Valutazione della rete

- Importanza secondaria
- Importanza prioritaria

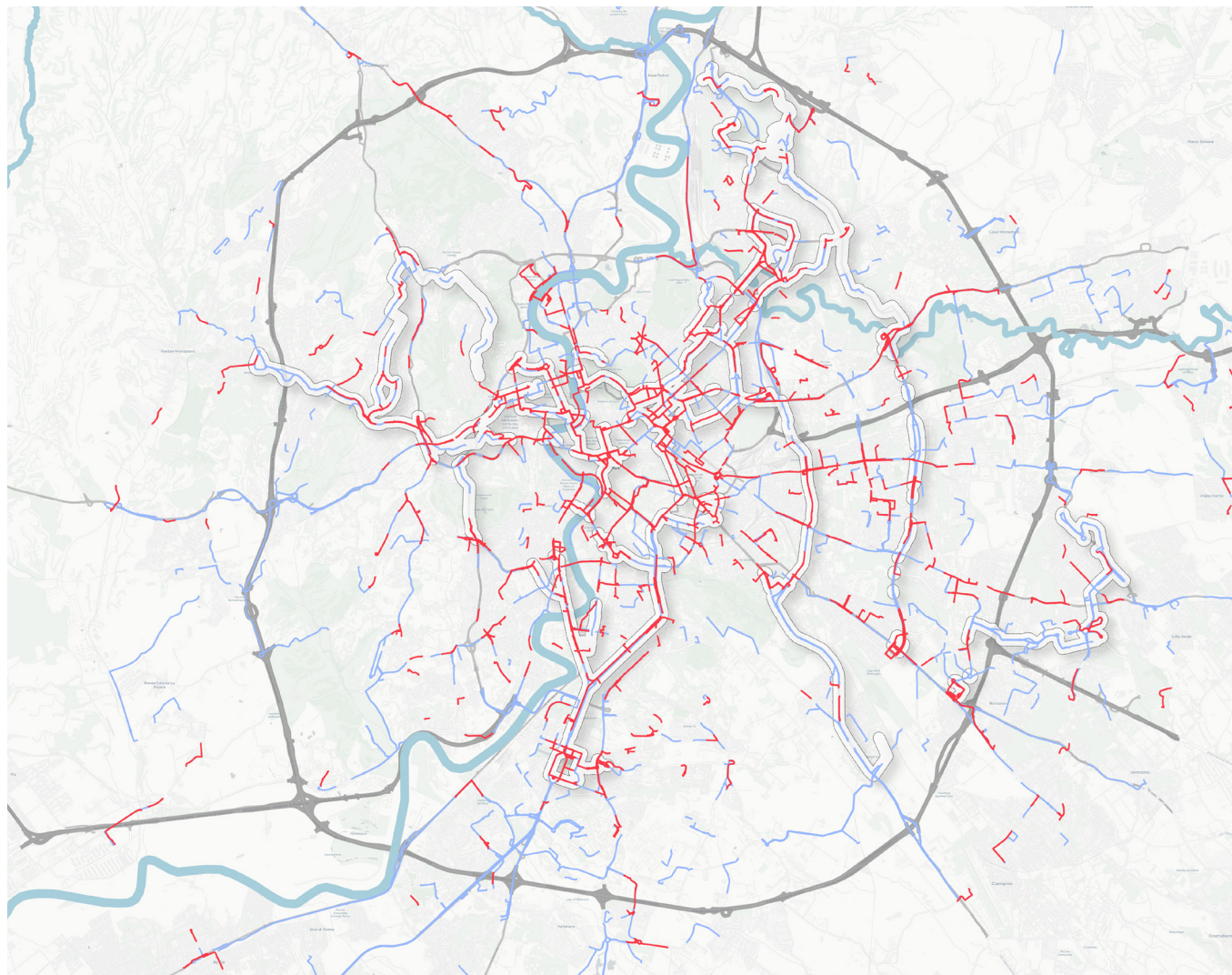


Fig.37 - Priorità di intervento

6.5.5. Assi e nodi critici

1 il cuore del conflitto: il nodo monumentale

Piazza Venezia → Ara Coeli → Via del Plebiscito → Via del Teatro Marcello come l'epicentro dei ritardi.

In questo settore, il *benefit score* raggiunge il suo valore massimo (100/100) a causa di metriche minime rilevate:

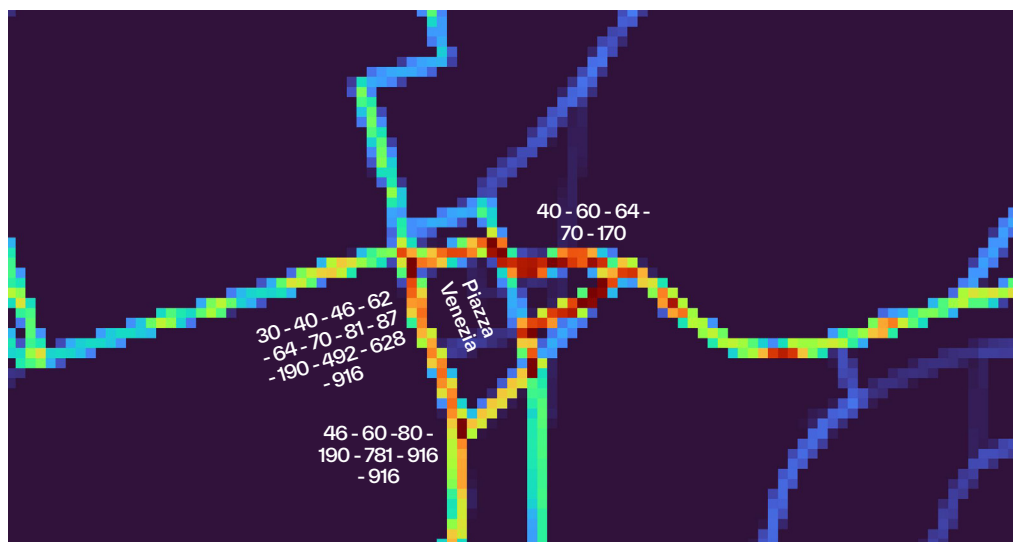
- **P.za Venezia → Plebiscito:** Registra velocità di appena 1,08 km/h, con la presenza fino a 23 linee simultanee.
- **Ara Coeli → Piazza Venezia:** Con 25 linee passanti, la velocità osservata non supera i 3,5 km/h.

Impatto: Ogni metro di corsia preferenziale inserito su questo asse, avrebbe un impatto positivo su oltre 20 percorsi che collegano il centro con il resto della città.

