

RTI Progettisti:



PROGETTO DEFINITIVO DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE)



Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 – Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017



STUDI SPECIALISTICI STUDIO TRASPORTISTICO RELAZIONE GENERALE

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE
ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO
ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA
ING. BARBARA BARALDI
GEOM. AGNESE FERRO
ARCH. VIRGINIA BORRELLO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DI COMMESSA
ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE TECNICO
ING. ALESSANDRO PIAZZA

SISTEMA TRANVIARIO
ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO
ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE A VERDE
ARCH. NICOLA CANTARELLI

OPERE STRUTTURALI
ING. STEFANO TORTELLA

SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONI
ING. ANGELA TORTORELLA

AMBIENTE
PROF. MATTEO MATTIOLI

SICUREZZA
ARCH. SERGIO MOSCHEO

ARCHEOLOGIA
DOTT. CRISTINA BIGAZZI

BIM MANAGER
GEOM. MIRKO CASAROLI

RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
ING. SANTI CAMINITI

IMPIANTI TECNOLOGICI
ING. SIMONE VILLA

STUDI TRASPORTISTICI
ING. ANDREA SPINOSA

VIABILITA' INTERFERENTE E SOTTOSERVIZI
ING. PIETRO CAMINITI

IDRAULICA E IDROLOGIA
ING. ANDREA BENVENUTI

DEPOSITO
ING. GIORGIO COLETTI

ARMAMENTO
ING. MAURIZIO FALZEA

GEOLOGIA E GEOTECNICA
DOTT. GEOL. ANTONIO PAONE

TRAZIONE ELETTRICA
ING. DOMENICO D'APOLLONIO

IMPIANTI MECCANICI
ING. SALVATORE GIUA

COMMESSA	FASE	LOTTO	WBS	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381	C	D	X00	TRS	XXX	RG 01	A	---	B381C-D-X00-TRS-XXX-RG-01-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Ago. 2023	EMISSIONE	A. SPINOSA	A. SPINOSA	S. CAMINITI
B					
C					
D					

Indice

1. INTRODUZIONE	4
1.1 PREMESA	4
1.2 CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	4
2. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO	6
2.1 LA CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	6
2.2 BOLOGNA NELLA RETE DEI TRASPORTI NAZIONALE	8
2.3 LA MOBILITÀ NELL'AREA BOLOGNESE	10
2.3.1 <i>Trasporto privato</i>	12
2.3.2 <i>Servizio Taxi</i>	13
2.3.3 <i>Trasporto pubblico</i>	14
2.4 PRINCIPALI CRITICITÀ DEL SISTEMA DI MOBILITÀ	17
2.5 IL PUMS DI BOLOGNA METROPOLITANA.....	18
2.5.1 <i>Obiettivi del PUMS</i>	19
2.5.2 <i>Misure previste nel PUMS</i>	20
3. LA LINEA VERDE DEL TRAM DI BOLOGNA.....	23
3.1 PREMESA	23
3.2 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	23
4. IL MODELLO DI SIMULAZIONE MULTIMODALE	24
4.1 APPROCCIO METODOLOGICO	24
4.2 LA ZONIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO	24
4.3 L'OFFERTA DI TRASPORTO	28
4.3.1 <i>La rete del trasporto privato</i>	28
4.3.2 <i>La rete del trasporto pubblico</i>	31
4.4 LA DOMANDA DI TRASPORTO	33
4.4.1 <i>L'indagine di mobilità</i>	34
4.4.2 <i>La domanda di trasporto privato</i>	43
4.4.3 <i>La domanda di trasporto pubblico</i>	44

4.5	IL MODELLO DI INTERAZIONE DOMANDA-OFFERTA.....	46
4.5.1	<i>L'assegnazione alla rete di trasporto privato.....</i>	<i>47</i>
4.5.2	<i>L'assegnazione alla rete di trasporto pubblico</i>	<i>49</i>
4.6	LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO NELLA SITUAZIONE ATTUALE (PREPANDEMICA)	50
4.7	IL MODELLO DI RIPARTIZIONE MODALE	54
5.	SCENARI FUTURI – EVOLUZIONE DEMOGRAFICA E SVILUPPI URBANISTICI	57
5.1	PREMESSA	57
5.2	EVOLUZIONE DEMOGRAFICA.....	57
5.3	NUOVI SVILUPPI URBANISTICI	59
6.	SCENARI FUTURI: LO SCENARIO DI RIFERIMENTO.....	63
6.1	GLI INTERVENTI SULLA RETE STRADALE	63
6.2	BOLOGNA CITTÀ 30	65
6.3	GLI INTERVENTI SULLA RETE DI TRASPORTO PUBBLICO	67
7.	SCENARI FUTURI: LO SCENARIO DI PROGETTO.....	72
7.1	LA RETE DEL TRASPORTO PRIVATO.....	72
7.2	LA RETE DEL TRASPORTO PUBBLICO	75
7.3	IL MODELLO DI ESERCIZIO	82
8.	SCENARI FUTURI: RISULTATI DELLA SIMULAZIONE	85
8.1	PREMESSA	85
8.2	PRINCIPALI RISULTATI	85
8.2.1	<i>Impatto sulla mobilità privata.....</i>	<i>88</i>
8.2.2	<i>La domanda giornaliera e oraria sulla linea del tram.....</i>	<i>94</i>
9.	CONCLUSIONI E SINTESI DEI RISULTATI	106

Lista delle abbreviazioni

pax*km	misura delle percorrenze della domanda espresse in passeggeri*km ottenuti dal prodotto del numero di passeggeri di una linea, oppure di un arco, per la distanza percorsa (di linea o di arco)
veic*km	misura delle percorrenze dell'offerta di trasporto pubblico espresse in vetture*km oppure, nel caso del traffico privato, come veicoli equivalenti*km
tr*km	misura delle percorrenze dell'offerta ferroviaria/tranviaria di trasporto pubblico espresse in treni*km
pax*h	misura del tempo speso sulla rete di trasporto privata o pubblica espresso in passeggeri*ora ottenuti dal prodotto del numero di passeggeri di una linea, oppure di un arco, per il tempo necessario a percorrerla/o.
veic*h	misura del tempo speso sulla rete da parte dei mezzi di trasporto pubblico espresso in vetture*ora oppure, nel caso del traffico privato, come veicoli equivalenti*ora
Mln	esprime una cifra in milioni
PIMBO	Progetto Integrato della Mobilità Bolognese

1. INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

La presente relazione riguarda lo studio della domanda della Linea Verde del tram tra Corticella e il centro di Bologna. Tale linea si innesterà sul tracciato della linea Rossa in corrispondenza di Piazza dell'Unità e si dirigerà verso nord attraverso la direttrice di Via Corticella, fino a raggiungere la stazione SFM di Bologna-Corticella con attestamento presso un ampio nodo di intercambio.

Nell'ambito del Progetto Definitivo è stata sviluppata un'accurata analisi trasportistica della domanda prevista sulla linea, partendo dagli approfondimenti che hanno interessato il progetto rispetto all'avanzamento ottenuto nel PFTE e considerando tutti gli sviluppi demografici, urbanistici e socioeconomici, nonché le revisioni della rete di trasporto pubblico su gomma o filoviaria, tali da dare alla linea tranviaria il ruolo di asse portante.

1.2 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

Il presente documento si sviluppa su nove capitoli che descrivono il contesto di riferimento dello studio, la mobilità pubblica e privata dell'area di studio e gli sviluppi futuri, la metodologia adottata per l'analisi della domanda della nuova Linea Rossa e i principali risultati dello studio, in particolare:

- il Capitolo 2 illustra il contesto di riferimento nel quale si colloca il progetto tranviario e gli obiettivi previsti dal Piano Urbano della Mobilità Sostenibile;
- il Capitolo 3 descrive le caratteristiche della linea Verde del tram verso Corticella;
- il Capitolo 4 riassume la metodologia adottata per lo sviluppo del modello di simulazione utilizzato per la valutazione degli effetti generati dall'introduzione della nuova tratta tranviaria;
- il Capitolo 5 descrive le principali caratteristiche degli scenari futuri in termini di sviluppi demografici, socioeconomici ed urbanistici per l'area di studio;
- il Capitolo 6 descrive tutti gli interventi previsti nello Scenario di Riferimento sia per la rete di offerta del trasporto privato sia per quella del trasporto pubblico;

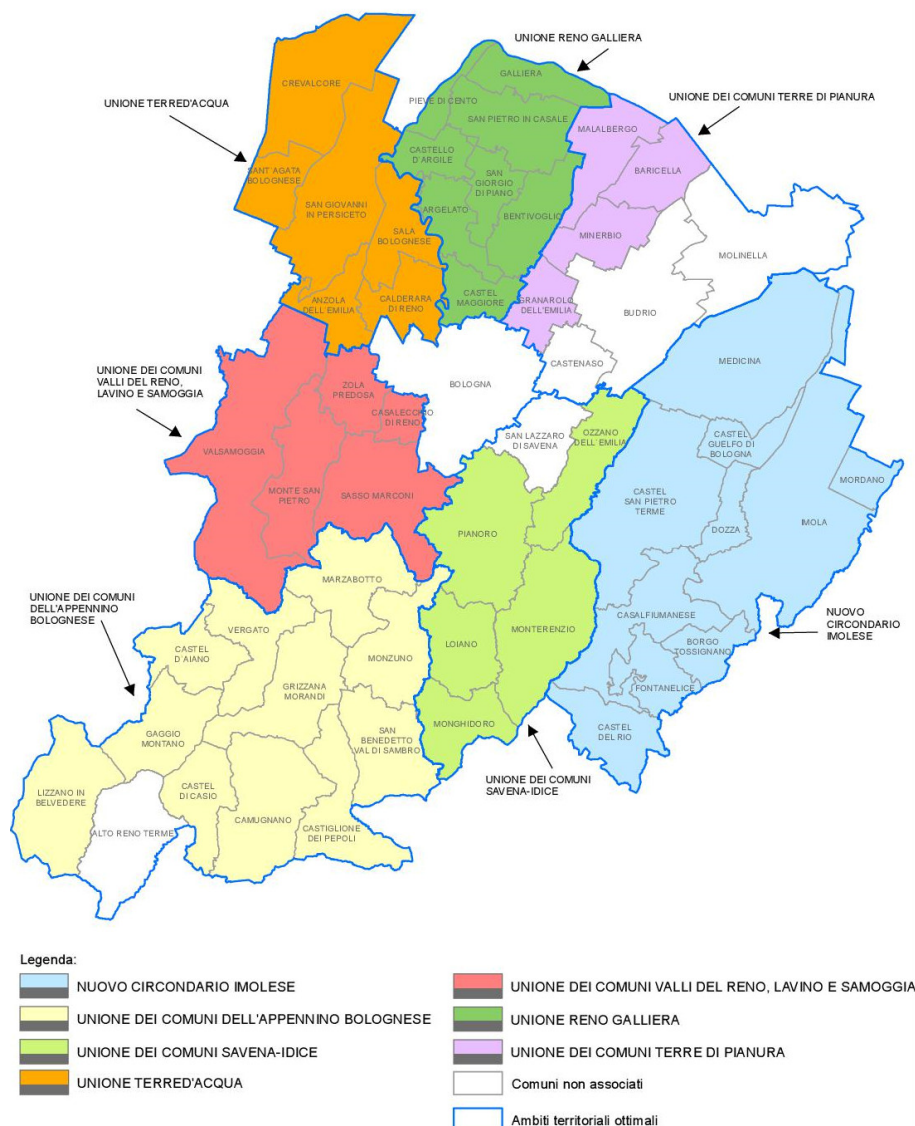
-
- nel Capitolo 7 si presentano tutti gli interventi correlati alla realizzazione della nuova linea tranviaria che configurano, nel loro insieme, lo Scenario di Progetto;
 - nel Capitolo 8, si riportano tutti i principali risultati ottenuti dall'applicazione del modello di simulazione;
 - il Capitolo 9 espone le conclusioni dello studio.

2. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO

2.1 LA CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

La Città metropolitana di Bologna ha una popolazione di poco più di **1 milione di abitanti**¹ suddivisa su 55 Comuni.

Figura 2.1: Città Metropolitana di Bologna (Fonte: sito Città metropolitana)

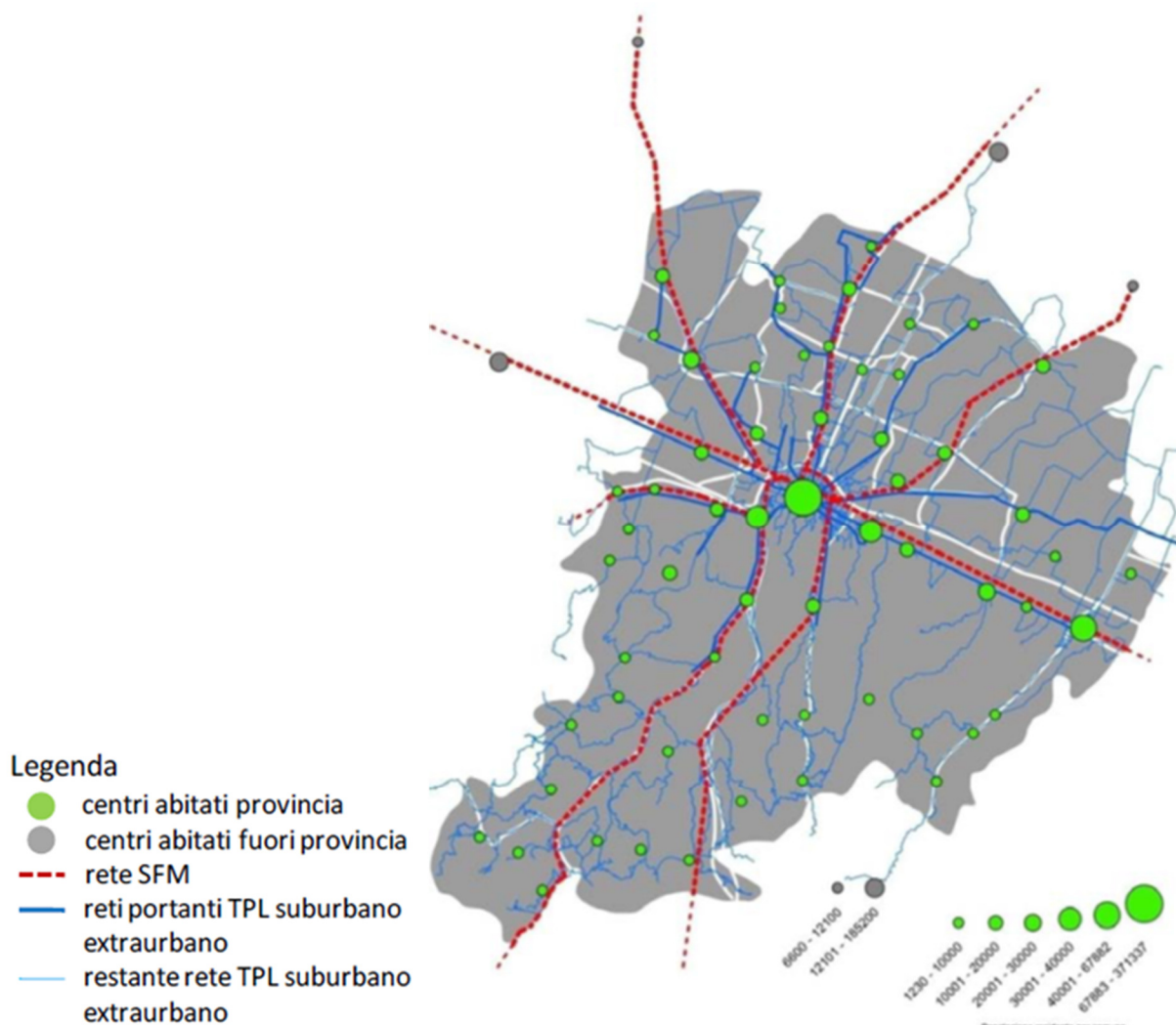


¹ Dato al 01/01/2023 - Istat

Bologna, capoluogo di Regione, con una popolazione di poco inferiore a **390.000 persone²**, è attraversata da tutte le principali infrastrutture e arterie di traffico di rilievo regionale e nazionale che rendono il capoluogo emiliano uno dei principali nodi viabilistici e ferroviari italiani.

Il territorio è, infatti, attraversato trasversalmente dalle autostrade A1 e A14 e longitudinalmente dalla A13 e dal proseguimento della A1. La Città metropolitana è inoltre servita da una rete ferroviaria centrata su Bologna che si sviluppa in maniera radiale su otto rami, tra loro passanti, che costituiscono l'ossatura del Servizio Ferroviario Metropolitano (SFM).

Figura 2.2 Rete di trasporto pubblico portante della Città metropolitana (Fonte: PUMS 2018)



² Dato al 01/01/2023 - Istat

2.2 BOLOGNA NELLA RETE DEI TRASPORTI NAZIONALE

Come appena detto, la città di Bologna rappresenta uno dei nodi viabilistici e infrastrutturali portanti del territorio nazionale e delle reti di trasporto europee. Il nodo autostradale composto dal sistema Autostradale (A14, A1 e A13) e Tangenziale al 2016 era attraversato ogni giorno da circa 100 mila auto, delle quali oltre 50 mila presentavano origine e/o destinazione nella città di Bologna, e circa 60 mila mezzi pesanti³.

Relativamente al trasporto ferroviario con circa 60 milioni di passeggeri/anno (circa 160 mila al giorno)⁴ la **Stazione Centrale** costituisce uno dei principali nodi di interscambio ferroviario nazionale dove coesistono Alta Velocità, linee nazionali e Servizio Ferroviario Metropolitano.

In prossimità della Stazione Centrale e alle porte del centro città vi è l'**Autostazione** dove assieme alle linee di trasporto pubblico regionale si attestano le principali autolinee nazionali ed internazionali che ha fatto registrare nel 2022 oltre **90 mila passeggeri a settimana** (con punte fino a 15.000 al giorno)⁵.

La città di Bologna è sede della più antica Università d'Europa che ogni anno attira circa **85 mila iscritti** di cui oltre 65 mila presso la sede di Bologna⁶. In tema di attrattori di flussi del loisir, nel quadrante nordest della città, a novembre 2017 è stato inoltre inaugurata la Fabbrica Italiana Contadina (FI.CO.) che ha fatto registrare al primo anno di apertura circa 3 milioni di visitatori.

Il dinamismo della città e l'area metropolitana di Bologna si rispecchia nei numeri di un turismo in forte crescita che ha portato l'**aeroporto Guglielmo Marconi** a raddoppiare il numero di passeggeri tra il 2008 e il 2019 raggiungendo, nel 2022, un movimento di oltre 8,8mln di passeggeri (settimo scalo in Italia)⁷.

A Bologna sono inoltre concentrati anche una serie di **poli sanitari** di eccellenza tra Ospedale Maggiore, Policlinico Sant'Orsola-Malpighi e Istituto Ortopedico Rizzoli.

³ Fonte: Mobility Report – PUMS Bologna Metropolitana

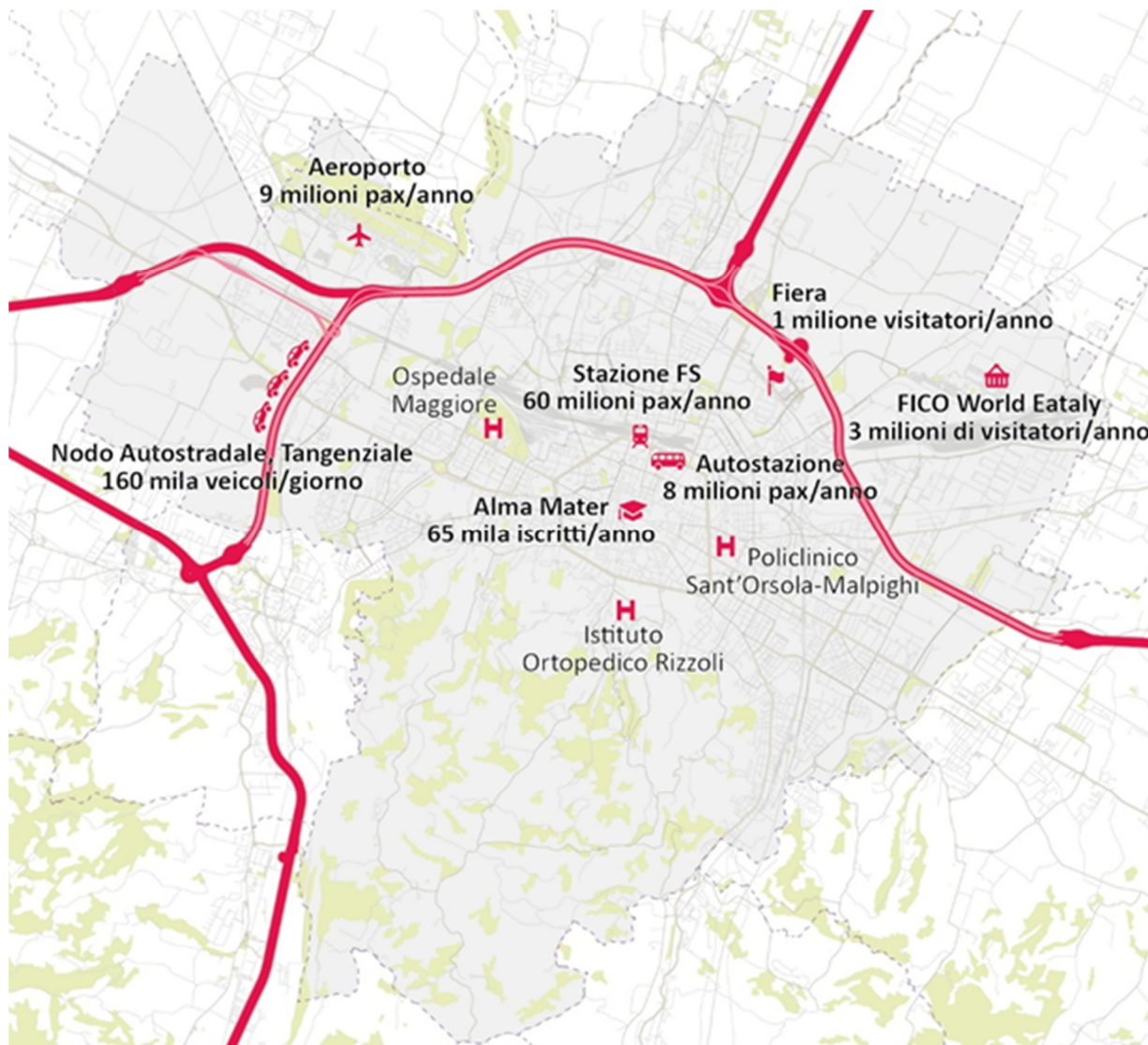
⁴ Fonte: <https://www.grandistazioni.it/content/grandiStazioni/it/le-nostre-stazioni/bologna-centrale.html>

⁵ Fonte: <https://www.autostazionebo.it/it/page/traffico-mezzi-e-persone>

⁶ Fonte: Classifica Censis 2017

⁷ Fonte: ENAC

Figura 2.3: la città di Bologna in un colpo d'occhio

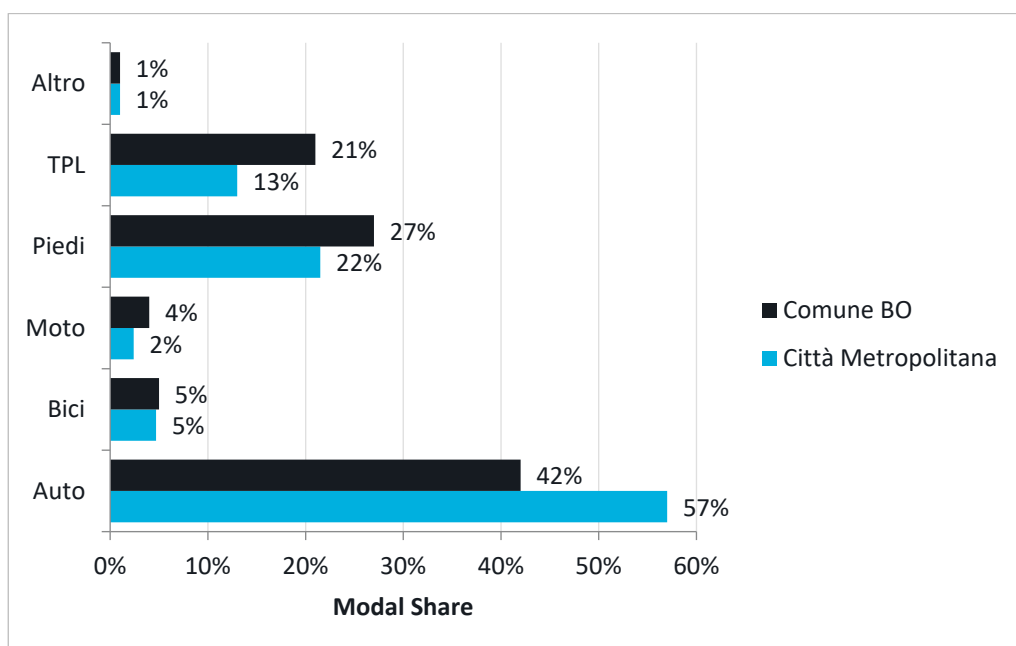


2.3 LA MOBILITÀ NELL'AREA BOLOGNESE

Nell'area della Città metropolitana vengono effettuati complessivamente circa **2,4 milioni di spostamenti quotidiani** da parte dei residenti e circa 2,7 milioni se si considerano anche gli spostamenti dei *city-users* non residenti.

La ripartizione modale degli spostamenti dei residenti e *city-users*⁸ (non residenti) della città Metropolitana di Bologna è riportata in Figura 2.4. In particolare: all'interno del Comune di Bologna il 42% degli spostamenti viene effettuato con l'Auto (57% se si considera tutta l'area Metropolitana), **il trasporto pubblico locale in ambito urbano copre il 21% del totale degli spostamenti** (13% sul territorio metropolitano) e, sempre in ambito urbano, gli spostamenti a piedi si attestano al 27%.