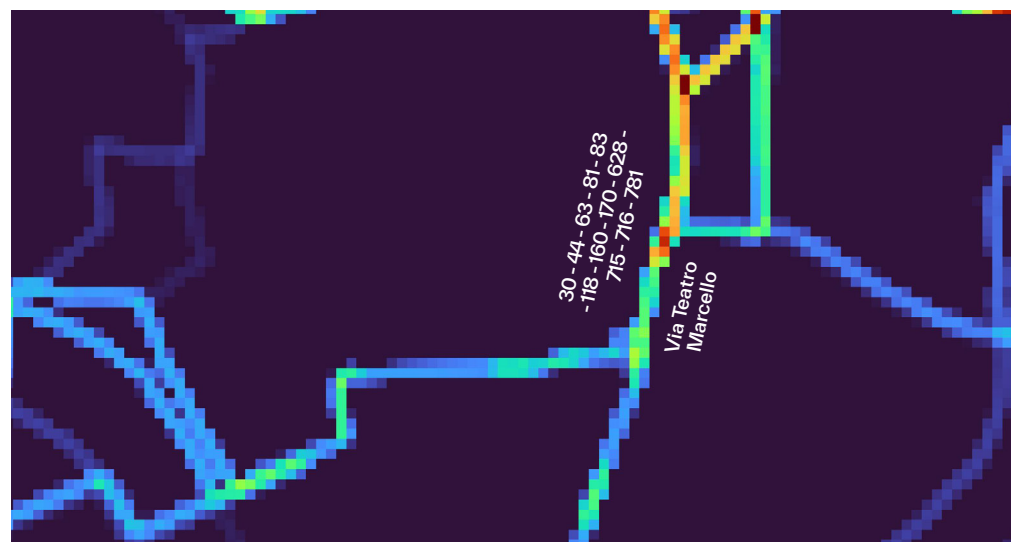
- **Asse Teatro Marcello / Petroselli:** Questo corridoio funziona come un prolungamento del blocco centrale precedente, con velocità medie comprese tra 2,8 e 7,9 km/h su più di 22 linee.

Impatto: Un intervento in questo punto è fondamentale per garantire la continuità del flusso dal centro storico verso il quadrante sud (Ostiense/Portuense), evitando che il risparmio di tempo in Piazza Venezia venga vanificato pochi metri più avanti.

Piazza Venezia



Via Teatro di Marcello



2

Nodi di interscambio e corridoi di connettività

Al di fuori del centro storico e dopo aver decongestionato gli assi centrali descritti in precedenza, l'infrastruttura va messa in sicurezza nei raccordi ferroviari.

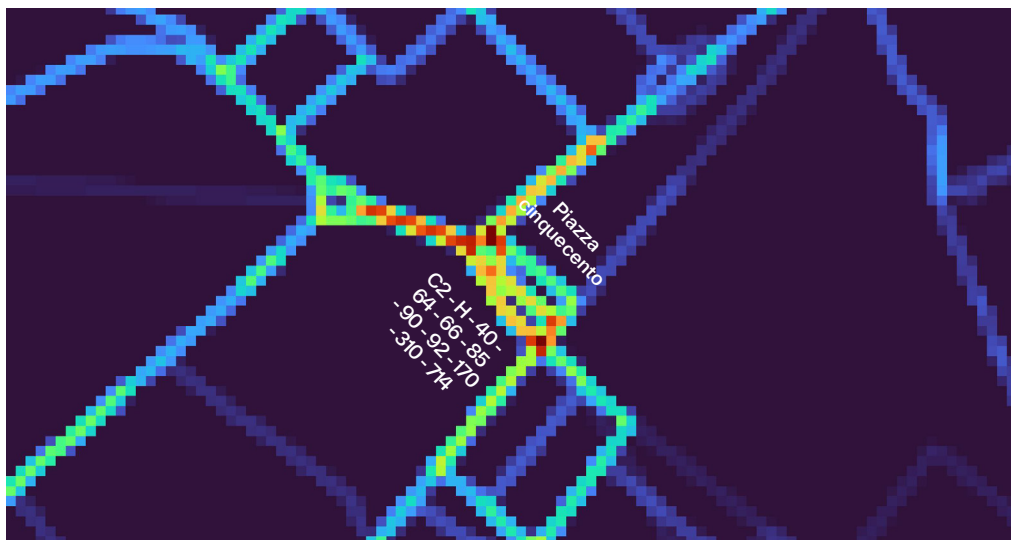
- **Nodo Termini (Piazza dei Cinquecento - Viale De Nicola):** Emerge come punto critico, essendo hub intermodale e luogo di immissione di linee bus nella rete.
- **Viale Enrico De Nicola:** la velocità scende a 4,1 km/h con un *Benefit Score* di 95,0, interessando 12 linee chiave per la rete romana.

Fattibilità: Presenta una sezione stradale con maggiore capacità, il che facilita la segregazione fisica mediante cordoli.

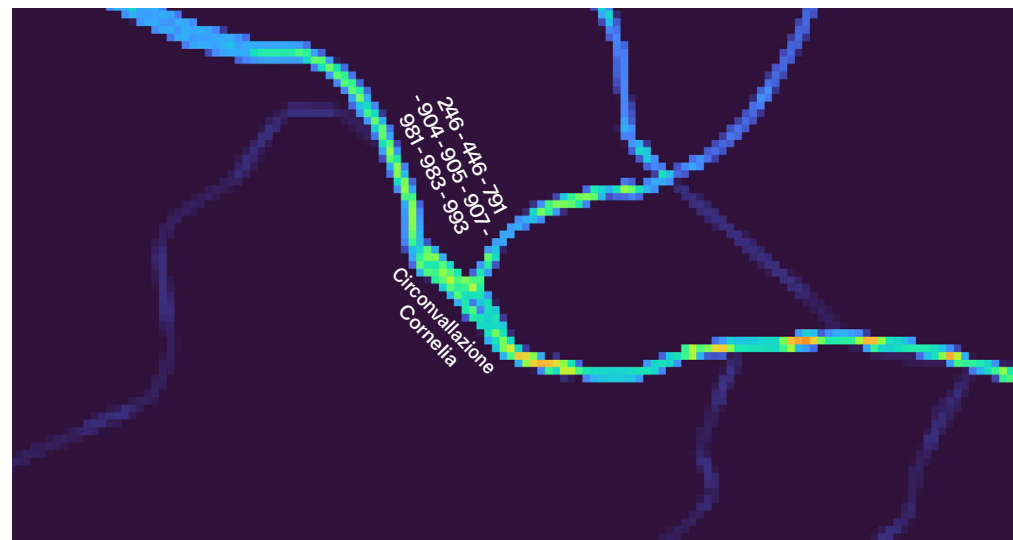
- **Circonvallazione Cornelia / Via Boccea:** Conferma la necessità di intervento nei nodi di quartiere, con 13 linee che operano a una media di 6,0 km/h.

Impatto: Migliorare la velocità in questo punto migliorerebbe l'accessibilità al servizio degli utenti dei quartieri a nord-ovest e ottimizzerebbe il collegamento con la Linea A della Metropolitana.

Piazza Cinquecento



Circonvallazione Cornelia



3

Assi ad uso commerciale e amministrativo

Altri punti importanti critici si trovano nel tessuto urbano denso di attività terziarie, uffici ministeriali ed esercizi al dettaglio che generano interferenze costanti con il trasporto pubblico provocate dallo scarico merci, dalla doppia fila e dal traffico pendolare ministeriale.

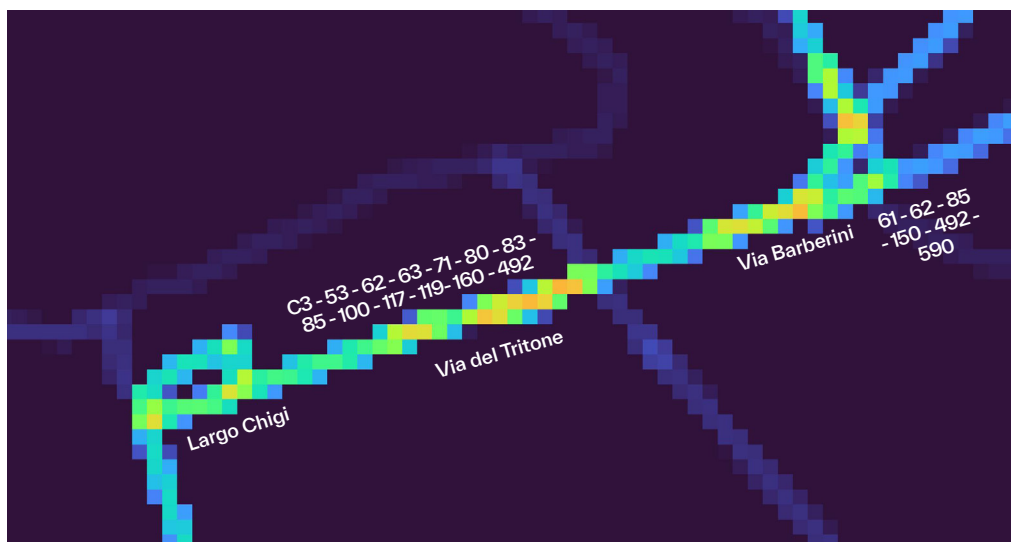
- **Via del Tritone - Largo Chigi - Via Barberini:** Registra velocità critiche di 5,1 km/h per un carico di 14 linee.

Fattibilità: Questo asse richiede un rigoroso controllo tecnologico (telecamere) per mitigare l'invasione della corsia, assicurando che l'autobus recuperi la sua competitività rispetto al veicolo privato nelle aree commerciali.

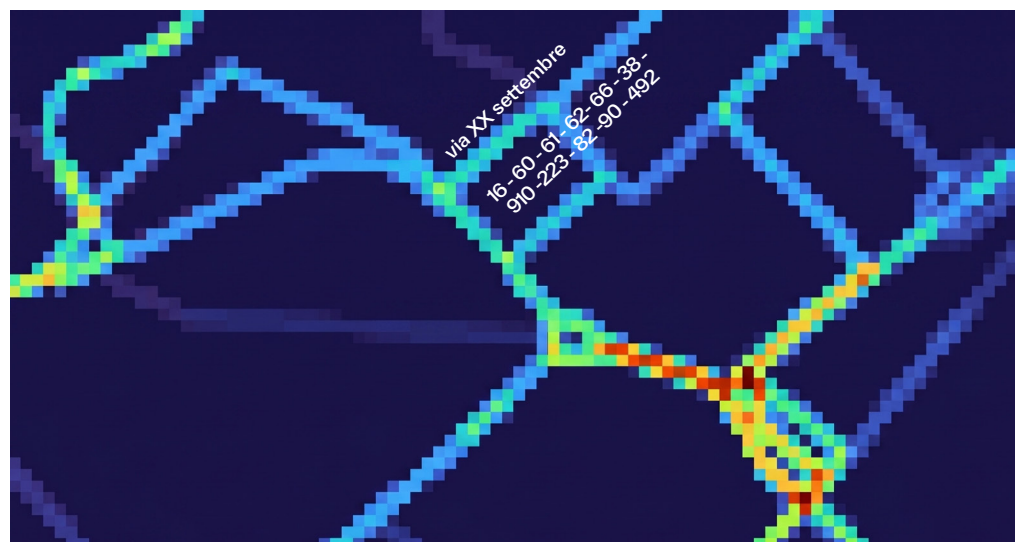
- **Via XX Settembre:** Registra 9,0 km/h con la contemporaneità di 13 linee.

Impatto: L'importanza di questo asse è legata alla densità di servizi amministrativi e uffici, dove è necessario rendere la regolarità e la puntualità dell'autobus prioritaria.

Via del Tritone – Largo Chigi – via Barberini



Via XX Settembre



4

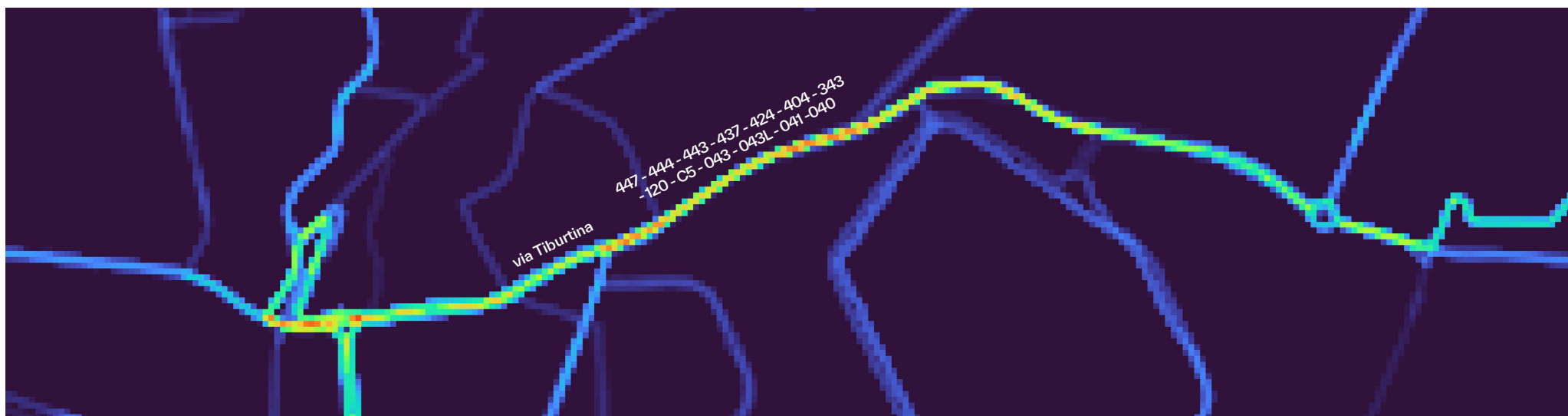
Arterie connettrici tra quartieri

Importante è anche il ruolo delle arterie che fungono da connettori tra i quartieri dormitorio e l'anello urbano interno. Qui il beneficio non si misura solo in base alla velocità minima, ma in base al risparmio di tempo accumulato lungo tratti estesi.