Figura 2.4: Ripartizione modale degli spostamenti

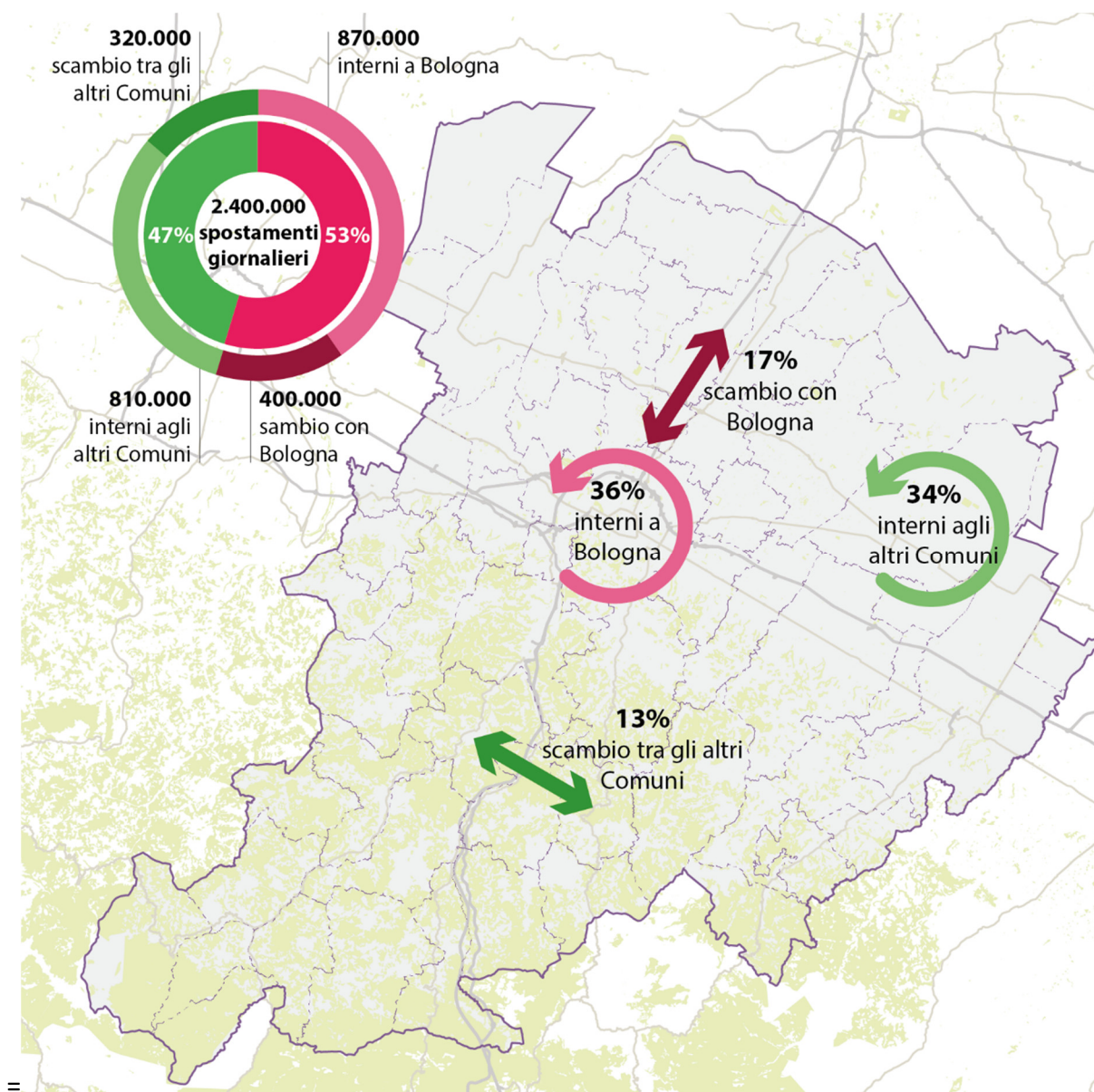


Fonte: PUMS 2018

⁸ Per ricostruire le caratteristiche della mobilità dei "city users" si è fatto riferimento ai dati delle matrici regionali ed ai dati provenienti dalle campagne di indagine condotte per i più importanti poli attrattori presenti nel territorio della città metropolitana (Stazione AV Bologna Centrale, Autostazione di Bologna, Aeroporto, Ospedale, Fiera e Università).

Dei 2,4 milioni di spostamenti giornalieri dei residenti all'interno della Città metropolitana, oltre la metà interessano il Comune di Bologna (53%) e di questi il 36% risulta interno a Bologna. Compatibilmente con le dimensioni della città, oltre l'80% degli spostamenti ha una durata inferiore ai 30 minuti (il 45% compie distanze inferiori ai 5 km e durata inferiore a 15 minuti).

Figura 2.5: Macro-numeri della mobilità bolognese

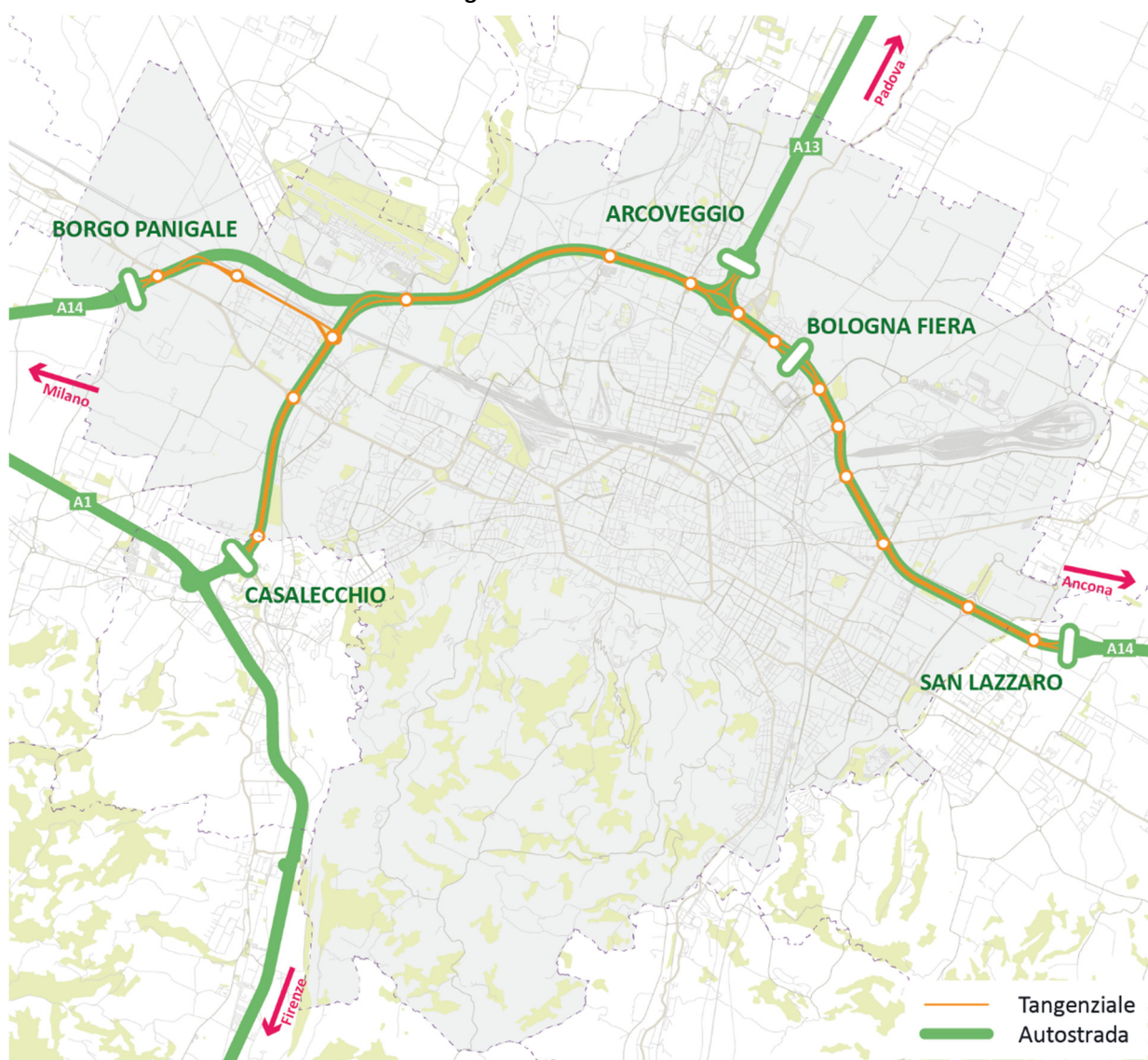


Fonte: Elaborazione su dati PUMS

2.3.1 TRASPORTO PRIVATO

La rete stradale metropolitana si estende in maniera capillare. Il sistema autostradale e tangenziale di Bologna connette le principali direttrici di traffico nazionale e regionale ed in particolare smista i flussi provenienti dalle autostrade: del Sole (A1), Bologna-Padova (A13), del Brennero (A22) e Adriatica (A14) nonché il traffico locale proveniente dalle zone limitrofe all'area metropolitana.

Figura 2.6: la rete stradale



Il sistema viario è formato dalla sede dell'autostrada A14 e dalle due carreggiate della tangenziale, costituite dalle due complanari, che si sviluppano ai due lati della stessa autostrada, tra Borgo Panigale, Casalecchio, Arcoveggio e San Lazzaro.

In ambito urbano, dall'analisi dei flussi di traffico rilevati dalle principali spire provinciali e comunali, fino agli orizzonti temporali pre-pandemici (2019) utilizzati per la ricostruzione dello Scenario Attuale nel presente documento, il trend storico segna una progressiva diminuzione dei flussi di traffico privato su gomma, più rilevante all'interno del Comune di Bologna in direzione centro, favorita dalle politiche di moderazione e limitazione del traffico veicolare all'interno della cerchia dei viali.

Nonostante questo trend, tutte le principali radiali di accesso alla città mostrano flussi di auto molto elevati. In particolare nel quadrante ovest della città, lungo l'asse della Via Emilia a Borgo Panigale tra l'intersezione con l'Autostrada/Tangenziale e la cerchia dei viali transitavano in media 25mila veicoli/giorno al 2019. Volumi simili si osservavano nel quadrante nord-est lungo Via San Donato e Viale Europa.

Per ciò che riguarda il quadrante nord, su Via Stalingrado sempre nel 2019 risultavano flussi giornalieri nell'intorno dei 35mila veicoli/giorno, mentre su Via di Corticella, a cavallo dello svincolo con la tangenziale Nord, si registravano flussi prossimi ai 25mila veicoli/giorno.

All'interno della cerchia dei viali nel Centro Storico vi è una **Zona a traffico limitato (ZTL)** in cui tutti i giorni, nella fascia 7:00 – 20:00, la circolazione dei veicoli a motore è soggetta a limitazioni e gli accessi sono sorvegliati dal vigile elettronico Sirio. All'interno della ZTL ci sono alcune zone limitate 24 ore su 24: le zone pedonali e l'area T (via Rizzoli, via Indipendenza e via Ugo Bassi) i cui accessi sono controllati dal sistema di telecontrollo RITA.

Ogni weekend, dalle 8:00 di sabato alle 22:00 di domenica e tutti i giorni festivi sempre dalle 8:00 alle 22:00, la Zona T e una serie di zone limitrofe è aperta solo a pedoni e biciclette.

2.3.2 SERVIZIO TAXI

Nel Comune di Bologna, al netto delle licenze di Noleggio Con Conducente (NCC), al 2019 risultano 742 le licenze Taxi.

Complessivamente sono oltre 330 gli stalli disponibili per i Taxi dislocati principalmente nel Centro Storico, Aeroporto, zona Fiera e Stazione.

Tabella 2-1: Localizzazione delle postazioni del servizio Taxi

Zona	Numero stalli
Centro Storico	86
Zona Fiera	54
Stazione Centrale	40
Aeroporto	34

Al 2019, le principali origini e destinazioni degli spostamenti in Taxi risultano quelle relative ai principali poli di attrazione e generazione dell'area urbana di Bologna: Centro storico, Stazione Centrale, Aeroporto, zona Fiera e i Poli Ospedalieri del Rizzoli, Maggiore, Sant'Orsola e Bellaria. In media circolano circa 400 Taxi durante le ore diurne (7:00-22:00) e 100 durante le ore notturne con una percorrenza media giornaliera variabile tra i 150 e i 250-300 km/giorno in funzione della presenza di eventi Fieristici, servizio diurno/notturno, tipologia di servizio.

2.3.3 TRASPORTO PUBBLICO

Il trasporto collettivo metropolitano comprende: il Servizio Ferroviario Metropolitano (Figura 2.7); il servizio di trasporto collettivo suburbano ed extraurbano su gomma e il servizio urbano su gomma. Complessivamente le rete si estende per oltre 3.050 Km (circa 2.700 km di rete su gomma, 350 km di rete ferroviaria) ed è percorsa da circa 3.110 corse al giorno (2.700 TPL su gomma e 410 su ferro).

A livello giornaliero al 2018 vi sono circa 145.000 viaggi nel territorio provinciale, di cui circa 100.000 su linee suburbane ed extraurbane e 45.000 sulle linee del SFM. L'offerta del TPL suburbano ed extraurbano è di circa 17.000.000 vkm/anno e la velocità commerciale di 29 km/h. Per quanto riguarda il SFM, l'offerta annua si aggira intorno ai 4.703.000 treni-km.

Tabella 2-2: Offerta di trasporto pubblico

	SFM	Servizio Extraurbano	Servizio Urbano
Estensione (km)	350 (dei quali 45 nel comune di Bologna)	2.700	341
Offerta annua	4,7 Mln treni km	17 Mln vkm/anno	15,8 Mln vkm/anno
N. corse/giorno	400	2.700	5.240
Passeggeri/giorno	35.000	100.000	320.000

Fonte: PUMS 2018

Per quanto riguarda il servizio urbano su gomma, dai dati utilizzati per la redazione del PUMS metropolitano, si nota che le prime 10 linee per numero di passeggeri assorbono da sole oltre l'80% della domanda totale giornaliera.

Figura 2.7: Servizio Ferroviario Metropolitano



Fonte: PUMS 2018

Al 2018, l'offerta del TPL urbano di Bologna si attestava attorno ai **17.600.000 vkm/anno** con una velocità commerciale dei mezzi di circa 15 km/h. Il servizio ha una buona produttività e incontra un discreto successo da parte dell'utenza come dimostrato dal progressivo aumento dei passeggeri trasportati nel quinquennio 2013-2018, dato questo supportato anche da una forte campagna antievasione portata avanti da TPER a partire dal 2013.

Tabella 2-3: Indicatori dell'offerta TPL – Bacino di Bologna - Ripartizione delle percorrenze

Parametri	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Totale vkm offerte	35.443.680	35.051.259	35.205.174	34.960.353	34.997.142	35.754.074
Servizio Urbano	17.893.240	17.600.410	17.654.622	17.492.452	17.571.302	17.962.874
Altri comuni	712.831	705.712	715.002	705.674	704.565	736.453
Servizio sub & extra urbano	16.778.031	16.689.077	16.775.387	16.705.265	16.666.640	16.980.386
Linee speciali	59.578	56.060	60.163	56.962	54.635	74.361

Tabella 2-4: Indicatori dell'offerta TPL – Bacino di Bologna - Ripartizione della domanda

Parametri	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Passeggeri trasportati	135.449.076	131.043.206	127.650.680	125.190.336	123.283.537	116.203.691
Urbano	115.320.708	111.292.812	108.073.193	105.800.154	104.455.241	97.792.889
Aerobus	1.347.334	1.254.587	1.166.129	1.034.989	1.018.830	935.032
Suburbano/extraurbano	18.587.857	18.246.382	18.141.412	18.097.261	17.503.481	17.053.163
Specializzate	243.117	249.425	269.946	257.932	305.985	419.607

Fonte: Bilanci TPER 2013-2018

Come già accennato in precedenza, nell'orizzonte temporale pre-pandemico, le 10 linee portanti del sistema di Trasporto Pubblico urbano su gomma **trasportano oltre l'80% dei passeggeri** per circa 93 milioni di passeggeri l'anno, le altre linee si attestano sui 22 milioni di passeggeri.

Figura 2.8: Rete urbana del trasporto pubblico: linee portanti



2.4 PRINCIPALI CRITICITÀ DEL SISTEMA DI MOBILITÀ

Nonostante le buone performance del servizio pubblico, sono diverse le criticità della **mobilità pubblica e privata** su tutto il territorio comunale.

Per quel che riguarda il **trasporto privato**, le principali criticità si riscontrano in corrispondenza delle radiali di penetrazione urbana tra la Tangenziale e i viali e sui viali di circonvallazione.

Da moltissimi anni si sta discutendo sulle possibili opzioni di potenziamento del sistema Tangenziale/Autostrada e nel 2017 è stato approvato il progetto preliminare del **Passante di**

Bologna proposto da Autostrade per l'Italia e condiviso anche con il territorio attraverso un lungo iter di consultazioni pubbliche. Le discussioni ed i confronti con le varie Amministrazioni coinvolte, tra cui il MIT, sono proseguiti anche nel corso del 2019 e solo nello scorso mese di giugno del 2020 è stato dato l'avvio alla conferenza dei servizi. Il progetto preliminare del Passante prevede l'ampliamento in sede del sistema esistente mediante la realizzazione di una piattaforma a 3 corsie più corsia di emergenza per senso di marcia, sia sull'A14 che sulla tangenziale (con 4 corsie nel tratto più carico) nella tratta tra le uscite 4 (Aeroporto) e 13 (San Lazzaro). Questa soluzione sarà accompagnata da una serie di interventi volti a migliorare la viabilità sulle principali radiali di penetrazione urbana ed anche su alcune direttrici tangenziali. Per quel che riguarda il servizio di **trasporto pubblico su gomma**, la rete portante metropolitana interna alla città di Bologna mostra sostanzialmente due forti criticità:

- l'accentuazione, negli ultimi anni, di un sovraffollamento a bordo dei mezzi in diverse ore del giorno nelle tratte a ridosso delle aree centrali, con conseguenti riflessi sul comfort di viaggio e sui perditempo alle fermate;
- il raggiungimento del limite di distanziamento minimo tra i passaggi dei mezzi nei corridoi su cui insistono più linee, con le conseguenti problematiche in termini di fluidità della circolazione.

Con riferimento a quest'ultima criticità evidenziata, è importante segnalare che nell'ora di punta del mattino nell'area di Piazza dei Martiri transitano circa 150 mezzi tra servizi Urbani, Suburbani ed Extraurbani, equivalenti ad un passaggio ogni 25 secondi. Per questo motivo, in fase di redazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) si è ipotizzata e sostenuta la necessità di sviluppare un **nuovo sistema di trasporto collettivo più efficace, efficiente e sostenibile** lungo gli assi portanti della mobilità bolognese.

2.5 IL PUMS DI BOLOGNA METROPOLITANA

Il PUMS è il piano strategico che orienta la mobilità in senso sostenibile con un orizzonte temporale medio-lungo (2020-2030). Esso sviluppa una visione di sistema della mobilità e si correla e coordina con i piani settoriali ed urbanistici a scala sovraordinata e comunale.

Il PUMS della Città Metropolitana di Bologna ha come ambito territoriale di riferimento l'intero territorio metropolitano e si occupa delle relazioni tra i Comuni analizzando con particolare attenzione gli spostamenti da e verso il capoluogo.

Le **Linee di indirizzo** sono state elaborate tenendo conto gli obiettivi generali provenienti in larga parte dalla comunità internazionale (a livello globale e a livello comunitario):

- **assicurare un alto livello di accessibilità** (rispetto del diritto costituzionale alla mobilità);
- **rispettare gli obiettivi della tutela del clima e della salubrità dell'aria** (Piano dell'Aria Integrato Regionale PAIR 2020 RER, Accordo di Parigi COP 2015);
- **ridurre al minimo gli incidenti causati dalla mobilità** (impegno UE su riduzione dell'incidentalità).

Tutte le fasi di redazione del PUMS della Città metropolitana di Bologna hanno visto un forte processo partecipativo. Tra il 2017 e il 2018 sono stati coinvolti portatori di interesse (stakeholder) e cittadini sia nella fase di definizione degli obiettivi, sia nella fase delle scelte operative, sia nella verifica dell'attuazione del Piano.

2.5.1 OBIETTIVI DEL PUMS

Come indicato nel PAIR 2020, gli obiettivi del PUMS ai fini della tutela della qualità dell'aria prevedono nel lungo periodo (2030), la riduzione delle emissioni da traffico del 40%.

Una quota significativa di tale riduzione sarà sostenuta dall'evoluzione del parco veicolare elettrico che dovrebbe garantire una riduzione pari al 12% di emissioni. L'obiettivo di lungo periodo del PUMS pertanto può essere scomposto in una componente "da parco veicolare" per il 12% e una "da riduzione del traffico privato" per il restante 28%.

Rispetto allo stato attuale, per raggiungere l'obiettivo del PUMS nella Città metropolitana dovranno essere spostati dal mezzo privato (auto e moto) ad altre modalità 440.000 spostamenti/giorno nel Lungo Periodo, pari al 28%.

Tabella 2-5: Obiettivi del PUMS

Obiettivo	Lungo Periodo (2030)
	- 40% emissioni da traffico di cui:
PUMS 2018	<ul style="list-style-type: none"> -12% da rinnovo parco veicolare -28% da riduzione traffico privato, pari a circa 440.000 spostamenti/giorno (auto+moto)

Fonte: PUMS 2018

La spina dorsale del nuovo modello di mobilità sostenibile delineato nel PUMS sarà la costruzione di un unico sistema di Trasporto Pubblico Metropolitano (TPM) incentrato sul rete tranviaria di Bologna e sul SFM per superare l'attuale frammentazione di bus urbani, suburbani, extraurbani, treni regionali, metropolitani, ognuno con un proprio sistema di orari, tariffe e governance.

2.5.2 MISURE PREVISTE NEL PUMS

Gli obiettivi posti dal PUMS per il lungo periodo prevedono un significativo **potenziamento della rete di trasporto pubblico** in ambito metropolitano strutturando la rete di trasporto collettivo in tre componenti.

- **Portante** – costituita dal Servizio Ferroviario Metropolitano SFM, dalla nuova rete tranviaria di Bologna e dalle linee extraurbane/suburbane ad alto traffico che ci si propone di servire con sistemi assimilabili a BRT (Bus Rapid Transit);
- **Secondaria** – costituita da tutte le autolinee extraurbane, suburbane ed urbane che non rientrano nella precedente categoria;
- **Servizi di mobilità condivisa** (Taxi, Taxi collettivo, NCC, Car sharing, Bike sharing) che completano l'operatività del sistema del Trasporto collettivo per rispondere ad esigenze di mobilità caratterizzate da elevata flessibilità oppure in ambiti operativi complessi (aree a domanda diffusa).

Le strategie che il PUMS prevede di introdurre comprendono:

- **potenziamento del SFM** con un obiettivo di frequenza nelle fasce di punta ai 15' su tutte le linee e la realizzazione di interventi strumentali (potenziamento materiale rotabile) e

infrastrutturali propedeutici all'intensificazione del traffico ferroviario in base al modello di esercizio previsto sulle diverse linee;

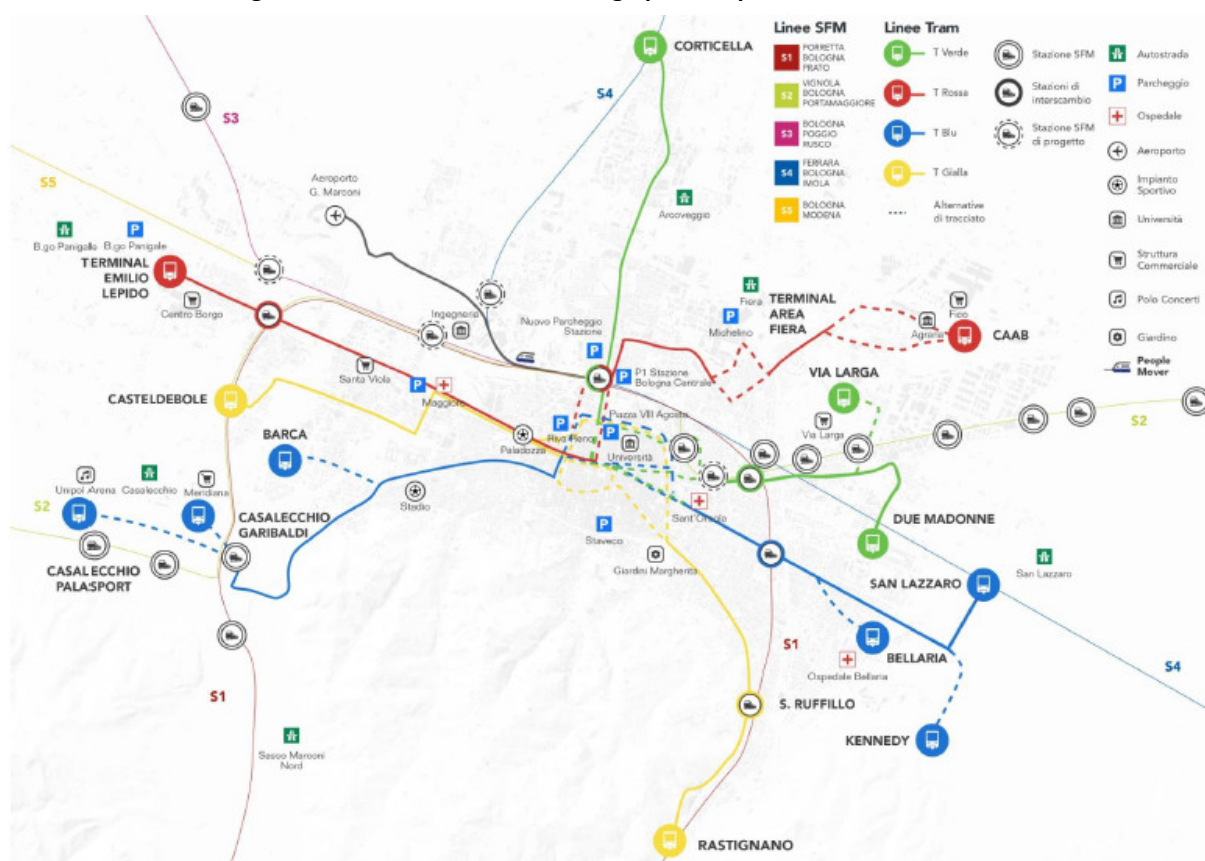
- potenziamento della capacità di trasporto e dell'attrattività della rete portante urbana di Bologna mediante l'**introduzione della tecnologia tranviaria**;
- potenziamento della capacità di trasporto e **innalzamento della velocità commerciale e della regolarità di marcia** delle autolinee extraurbane e suburbane portanti;
- creazione di una **rete di trasporto collettivo interconnessa** tra servizi della rete portante (SFM e tram) e con la rete autofiloviaria secondaria urbana ed extraurbana.