- **Asse Via Tiburtina::** Tratti percorsi da 12 - 13 linee che accumulano micro-rallentamenti.

Strategia: Su questi assi la priorità è la continuità operativa. L'obiettivo è eliminare i "micro-ritardi" nelle intersezioni per migliorare la velocità commerciale su percorsi a lunga distanza che collegano la periferia al nucleo centrale della città.

Via Tiburtina



6.6. Valutazione del risparmio delle emissioni

6.6.1. Metodologia

L'obiettivo di questa sezione è quantificare i benefici ambientali derivanti dall'introduzione di corsie preferenziali sulla rete di trasporto pubblico di Roma. Tale intervento ha come conseguenza diretta un aumento della velocità commerciale dei veicoli, con impatto diretto sulla produzione di emissioni inquinanti.

Per il calcolo delle emissioni generate dagli autobus urbani in servizio sulla rete di Roma è stata adottata la metodologia **COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport)**, sviluppata dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA). Questo approccio consente una stima disaggregata per categoria di veicolo, tenendo conto di diverse condizioni operative (regime termico stabilizzato, fase di riscaldamento del motore, soste), di tipologia veicolare (autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli pesanti) e di contesto (urbano, extraurbano, rurale, temperatura esterna, pendenza stradale).

Tale strumento è usato per calcolare i maggiori gas inquinanti tra cui CO, NOx, PM totale e idrocarburi HC. È da specificare che per la metodologia COPERT, il consumo di CO₂ è legata al consumo di carburante per distanza percorsa e non è funzione della velocità; per questo motivo non sarà considerato nei passaggi seguenti, perché non soggetto a variazione.

La formula per la stima delle emissioni prevede di calcolare il fattore di emissione (EF) per ogni categoria di veicolo considerato ed inquinante, espresso come produzione di grammi al chilometro, in funzione della velocità commerciale v (formula 1).

Formula 1:

$$EF(v) = \alpha v^2 + \beta v + \gamma + \frac{\delta}{v}$$

Dove i coefficienti $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ e sono i parametri del metodo COPERT per la caratterizzazione della curva di emissione in funzione della velocità.

Le velocità per segmento sono state definite in accordo allo scenario osservato e i tre scenari di progetto presentati. Si è considerata una flotta omogenea di autobus Euro VI con motorizzazione ibrida diesel, operante in condizioni di traffico urbano.

Grazie alla natura disaggregata della formula è possibile applicare il fattore di emissione unitario per ciascun inquinante i a ciascun segmento stradale in base alla distanza percorsa e velocità media (formula 2).

Formula 2:

$$E_i = \sum_j EF_i(v) \cdot n_j \cdot L_j$$

dove E_i è il totale per l'inquinante i , mentre L_j e n_j indicano rispettivamente la lunghezza e il numero di veicoli che passano attraverso il segmento stradale j . La somma per tutti i segmenti include il totale dell'attività del parco veicolare operativo del trasporto pubblico.

Applicazione del calcolo

Il calcolo è stato implementato alla fase 3 nei 3 scenari di intervento (Scenario 1 Conservativo, 2 Realistico e 3 Obiettivo) con l'obiettivo finale di visualizzare il massimo risparmio possibile delle emissioni.



6.6.2. Risultati principali

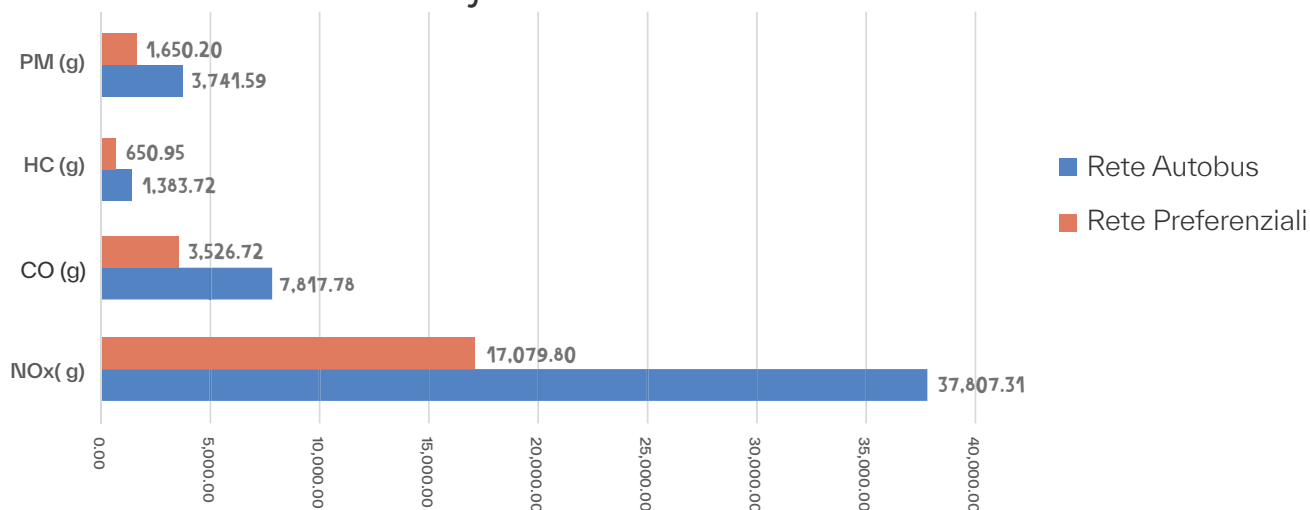
I risultati presentati illustrano i benefici ambientali previsti dall'integrazione di corsie preferenziali dedicate nella rete di trasporto esistente. Per valutare l'efficacia di questa infrastruttura proposta, l'analisi ha confrontato le emissioni di base dell'attuale rete completa (14.056 segmenti) con tre distinti scenari di miglioramento, che rappresentano ottimizzazioni del flusso di traffico tpl del 9,2%, 18% e 30% sui segmenti modificati. I dati rivelano una correlazione diretta tra l'aumento delle velocità operative e la mitigazione delle emissioni veicolari.