5.2.4.1. La rete tranviaria di Bologna

L'assetto a regime della **rete portante urbana tranviaria** proposta nel PUMS prevede 4 linee (Figura 2.9), per un totale di 53,3 km di sviluppo dell'infrastruttura, che ricalcano gran parte delle attuali direttrici di traffico principali all'interno della città.

La rete tranviaria è integrata con le 8 direttrici SFM non solo alla Stazione Centrale ma anche presso una serie di stazioni urbane, consentendo un collegamento ottimale verso i principali attrattori urbani dall'intero bacino metropolitano bolognese. Le 4 linee della rete tranviaria completa, così come prevista dal PUMS, dovrebbero intercettare 340.000 residenti entro un bacino di 500 m dalle linee (ammettendo in prima istanza un distanziamento medio delle fermate di 400 metri), pari al 88% dei residenti di Bologna.

Figura 2.9: La rete tranviaria di lungo periodo prevista nel PUMS



Fonte: PUMS 2018

3. LA LINEA VERDE DEL TRAM DI BOLOGNA

3.1 PREMESSA

A partire dal secondo semestre del 2018, è stato redatto il progetto di Fattibilità Tecnica Economica (FTE) della prima delle 4 linee tranviarie previste dal PUMS che, allo stato attuale, vede il suo iter giunto alla fase di cantierizzazione. Si tratta della Linea Rossa che collega il terminal Emilio Lepido (nella zona di Borgo Panigale ad ovest della città) con due attestamenti posizionati nel settore orientale e nord-orientale: il terminal Fiera/Michelino posizionato all'interno del distretto fieristico e il secondo presso la Facoltà di Agraria del quartiere Pilastro. Al fine di mettere il più possibile a sistema la rete tranviaria che il PUMS ha immaginato si è ritenuto procedere ad un secondo step progettuale che riguarda un ampio tratto della Linea Verde disegnata dal PUMS e punta ad integrare la linea già in stato di realizzazione.

3.2 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

La nuova linea tranviaria si innesta sulla Linea Rossa in corrispondenza di Piazza dell'Unità, dalla quale imbecca via di Corticella e la percorre per circa 2,4 chilometri. In questo tragitto, dopo circa 1.200 metri, la strada sottopassa la linea ferroviaria di collegamento verso lo scalo San Donato. Superata la ferrovia e proseguendo verso nord, il tracciato oltrepassa la Tangenziale Nord nei pressi dello svincolo 6 e si innesta su Via di Corticella fino all'incrocio con via Stendhal. Da questo punto, la linea continua a percorrere via di Corticella fino a raggiungere, dopo 1.000 metri, il bivio con via Genuzio Bentini. Qui il tram procede per 700 metri su Via Bentini fino all'incrocio con via Sant'Anna che impegna svoltando a destra. Al termine di Via Sant'Anna percorre via Georg Byron e, successivamente, Via Shakespeare. Questa sorta di semi anello consentirà di servire in maniera più efficiente una vasta zona residenziale che si sviluppa nell'intorno di via Sant'Anna e di via Byron. Il tracciato prosegue percorrendo l'ultimo tratto di Via Bentini fino a raggiungere la stazione SFM di Bologna Corticella, dove sarà possibile effettuare un interscambio con gli utenti del servizio ferroviario ed in corrispondenza della quale è previsto un nodo di interscambio, sia per la mobilità privata e sia per il trasporto pubblico extraurbano.

4. IL MODELLO DI SIMULAZIONE MULTIMODALE

4.1 APPROCCIO METODOLOGICO

Al fine di stimare gli impatti che saranno generati dalla Linea Verde del Tram sulla mobilità dell'area bolognese si è proceduto ad implementare un modello di simulazione della domanda e dell'offerta di trasporto. **Per garantire coerenza e confrontabilità con quanto esposto in fase di redazione del PFTE della stessa linea, si sono utilizzati come base dati della mobilità pubblica e privata, i dati relativi ad uno scenario temporale pre-pandemico facendo ricorso a quelli raccolti ed elaborati per la redazione del PUMS della Città metropolitana di Bologna che il Comune di Bologna ha messo a disposizione.**

Nei prossimi paragrafi vengono dettagliatamente descritte le caratteristiche del modello di base e tutti gli ulteriori elementi di dettaglio che sono stati specificamente introdotti per lo studio in esame.

4.2 LA ZONIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio considerata per lo svolgimento dell'analisi è relativa a tutta la Città metropolitana. Come previsto dalla pratica comune della pianificazione dei trasporti, l'area di studio viene suddivisa in zone omogenee di generazione ed attrazione di traffico (zone di traffico). La zonizzazione originale del PUMS della Città metropolitana era così caratterizzata (cfr. Figura 4.1 e Figura 4.2).

Tabella 4-1: Zonizzazione del PUMS

Area Territoriale	N° di zone
Comune di Bologna (compresi 16 parcheggi di scambio)	132
Comuni di prima cintura	50
Resto della città Metropolitana	54
Zone esterne	25
Totale	261

Fonte: PUMS 2018

Figura 4.1: Zonizzazione utilizzata per il modello del PUMS della Città metropolitana

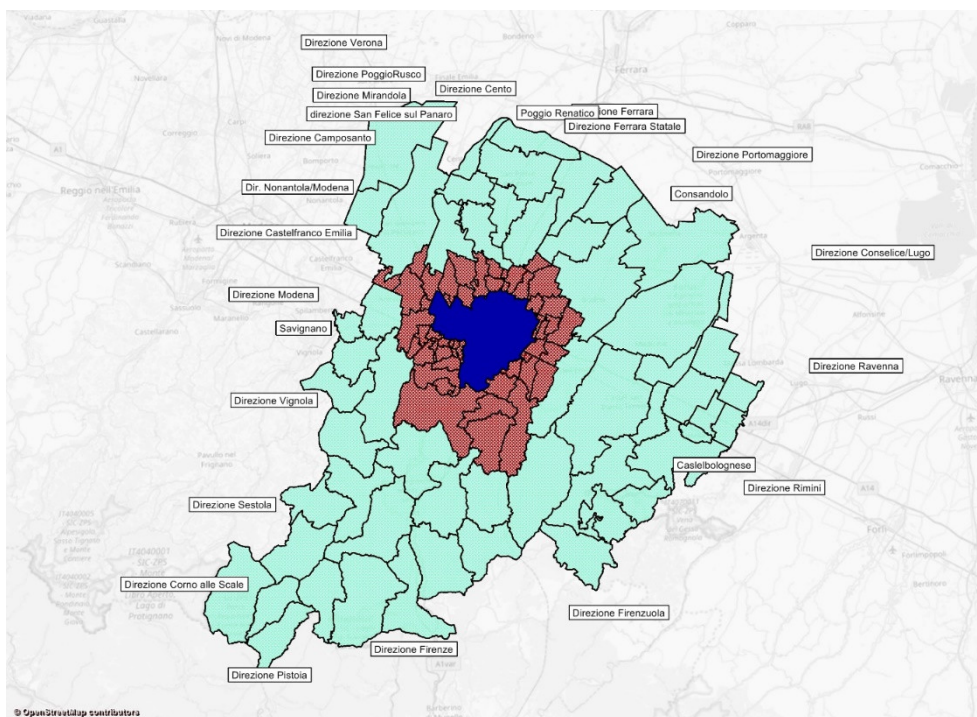
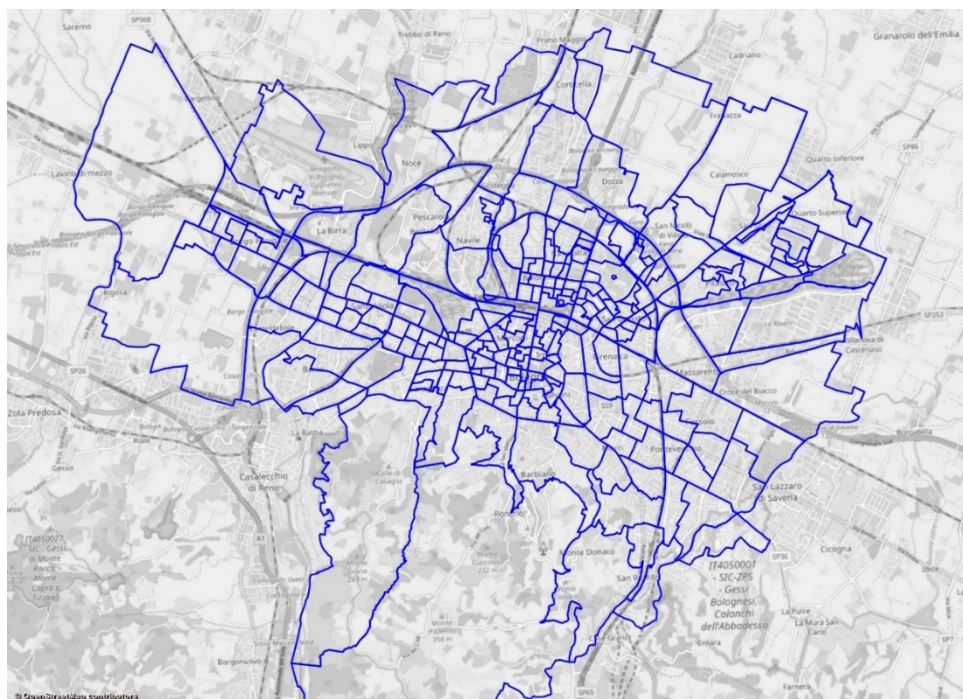


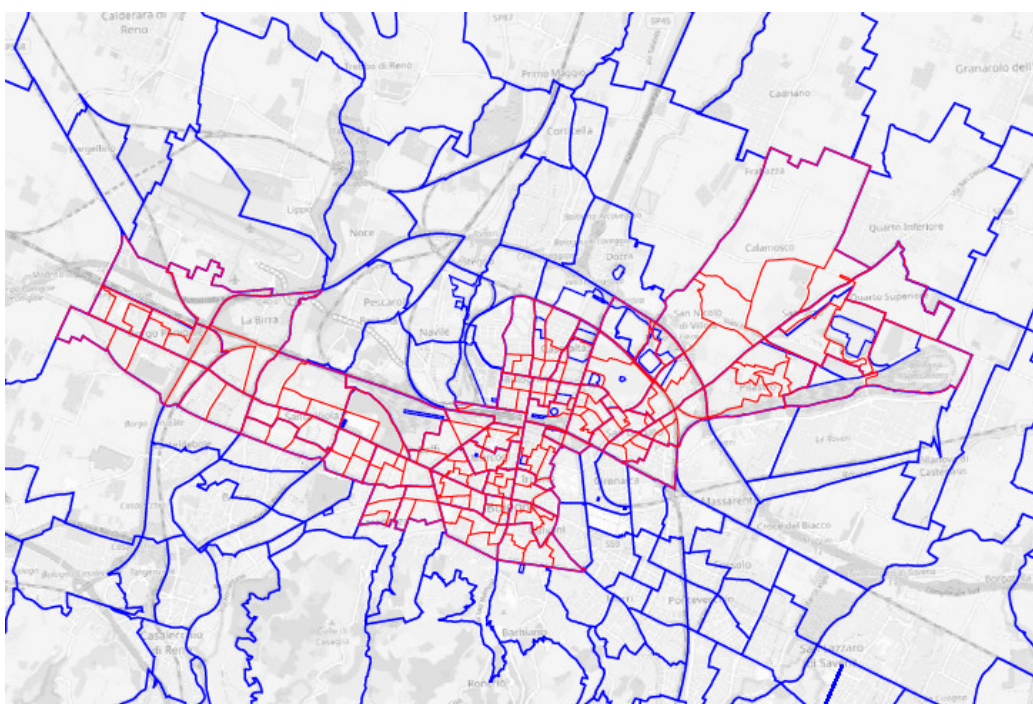
Figura 4.2: Zonizzazione del Comune di Bologna



Successivamente, sia per l'analisi trasportistica della Linea Rossa del tram, sia per il presente studio della Linea Verde verso Corticella, si è proceduto a una sub-zonizzazione dei territori direttamente interessati dai citati interventi.

Nello specifico, per lo studio della Linea Rossa, 47 zone distribuite lungo il tracciato del tram sono state ripartite in 180 zone, portando la zonizzazione del Comune di Bologna a complessive 265 zone (Figura 4.3).

Figura 4.3: Zonizzazione adottata per lo studio della Linea Rossa del Tram



Infine per lo studio in esame 21 zone del Comune di Bologna, poste nell'area della Bolognina e lungo la direttrice di via Corticella, sono state suddivise in 91 zone e 2 zone del vicino comune di Castel Maggiore suddivise in 12 zone (cfr. Figura 4.4 e Figura 4.5). Nella successiva Tabella 4-2 si riporta il dettaglio della zonizzazione utilizzata per il presente studio.

Tabella 4-2: Zonizzazione per lo studio della Linea Verde del tram

Area Territoriale	N° di zone
Comune di Bologna (compresi 16 parcheggi di scambio)	335
Comuni di prima cintura	60
Resto della Città metropolitana	54
Zone esterne	25
Totale	474

Figura 4.4: Sub-zonizzazione nell'area della Bolognina

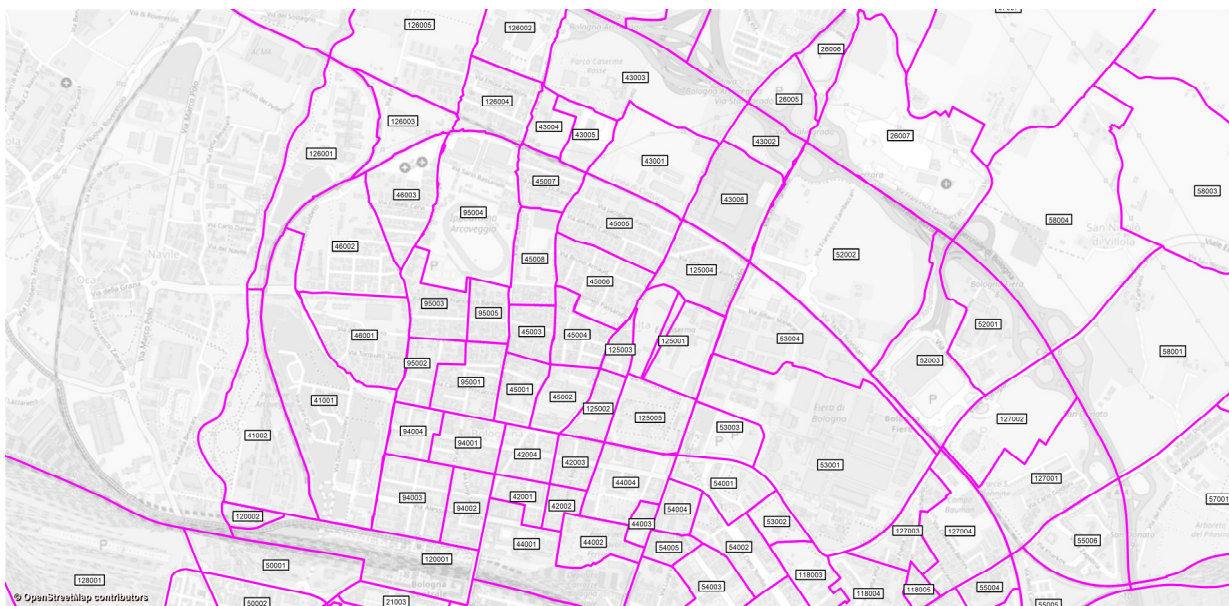
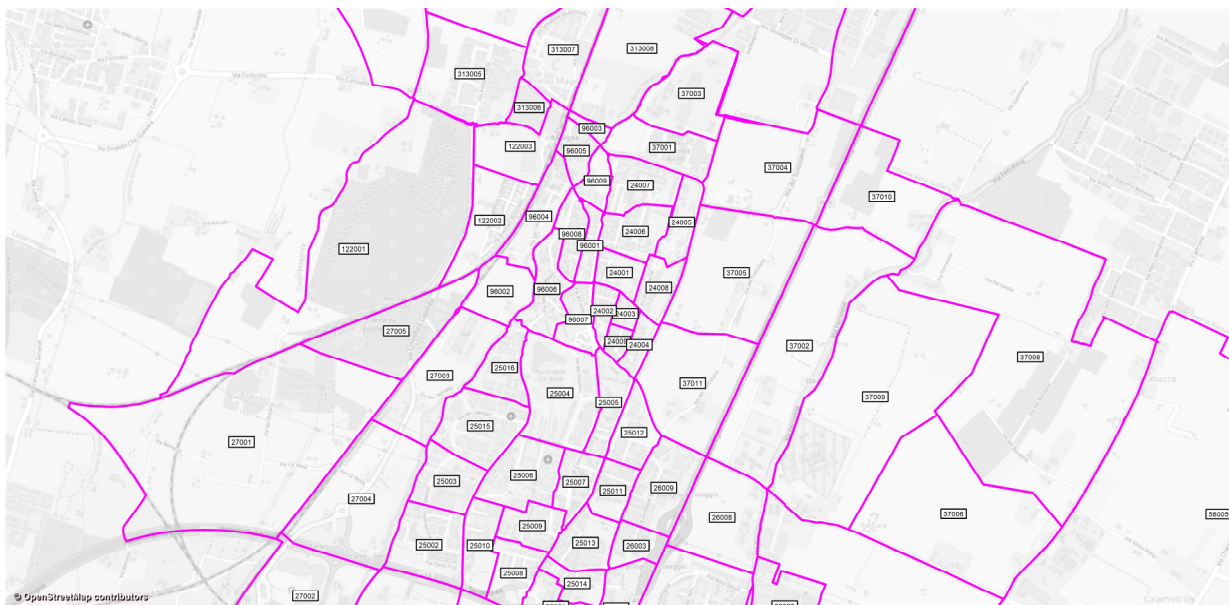


Figura 4.5: Sub-zonizzazione lungo la direttrice di via Corticella



4.3 L'OFFERTA DI TRASPORTO

Il sistema dell'offerta di trasporto è costituito da quelle componenti fisiche (infrastrutture, veicoli e tecnologie), organizzative e normative (gestione della circolazione, strutture tariffarie) che determinano la produzione del servizio di trasporto e le relative caratteristiche.

Nei paragrafi che seguono si descrive come è stata costruita l'offerta per le due componenti della mobilità (traffico privato e trasporto pubblico), per i quali si riporta anche una nota sintetica sugli algoritmi di calcolo utilizzati.

4.3.1 LA RETE DEL TRASPORTO PRIVATO

La rete stradale descritta nel grafo del modello di simulazione è schematizzata come successione di archi e nodi che vengono descritti in base alle loro caratteristiche fisico - geometriche.

Ogni arco è rappresentativo di un asse stradale, o di una sua porzione, che presenta caratteristiche omogenee, mentre i nodi sono rappresentativi delle intersezioni tra tronchi stradali o vengono posizionati in corrispondenza di variazioni significative delle caratteristiche geometriche dell'asse.

La rete implementata nel modello ricostruisce con buon dettaglio il sistema della viabilità esistente nell'area di studio ed in particolare lungo i corridoi stradali che ospiteranno la nuova linea tranviaria con tutte le sue diramazioni.

Ogni **arco** che compone il grafo stradale, è stato descritto con le informazioni relative alla sua lunghezza, al numero di corsie disponibili per il deflusso, al limite di velocità. Inoltre sulla base della sezione, geometria e tipologia di intersezione finale, ad ogni arco è stata attribuita una classe funzionale e per ogni classe funzionale sono stati associati specifici valori di capacità⁹ e velocità di percorrenza a flusso nullo.

La classificazione e le caratteristiche degli archi che costituiscono il modello della rete privata per lo studio in esame sono riportate di seguito.

Tabella 4-3: Classifica funzionale della rete stradale

Tipologia	N° di corsie per direz.	Capacità per direz. (veic/gg)	Velocità di flusso libero (km/h)	Lunghezza (km)	N° di archi
Autostrade	4	120.000	130	25,446	8
	3	90.000	130	150,285	84
	3	80.000	110	29,506	16
	2	66.000	130	86,515	58
	2	60.000	110	47,895	24
Autostrade - svincoli	1	25.000	70	5,523	15
Autostrade - rampe	1	20.000	40	27,845	96
Extraurbana principale (B1)	2	55.000	90	14,434	24
	2	50.000	70	1,416	2
	1	28.000	90	32,859	28
	1	27.000	70	70,091	122
	1	25.000	70	18,868	10
	1	24.000	70	196,309	288
	1	22.000	60	4,158	20
B1 - rampe	1	20.000	40	9,469	48
Extraurbana secondaria (B2)	2	44.000	70	2,513	6
	1	22.000	60	287,513	640
	1	20.000	50	58,618	160
B2 - rampe	1	13.000	30	0,164	2

⁹ Per capacità di un sistema di trasporto si intende il flusso massimo che può circolare su una tratta dell'infrastruttura durante un intervallo di tempo fissato, tenendo conto delle caratteristiche geometriche della strada e delle condizioni di circolazione.

Tipologia	N° di corsie per direz.	Capacità per direz. (veic/gg)	Velocità di flusso libero (km/h)	Lunghezza (km)	N° di archi
Extraurbana locale (C)	1	22.000	70	379,279	924
	1	20.000	60	1200,055	2.587
	1	18.000	50	1632,429	4.206
	1	16.000	40	2058,507	5.763
Urbana di scorrimento (U1)	2	64.000	90	49,654	104
	2	60.000	70	5,665	10
	2	45.000	60	13,623	49
	2	40.000	50	5,415	26
U1 - rotonde	2	38.000	40	2,715	28
U1 - rampe	1	20.000	40	34,739	179
Urbana Interquartiere (U2)	3	48.000	50	17,462	222
	2	45.000	50	19,462	102
	2	40.000	50	11,199	52
	2	38.000	40	4,517	51
	2	32.000	40	10,185	89
	2	28.000	40	42,149	364
	1	20.000	35	2,741	23
	1	16.000	35	0,222	5
	1	14.000	35	25,837	146
	1	12.500	35	89,753	465
	1	8.000	30	40,646	175
U2 - rotonde	2	22.000	40	0,733	27
Urbana di quartiere (U3)	2	30.000	40	41,339	291
	2	27.000	35	7,513	78
	1	18.000	35	0,116	3
	1	16.000	35	4,408	86
	1	14.000	35	0,755	15
	1	12.000	35	66,056	670
	1	10.500	35	57,259	409
	1	9.500	30	8,017	65
	1	9.000	30	1,138	12
Urbane locali (U4)	2	22.000	30	2,777	18
	2	18.000	30	0,045	1
	2	16.000	30	4,217	62
	1	10.000	30	14,971	174
	1	9.000	30	286,208	1.802
	1	8.000	30	552,948	3.410
ZTL	1	7.000	25	4,910	73
	1	6.000	25	30,885	328
	1	5.000	25	28,011	324

Nel complesso, quindi, la rete stradale modellizzata è composta da **25.069 archi** e copre oltre **7.800 km di strade¹⁰** all'interno dell'area di studio.

Per i **nodi** stradali, che come detto rappresentano le intersezioni tra diversi archi stradali; sono state definite le penalità di svolta e le capacità delle svolte stesse. Sulla base della tipologia di archi (classifica funzionale) che insistono su un'intersezione e dalla geometria dell'intersezione sono state definite:

- le regole di precedenza tra le strade che convergono nel nodo;
- il tipo di manovre di svolta: a destra, dritto, a sinistra, inversione ad U.

Per ogni manovra su ciascuna intersezione, sono stati associati "perditempo" caratteristici, così da tenere conto delle diverse proprietà (maggiore o minore facilità di eseguire la manovra) di ciascuna manovra di svolta.

Oltre ai nodi rappresentativi delle intersezioni, un'importante classe di nodi è costituita dai **nodi centroidi** (474 nodi pari al numero delle zone di traffico), nei quali si ipotizzano concentrate tutte le attività di una zona e dove, quindi, risultano ubicate le origini e le destinazioni degli spostamenti generati o attratti dalla zona stessa. Generalmente essi non corrispondono a luoghi fisici e vengono solitamente posizionati nel baricentro della zona di traffico; inoltre, essi sono collegati al grafo della rete stradale tramite archi fittizi che prendono il nome di "**connettori**", che svolgono la funzione di collegare le zone di domanda alla rete e consentono di modellizzare l'ingresso e l'egresso dalla rete da parte degli utenti.

E' utile sottolineare che una delle più importanti e delicate operazioni di calibrazione del modello di dell'offerta di un sistema di trasporto, è proprio quella di posizionare correttamente gli archi connettori, in modo che non si generino delle distorsioni nell'utilizzo della rete da parte degli utenti che, per poter accedere o uscire da una zona di traffico, devono necessariamente transitare per il/i nodo/i della rete stradale a cui è collegato l'arco connettore.

4.3.2 LA RETE DEL TRASPORTO PUBBLICO

Il modello di trasporto pubblico include la rappresentazione delle seguenti reti:

¹⁰ Si precisa che, essendo il grafo costituito da archi monodirezionali, per tutta la viabilità a doppio senso di marcia le estese sono raddoppiate.

- rete urbana, suburbana ed extraurbana del trasporto su gomma operata da TPER e dalle altre Società di Trasporto;
- rete del Sistema Ferroviario Metropolitano (SFM) operato da TPER e da Trenitalia;
- rete del sistema ferroviario regionale, interregionale e nazionale.

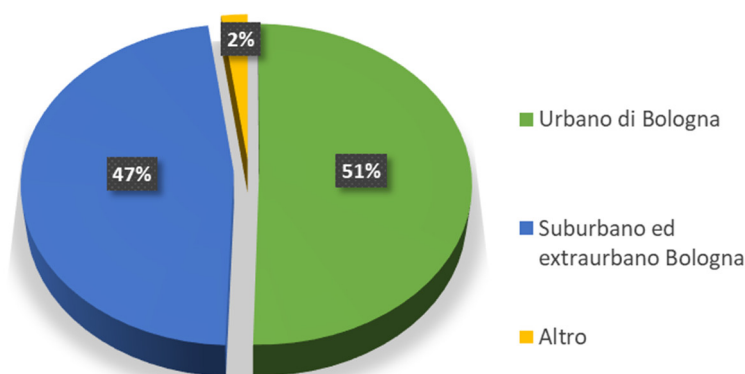
In ragione delle finalità dello studio in esame e dell'estensione dell'area di studio, le reti sono state schematizzate definendo i percorsi gli orari e le frequenze per ciascuna linea.

Secondo quanto riportato dai dati pubblicati sul sito del Comune di Bologna e da TPER S.p.A., la rete di trasporto pubblico su gomma nell'area metropolitana di Bologna si compone di:

- 42 linee urbane di Bologna (comprehensive di 5 navette, 2 linee notturne e 1 linea Aerobus);
- 7 linee urbane di Imola;
- 15 linee suburbane;
- 99 linee extraurbane;
- 10 linee Prontobus.

Nell'esercizio 2018 sono stati complessivamente registrati 35,4 milioni di km percorsi, di cui una metà (17,9 milioni) per il servizio urbano di Bologna e poco meno (16,8 milioni) per il servizio suburbano ed extraurbano.

Figura 4.6: Offerta di servizio del tpl su gomma nel territorio bolognese



Fonte: Bilancio TPER 2018

Nel modello implementato sono rappresentate complessivamente il seguente numero di corse per le differenti tipologie di servizio pubblico.

Tabella 4-4: N° di corse modellizzate per i servizi di Trasporto Pubblico

Tipologia di servizio	N° corse
Trasporto su gomma	8.431
<i>Rete urbana</i>	5.538
<i>Di cui Urbano Bologna</i>	5.240
<i>Rete suburbana</i>	1.100
<i>Rete extraurbana</i>	1.793
Servizio Ferroviario Metropolitano	375
Sistema ferroviario (regionale, interregionale, nazionale)	139
Totale	8.945

4.4 LA DOMANDA DI TRASPORTO

La domanda di trasporto è l'espressione delle esigenze di mobilità degli utenti. Essa viene rappresentata attraverso il numero di spostamenti da ciascuna zona di origine ad ogni zona di destinazione per un determinato intervallo di tempo (Matrice Origine – Destinazione).

Come già esposto in precedenza, anche per la domanda di trasporto il modello implementato trae origine dalle analisi svolte per la redazione del PUMS della Città metropolitana di Bologna.

Il punto di partenza per la determinazione della domanda di mobilità complessiva è stato rappresentato dall'indagine O/D condotta nel 2016 sui residenti della Città metropolitana, che ha permesso di delineare un quadro esaustivo sulle abitudini di mobilità all'interno di tale ambito territoriale.

Nei paragrafi che seguono si forniscono delle indicazioni sintetiche sulle caratteristiche dell'indagine di mobilità e successivamente dei livelli di domanda del trasporto privato e di quello pubblico.

4.4.1 L'INDAGINE DI MOBILITÀ

Come precedentemente accennato, l'indagine di mobilità, è stata effettuata nei primi mesi del 2016, il suo principale obiettivo è stato quello di rilevare le caratteristiche della mobilità dei residenti nella Città metropolitana.

Le interviste sono state svolte utilizzando un questionario semi-strutturato, realizzato in versione informatica per la somministrazione CATI (*Computer Assisted Telephone Interviewing*).

Il target di indagine è stato costituito da **cittadini residenti, in età compresa tra 14 e 85 anni**.

Il piano di campionamento

Il campione per l'indagine è stato di **5.500 interviste** rappresentative per *genere, classe di età* (4 fasce) e comune di residenza secondo la zonizzazione d'interesse (15 quadranti) della popolazione presente nell'universo di riferimento (835.955 soggetti).

La numerosità e la struttura campionaria applicate hanno garantito un errore complessivo per il sondaggio pari a $\pm 2,2$ con un livello di confidenza del 95%.

Tabella 4-5: Piano di campionamento rispetto a sesso e classe d'età

	Universo				Campione teorico		
	Maschi V.A.	%	Femmine V.A.	%	Maschi V.A.	Femmine V.A.	Totale
14 – 24 anni	43.781	5,2	41.362	4,9	288	272	560
25 – 44 anni	132.820	15,9	135.272	16,2	874	890	1.764
45 – 64 anni	134.789	16,1	142.739	17,1	886	939	1.825
65 – 85 anni	90.984	10,9	114.244	13,7	599	752	1.351
Totale	402.374	48,1	433.581	51,9	2.647	2.853	5.500

Nella costruzione del campione particolare attenzione è stata riposta alla distribuzione per zona. A questo riguardo il campione è stato ricostruito procedendo per step, al fine di evitare distorsioni sull'errore campionario che si sarebbe generato procedendo ad un campionamento direttamente proporzionale alla struttura dell'universo per quadranti. Nello specifico:

Step 1: distribuzione delle interviste in modo proporzionale alla popolazione residente nei 15 quadranti;

- Step 2: aggregazione, nel rispetto della zona di appartenenza dei singoli quadranti, nelle 5 zone previste per le elaborazioni;
- Step 3: definizione, per ciascuna Zona di una quantità fissa di interviste (400), passando così da una distribuzione proporzionale ad un campione ragionato, garantendo in questo modo per ogni area di analisi errori statistici non dissimili e quindi confrontabilità dei dati;
- Step 4: distribuzione, all'interno di ciascuna zona delle interviste secondo il peso che i singoli quadranti hanno all'interno della propria zona di riferimento.

Tabella 4-6: Piano di campionamento rispetto alla distribuzione territoriale

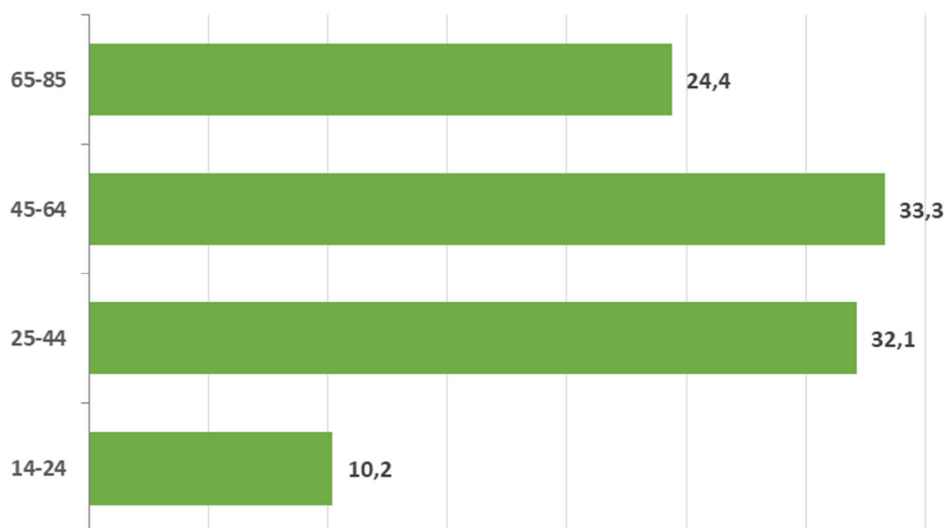
Quadranti	Universo		1-Campione proporzionale per quadrante	Zone	2-Campione proporzionale per zone	3-Campione con quote fisse per zona	4-Distribuzione campionaria per quadrante
	V.A.	%	V.A.		V.A.	V.A.	V.A.
Bologna	324.331	38,8	2.134	Bologna	2.134	1.700	1.700
Est Pianura	44.235	5,3	291	Imolese	728	1.300	520
Est Vallata	8.235	1,0	54				97
Imola	58.114	7,0	382				683
Nord Esterno	65.775	7,9	433	Pianura	924	500	234
NordEst Esterno	28.112	3,4	185				100
NordOvest Esterno	46.514	5,6	306				166
Nord interno	24.070	2,9	158	Cintura	1.098	1.500	216
NordEst Interno	12.294	1,5	81				110
NordOvest Interno	21.106	2,5	139				190
SudEst Interno	52.129	6,2	343				468
Ovest Interno	57.340	6,9	377				515
SudEst Esterno	12.010	1,4	79	Collina - Montagna	616	500	64
SudOvest Bazzanese	33.948	4,1	223				181
SudOvest Esterno	47.742	5,7	314				255
Totale	835.955	100,0	5.500		5.500	5.500	5.500

Profilo sociodemografico degli intervistati

Rispetto ai 5.500 intervistati, circa il 52% del campione è composto da donne, mentre il 48% da uomini.

Le due classi di età centrali (25-44 e 45-64) coprono entrambe circa un terzo degli intervistati, il 24% degli intervistati è over 65, mentre il 10,2% sono ragazzi in età compresa tra i 14 e i 24 anni (Figura 4.7).

Figura 4.7: Distribuzione degli intervistati per classe d'età (%)



Il livello medio di istruzione catturato è risultato piuttosto elevato: il **25,8%** degli intervistati è **laureato** (o istruzione superiore) ed il **40,5%** ha conferito un **diploma/licenza di scuola superiore di II grado** (Figura 4.8).

Per quanto riguarda la condizione professionale (Figura 4.9), Il **47,8%** della popolazione intervistata risulta stabilmente **occupata**, mentre il 3,6% sono disoccupati.

Gli intervistati appartenenti alla cosiddetta **utenza debole** costituiscono complessivamente il **46,6%** degli intervistati, costituito da:

- 33,6% di pensionati;
- 8,6% di studenti;
- 4,4% di casalinghe.

Figura 4.8: Distribuzione degli intervistati per titolo di studio (%)

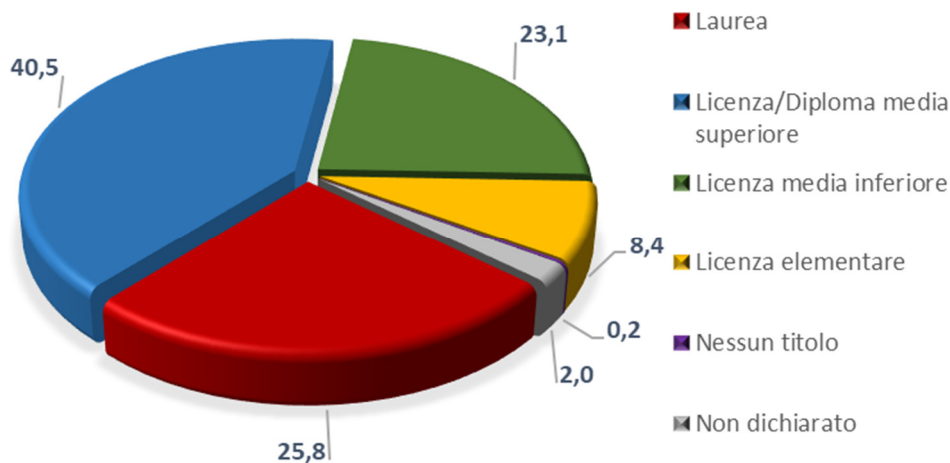
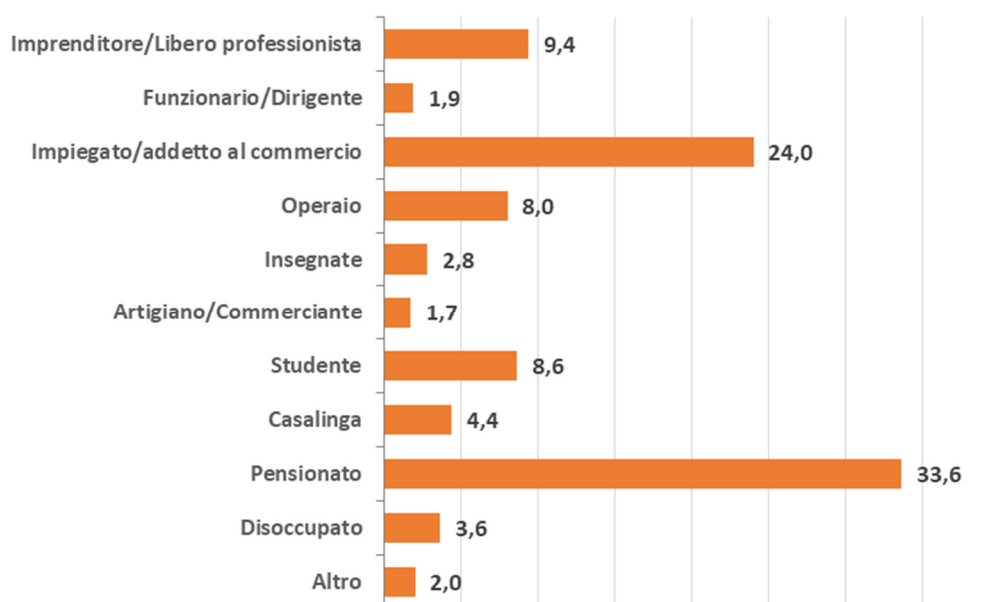


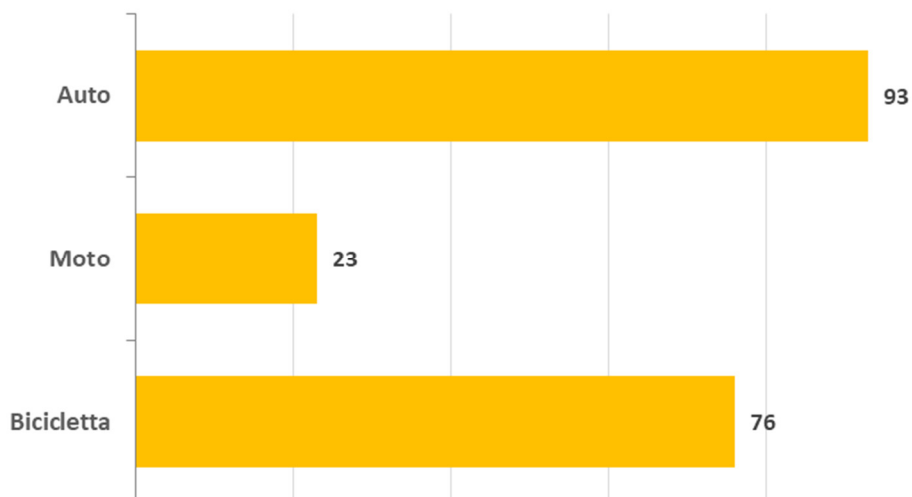
Figura 4.9: Distribuzione degli intervistati per condizione professionale (%)



In merito alla dotazione familiare di mezzi per il trasporto privato, risulta **alto il possesso dell'automobile e della bicicletta**: rispettivamente, il 93% ed il 76% degli intervistati ne possiede

almeno una in famiglia, mentre il 23% degli intervistati possiede almeno un motociclo/ciclomotore in famiglia¹¹.

Figura 4.10: Dotazione familiare di mezzi di trasporto (%)



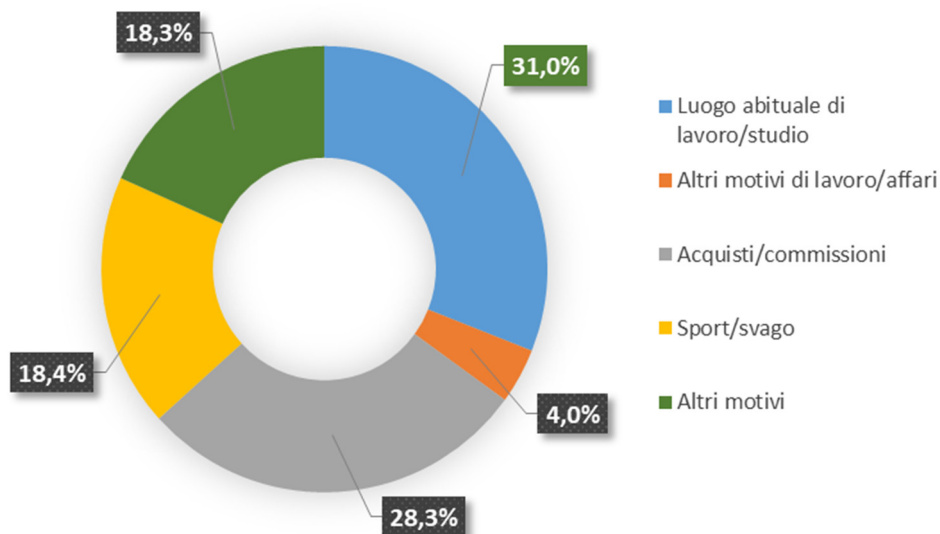
La mobilità

L'indagine relativa agli spostamenti del giorno feriale ha avuto l'obiettivo di rilevare l'intero **diario di viaggio** dei soggetti rispondenti, la cui elaborazione ha consentito la messa a punto di una **base-dati completa degli spostamenti giornalieri** distinti per origine e destinazione, modo, motivo e fascia oraria.

Per il **motivo** dello spostamento si riscontra una ripartizione piuttosto spinta verso la mobilità non sistematica. Infatti, con riferimento a tutto il territorio della Città metropolitana ed al netto dello spostamento di ritorno a casa, la mobilità **sistematica** (spostamento abituale per lavoro/studio) si attesta al **31%**, gli **altri motivi di lavoro** coprono il **4%** e la quota restante è relativa a spostamenti non sistematici (Figura 4.11).

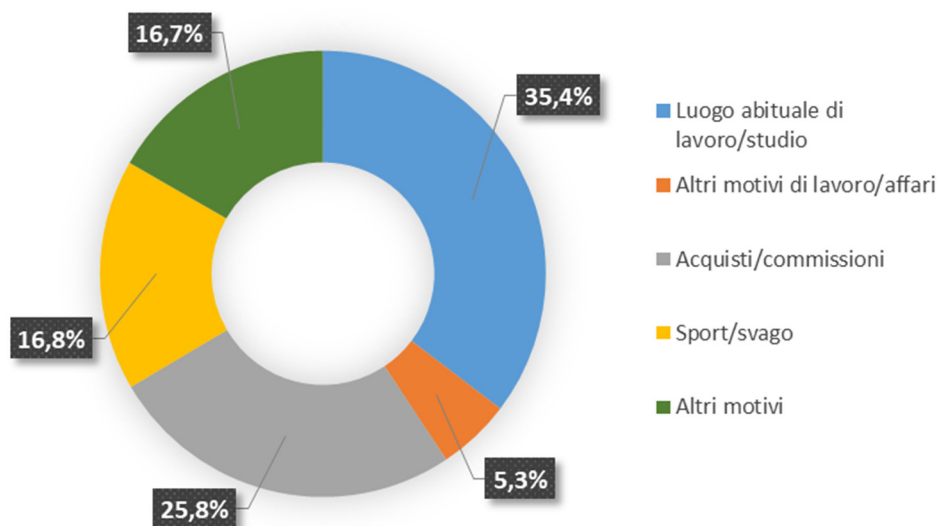
¹¹ Il complemento a cento per ciascun modo rappresenta la % di utenti che non possiedono quel mezzo di trasporto.

Figura 4.11: Ripartizione degli spostamenti per motivo. Intera Città Metropolitana (%)



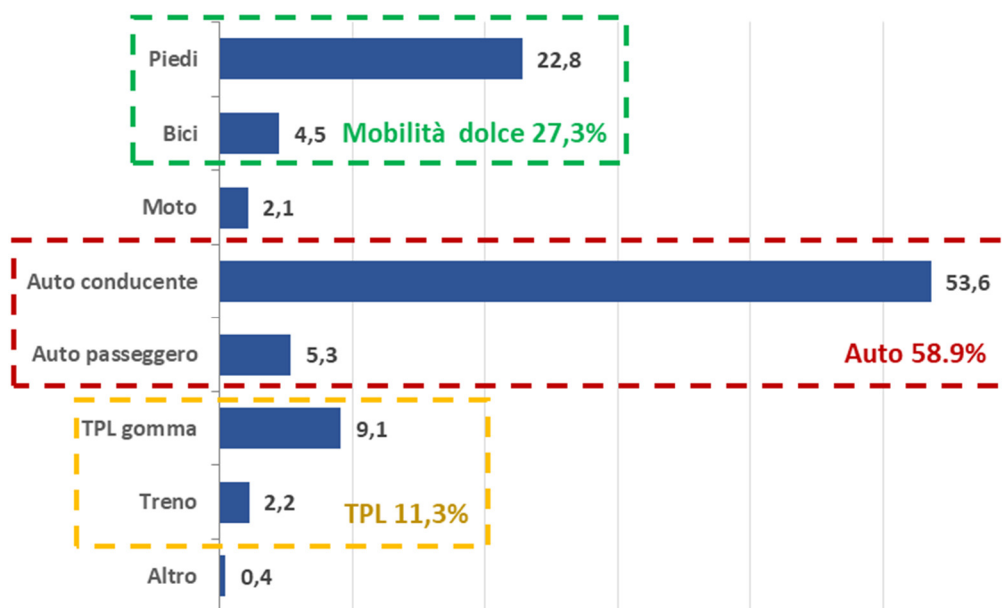
Prendendo in considerazione i soli spostamenti che interessano il comune capoluogo (spostamenti interni a Bologna e di scambio con Bologna), che sono quelli direttamente interessanti per lo studio in esame si ottiene la ripartizione esposta in , che presenta un lieve incremento sia degli spostamenti sistematici sia di quelli per altri motivi di lavoro.

Figura 4.12: Ripartizione degli spostamenti per motivo. Comune di Bologna (interno e scambio) (%)



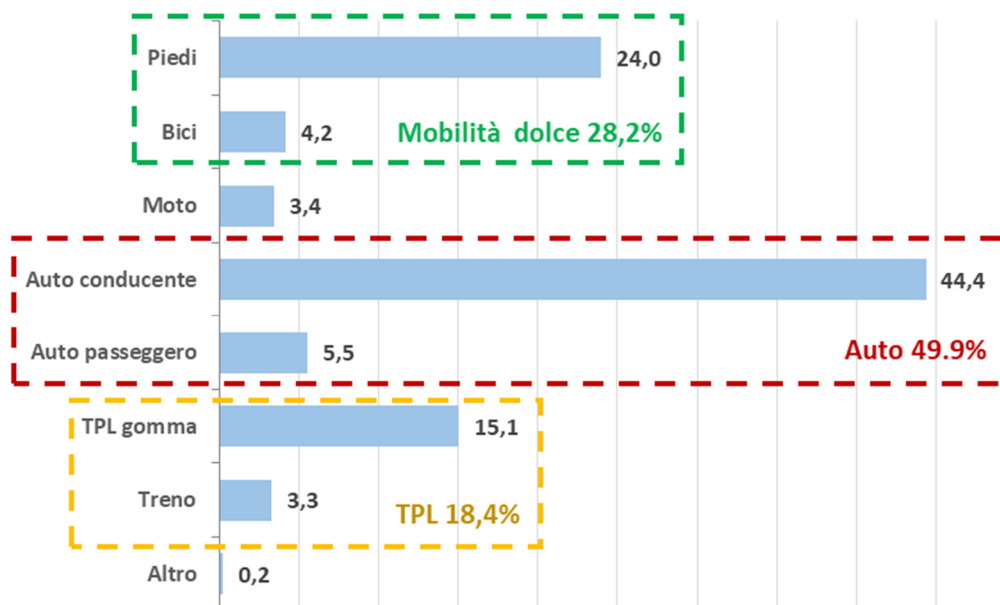
Per quanto riguarda la **modalità di trasporto** utilizzata, l'indagine ha rilevato che circa il **77% degli spostamenti complessivi viene effettuato utilizzando almeno un mezzo di trasporto**, mentre significativa è la quota di spostamenti che viene svolta solo **a piedi**, pari al **22,8%** del totale (Figura 4.13).

Figura 4.13: Ripartizione modale degli spostamenti dei residenti. Intera Città Metropolitana (%)



Anche per il modo di trasporto è utile analizzare come si distribuisce la ripartizione modale per gli spostamenti che interessano direttamente il comune capoluogo. Come si può osservare l'elemento principale che si rileva è una riduzione della mobilità con mezzo privato ed un incremento di quella con mezzi di trasporto collettivo (gomma e treno).

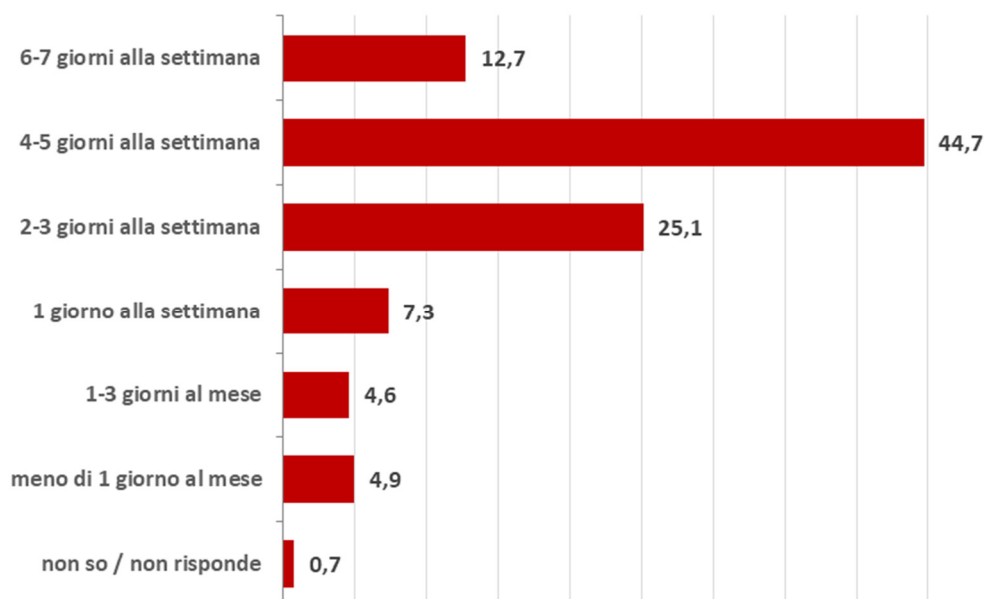
Figura 4.14: Ripartizione modale degli spostamenti dei residenti. Comune di Bologna (interno e scambio) (%)



E' opportuno precisare che le leggere differenze rispetto a quanto esposto nel precedente paragrafo 2.3. (Figura 2.4), sono dovute al fatto che nel citato capitolo sono compresi anche gli spostamenti dei city users che l'indagine, essendo rivolta ai soli residenti della Città Metropolitana, non ha analizzato.