Il primo dato fondamentale emerge confrontando la rete completa con la porzione destinata alle corsie preferenziali. I segmenti selezionati per l'intervento (5.066 su 14.056) rappresentano circa il 36% della rete stradale analizzata. Tuttavia, questi stessi segmenti generano una quota sproporzionata delle emissioni totali:

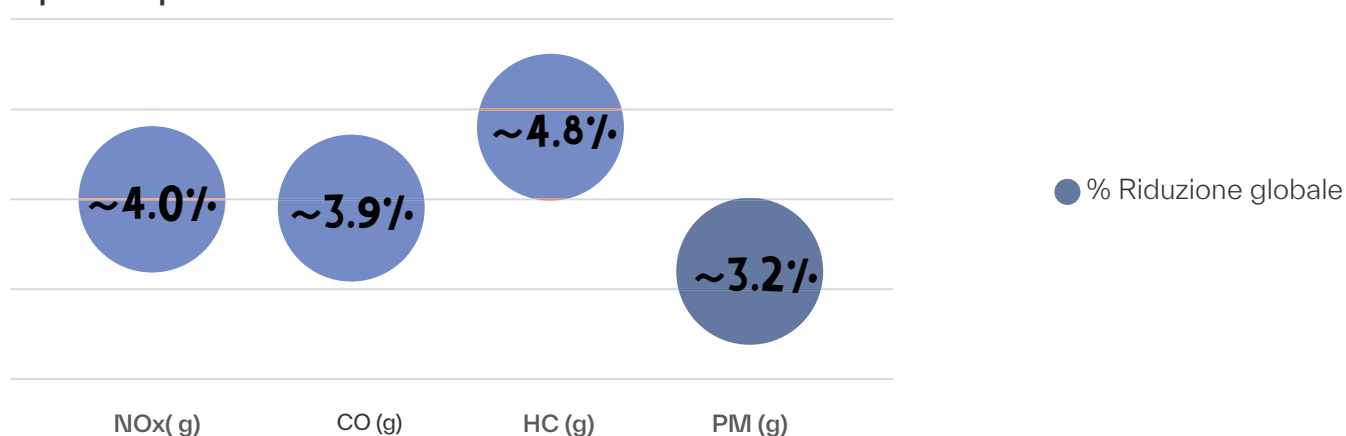
- NOx: 17.079,80 g sui 37.807,31 g totali (45,18%)
- CO: 3.526,72 g sui 7.817,78 g totali (45,11%)
- PM: 1.650,20 g sui 3.741,59 g totali (44,10%)

I corridoi proposti non sono casuali. Sono l'epicentro della congestione. Intervenire su questo 36% della rete permette di agire su quasi la metà dell'impatto emissivo dell'intero sistema.

Emissioni totali dell'intera rete e dei segmenti da modificare



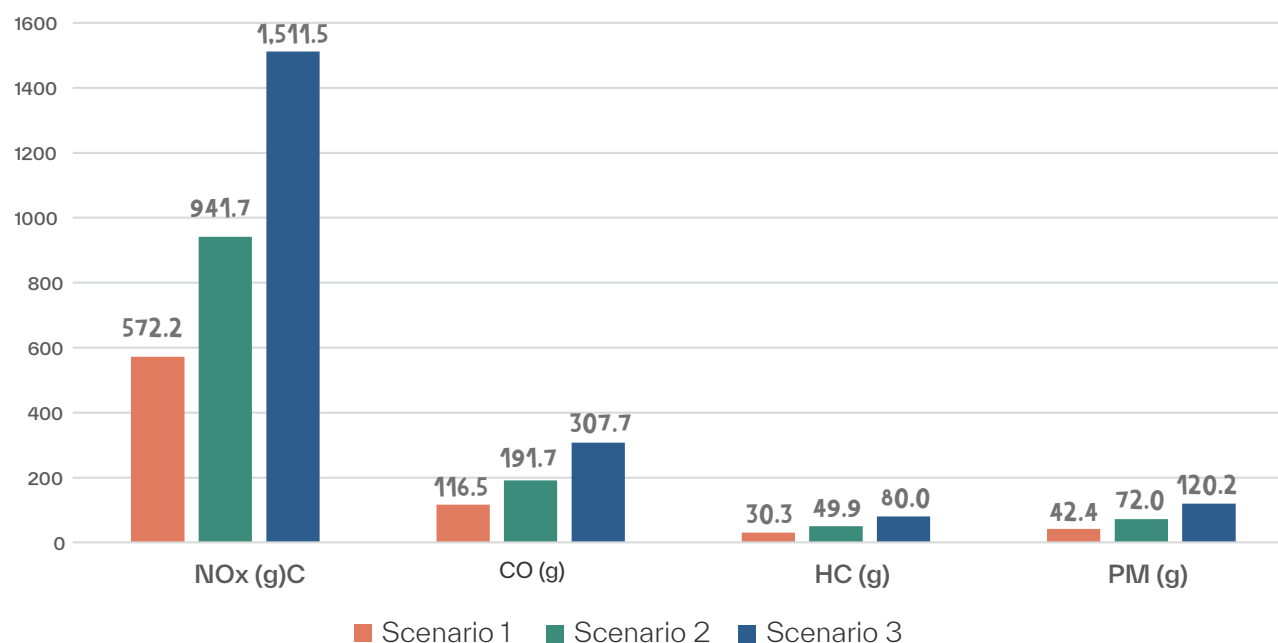
Impatto complessivo sulla rete autobus fino allo scenario obiettivo



L'aumento della velocità di crociera e la riduzione dei cicli di “stop-and-go” hanno un impatto diretto. Se si analizza più nel dettaglio la riduzione delle emissioni, considerando tutti gli inquinanti (NOx, CO, HC e PM), si ha una riduzione costante sia in termini assoluti sia percentuali.

- **Scenario Conservativo (Miglioramento del 9,2%):**
Anche con un'ottimizzazione conservativa del flusso, l'infrastruttura garantisce una riduzione tangibile, sottraendo all'ambiente 572,15 g di NOx e 116,47 g di CO, accompagnati da una diminuzione di 42,43 g di polveri sottili (PM).
- **Scenario Realistico (Miglioramento del 18%):**
Raddoppiando l'efficienza del deflusso veicolare, i benefici ambientali crescono in modo quasi proporzionale. I risparmi di NOx sfiorano il chilogrammo (941,67 g), mentre la riduzione di Monossido di Carbonio raggiunge i 191,69 g. Il calo del PM si attesta a 72,03 g, confermando l'importanza di mitigare le continue frenate e ripartenze.
- **Scenario Obiettivo (Miglioramento del 30%):**
Nello scenario più ambizioso, che presuppone la massima fluidificazione garantita dalle corsie dedicate, i risultati ambientali massimizzano il

Risparmio totale delle emissioni suddivise per agente inquinante (NOx, CO, HC e PM)



ritorno sull'investimento infrastrutturale. Il sistema registra un abbattimento di oltre 1,5 chilogrammi di NOx (1.511,49 g) e una riduzione di 307,69 g di CO. Particolarmente rilevante per la qualità dell'aria locale è il calo di 120,17 g di Particolato e di 80,01 g di Idrocarburi.

Oltre alle riduzioni assolute, l'analisi dei risparmi per chilometro di implementazione, funge da metrica cruciale per valutare l'efficienza spaziale della proposta. Lo scenario massimo raggiunge una densità di riduzione di circa 0,75 g/km per gli NOx e 0,06 g/km per il PM.