Altro aspetto importante è quello relativo alla frequenza degli spostamenti. Circa il **70% degli spostamenti viene compiuto sempre o spesso durante la settimana** lavorativa. In particolare, circa la metà degli spostamenti complessivi (44,7%) viene compiuta sistematicamente 4 o 5 giorni a settimana.

Figura 4.15: Frequenza degli spostamenti dei residenti (%)



Passando infine ad analizzare la **mobilità complessiva**, come già esposto in precedenza, l'indagine quantifica in **2.401.195** gli **spostamenti** generati dai **residenti nella Città Metropolitana nel giorno medio feriale**.

Se invece si prendono in considerazione solamente gli **spostamenti che interessano l'area di studio** del progetto in esame e cioè il Comune di Bologna e gli scambi che esso ha con il resto della Città metropolitana, nel giorno feriale gli spostamenti complessivi ammontano a **1.272.160**.

I "city users"

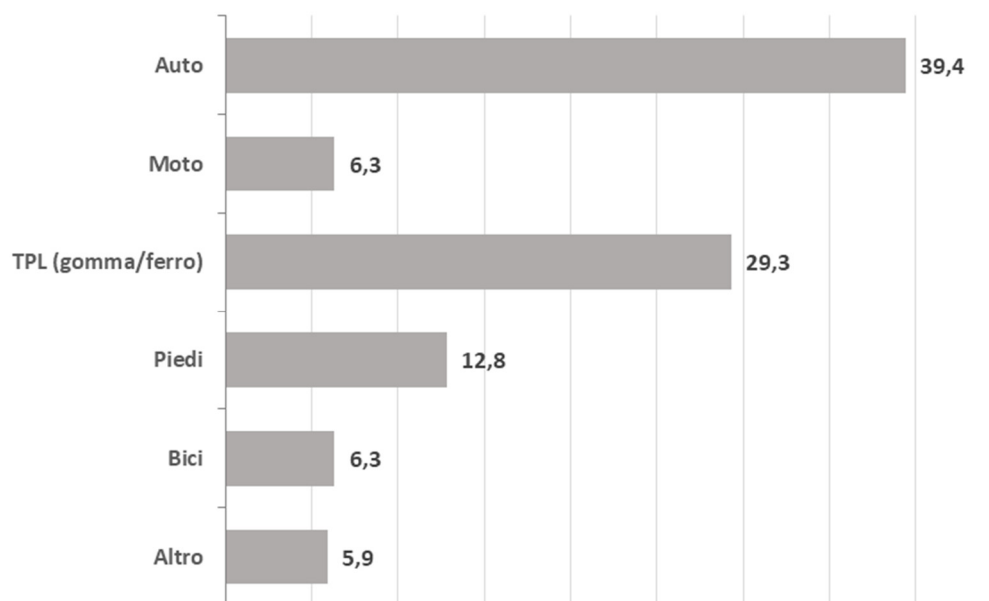
Per ottenere la matrice totale degli spostamenti giornalieri che interessano quotidianamente la Città metropolitana è necessario tenere in conto anche della quota di spostamenti effettuati nel territorio provinciale dai non residenti (anche definiti "City users"). Tale componente di domanda si compone di due aliquote principali:

1. spostamenti di scambio con l'esterno (desunti dalle matrici regionali);
2. spostamenti indotti dai grossi poli attrattori di mobilità di rilevanza nazionale e internazionale quali: Stazione Bologna Centrale (Alta Velocità ferroviaria), Autostazione di Bologna, Aeroporto, Ospedale, Fiera e Università.

Considerando quest'ultima categoria di spostamenti, sulla base dei dati provenienti delle campagne di indagine condotte per ognuno dei poli (Indagini Ferro Redas del 2014, Indagine Profilazione utenti aeroporto del 2014, Autostazione di Bologna s.r.l, Web Bologna Fiera; Web UniBo e MIUR, etc.) è stata stimata la numerosità e la ripartizione modale degli spostamenti indotti.

L'elaborazione ha prodotto una quota aggiuntiva (pari a poco più di **300.000 spostamenti**), equamente ripartita tra scambio e indotti. Dal punto di vista della ripartizione modale è ancora **l'auto privata** il mezzo più utilizzato (**39%**) anche se, come atteso per via della quota rappresentata dall'indotto relativo ai poli del trasporto pubblico (Aeroporto, Autostazione e Stazione AV) che esclude la possibilità di effettuare lo spostamento successivo in auto, la quota su **TPL** si attesta al **29%** del totale.

Figura 4.16: Ripartizione modale dei non residenti (city users) (%)



4.4.2 LA DOMANDA DI TRASPORTO PRIVATO

Sulla base delle evidenze esposte nel precedente paragrafo, è stato possibile stimare la matrice degli spostamenti del trasporto privato inerente l'area di studio.

Per far ciò, oltre ad utilizzare la ripartizione modale ottenuta dalla campagna di indagine si è considerato un coefficiente di riempimento medio delle autovetture pari a 1,2.

La domanda di trasporto privato considera e mantiene distinte sia la componente del traffico leggero, costituito dalle automobili, sia quella del traffico pesante, costituito dai veicoli commerciali leggeri (furgoni) e dai veicoli pesanti per il trasporto delle merci.

Le matrici del PUMS sono state in seguito validate con particolare attenzione su tutto il corridoio di influenza della rete tranviaria costituita sia dalla Linea Rossa del Tram sia dalla Linea Verde. Per far ciò si è fatto riferimento, in primo luogo, alle informazioni fornite dal Comune di Bologna relativamente ai flussi rilevati in corrispondenza delle spire presenti alle intersezioni semaforiche, secondo la metodologia descritta nel successivo paragrafo 4.6 relativo alla calibrazione della modello.

A valle del processo di calibrazione risulta che nel **giorno medio feriale** la rete stradale dell'area di studio è interessata dai seguenti **flussi veicolari** (tutti espressi in veicoli equivalenti):

- 726.000 autoveicoli;
- 4.600 veicoli commerciali leggeri¹²;
- 47.280 mezzi pesanti¹³

4.4.3 LA DOMANDA DI TRASPORTO PUBBLICO

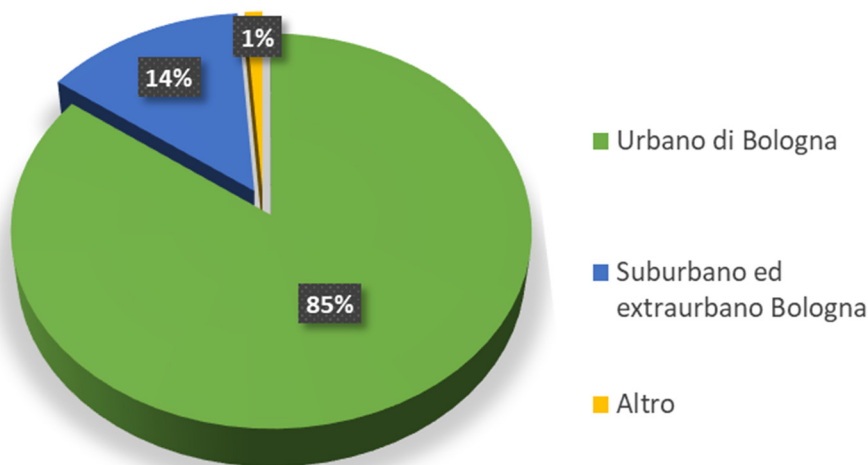
Nel 2017, il totale dei passeggeri paganti trasportati sull'intera rete è stato di 131 milioni di cui l'85% (111,3 milioni) sulla rete urbana di Bologna, mentre poco meno del 14% (18,2 milioni) su rete suburbana ed extraurbana.

Nel 2018, si è registrata una ulteriore crescita sia dei passeggeri sull'intera rete (135,5 milioni, +3.4%) sia di quelli sulla rete urbana di Bologna (115,3 milioni, +3,6%), mentre sono rimasti praticamente invariati quelli su rete suburbana ed extraurbana (18,6 milioni).

¹² Coefficiente di equivalenza 1,3

¹³ Coefficiente di equivalenza 2,5

Figura 4.17: Passeggeri trasportati servizi TPL su gomma (%)



Fonte: Bilancio TPER 2018

Come già esposto nei capitoli introduttivi, nello scenario pre-pandemico a Bologna le prime dieci linee urbane di trasporto pubblico per passeggeri paganti movimentano oltre l'80% dei passeggeri totali urbani su TPL. Tra queste la **linea 27**, che presenta larga parte del proprio percorso in sovrapposizione con la nuova linea tranviaria, sulla base degli ultimi dati disponibili risulta essere la **seconda linea urbana maggiormente utilizzata** e da sola copre il 12,7% di tutta la domanda urbana di TPL.

Tabella 4-7: Esercizio automobilistico – Prime 10 linee del servizio urbano del bacino di Bologna (2017)

Linea	Tratta	Estesa linea (km)	Percorrenze (km)	Viaggiatori anno	Incidenza sul totale dei viaggiatori del tpl urbano (%)
13	Borgo Panigale - S. Ruffillo - Rastignano	19,48	1.576.480	14.149.252	12,7
27	Corticella - Mazzini	30,46	1.545.857	14.129.288	12,7
14	Barca - Ospedale S. Orsola - Due Madonne / Pilastro	29,01	1.441.705	12.290.969	11,0
19	Casteldebole - San Lazzaro di Savena	38,74	1.511.989	11.762.220	10,6
20	San Biagio - Casalecchio di Reno - Pilastro	28,61	1.689.359	11.486.436	10,3

Linea	Tratta	Estesa linea (km)	Percorrenze (km)	Viaggiatori anno	Incidenza sul totale dei viaggiatori del tpl urbano (%)
11	Istituto R. Luxemburg / Bertalia / Arcoveggio - rot. Corelli / Ponticella	29,62	1.429.832	9.354.297	8,4
25	Dozza – Staz. Centrale - Ospedale Malpighi - Due Madonne	21,54	943.942	6.268.522	5,6
21	Filanda – Staz. Centrale - San Donato	19,52	694.215	5.849.279	5,3
36	Centro Sportivo Barca – Staz. Centrale - Ospedale S. Orsola - Ospedale Bellaria	20,38	754.640	3.812.050	3,4
35	Facoltà di Ingegneria - Ospedale Maggiore – Staz. Centrale - Fiera - Facoltà di Agraria	22,35	585.620	2.242.047	2,0

Fonte: Open data Comune di Bologna

Ai fini dell'analisi modellistica, anche per la domanda del trasporto pubblico, si è utilizzata le matrici OD del PUMS, a sua volta determinata sulla base delle risultanze ottenute dall'indagine di mobilità.

Come nel caso del trasporto privato anche per la domanda del TPL si è proceduto alla calibrazione delle matrici con le modalità esposte nel successivo paragrafo 4.6.

A valle del processo di calibrazione risulta che nel **giorno medio feriale** la domanda che utilizza i **servizi di TPL** nell'area di studio è di **304.318 persone**.

4.5 IL MODELLO DI INTERAZIONE DOMANDA-OFFERTA

I modelli di interazione domanda-offerta, conosciuti anche con il nome di “modelli di assegnazione”, sono degli algoritmi matematici che consentono di simulare le modalità con cui la domanda utilizza il sistema di offerta. Applicando queste procedure, quindi, è possibile ottenere delle stime dei flussi di traffico sugli archi della rete stradale ovvero la stima degli utenti che utilizzano una data linea di trasporto pubblico.

4.5.1 L'ASSEGNAZIONE ALLA RETE DI TRASPORTO PRIVATO

Il software VISUM utilizza specifici algoritmi per calcolare i volumi del traffico privato sui singoli archi della rete stradale.

Come detto, gli algoritmi di assegnazione permettono di simulare le logiche di comportamento degli automobilisti che sono portati a scegliere l'itinerario di viaggio minimizzando il "**costo generalizzato del trasporto**". Questo tiene in considerazione, oltre agli eventuali costi monetari, la lunghezza dell'itinerario ed il tempo di viaggio: i primi due parametri dipendono esclusivamente dalle caratteristiche proprie della rete stradale mentre il tempo di viaggio è influenzato dai flussi di veicoli che occupano gli archi.

La procedura di assegnazione è basata su un algoritmo per la ricerca degli itinerari ottimi. Ogni itinerario viene calcolato minimizzando la funzione di costo generalizzato che sinteticamente può essere espressa dalla formula:

$$\text{Costo gen.} = T * VOT + D * VOC + C_p$$

dove:

T = tempo di percorrenza

VOT = valore monetario del tempo

D = distanza percorsa

VOC = costo operativo (carburante, consumo pneumatici, ecc.)

C_p = eventuali costi di pedaggio

A rete scarica il tempo di percorrenza è unicamente funzione della velocità massima consentita dai limiti di circolazione, mentre in presenza di altri autoveicoli la velocità si riduce e dipende dal livello di congestione.

Il tempo di percorrenza con un dato flusso di veicoli viene dunque determinato con una funzione detta "*curva di deflusso*" o "*capacity restraint*" (funzione CR), che descrive la relazione esistente tra la capacità di una strada ed il flusso che la interessa.

Il software VISUM consente di applicare differenti tipologie di curve; nel caso in esame il modello è stato implementato utilizzando curve di deflusso di tipo BPR (*Bureau of Public Roads*) derivate dall'HCM (manuale *Highway Capacity Manual*¹⁴ del *Transit Research Board*, USA).

Le curve BPR presentano la seguente formulazione

$$T_{corr} = T_0 * \left[1 + a \left(\frac{q}{q_{max} * c} \right)^b \right]$$

dove:

T_{corr} = tempo di percorrenza a rete carica,

T_0 = tempo di percorrenza a rete scarica,

q = flusso presente sull'arco stradale,

q_{max} = capacità dell'arco stradale,

a, b, c = parametri caratteristici adimensionali che variano con la tipologia degli archi e che determinano la pendenza e la convessità della funzione.

Il flusso del traffico presente sulla rete viene calcolato con la seguente funzione:

$$q = \sum_{i=1}^{NumSist} q_i + q_{precarico}$$

dove:

q_i = flusso del sistema di trasporto i-esimo,

$q_{precarico}$ = flusso preliminare e rappresentativo di una mobilità non espressa direttamente nella matrice O/D (ad es. la mobilità intrazonale).

La procedura di calcolo utilizzata è quella detta "assegnazione all'equilibrio", coerente con il *Primo Principio di Wardrop*; tale metodo di calcolo sottintende l'ipotesi che gli utenti abbiano una conoscenza completa delle caratteristiche della rete e dello stato del traffico sulla rete e decidano di conseguenza l'itinerario migliore.

Nel software VISUM tale procedura è implementata attraverso una prima assegnazione di tipo incrementale, in modo che il numero di veicoli presenti sulla rete aumenti gradualmente e di conseguenza l'impedenza di ogni tratto di strada possa variare gradualmente in funzione del

¹⁴ Si veda: <https://www.trb.org/Main/Blurbs/175169.aspx>

flusso. Successivamente vengono effettuate diverse iterazioni per ricercare i percorsi con impedenza inferiore e quindi bilanciare i flussi tra tutti possibili itinerari per ciascuna relazione O/D.

4.5.2 L'ASSEGNAZIONE ALLA RETE DI TRASPORTO PUBBLICO

I dati di input per il modello di trasporto pubblico comprendono tutte le informazioni relative al servizio offerto (linee, percorsi, orari e tempi di percorrenza, sia dei mezzi su gomma che su ferro) ed alla domanda di trasporto. Sulla base di questi dati, i risultati delle procedure di calcolo per il trasporto pubblico consentono di:

- determinare i carichi sulla rete: volumi sulle linee e volumi sugli archi;
- calcolare indicatori specifici per il trasporto pubblico, come la velocità media di servizio, i veicoli chilometro, i passeggeri chilometro ($\text{pax} \cdot \text{km}$) ed i passeggeri ora ($\text{pax} \cdot \text{h}$).

Il modello di trasporto pubblico è stato implementato utilizzando la procedura di calcolo basata sugli orari di transito alle fermate delle singole linee, molto utile per massimizzare i fenomeni di interscambio riproducendo il coordinamento degli orari.

Questa procedura di assegnazione ha inizio dalla rappresentazione di ogni linea attraverso una sequenza di fermate (percorso di linea), definisce i tempi di corsa tra le fermate e il distanziamento tra i veicoli di una linea.

Essa si sviluppa in tre passi:

- la ricerca dell'itinerario,
- la scelta dell'itinerario,
- la ripartizione degli spostamenti.

Il primo passo individua i possibili percorsi fra due zone di traffico. Il secondo passo confronta i singoli itinerari ed elimina quelli relativamente meno convenienti. Il terzo passo analizza le caratteristiche degli itinerari selezionati e assegna gli spostamenti della matrice OD a tali itinerari. Gli itinerari possibili fra due zone di traffico vengono individuati applicando un algoritmo di minimo percorso. L'impedenza di ciascun itinerario comprende i tempi di accesso, di egresso, i tempi di percorrenza ed i tempi di trasbordo.

Nella fase di ripartizione si considerano tutti gli itinerari risultanti dalle fasi di ricerca-scelta, valutati con la loro funzione di impedenza. La distribuzione della domanda di trasporto nei differenti itinerari dipende dall'impedenza ed è calcolata utilizzando la *Legge di Kirchhoff*.

4.6 LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO NELLA SITUAZIONE ATTUALE (PREPANDEMICA)

L'attività di calibrazione comprende tutte quelle operazioni di revisione, controllo e aggiornamento dei dati di domanda ed offerta volti ad aumentare la precisione del modello e la sua capacità di riprodurre lo stato di fatto.

Calibrazione Trasporto Privato

Sinteticamente le principali operazioni effettuate possono essere raggruppate in:

- revisione del grafo di offerta e controllo/calibrazione dei connettori, per ottenere un buon bilanciamento dei flussi di ingresso / egresso dalle zone e una corretta distribuzione dei flussi sulla rete nell'intorno dei nodi centroidi¹⁵;
- correzione della domanda tramite procedure di *matrix estimation* sulla base dei flussi rilevati.

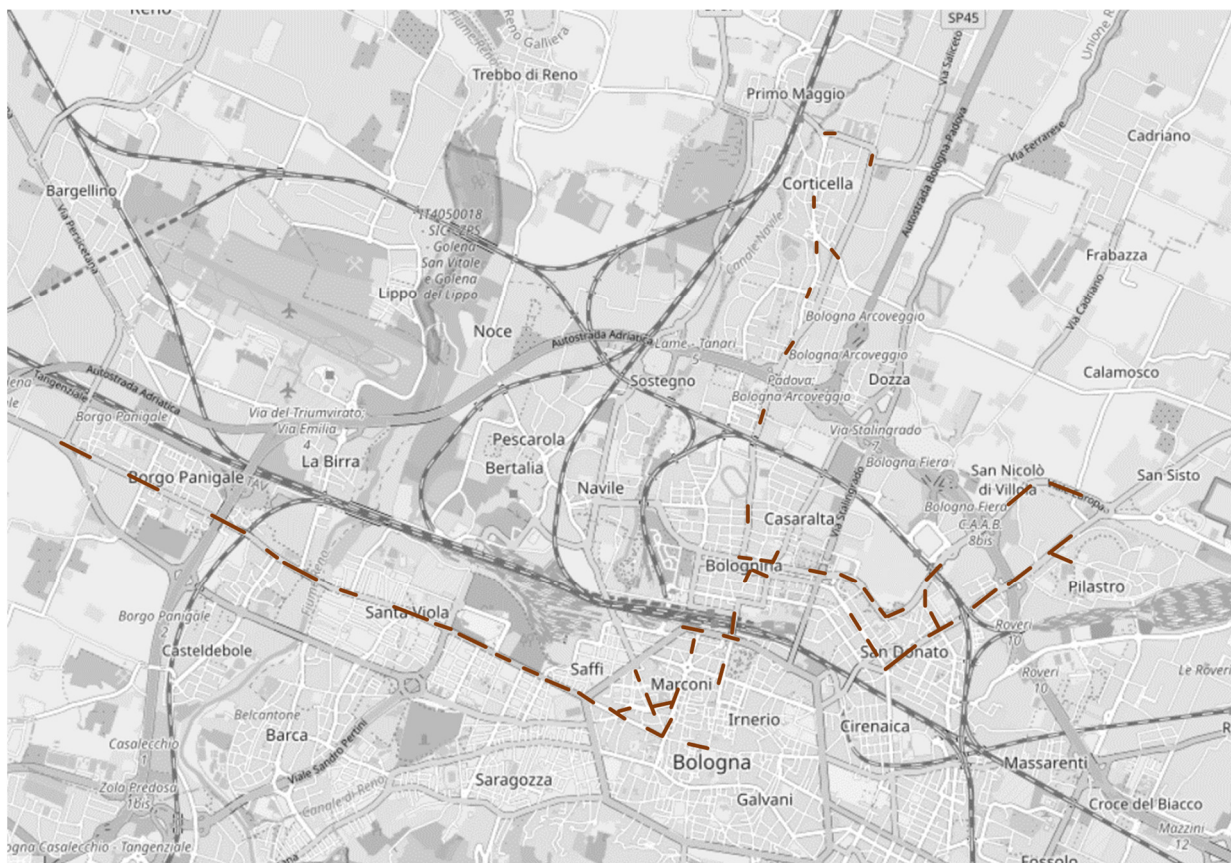
La corretta calibrazione del modello è effettuata, secondo prassi consolidata (ad es. Ortúzar e Willumsen, Pianificazione dei sistemi di trasporto, 2004), attraverso il confronto tra i risultati dell'assegnazione del modello ed i rilievi disponibili.

Considerando che il modello di simulazione è stato implementato ed utilizzato per le analisi del PUMS e di conseguenza un primo livello di calibrazione a scala metropolitano è già stato svolto, ai fini del presente studio, che mira alla stima della domanda di un'infrastruttura lineare, ci si è concentrati ad effettuare un'operazione di **validazione del modello** lungo il corridoio che verrà interessato dalla realizzazione della nuova rete tranviaria (sia la linea rossa tra Terminal Emilio Lepido e Terminal Fiera Michelino/Facoltà d'Agraria, sia la Linea Verde verso Corticella).

¹⁵Il corretto posizionamento dei connettori rappresenta una attività fondamentale per il raggiungimento di un buon risultato modellistico. Basti dire che se due centroidi differenti risultano collegati attraverso i rispettivi connettori al medesimo nodo di rete, la domanda che si scambiano le due zone non transiterà mai sulla rete modellizzata ma attraverserà solamente i due connettori.

I **dati di rilievo** disponibili per la verifica della calibrazione del modello di trasporto privato sono stati i **flussi rilevati dalle spire induttive del sistema di regolazione semaforica** in servizio nella città di Bologna (Figura 4.18).

Figura 4.18: Sezioni di validazione per il trasporto privato



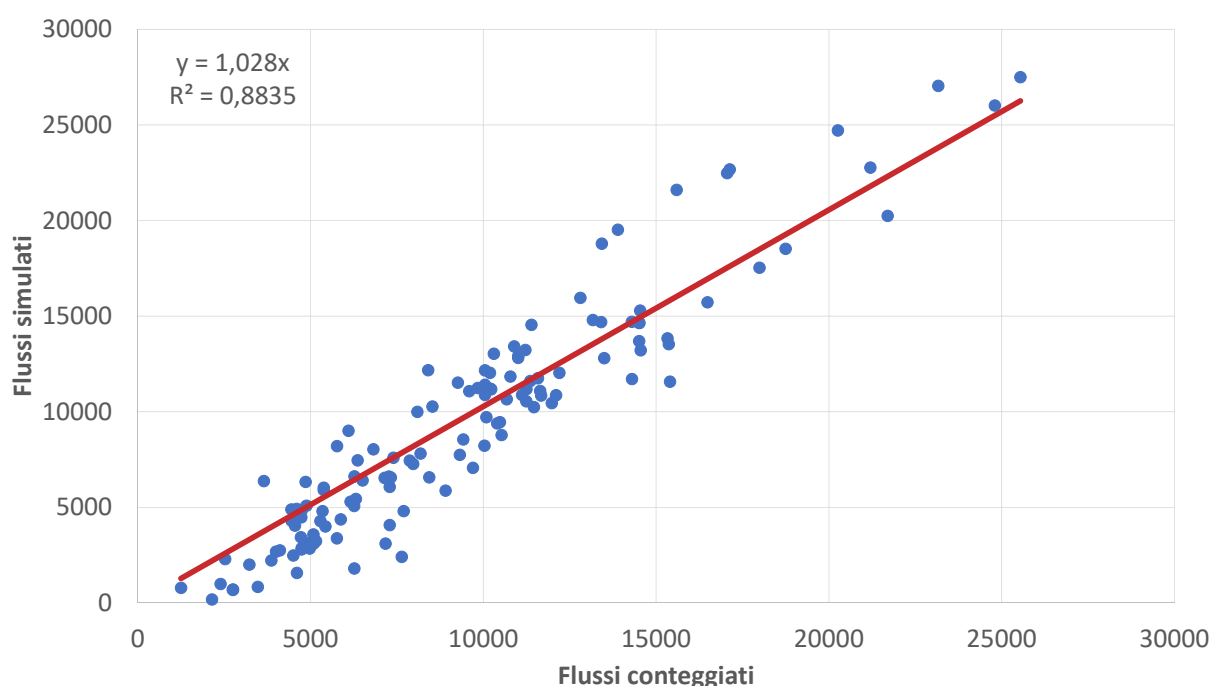
Si è ritenuto il modello validato quando i risultati delle simulazioni dello stato di fatto hanno ricostruito con buona precisione i dati di traffico rilevati.

La precisione della validazione sul corridoio viene valutata in base ai seguenti parametri statistici:

- confronto tra flussi stimati – flussi misurati. Si controlla che i valori di traffico teorici, calcolati mediante il modello, siano ben correlati ai valori di traffico rilevati mediante i conteggi; in una buona calibrazione il coefficiente di correlazione della retta di regressione lineare deve essere prossimo a 1 (coefficiente angolare della retta bisettrice).

- coefficiente di correlazione R^2 : è anche detto indice di correlazione di Bravais-Person e dà una misura della dipendenza tra due variabili; nel caso in esame, si calcola un indice di correlazione pari a 0,88, risultato molto soddisfacente;
- Indice GEH: la letteratura di settore indica come soglia obiettivo un valore inferiore a 8. In questo caso, il valore complessivo GEH è pari a 5,44, con oltre il 60% dei rilievi con un Indice GEH inferiore a 8.

Figura 4.19: Calibrazione del trasporto privato



Calibrazione Trasporto Pubblico

Analogamente al modello del trasporto privato, la procedura di calibrazione del modello di trasporto pubblico a scala metropolitana è stata già svolta nell'ambito dell'implementazione del modello per le analisi del PUMS. Anche nel caso del trasporto pubblico, dunque, si è proceduto ad una procedura di validazione lungo il corridoio interessato dalla realizzazione della linea tranviaria.

Per far ciò si è fatto riferimento ai dati resi disponibili dagli operatori del trasporto integrati con i dati raccolti nel corso della **campagna di rilievo sui passeggeri delle linee di trasporto pubblico**

urbane svolta nel mese di ottobre 2018 a supporto della redazione dello studio di fattibilità della linea rossa del tram. La campagna ha riguardato le seguenti linee:

Tabella 4-8: linee interessate alla Campagna di indagine del 2018

Linea	Tratta
13	Borgo Panigale – Via Ugo Bassi
19	Ospedale Maggiore – Via Ugo Bassi
20	San Pietro – Pilastro
21	Piazza Malpighi – San Donato
35	Ospedale Maggiore – CAAB
38/39	San Donato – Ospedale Maggiore

I rilievi svolti nel corso dell'indagine sono state:

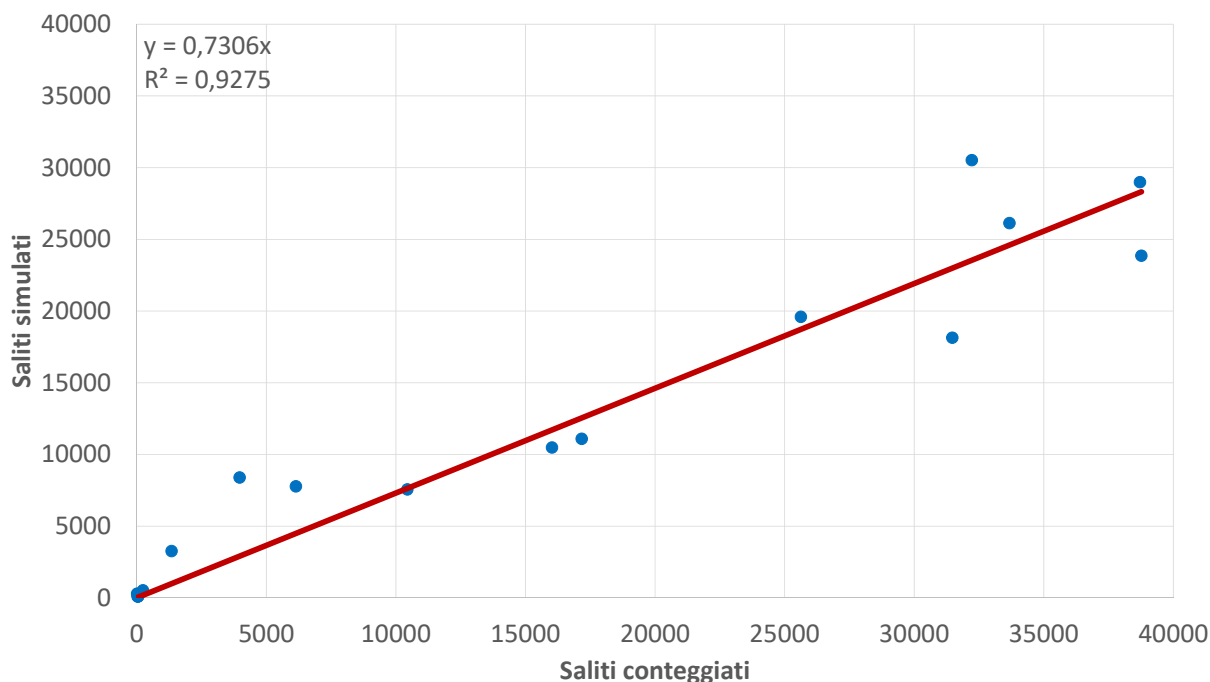
- rilievo a campione di alcune corse lungo il corridoio tranviario con conteggio dei passeggeri saliti e discesi a tutte le fermate;
- rilievo dei saliti e discesi in corrispondenza delle fermate maggiormente frequentate di tutte le corse in transito;
- interviste ad un campione casuale di utenti a bordo di alcune corse lungo il corridoio tranviario per caratterizzare gli spostamenti dei passeggeri;
- interviste agli utenti in attesa presso alcune fermate principali, per caratterizzare meglio le abitudini degli spostamenti dei passeggeri.

Sulla base delle informazioni disponibili è stato possibile ricostruire, in termini di passeggeri saliti, i carichi delle principali linee da utilizzare per la calibrazione del modello.

La precisione della simulazione è stata valutata in base ai seguenti parametri statistici:

- confronto flussi stimati – flussi misurati: nel caso in esame, la retta di regressione ha coefficiente pari a 0,73, che rappresenta un risultato soddisfacente;
- coefficiente di correlazione R^2 : nel caso in esame, si è ottenuto un buon valore dell'indice di correlazione pari a 0,93;

Figura 4.20: Calibrazione del trasporto pubblico



4.7 IL MODELLO DI RIPARTIZIONE MODALE

Prima di passare ad esporre le attività svolte per la simulazione degli scenari futuri, si ritiene importante descrivere la struttura del modello di ripartizione modale che è stato implementato, calibrato e validato per consentire di stimare lo shift modale che sarà possibile ottenere tra trasporto privata e trasporto pubblico rispettivamente nello Scenario di Riferimento e in quello di Progetto.

Il modello fornisce come output, tramite la definizione di una funzione di utilità legata ad alcuni parametri specifici delle alternative, le percentuali di ripartizione, per relazione O/D, degli spostamenti sulle modalità di trasporto, tra cui l'utente effettua la scelta.

Le funzioni di utilità consistono in una combinazione lineare di un set di parametri, moltiplicati per dei coefficienti (β) che ne indicano il peso percepito dall'utenza.

In particolare, la **funzione di utilità del trasporto privato** ha la seguente forma funzionale:

$$U_{\text{auto}} = \beta_{\text{Tauto}} * T_{\text{auto}} + \beta_{\text{Cauto}} * C_{\text{auto}} + \beta_{\text{ZTL origine}} * ZTL_{\text{origine}} + \beta_{\text{ZTL destinazione}} * ZTL_{\text{destinazione}}$$

dove:

T_{auto} = tempo di percorrenza sulla relazione O/D (min);

C_{auto} = $0,1 * DIST_{auto} + MAX(\text{costo park origine, costo park destinazione})$ (€);

$ZTL_{origine}/ZTL_{destinazione}$ = 1 se la zona di origine/destinazione è ZTL; 0 altrimenti (adim.);

i valori assunti dai coefficienti β risultano:

$\beta_{T_{auto}} = -0,09325$

$\beta_{C_{auto}} = -0,34065$

$\beta_{ZTL_{origine}} = -0,51553$

$\beta_{ZTL_{destinazione}} = -0,39465$

Mentre la **funzione di utilità del trasporto pubblico** assume la forma:

$$U_{TPL} = \beta_{T_{accesso}} * T_{accesso} + \beta_{T_{egresso}} * T_{egresso} + \beta_{FREQ_{OD}} * FREQ_{OD} + \beta_{C_{biglietto}} * C_{biglietto} + \\ \beta_{T_{pedi}} * T_{pedi} + \beta_{T_{bordo}} * T_{bordo} + \beta_{T_{trasbordo}} * T_{trasbordo} + \beta_{N_{trasbordi}} * N_{trasbordi} + \\ \beta_{PR_{ferro}} * PR_{ferro} + ASC_{TPL}$$

dove:

- $T_{accesso/egresso}$ = tempi pedonali sui connettori in accesso/egresso dai centroidi (min);
- $FREQ_{OD}$ = numero di corse giorno che collegano la relazione O/D sul percorso di impedenza minima (adim.);
- $C_{biglietto}$ = costo del biglietto (€);
- T_{pedi} = tempo pedonale su rete necessario a raggiungere la fermata (min);
- T_{bordo} = tempo a bordo (min);
- $T_{trasbordo}$ = tempo di attesa per l'eventuale trasbordo (min);
- $N_{trasbordi}$ = numero di trasbordi (adim.)
- PR_{ferro} = *prodotto della percentuale di area coperta dai buffer delle fermate delle linee su ferro per la zona di origine e quella di destinazione*¹⁶ (adim.);
- ASC_{TPL} = parametro specifico dell'alternativa modale pari a -1,06841 € (determinato in fase di calibrazione)

¹⁶ 800 metri per le stazioni ferroviarie, 200 metri per le fermate del tram e del people mover

questi i valori assunti dai coefficienti β :

- $\beta_{\text{Tempo accesso}} = -0,01557$
- $\beta_{\text{Tempo egresso}} = -0,01242$
- $\beta_{\text{frequenza OD}} = +0,00498$
- $\beta_{\text{Costo biglietto}} = -1,93448$
- $\beta_{\text{Tempo piedi}} = -0,05832$
- $\beta_{\text{Tempo bordo}} = -0,01024$
- $\beta_{\text{Tempo trasbordo}} = -0,0185$
- $\beta_{\text{Numero trasbordi}} = -0,35955$
- $\beta_{\text{Presenza ferro}} = +0,67248$

I valori dei parametri sono stati calcolati dal modello di simulazione, ovvero sono stati reperiti da fonte (TPer per costo biglietto, siti comunali per tariffazione sosta, etc.).

Determinato il valore numerico delle funzioni, la probabilità di scelta di ciascuna alternativa è definita secondo un modello di tipo *logit* binomiale, applicando la seguente formula:

$$p_{od}^j = \frac{e^{\frac{U_{od}^j}{\theta}}}{\sum_{i=1}^m e^{\frac{U_{od}^i}{\theta}}}$$

ossia la probabilità della generica alternativa p_{od}^j è determinata dal rapporto tra il numero di Nepero elevato all'utilità di tale alternativa (U_{od}^j) diviso un coefficiente θ (che esprime il livello di stocasticità del modello) fratto la sommatoria dei rapporti per tutte le alternative di scelta disponibili. Per determinare il valore dei coefficienti (compreso θ) è stata minimizzata, per relazione O/D a livello di macroarea (sia per il modo auto che per il trasporto pubblico), la somma degli scarti quadratici tra gli spostamenti da matrice O/D e quelli ottenuti a partire dalle probabilità calcolate dal modello di ripartizione modale. Negli scenari di previsione, introducendo i nuovi valori dei parametri sono state ottenute le stime delle relative quote di spostamenti su auto privata e trasporto pubblico.

5. SCENARI FUTURI – EVOLUZIONE DEMOGRAFICA E SVILUPPI URBANISTICI

5.1 PREMESSA

Il modello matematico descritto nei capitoli precedenti e calibrato sulla situazione attuale, rappresenta la base di partenza per la costruzione degli scenari futuri. A questo scopo è necessario, innanzitutto, individuare l'orizzonte temporale di riferimento più significativo per il quale procedere alla caratterizzazione e successivamente alla simulazione degli scenari futuri. Per quanto all'orizzonte temporale individuato per le analisi nel presente studio si ipotizza che la nuova linea tranviaria sia entrata pienamente a regime e sono state fatte delle assunzioni, sulla base degli strumenti di pianificazione di medio e lungo periodo, in merito all'assetto territoriale ed infrastrutturale previsto.

Gli scenari che saranno presi in esame, come prassi nelle valutazioni di progetti di infrastrutture e/o di servizi di trasporto, sono due:

- **lo Scenario di Riferimento** (o di “non intervento”), che modella la rete con tutti gli interventi sia sulla rete di trasporto privato sia su quella di trasporto pubblico che si prevede saranno realizzati entro l'anno di riferimento preso in considerazione a meno dell'intervento di progetto da analizzare;
- **lo Scenario di Progetto**, che in aggiunta a quanto previsto dallo scenario di riferimento introduce anche l'intervento di progetto e le eventuali modifiche alle reti infrastrutturali e dei servizi da esso indotte.

Prima di entrare nel dettaglio degli scenari, però, è necessario definire la configurazione demografica e territoriale che si prevede ci troveremo dinanzi all'anno di riferimento.

5.2 EVOLUZIONE DEMOGRAFICA

Per ciò che concerne gli scenari di crescita demografica di medio-lungo periodo, si fa riferimento agli “*Scenari demografici per l'area metropolitana bolognese al 2033*” sviluppati dal gruppo di lavoro inter istituzionale formato dall'Ufficio di Statistica del Comune di Bologna, dal Servizio Studi e Statistica per la programmazione strategica della Città metropolitana di Bologna, dalla

Regione Emilia-Romagna e dalla sede territoriale dell'ISTAT per l'Emilia-Romagna e resi pubblici a Giugno 2018.

Sulla base di questi scenari, il territorio metropolitano, tra 10 anni dovrebbe contare circa 1 milione e 42 mila residenti, oltre 30 mila in più di oggi. La città di Bologna si prevede superi la quota dei 400 mila abitanti con un calo del numero di bambini, mentre è atteso in crescita il numero degli over 65 e degli over 80 soprattutto in provincia, dove l'età media sarà più alta di quella dei residenti in città.

Dopo un lungo periodo di riduzione e successiva stagnazione demografica, iniziato nella seconda metà degli anni Settanta, la popolazione residente nella Città metropolitana di Bologna è tornata a salire senza soste ed ha superato già nel 2014 il milione di abitanti di cui poco meno del 40% nella città di Bologna.

Coerentemente con questo andamento, le attuali previsioni ipotizzano che la popolazione residente continui ad aumentare anche nei prossimi anni, tanto nel capoluogo quanto nell'insieme degli altri comuni metropolitani, in maniera continua seppur contenuta. Più nel dettaglio, per la Città metropolitana le diverse ipotesi prospettano variazioni della popolazione di diversa intensità assoluta, ma sempre di segno positivo: al 1° gennaio 2033 si ipotizza infatti un numero di abitanti compreso fra 1.033.000 (nel caso della variante più bassa) e quasi 1.051.000 (in quella più alta), con aumenti rispetto alla situazione al 2018 che vanno da quasi 22 mila persone in più (+2,2%) a circa 39.500 (+3,9%).

L'ipotesi tendenziale, posizionata più o meno a metà tra le due varianti, prevede un numero di residenti intorno al milione e 42 mila abitanti a fine periodo, corrispondente al 3% in più (+30.700 residenti). Per il comune di Bologna si passerebbe, sempre nell'ipotesi tendenziale, dagli attuali 389.261 abitanti a circa 407.500, con un aumento del 4,7% nel periodo ed un range che va da 403.200 (+3,6%) a poco meno di 412.000 (+5,8%). La crescita relativa del capoluogo supera, seppur di poco, quella degli altri comuni metropolitani, che guadagnerebbero solo il 2% in 15 anni.

Uno dei fenomeni più significativi della storia demografica del territorio è rappresentato dall'invecchiamento: a titolo di confronto si pensi che il peso relativo degli anziani,

convenzionalmente identificati con gli over 64, è salito, nella Città metropolitana, dal 13% del Censimento del 1971 al 25% del 2018, il loro numero assoluto nello stesso periodo è raddoppiato, passando da quasi 122mila a 246mila. Questa tendenza di lungo periodo continuerà probabilmente ancora nel prossimo futuro: a livello metropolitano si prevedono, nel 2033, quasi 300mila anziani residenti, con un incremento assoluto rispetto ad oggi, di circa 50 mila persone (quasi il 20% in più). Sulla base della tendenza prevista si è stimato che all'anno di riferimento la popolazione di Bologna si incrementi di oltre il 3% rispetto al 2018.

5.3 NUOVI SVILUPPI URBANISTICI

Sono stati valutati e inseriti nell'analisi trasportistica gli effetti derivanti dagli interventi urbanistici previsti dagli strumenti di pianificazione territoriale all'orizzonte temporale di riferimento.

Utilizzando i dati progettuali forniti dal Dipartimento Urbanistica, Casa e Ambiente, Settore Piani e Progetti Urbanistici del Comune di Bologna, quanto a localizzazione, tempistiche e quantificazione delle nuove superfici da edificare distinte per tipologia funzionale (residenziale, direzionale, commerciale e pubblici esercizi), è stato in primo luogo stimato il numero di residenti, addetti e visitatori che graviteranno su ciascun nuovo intervento. In seconda battuta, utilizzando coefficienti desunti dalla letteratura, sono stati stimati gli spostamenti generati ed attratti dalle trasformazioni territoriali a livello giornaliero. Tali coefficienti variano in funzione delle diverse tipologie di intervento e delle relative dimensioni.

È stata inoltre ipotizzata una quota percentuale per ciascun intervento previsto che sarà realizzata all'anno di entrata in esercizio della nuova linea.

Nella seguente Tabella 5-1 sono riportati gli interventi previsti dai diversi strumenti di programmazione e le stime degli spostamenti complessivi generati dalla realizzazione dei programmi stessi al loro completamento. Nella figura successiva sono riportate le localizzazioni delle aree che saranno oggetto di trasformazioni territoriali.

Inoltre, per determinare la distribuzione della domanda generata/attratta dalle nuove urbanizzazioni è stato implementato un semplice modello gravitazionale che tiene conto della

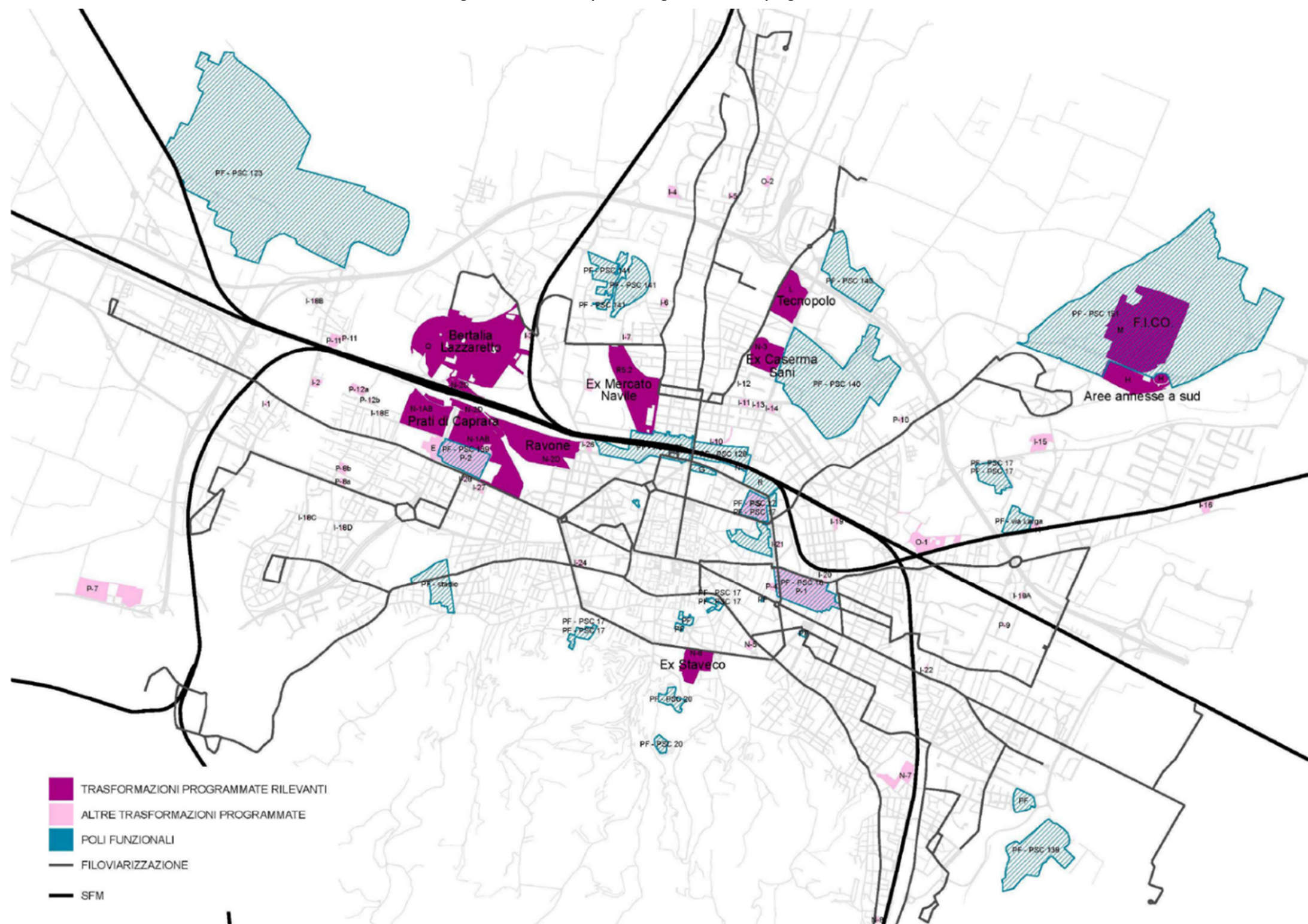
potenzialità attrattiva/generativa delle altre zone e utilizza come impedenza un mix del quadrato delle distanze su rete delle diverse modalità di trasporto.

Infine, per la stima della ripartizione modale di questi spostamenti si è utilizzato lo specifico modello descritto in precedenza. In questo modo è stato possibile tenere in conto dell'impatto che gli interventi previsti sia nello Scenario di Riferimento che in quello di progetto avranno sullo shift modale.

Tabella 5-1: Interventi previsti e spostamenti generati

Intervento	Residenziale (m²)	Direzionale (m²)	Commerciale (m²)	Pubblici esercizi (m²)	Spostamenti/giorno in origine	Quota % di completamento
Prati di Caprara Est	43.634	-	-	-	1.250	80
Prati di Caprara Ovest	43.634	-	-	-	1.250	80
Prati di Caprara Sud	-	-	-	9.900	970	80
Ravone	59.400	-	-	-	1.711	80
Ex Oma	-	-	-	6.800	670	100
Ex Sintexcal	4.664	-	-	-	130	100
ex Officine SABIEM	7.600	-	-	-	220	100
Bertalia - Lazzaretto	158.976	-	-	-	4.500	100
Navile - ex mercato ortofrutticolo	92.503	-	-	-	2.660	100
Tecnopolo di Bologna - ex Manifattura Tabacchi	-	72.390	-	-	3.000	100
Area via Scandellara	12.362	-	-	-	350	100
Via del Pontelungo 7/c	1.860	-	-	-	50	100
Via Zanardi 106	1.824	2.016	480	480	260	100
Via Bigari 1	-	-	-	6.000	150	100
Creti, 22-24 Liberazione 8-10	6.705	-	216	-	230	100
Stalingrado/Gnudi	-	3.300	-	-	140	100
Via Libia 69	-	-	2.920	-	500	100
Bovi Campeggi	-	-	4.000	-	690	100
Marzabotto 4	1.758	419	502	-	154	100
Aree Annesse Sud CAAB	58.500	-	-	-	1.685	100
Ex ASAM	-	13.329	25.740	-	5.010	100
TOTALE	493.420	91.454	33.858	23.180	25.580	-

Figura 5.1: Interventi previsti dagli strumenti di programmazione



Fonte: Dipartimento Urbanistica, Casa e Ambiente, Settore Piani e Progetti Urbanistici del Comune di Bologna

6. SCENARI FUTURI: LO SCENARIO DI RIFERIMENTO

Nel presente paragrafo si riportano gli interventi che determinano la configurazione dello Scenario di Riferimento il quale, come già esposto, rappresenta lo scenario comprensivo di tutti gli interventi previsti sia sulle reti infrastrutturali sia su quelle sei servizi all'anno di riferimento a meno dell'intervento di progetto del quale si vogliono valutare gli effetti.

Per svolgere tale attività si è fatto in primo luogo riferimento a quanto previsto dal PUMS, avendo però cura di valutare attentamente la reale fattibilità dei singoli interventi all'orizzonte temporale considerato.

6.1 GLI INTERVENTI SULLA RETE STRADALE

Per ciò che riguarda la rete stradale, lo Scenario di Riferimento è stato implementato considerando la realizzazione dei seguenti interventi:

1. realizzazione del progetto del **Passante di Bologna** che prevede il potenziamento in sede della tratta urbana della A14 e della tratta urbana del Sistema Tangenziale. Nello specifico:
 - il **potenziamento della A14** avverrà tramite la realizzazione di una terza corsia reale¹⁷ e della corsia di emergenza tra l'Interconnessione con il Raccordo di Casalecchio e lo svincolo di Bologna San Lazzaro con un limite di velocità posto a 110 km/h;
 - il **potenziamento della Tangenziale** avverrà tramite la realizzazione di una terza corsia reale e della corsia di emergenza tra lo svincolo 3 (Interconnessione con il Ramo Verde) e lo svincolo A14 di BO S. Lazzaro. Il limite di velocità su tutto il Sistema Tangenziale sarà posto a 80 km/h. Il progetto inoltre prevede interventi su alcuni svincoli della Tangenziale con apertura i nuovi svincoli e chiusura e/o modifica di altri;

¹⁷Attualmente sulla tratta urbana della A14 è disponibile una terza corsia dinamica tra il Raccordo di Casalecchio e Bologna S. Lazzaro che viene attivata in caso di necessità.