L'analisi congiunta dei tre scenari di ottimizzazione veicolare rivela una correlazione diretta e scalare tra la

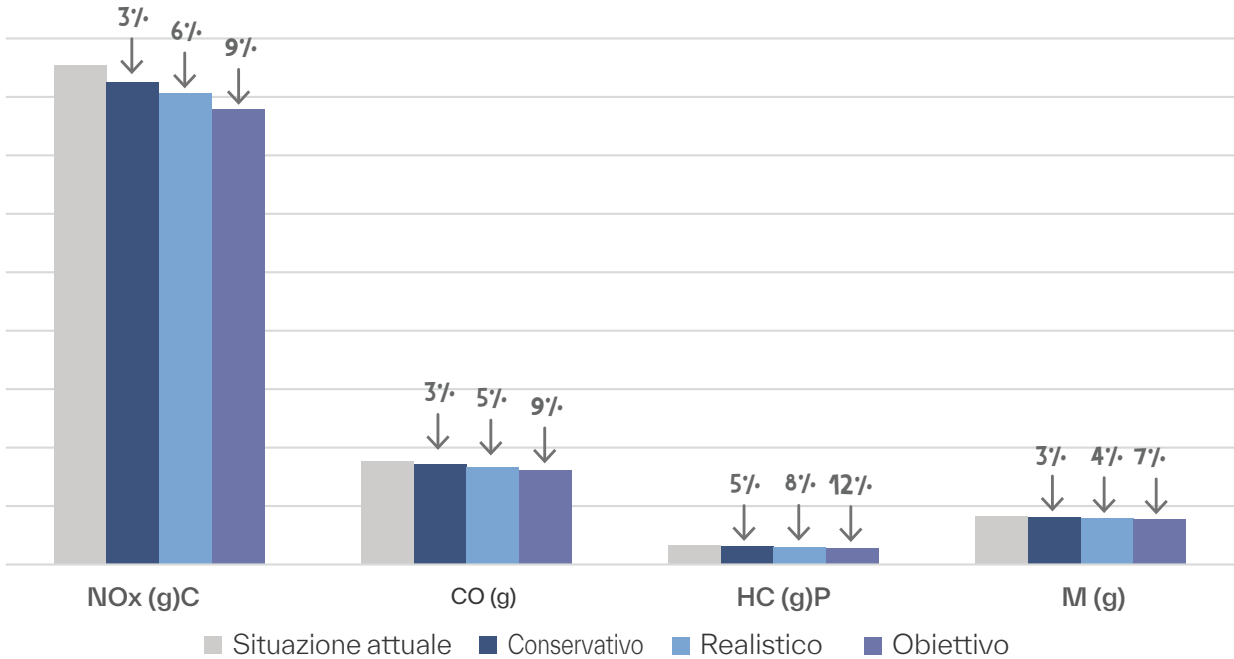
fluidificazione del traffico e la mitigazione percentuale delle emissioni: gli Idrocarburi (HC) si confermano la componente più sensibile alla riduzione delle dinamiche di “stop-and-go”, registrando un abbattimento che passa dal 4,7% dello scenario base fino a un picco del 12,3% in quello ottimale. Parallelamente, gli Ossidi di Azoto (NOx) e il Monossido di Carbonio (CO) seguono curve di riduzione quasi simmetriche, evolvendo dal 3,3% iniziale fino a sfiorare il 9% (rispettivamente 8,8% e 8,7%), mentre il calo del Particolato (PM) scala dal 2,6% al 7,3%.

Possibili sviluppi per una stima più accurata delle emissioni includono una caratterizzazione più dettagliata dei parametri di input, in particolare attraverso l'adozione di una flotta eterogenea per classe Euro e tipologia di alimentazione, e una migliore modellazione delle condizioni operative (profili di accelerazione e decelerazione, frequenza delle soste). Sul piano degli interventi, ulteriori benefici ambientali possono essere conseguiti attraverso il rinnovo della flotta con veicoli elettrici a zero emissioni allo scarico, in sinergia con le misure di regolazione del traffico analizzate nel presente studio.

Risparmio delle emissioni suddivise per agente inquinante (NOx, CO, HC e PM)

Scenario	Riduzione Nox (g)	Riduzione CO (g)	Riduzione HC (g)	Riduzione PM (g)
9.2 %	0.283 g/km	0.058 g/km	0.015 g/km	0.021 g/km
18 %	0.467 g/km	0.095 g/km	0.025 g/km	0.036 g/km
30 %	0.749 g/km	0.152 g/km	0.040 g/km	0.060 g/km

Risparmio progressivo delle emissioni suddivise per agente inquinante (NOx, CO, HC e PM)



7. CONCLUSIONI

Il presente studio conferma che l'implementazione di corsie preferenziali dedicate al trasporto pubblico rappresenta uno strumento strategico ad alto impatto per il miglioramento della mobilità urbana a Roma.

Attualmente, la rete di trasporto pubblico di superficie si estende per circa 4.710 km e comprende oltre 367 linee autobus, svolgendo un ruolo fondamentale nella mobilità quotidiana dell'area metropolitana.

L'analisi sviluppata ha evidenziato come le principali criticità del trasporto pubblico di superficie siano riconducibili alla forte interferenza con il traffico privato, alla presenza di numerosi colli di bottiglia operativi e alla necessità per la rete autobus di assolvere funzioni tipiche di un sistema di trasporto di massa, in assenza di una rete metropolitana sufficientemente estesa. Infatti la lunghezza media delle linee arriva fino a 13 Km, evidenziando percorsi spesso eccessivamente lunghi. Il principale indicatore di tale inefficienza è la bassa velocità commerciale dei mezzi.

L'analisi della rete ha inoltre mostrato una forte concentrazione delle criticità lungo alcuni corridoi centrali caratterizzati da elevata sovrapposizione di linee e da livelli di congestione particolarmente elevati.

Assumendo come riferimento gli obiettivi definiti dal Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), che prevede un incremento della velocità commerciale del trasporto pubblico pari ad almeno il 20% sugli assi portanti rispetto ai valori attuali, i risultati dello studio considerando come rete portante quella individuata, mostrano come l'introduzione di nuovi interventi lungo la rete individuata possa consentire il raggiungimento e, in diversi casi, il superamento dei target prefissati. Le simulazioni effettuate evidenziano infatti significativi margini di miglioramento delle prestazioni del servizio, confermando l'efficacia delle corsie preferenziali quale misura prioritaria per aumentare la competitività del trasporto pubblico e favorire un riequilibrio modale a favore delle forme di mobilità sostenibile.

L'analisi dei dati locali, combinata con lo studio delle esperienze internazionali di Barcellona, New York, Parigi e San Francisco, ha permesso di costruire scenari di intervento incrementali con obiettivi di calcolo chiari.

Barcellona ha mostrato come una griglia ad alta frequenza possa migliorare l'efficienza e la leggibilità del servizio; il Queens di New York ha evidenziato l'importanza di garantire collegamenti efficaci alle aree scarsamente servite dalla metropolitana; Parigi ha posto l'attenzione sull'accessibilità e sul comfort delle

fermate; il progetto Busway di New York ha dimostrato l'impatto immediato di interventi rapidi sulla velocità, sull'affidabilità e sull'accessibilità socio-economica; infine, il caso TELF di San Francisco ha evidenziato come la restituzione completa dello spazio stradale al trasporto pubblico possa incrementare la domanda e favorire il trasferimento modale dall'auto privata.

Sulla base di tali evidenze sono stati individuati tre scenari:

- Scenario Conservativo con un miglioramento del 9,2%;
- Scenario Realistico con un miglioramento del 18%;
- Scenario Obiettivo con un miglioramento del 30%.

A seguito dell'analisi locale della città di Roma, sono stati poi individuati 3 livelli di intervento (Priorità 1, Priorità 2 e Priorità 3) corrispondenti all'implementazione incrementale di nuove corsie preferenziali per complessivi 159 km di rete (si veda il paragrafo 5.3).

I risultati ottenuti dalle simulazioni confermano la validità dell'approccio proposto e consentono di sintetizzare le principali evidenze emerse:

Accessibilità e bacino di utenza: l'incremento delle prestazioni della rete determina un significativo aumento

dell'accessibilità urbana. Nello scenario finale (Priorità 3) si registrano fino a 67 scuole e 84 strutture sanitarie aggiuntive raggiungibili dalla collettività, mentre il bacino potenziale di utenza cresce da circa 406.000 abitanti nello stato attuale a oltre 773.000 abitanti.

Diagnostica del deflusso: il piano di intervento sui corridoi selezionati è stato simulato attraverso le tre Priorità cumulative su un campione di 14.066 segmenti spaziali, per un totale di 5.685,60 km di tracciato e 15.066,84 km di servizio delle linee autobus. Nel periodo di osservazione, il sistema ha accumulato 1.187,18 ore-veicolo di percorrenza totale. Le inefficienze della rete risultano fortemente concentrate in un numero limitato di segmenti critici: i tratti con velocità inferiori a 15 km/h incidono per oltre il 65% dei tempi di percorrenza complessivi e impattano 244 linee distinte, confermando l'esistenza di colli di bottiglia in grado di compromettere le prestazioni dell'intero sistema.

Individuazione dei corridoi prioritari: i corridoi selezionati rappresentano le porzioni più lente e congestionate della rete, con velocità commerciali sensibilmente inferiori alla media cittadina. I tratti in cui sono previste le nuove corsie preferenziali coprono appena il 24,4% della lunghezza totale della rete stradale, ma assorbono il 36,5% del tempo complessivamente impiegato per gli spostamenti. La

Priorità 1 emerge come priorità assoluta, poiché intercetta contemporaneamente le velocità più basse e il più elevato numero di linee sovrapposte, massimizzando l'effetto moltiplicatore dell'intervento. Pur coprendo soltanto il 12,6% della lunghezza dei tracciati, essa incide per il 18,7% sul tempo operativo totale del sistema e presenta una velocità commerciale media pari a 9,07 km/h.

Diagnosi attuale e criticità delle corsie preferenziali esistenti: le corsie preferenziali già presenti non garantiscono attualmente livelli adeguati di protezione e priorità operativa. Le velocità osservate risultano addirittura inferiori rispetto a molti segmenti privi di corsia riservata, evidenziando la necessità di interventi di riqualificazione, controllo e protezione fisica.

Potenziale di miglioramento delle corsie esistenti nella Priorità 1: il miglioramento delle corsie preferenziali già presenti all'interno della Priorità 1 può generare una quota rilevante dei benefici complessivi. Pur rappresentando una porzione limitata della rete, esse contribuiscono a circa il 41-42% dei risparmi di tempo stimati per l'intera fase.

Riduzione dei tempi di percorrenza nei tre scenari: in tutti gli scenari simulati si osserva una riduzione progressiva dei tempi di viaggio e un incremento della velocità commerciale sulla rete di tracciati sui quali si è intervenuto.

Nello Scenario Conservativo, che ipotizza un miglioramento del 9,2%, si registra un risparmio a partire da 22,38 a 42,40 ore-veicolo e un incremento della velocità commerciale da intervalli di 9,10-9,40 Km/h a 1a 13,40-13,60 km/h dalla prima e la terza priorità.

Nello Scenario Realistico, basato su un miglioramento del 18%, il risparmio varia da 33,17 a 63,26 ore-veicolo, mentre la velocità commerciale aumenta a 14,20-14,60 km/h dalla prima e alla terza priorità.

Infine, nello Scenario Obiettivo, che prevede un miglioramento del 30%, il risparmio parte da 47,87 sino a 91,70 ore-veicolo e la velocità commerciale cresce da 15,66 km/h a 16,00 km/h.

Prioritizzazione degli interventi attraverso il *Benefit*

Score: l'analisi individua alcuni nodi strategici quali Piazza Venezia, Ara Coeli, Via del Plebiscito, Teatro Marcello, il nodo di Termini, Via Enrico De Nicola, Via del Tritone, Via XX Settembre e l'asse Tiburtina. In tali punti gli interventi infrastrutturali producono il massimo beneficio sistemico grazie all'elevata concentrazione di linee e alla presenza delle maggiori criticità operative.

Possibili benefici ambientali e riduzione delle emissioni: i risultati dimostrano che l'introduzione delle corsie preferenziali può produrre benefici ambientali significativi, agendo sui tratti più congestionati della rete,

che pur rappresentando il 36% dei segmenti analizzati generano circa il 45% delle emissioni complessive. In tutti gli scenari considerati, il miglioramento della fluidità del traffico determina una riduzione progressiva delle emissioni di NOx, CO, HC e PM, confermando l'efficacia dell'intervento nel mitigare gli effetti del traffico urbano. Le corsie preferenziali si configurano pertanto come una soluzione in grado di migliorare contemporaneamente l'efficienza della mobilità e la qualità dell'aria.

In sintesi:

I risultati dello studio confermano che intervenire sui corridoi prioritari consente di ridurre significativamente i tempi di percorrenza, aumentare la frequenza percepita e migliorare la puntualità del servizio. L'adozione di corsie dedicate, combinata con interventi localizzati quali la priorità semaforica, produce benefici tangibili sia a livello operativo sia ambientale, contribuendo alla riduzione delle emissioni di NOx, CO, HC e PM e favorendo una mobilità più sostenibile.