2. realizzazione **III corsia sulla A13 da Bologna Arcoveggio a Ferrara Sud**, per un'estesa complessiva di circa 33 km;
3. realizzazione della **IV corsia sulla A14 tra ponte Rizzoli e la diramazione per Ravenna** per complessivi 27 km;
4. realizzazione della **Complanare Nord all'A14** nel tratto da Bologna-San Lazzaro a Ponte Rizzoli e relativi svincoli;
5. realizzazione di due complanari ad Est e Ovest del ramo di A13 tra diramazione con l'A14 e lo svincolo Bologna-Arcoveggio in maniera tale da consentire lo scambio tra sistema autostradale e i quartieri di Croce Coperta e Dozza;
6. completamento della Nuova Bazzanese tra Bazzano e l'area produttiva Via Lunga e relativi svincoli;
7. realizzazione di un collegamento tra via Porrettana (altezza uscita Cantagallo) e il Raccordo Autostrada-Tangenziale in corrispondenza della stazione ferroviaria Casalecchio Garibaldi;
8. completamento dell'asse Osteria Nuova - Trebbo di Reno;
9. collegamento tra le aree posizionate ad Est e ad Ovest del fascio ferroviario tra le stazioni di Rastignano e Bologna San Ruffillo;
10. realizzazione di uno svincolo di collegamento tra la SP253 e la zona di Ca' dell'Orbo;
11. realizzazione di uno svincolo e di una rotatoria per il collegamento diretto tra la Trasversale di Pianura e il casello autostradale di Bologna-Interporto ed il potenziamento del tratto tra il casello e lo svincolo per Interporto;
12. realizzazione di un collegamento in direzione Nord-Sud tra la San Vitale e via dell'Industria;
13. una serie di interventi infrastrutturali (diretti o accessori) per il collegamento tra le zone poste a Nord e Sud del fascio ferroviario all'interno dell'abitato di Bologna;
14. realizzazione di alcuni rami infrastrutturali tangenziali all'abitato di Imola allo scopo di garantire il bypass da parte dei flussi di attraversamento;

15. realizzazione di un collegamento tra la via Emilia e la SP30 a Ovest di Toscanella di Dozza, finalizzato a indirizzare il traffico dalla via Emilia verso il nuovo casello autostradale Toscanella, limitando l'attraversamento del nucleo abitato.

Oltre agli interventi citati, alla rete stradale dello Scenario di Riferimento sono state applicate anche tutte quelle modifiche indotte dagli interventi previsti sulla rete di trasporto pubblico. In particolare, è stato necessario introdurre:

- restringimenti di carreggiate stradali,
- modifiche agli schemi di circolazione (chiusura di alcune strade, modifica ai sensi di marcia, svolte vietate, etc.),
- modifiche alla regolazione della circolazione (variazione dei cicli semaforici, inserimento di nuovi impianti semaforici, etc.).

6.2 BOLOGNA CITTÀ 30

Con l'approvazione¹⁸ del *Piano Particolareggiato del Traffico Urbano (PPTU) "Bologna Città 30"*, Bologna dà attuazione ai piani internazionali, europei, nazionali e locali per la sicurezza stradale e diventa la prima grande città in Italia a 30 chilometri orari con l'obiettivo di rendere più sicure, belle e vivibili le strade e piazze cittadine, migliorare la sicurezza stradale, promuovere la mobilità sostenibile e aumentare qualità e fruibilità dell'ambiente e dello spazio pubblico.

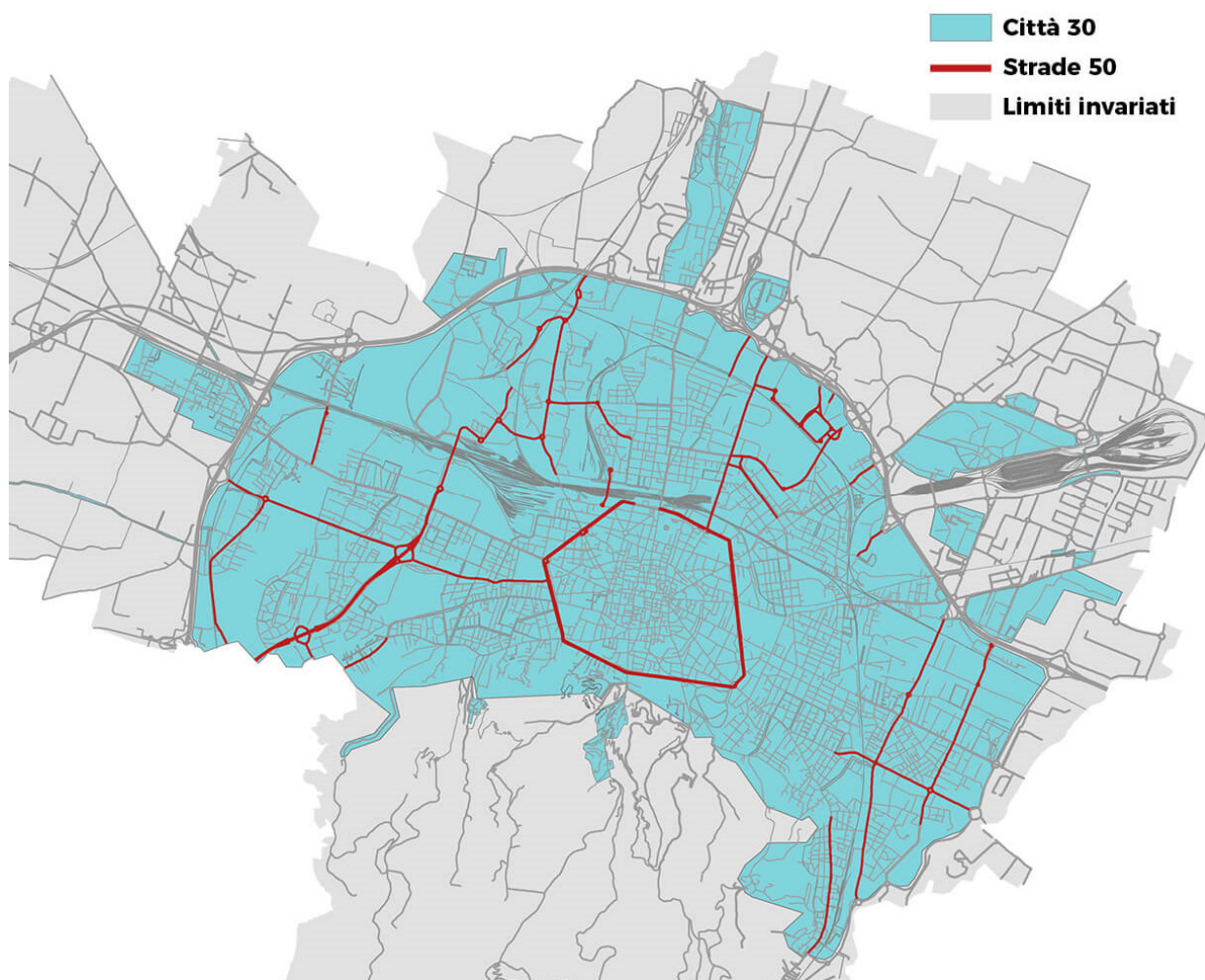
La delibera prevede che i 30 km/h diventino di fatto la normalità sulle strade urbane e che solo alcune strade della città, con particolari caratteristiche, rimangano ai 50 km/h (cfr. **Figura 6.1**).

Con il piano approvato, i 30 km/h riguarderanno circa il 70% delle strade dell'intero centro abitato (attualmente rappresentano il 30%), con un disegno organico facile da comprendere e rispettare ma la percentuale sfiora il 90% se si considera il solo perimetro della parte più densamente abitata della città (cioè, la parte dentro l'asse tangenziale-autostrada più le zone residenziali esterne di Borgo Panigale-Reno, Navile e San Donato-San Vitale).

Nelle aree collinari e di pianura esterne al centro abitato, la strategia generale prevede comunque progressivamente interventi di moderazione della velocità e di messa in sicurezza.

¹⁸ Delibera Giunta Comunale n.138/2023

Figura 6.1: Attuazione prevista della Città 30 (Fonte: <https://www.bolognacitta30.it/>)



Al momento della redazione del presente studio, si sta procedendo all'installazione della segnaletica orizzontale e verticale (oltre 500 cartelli e circa 300 bolloni su strada) mentre l'adozione delle relative ordinanze stradali entrerà in vigore a partire dal 1° gennaio 2024.

A livello strettamente modellistico, l'impatto della *Città 30* sul sistema di mobilità privato è stato riprodotto agendo sulle caratteristiche delle curve di deflusso degli archi (che, come detto, rappresentano le caratteristiche geometriche in termini di lunghezza, numero di corsie disponibili per il deflusso, velocità a flusso nullo, etc.). È indubbio, infatti, che Bologna Città 30 non significa soltanto enforcement dei controlli ma soprattutto ripensare lo spazio urbano per promuovere una trasformazione del modo di fruire la città attraverso interventi innovativi di modifica dello

spazio pubblico che avranno il compito di armonizzare l'ambiente e lo spazio urbano a una nuova dimensione di prossimità.

6.3 GLI INTERVENTI SULLA RETE DI TRASPORTO PUBBLICO

Relativamente alla rete di trasporto pubblico, l'intervento più rilevante che caratterizza lo Scenario di Riferimento è certamente l'introduzione della **Linea Rossa del Tram** che si sviluppa per circa 15 chilometri all'interno della città di Bologna e il cui percorso ha origine dal capolinea ovest (**Terminal Emilio Lepido**) situato a Borgo Panigale, si sviluppa lungo l'asse delle vie Marco Emilio Lepido, Emilia Ponente e Aurelio Saffi fino alla cinta dei viali, prosegue poi su via San Felice e via Ugo Bassi nel pieno centro storico di Bologna alle spalle di Piazza Maggiore; da qui svolta verso nord in direzione della Stazione Bologna Centrale FS e passato ponte Matteotti attraversa il quartiere della Bolognina, giunto a Piazza dell'Unità si dirige verso est su via della Liberazione e Viale Aldo Moro. Qui la linea si separa dirigendosi in un caso verso il *Fiera District* per andarsi ad attestare al **Terminal Fiera Michelino**, mentre il secondo braccio percorre Via della Repubblica e poi Via S. Donato per raggiungere il quartiere Pilastro posto a nord-est della città ed andarsi ad attestare presso **la Facoltà di Agraria** (Figura 6.2).

Questo importante intervento comporta necessariamente un ampio riassetto delle linee su gomma urbane/suburbane/extraurbane. In generale, per le varie linee coinvolte, sono stati previsti interventi di vario tipo, i principali dei quali sono:

- eliminazione di linee;
- riduzione della frequenza;
- modifica degli attestamenti;
- modifica del percorso.

Di seguito si riporta l'elenco delle linee riorganizzate.

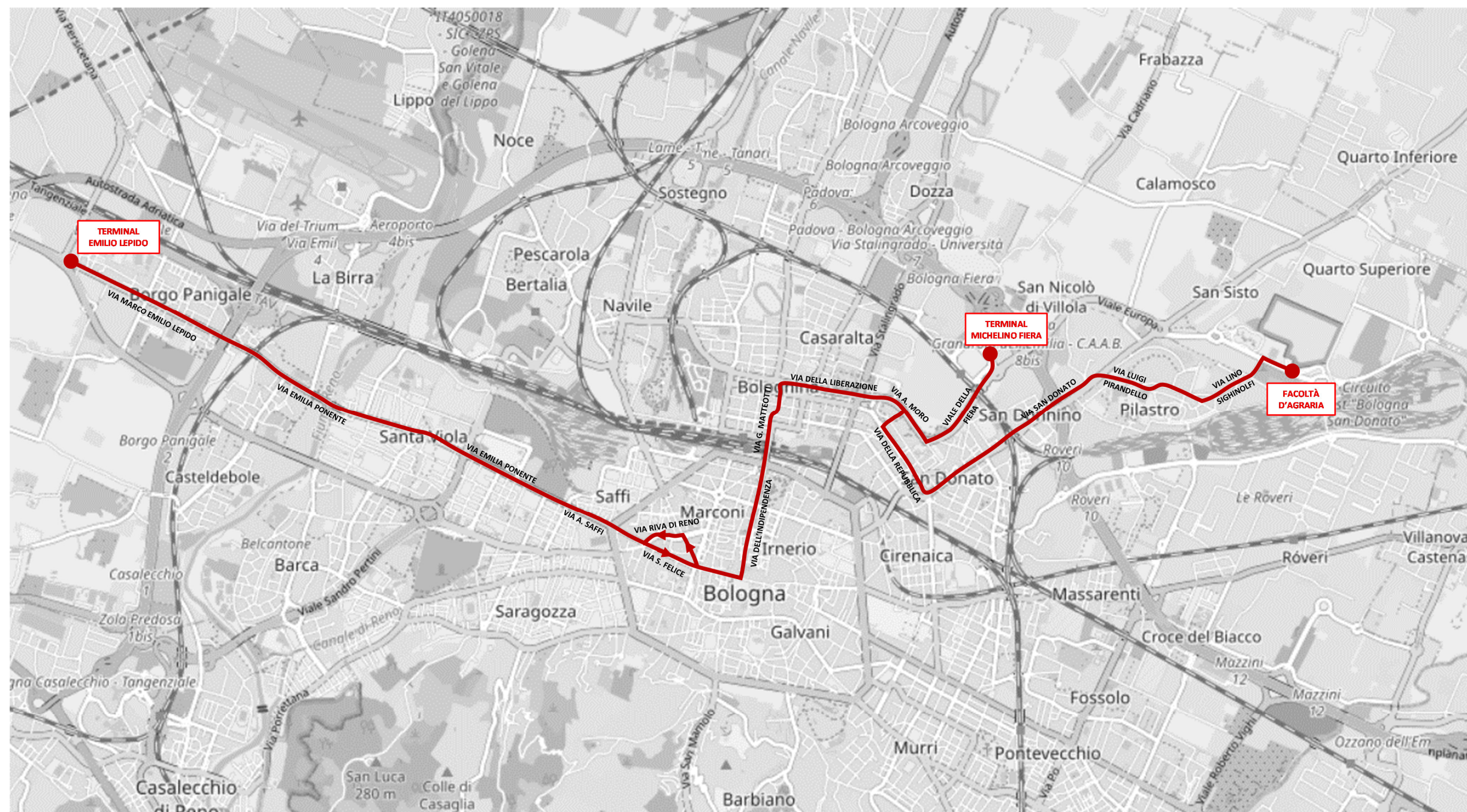
Tabella 6-1: Linee TPL su gomma modificate a seguito dell'inserimento della linea rossa del tram

Linea	Tipologia	Descrizione
11	Urbana	Istituto R. Luxemburg / Bertalia / Arcoveggio - rot. Corelli / Ponticella
19	Urbana	Casteldebole - San Lazzaro di Savena
20	Urbana	San Biagio - Casalecchio di Reno - Pilastro
21	Urbana	Filanda - Stazione Centrale - San Donato
28	Urbana	Via Indipendenza S. Pietro / Via dei Mille - Fiera
38	Urbana	Circolare periferica destra
39	Urbana	Circolare periferica sinistra
55	Urbana	Facoltà di Agraria - San Ruffillo
Navetta A	Urbana	Fioravanti P. Liber Paradisus - Poliamb. Rizzoli
Navetta C	Urbana	Via Castiglione - Stazione Centrale - Parcheggio Tanari
81	Suburb.	Stazione Centrale - Longara - Padulle - Bagno di Piano
86	Suburb.	P.za Roosevelt / P.za San Francesco - Casalecchio di Reno
87	Suburb.	Bologna - Stazione Centrale - Ospedale Maggiore - Anzola dell'Emilia - Castelfranco Emilia
88	Suburb.	Bologna - Cadriano - Viadagola - Granarolo dell'Emilia
91	Suburb.	Stazione Centrale - Calderara di Reno - Padulle - Bagno di Piano
93	Suburb.	Bologna - Granarolo dell'Emilia - Baricella - Mondonuovo
213	Extraurb.	Bologna - Budrio - Medicina
300	Extraurb.	Bologna - Granarolo dell'Emilia - Baricella - Mondonuovo
556	Extraurb.	Cento - San Giovanni in Persiceto - Bologna
576	Extraurb.	Bologna - San Giovanni in Persiceto - Crevalcore
646	Extraurb.	Bologna - Anzola dell'Emilia - Spilamberto - Bazzano Stazione F.B.V.
651	Extraurb.	Bologna autostazione - Bazzano stazione
673	Extraurb.	Zola Predosa - Rigosa

A questi interventi si aggiungono, infine:

- il Terminal Area Fiera Michelino che costituirà un nuovo centro intermodale dove confluiranno sia i mezzi delle linee di lunga percorrenza, sia le linee extraurbane del quadrante Nord-Est e dove gli utenti provenienti dall'area suburbana e dall'autostrada potranno parcheggiare l'auto ed effettuare Park and Ride (P&R) su Tram;
- il parcheggio di interscambio localizzato in prossimità dell'attestamento della linea tranviaria presso la facoltà di Agraria.

Figura 6.2: Il tracciato della Linea Rossa del Tram



Altro importante progetto considerato nello scenario di riferimento, è quello relativo all'attivazione del **Progetto Integrato della Mobilità Bolognese (PIMBO)**. Il Progetto PIMBO comprende una serie di interventi finalizzati al completamento del Servizio Ferroviario Metropolitano (SFM) e alla **filoviarizzazione delle linee portanti del trasporto pubblico urbano di Bologna**, per soddisfare - in ambito urbano e metropolitano - una maggiore domanda di mobilità. In estrema sintesi il progetto riguarda:

- interventi su alcune **fermate del Servizio Ferroviario Metropolitano (SFM)**:
 - realizzazione delle fermate Prati di Caprara e Zanardi;
 - completamento delle fermate Borgo Panigale Scala e San Vitale;
 - rimesse e adeguamento delle fermate San Ruffillo e Fiera;
- opere di accessibilità alle fermate SFM;
- il completamento dell'interramento della tratta urbana della linea ferroviaria SFM2 Bologna-Portomaggiore;
- il completamento della **rete filoviaria urbana bolognese**, con la realizzazione delle opere stradali e di alimentazione elettrica, comprese le sottostazioni, e la fornitura di materiale rotabile filoviario.

Nello specifico, il progetto di filoviarizzazione riguarda le linee:

- 13 Borgo Panigale - S. Ruffillo – Rastignano;
- 14 Barca - Ospedale S. Orsola - Due Madonne / Pilastro;
- 15 P.za XX Settembre - S. Lazzaro di Savena (anche nota come Crealis)¹⁹
- 32 Circolare esterna destra;
- 33 Circolare esterna sinistra;

alcune delle quali subiranno delle modifiche a seguito dell'attivazione della Linea Rossa del tram.

¹⁹ Questa linea è stata attivata il 30 giugno 2020 mentre erano in corso le attività sul progetto in esame.

7. SCENARI FUTURI: LO SCENARIO DI PROGETTO

Come detto, la configurazione dello Scenario di Progetto differisce da quello di Riferimento esclusivamente per la presenza del progetto che deve essere oggetto di valutazione. Progetto che necessariamente genera delle modifiche sia alla rete di trasporto privato che a quella del trasporto pubblico. Delle caratteristiche infrastrutturali e di tracciato della linea tranviaria si è già parlato nel precedente capitolo 3 e rispetto alla quale viene definita anche la riorganizzazione della rete di trasporto su gomma.

Di seguito si espongono tutti gli ulteriori elementi progettuali che discendono direttamente dalla realizzazione della nuova linea tranviaria.

7.1 LA RETE DEL TRASPORTO PRIVATO

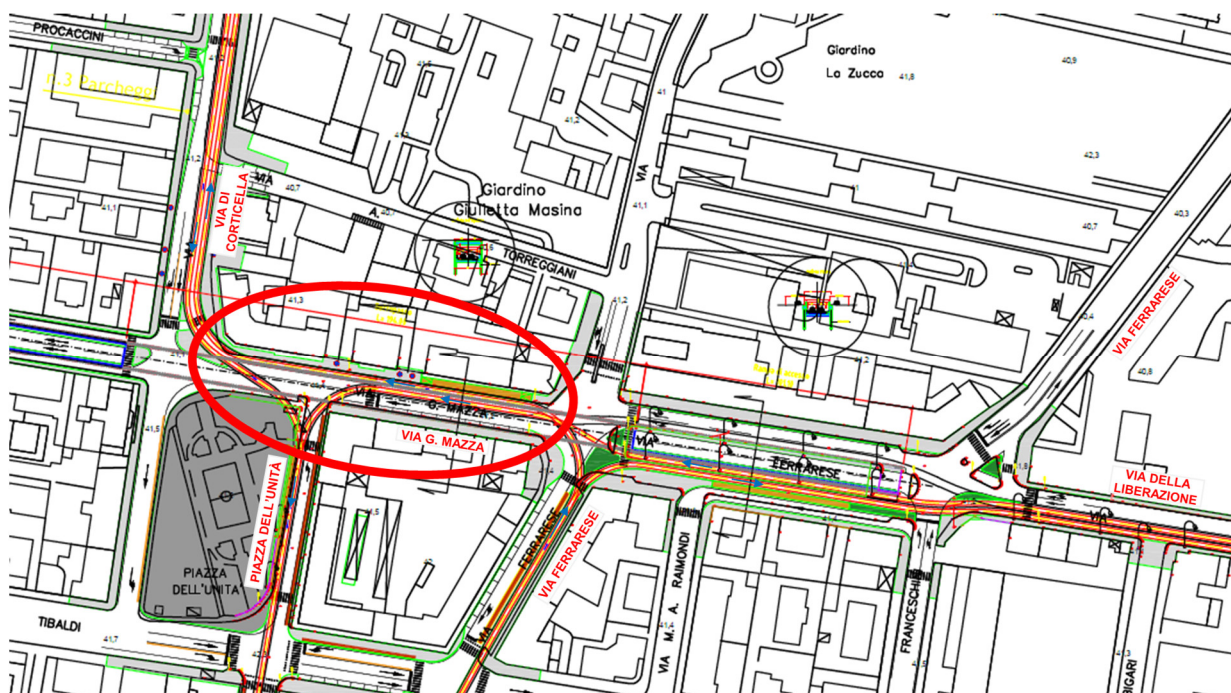
L'inserimento della nuova linea tranviaria induce delle problematiche di un certo rilievo su alcuni nodi della rete stradale che richiedono la realizzazione di specifiche opere infrastrutturali al fine di consentire il mantenimento di un deflusso accettabile da parte degli autoveicoli.

Il nodo di Piazza dell'Unità

primo nodo rilevante è quello di **Piazza dell'Unità** nel quartiere della Bolognina, nell'intersezione tra l'asse est-ovest di via della Liberazione, via Giuseppe Mazza, via Bolognese e quello nord-sud di via Ferrarese e poco più avanti di via Corticella.

La realizzazione della nuova tratta tranviaria, infatti, richiede la realizzazione di un secondo binario in corrispondenza di Via Giuseppe Mazza per consentire il corretto instradamento dei servizi sia verso est (Fiera Michelino e Facoltà d'Agraria) sia verso nord (Corticella). In tal modo, però, la porzione di sede stradale rimanente risulta assolutamente insufficiente ad accogliere i flussi in ingresso al centro della città (Figura 7.1).

Figura 7.1: Corografia linea tranviaria. Particolare di via Giuseppe Mazza-P.zza dell'Unità

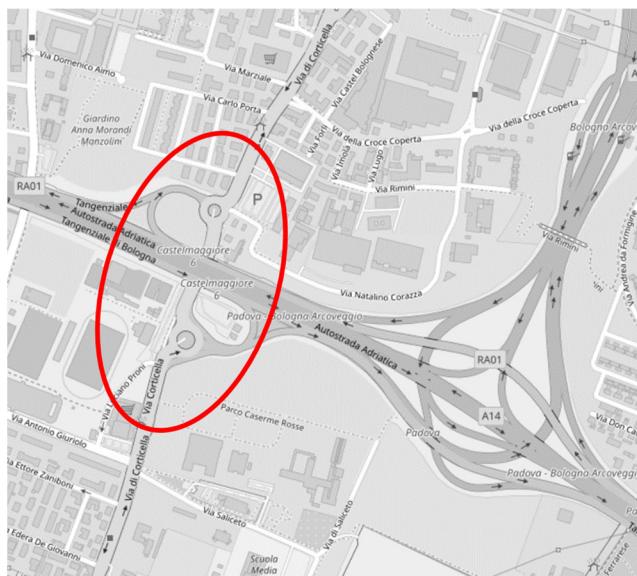


Per ovviare a questa limitazione si rende necessario realizzare un **sottopasso veicolare** che consenta di bypassare il tratto incriminato. Sottopasso che ha uno sviluppo complessivo di poco superiore ai 400 metri. Il nuovo asse presenta due corsie a senso unico di marcia ed ha inizio a via Ferrarese, subito dopo l'intersezione con via della Liberazione e termina su via Franco Bolognese a valle dell'intersezione con via Antonio Di Vincenzo.

Il nodo via di Corticella – Tangenziale Nord

Come già esposto nel capitolo 3, il secondo nodo per il quale è stato necessario prevedere un importante intervento infrastrutturale è posto in corrispondenza dell'**intersezione tra Via di Corticella con l'asse autostrada/tangenziale** (Figura 7.2): i rami dell'uscita numero 6 della Tangenziale Nord di Bologna si innestano attraverso due rotatorie proprio su via di Corticella.

Figura 7.2: Svincolo della Tangenziale Nord su Via di Corticella



Vista l'impossibilità di introdurre l'infrastruttura tranviaria all'interno di questa intersezione la soluzione individuata è stata quella di ricorrere ad un **sottopasso ad uso esclusivo del tram**.

Per questo intervento è stato implementato un modello di micro-simulazione dinamica. La porzione di rete simulata si estende da prima dell'intersezione semaforizzata che si trova a sud dell'asse autostrada/tangenziale (via Saliceto, via Guarnieri) e raggiunge la rotatoria che definisce l'intersezione tra via di Corticella e via Stendhal, circa 160 metri oltre l'intersezione semaforizzata che si trova a nord della tangenziale (via Carlo Porta, via Marziale, via della Croce Coperta).

L'analisi svolta attraverso la micro-simulazione dinamica ha permesso di verificare che la soluzione adottata consente, anche in presenza di una importante riduzione della capacità dell'asse stradale di via di Corticella di mantenere un Livello di servizio più che soddisfacente sia sulle intersezioni semaforizzate precedentemente citate sia sulla due rotatorie che permettono di gestire l'accesso e l'egresso alla Tangenziale Nord.

Tutti gli approfondimenti sul modello di micro-simulazione, sulle ipotesi progettuali e sui risultati ottenuti sono riportati nello specifico documento (B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A).

Oltre a questi due importanti interventi, per ciò che concerne la **rete di trasporto privato**, le ulteriori variazioni introdotte nello Scenario di Progetto, sono principalmente connesse alla riduzione della capacità di deflusso che l'infrastruttura tranviaria genera sugli assi stradali

interessati. A questo si aggiungono delle piccole variazioni negli schemi di circolazione (ad es. introduzione di qualche divieto di svolta).