Questo lavoro dimostra che un approccio basato su dati empirici, priorità strategiche e pianificazione incrementale consente di costruire una rete di trasporto pubblico su gomma più efficiente, sicura e inclusiva, capace di rispondere alle esigenze dei cittadini e di

supportare la sostenibilità urbana nel medio-lungo periodo. L'integrazione di queste evidenze, dei principali risultati quantitativi e delle *best practice* internazionali fornisce una base solida per la progettazione di interventi mirati, in grado di trasformare profondamente la mobilità romana, rendendo il trasporto pubblico maggiormente competitivo rispetto al mezzo privato e contribuendo alla riduzione delle disuguaglianze di accesso alla città.

Il lavoro presentato in questo documento presenta quelle azioni e quegli elementi necessari affinché si possa iniziare a sbloccare la situazione del TPL di superficie a Roma. I miglioramenti di velocità commerciale globali che si registrano arrivano a dei punti importanti incontrando gli obiettivi del PUMS nei tracciati in cui si intervine. In particolare l'incremento del 20% della velocità commerciale sulla rete prioritaria individuata, lo si ottiene già intervenendo nello step 1 di priorità.

È chiaro che, per ottenere il massimo risultato possibile, sono necessari ulteriori interventi, ma quanto riportato in questo lavoro si pone come base di intervento dalla quale partire. Gli interventi ulteriori necessari si riassumono in due filoni principali:

- Una revisione del numero delle fermate oggi presenti;
- Una revisione dei percorsi dell'intera rete TPL di

superficie.

Il primo punto risulta fondamentale per poter innalzare ancora di più la velocità commerciale delle linee, non costringendo quindi i mezzi a doversi fermare ogni poche centinaia di metri. Quest'azione permetterebbe anche una riduzione delle tempistiche associate ad ogni linea, permettendo al contempo una migliore gestione dei mezzi e del personale, oltre che i già definiti benefici per i viaggiatori.

Si tratta però di un'azione politicamente rischiosa, in quanto potrebbe essere percepita come una riduzione del servizio, necessitando quindi di una comunicazione chiara ed efficace.

Il secondo punto riguarda, in generale, una visione che comprenda tutto il sistema della mobilità romana. Come detto in altri capitoli, il sistema TPL romano presenta oggi alcuni tratti poco stabili: da un lato linee che vengono modificate di continuo nel giro di pochi anni, dall'altro linee che non vengono toccate praticamente da un secolo (come nel caso della linea 16 XX Settembre-Costamagna, rimasta intatta dai tempi della riforma tranviaria del 1930). Inoltre, gran parte della rete è orientata in senso radiale/diametrico verso il centro città, convergendo su pochi nodi quali Termini o Piazza

Venezia, causando parte dei problemi di congestione rilevati nell'analisi.

Stante anche la limitata estensione della rete metropolitana, è necessario che la rete sia rivista verso un concetto di assi di forza, per i quali poi valutare quali ulteriori interventi siano necessari, come ad esempio la trasformazione in busvie ad alto livello di servizio, tranvie o financo metropolitane.

Una volta completati anche questi interventi, che, ripetiamo, beneficiano del lavoro di avvio presentato in questo documento, sarà possibile ottenere una rete TPL di superficie razionale ed efficiente, che cerca di rispondere il più possibile a obiettivi europei di gran lunga superiori agli obiettivi espressi nel PUMS di Roma Capitale.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Avenali, A., Boitani, A., Catalano, G., D'Alfonso, T., & Matteucci, G. (2016). Assessing standard costs in local public bus transport: Evidence from Italy. *Transport Policy*, 52, 164–174.

ASSTRA. (2025). 19° Convegno Nazionale ASSTRA: Pronti per il futuro. Costruiamo la mobilità di domani. Associazione Trasporti

Clean Cities Campaign. (2025). Mind the Gap! Da dove partire per colmare il divario nell'offerta di trasporto pubblico locale in Italia [Rapporto]. Clean Cities Campaign – Rete Italiana Mobilità Equa. Retrieved from <https://italy.cleancitiescampaign.org/mindthegap/>

European Environment Agency. (2024). Passenger transport activity. In *Sustainability of Europe's mobility systems*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems/passenger-transport-activity>

Giuffrida, N., Le Pira, M., Inturri, G., & Ignaccolo, M. (2021). Addressing the public transport ridership/coverage dilemma in small cities: A spatial approach. *Case Studies on Transport Policy*, 9(1). <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.06.008>

Göransson, J., & Andersson, H. (2023). Factors that make public transport systems attractive: A review of travel preferences

and travel mode choices. *European Transport Research Review*, 15(32). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00594-9>

Hadas, Y., & Nahum, O. E. (2016). Urban bus network of priority lanes: A combined multi-objective, multi-criteria and group decision-making approach. *Transport Policy*, 52, 186–196.

Lin, Y., Yang, X., Chang, G.-L., & Zou, N. (2013). Transit priority strategies for multiple routes under headway-based operations. *Transportation Research Record*, 2356, 34–43.

Lin, Y., Yang, X., Zou, N., & Franz, M. (2014). Transit signal priority control at signalized intersections: A comprehensive review. *Transportation Letters*, 7(3), 168–180.

Möller, M., & Thynell, M. (2020). Why do cities invest in bus priority measures? Policy, polity, and politics in Stockholm and Copenhagen. *Case Studies on Transport Policy*, 8(2), 519–527. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.03.005>

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). *Fast-tracked: A tactical transit study*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25571>

National Complete Streets Coalition. (2016). What are Complete Streets? Smart Growth America. <https://smartgrowthamerica.org>

Redelmeier, P., Victoriano-Habit, R., Crumley, M., & El-Geneidy, A. (2025). Bit by bit: A method for using bus data to develop and plan bus priority interventions in Portland, Oregon, USA. *Journal of Public Transportation*, 27, Article 100135. <https://doi.org/10.1016/j.jpuptr.2024.100135>

Richardson, H. (2016, December 19). Why tactical transit is the next big thing. TransitCenter. <https://transitcenter.org/why-tactical-transit-is-the-next-big-thing/>

Russo, A., Adler, M. W., & van Ommeren, J. N. (2022). Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 160, 298–310. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.04.001>

Sukaryavichute, E., & Prytherch, D. L. (2018). Transit planning, access, and justice: Evolving visions of bus rapid transit and the Chicago street. *Journal of Transport Geography*, 69, 58–72. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.001>

Transform Transport, Laboratorio Roma050 (2025), *Sustainable Urban Mobility Metrics in the Metropolitan*

City of Rome. https://transformtransport.org/research/urban-mobility-metrics/lab-roma050-sustainable-urban-mobility-in-the-metropolitan-city-of-roma-capitale/?utm_source=chatgpt.com

UITP. (2025). Regions thrive with congestion-free bus networks. International Association of Public Transport. https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/08/20250820_Congestion-free-Bus-Network_Action-Points_WEB.pdf

Washington State Transportation Center. (2001). Transit signal priority system: Performance monitoring and optimization for King County Department of Transportation Metro Transit Division.