7.2 LA RETE DEL TRASPORTO PUBBLICO

Oltre alla realizzazione della nuova linea tranviaria verso Corticella, che costituisce l'intervento di progetto da sottoporre a valutazione, la rete del trasporto pubblico è interessata da altri interventi che vengono illustrati di seguito e che sono strettamente correlati alla realizzazione della nuova tranvia.

Il nodo intermodale di Corticella (Park&Ride)

In corrispondenza dell'attestamento a nord della nuova linea tranviaria è prevista la realizzazione di un nodo intermodale la cui funzione principale sarà quella di contribuire al decongestionamento del centro della città dalle automobili e dai mezzi delle linee suburbane ed extraurbane provenienti dal quadrante Nord della Città metropolitana. Gli utenti provenienti dalla direttrice della SP4 Galliera, infatti, potranno parcheggiare l'auto ed effettuare Park and Ride (P&R) sul Tram.

Per definire la domanda in diversione modale potenzialmente attirabile dal Tram e connessa al nodo intermodale di Corticella è stata sviluppata una procedura ad hoc che, a valle dell'applicazione del modello di ripartizione modale, si concentra sull'analisi degli spostamenti che permangono sulla modalità auto e che si sviluppano su relazioni tra zone del quadrante nord esterne all'area tangenziale e zone servite dalla direttrice tranviaria (e viceversa).

Per il sottoinsieme di domanda individuata la procedura prevede:

1. il calcolo della funzione utilità per l'alternativa Park&Ride (ottenuta come somma dei costi in auto per raggiungere il parcheggio dall'origine e costo TPL da parcheggio a destinazione) e per l'alternativa solo auto;
2. l'applicazione del modello *logit* di scelta modale mettendo a confronto solamente le due alternative modali considerate (Park&Ride e solo auto);
3. la sottrazione, per singola relazione O/D, alla domanda auto della quota per cui si stima l'utilizzo del Park&Ride (P&R);

4. aggiunta della domanda di P&R alla modalità solo auto per la relazione Origine/zona del parcheggio e alla modalità TPL per la relazione zona del parcheggio/Destinazione.

La riorganizzazione delle linee di TPL

Analogamente a quanto fatto per la Linea Rossa del tram, anche per la Linea Verde è stato necessario prevedere un significativo riassetto dei servizi di TPL su gomma che attualmente servono il quadrante nord della città sul quale si innesta il nuovo collegamento tranviario.

Nella tabella che segue è riportato l'elenco delle linee urbane inserite nel piano di riassetto e nelle successive figure una rappresentazione delle variazioni apportate.

Tabella 7-1: Linee TPL urbane modificate nello Scenario di Progetto

Linea	Tipologia	Descrizione	
11	Urbana	Istituto R. Luxemburg/Bertalia/Arcoveggio - rot. Corelli/Ponticella	Figura 7.3
25	Urbana	Dozza - Stazione Centrale - Ospedale Malpighi - Due Madonne	Figura 7.4
27	Urbana	Corticella - Mazzini	Figura 7.5
37	Urbana	Rotonda C.N.R. / Stazione Centrale - Bombicci	Figura 7.6
68	Urbana	Via dei Mille - Camping Città di Bologna	Figura 7.7

Figura 7.3: Riorganizzazione TPL. Linea 11

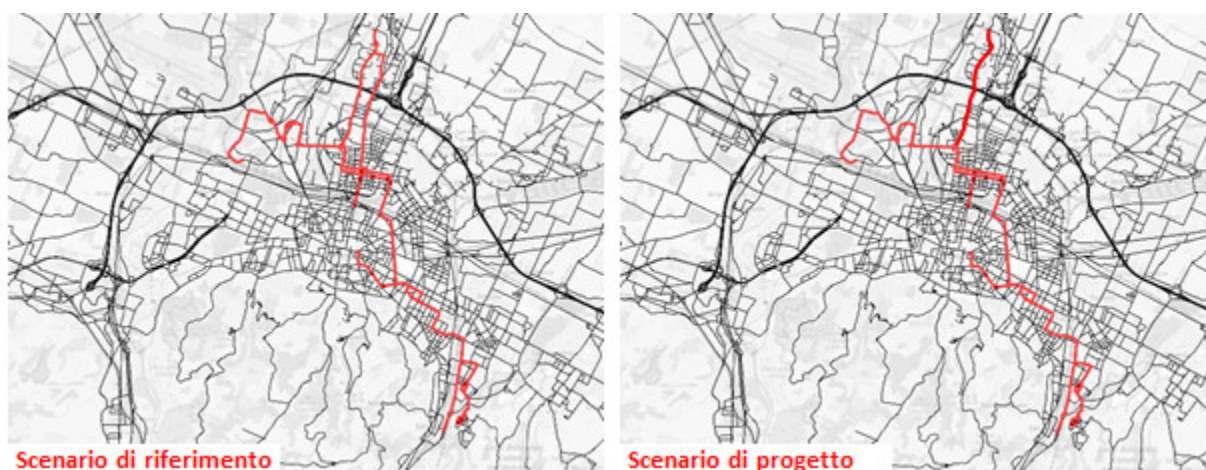


Figura 7.4: Riorganizzazione TPL. Linea 25

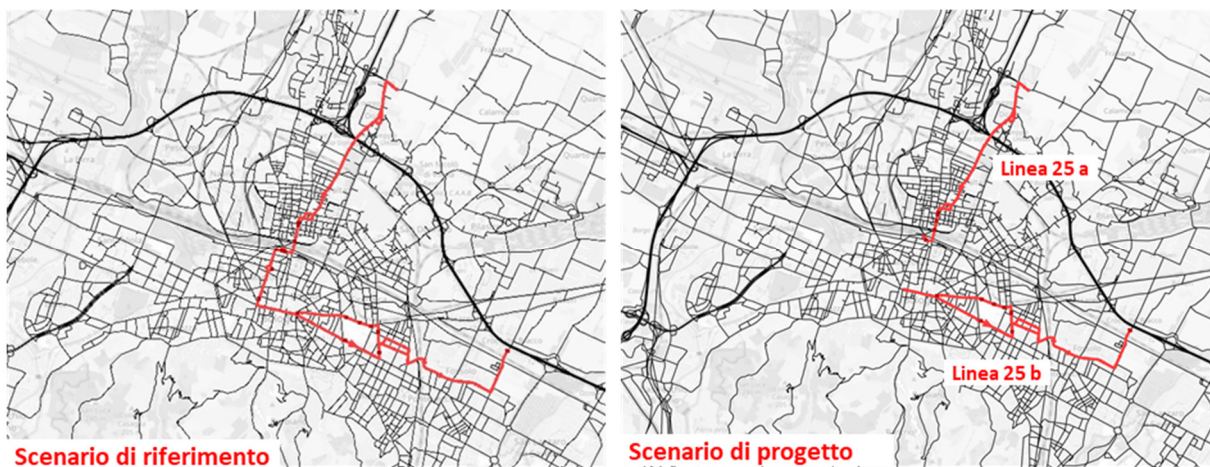


Figura 7.5: Riorganizzazione TPL. Linea 27

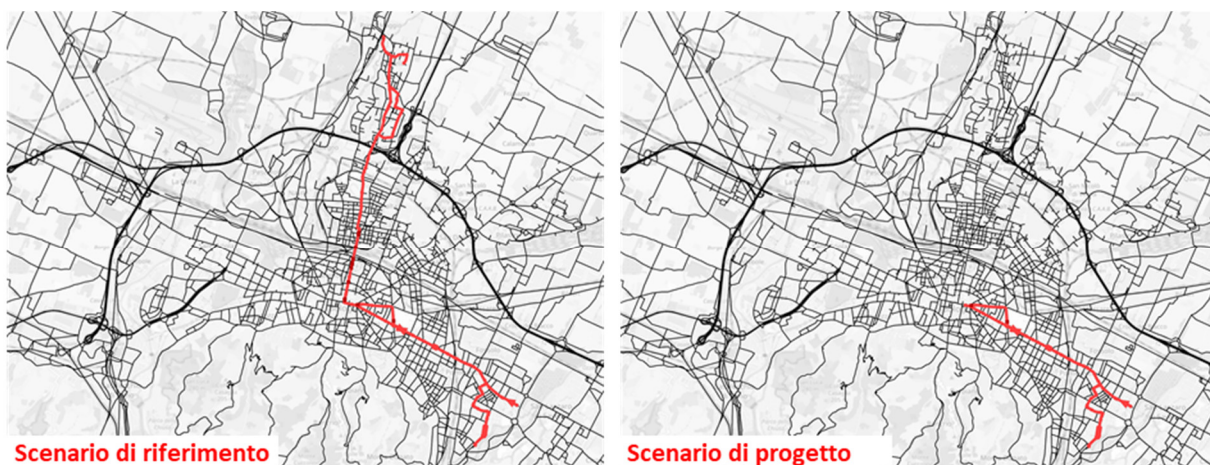


Figura 7.6: Riorganizzazione TPL. Linea 37

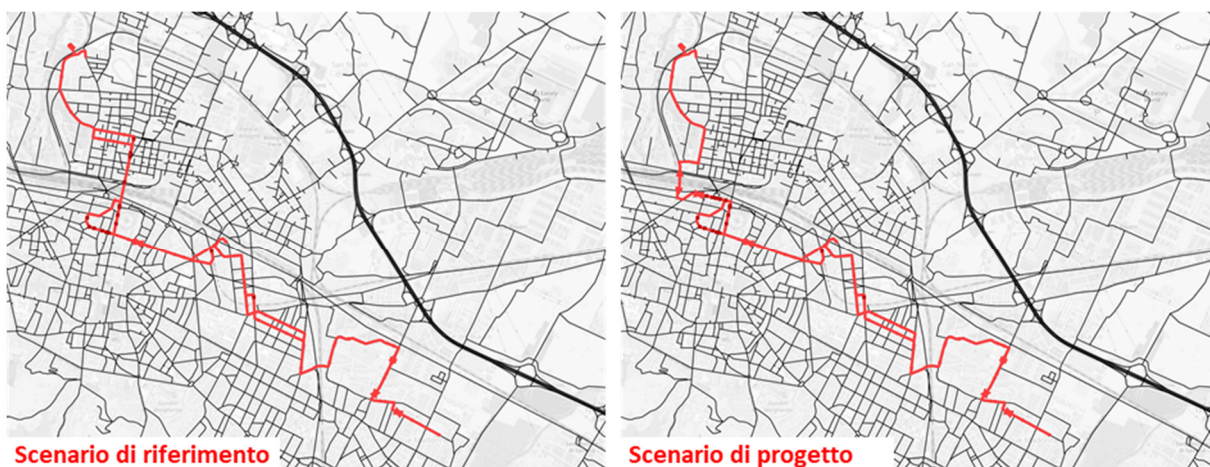
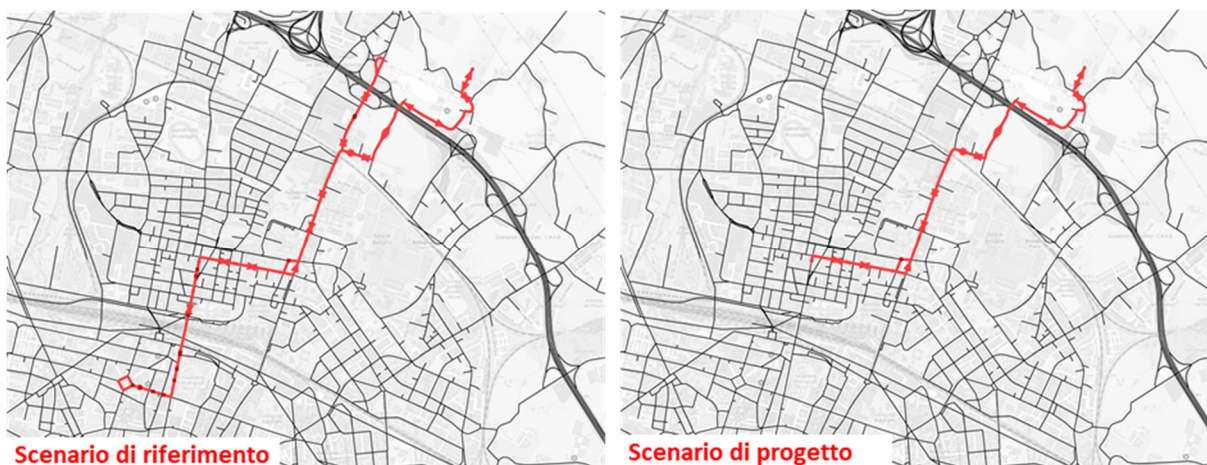


Figura 7.7: Riorganizzazione TPL. Linea 68



Nella tabella e nelle successive figure sono descritte le modifiche introdotte nelle linee suburbane ed extraurbane.

Tabella 7-2: Linee TPL suburbane ed extraurbane modificate nello Scenario di Progetto

Linea	Tipologia	Descrizione	
92	Suburbana	Trebbo di Reno - Bologna - Ospedale Maggiore - Sasso Marconi	Figura 7.8
95	Suburbana	(Bologna) - Funo - Centergross - Interporto - Bentivoglio - (Saletto)	Figura 7.9
97	Suburbana	Bologna - San Giorgio di Piano - Cento/San Venanzio di Galliera	Figura 7.10
98	Suburbana	Bologna - Castel Maggiore	Figura 7.11
354	Extraurbana	Bologna - Altedo - Gallo	Figura 7.12
356	Extraurbana	Bologna - Altedo - Malalbergo - Ferrara	Figura 7.13
364	Extraurbana	Bondeno - Mirabello - Finale Emilia - Cento - Bologna	Figura 7.14
446	Extraurbana	Bologna - Bentivoglio - Saletto	Figura 7.15
447	Extraurbana	Bologna - Z.I. Saliceto - Bentivoglio - Saletto	Figura 7.16
448	Extraurbana	Bologna - Centergross - Interporto	Figura 7.17
450	Extraurbana	Diretta Cento - Bologna	Figura 7.18

Figura 7.8: Riorganizzazione TPL. Linea 92

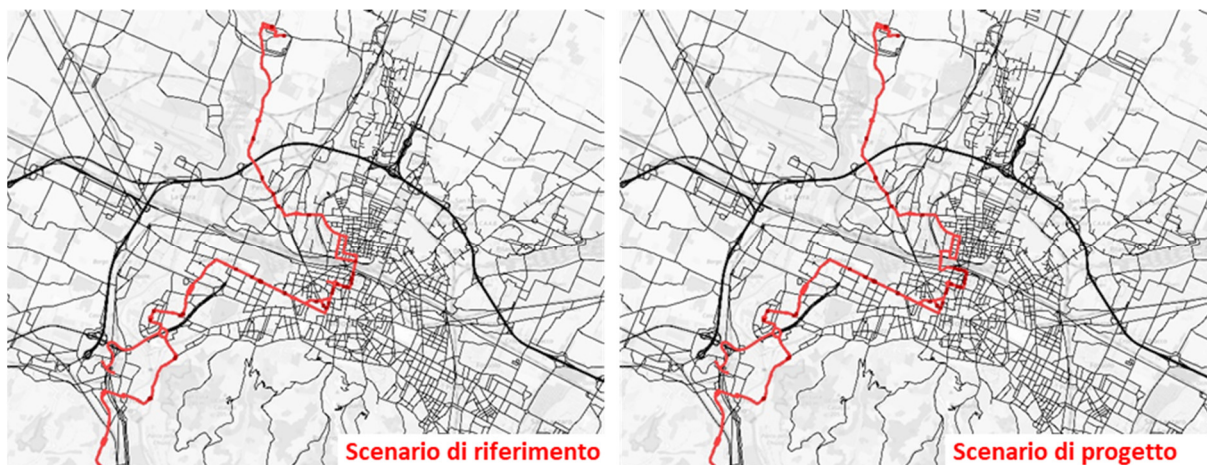


Figura 7.9: Riorganizzazione TPL. Linea 95

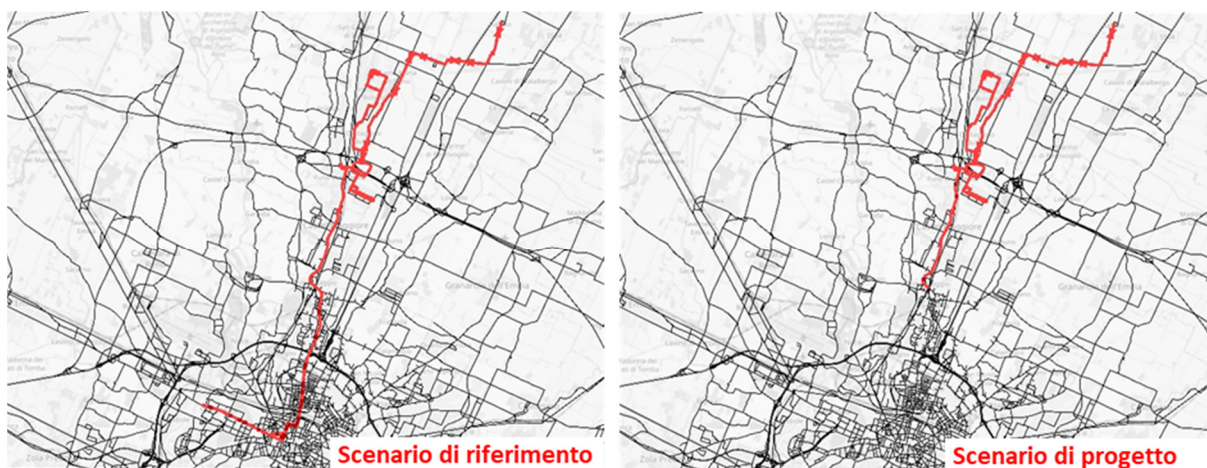


Figura 7.10: Riorganizzazione TPL. Linea 97



Figura 7.11: Riorganizzazione TPL. Linea 98

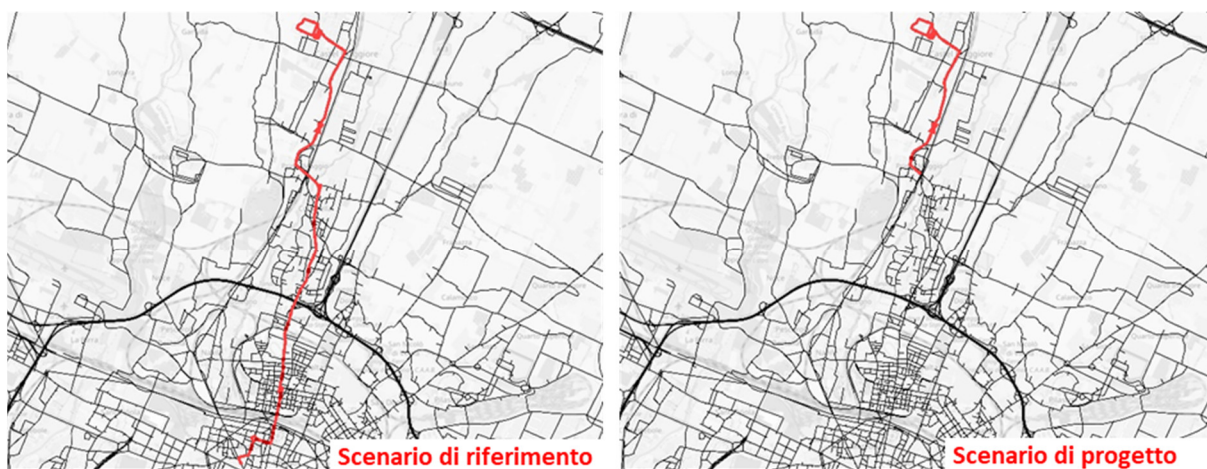


Figura 7.12: Riorganizzazione TPL. Linea 354

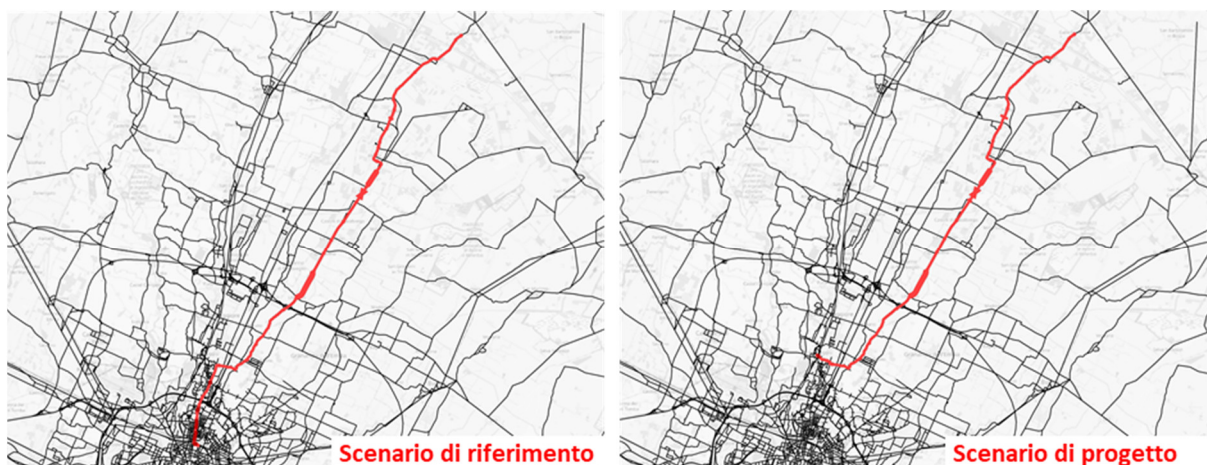


Figura 7.13: Riorganizzazione TPL. Linea 356

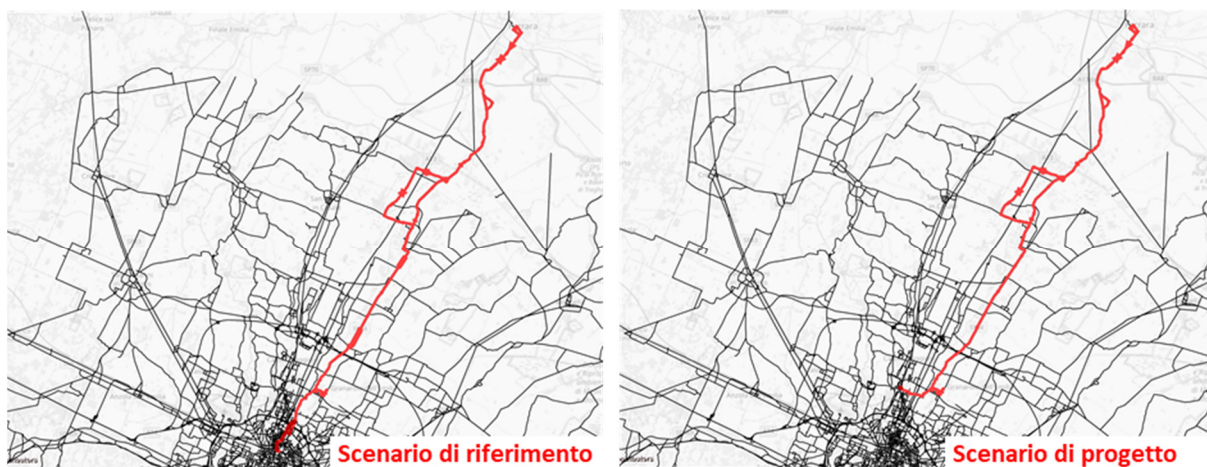


Figura 7.14: Riorganizzazione TPL. Linea 364



Figura 7.15: Riorganizzazione TPL. Linea 446



Figura 7.16: Riorganizzazione TPL. Linea 447

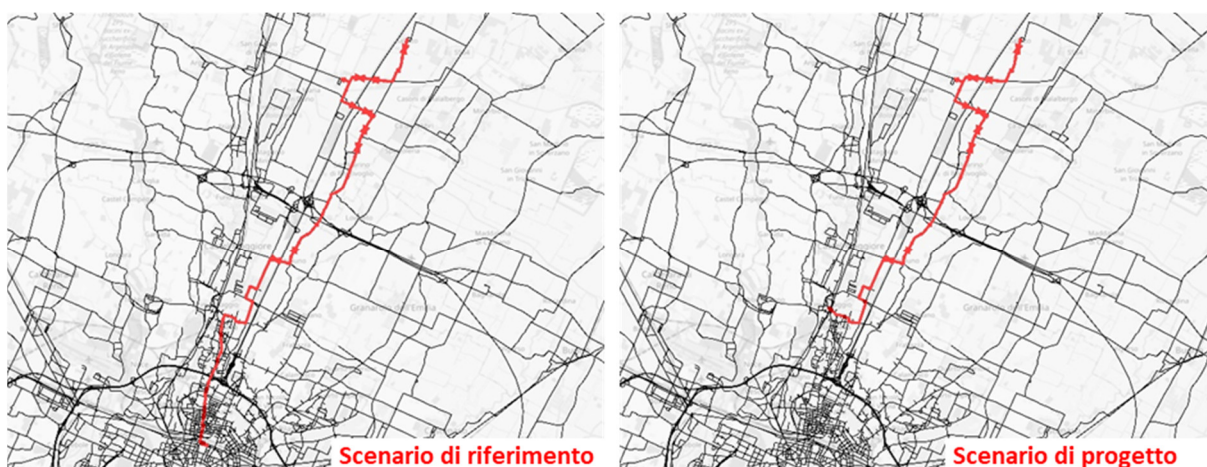


Figura 7.17: Riorganizzazione TPL. Linea 448



Figura 7.18: Riorganizzazione TPL. Linea 450



È opportuno specificare che sia per le linee suburbane che per quelle extraurbane **non è stata apportata alcuna modifica alle corse scolastiche**. Questa scelta, assunta in accordo con l'Amministrazione, è stata fatta per non obbligare gli studenti in arrivo dai comuni della città metropolitana ed in alcuni casi anche dalle province contermini ad effettuare dei trasbordi e/o ad incrementare le percorrenze pedonali.

7.3 IL MODELLO DI ESERCIZIO

Un ulteriore aspetto che caratterizza lo Scenario di Progetto è legato alla struttura del modello di esercizio dei servizi offerti all'utenza. In particolare, il servizio offerto sulla Linea Verde dovrà necessariamente integrarsi con quello offerto sulla Linea Rossa.

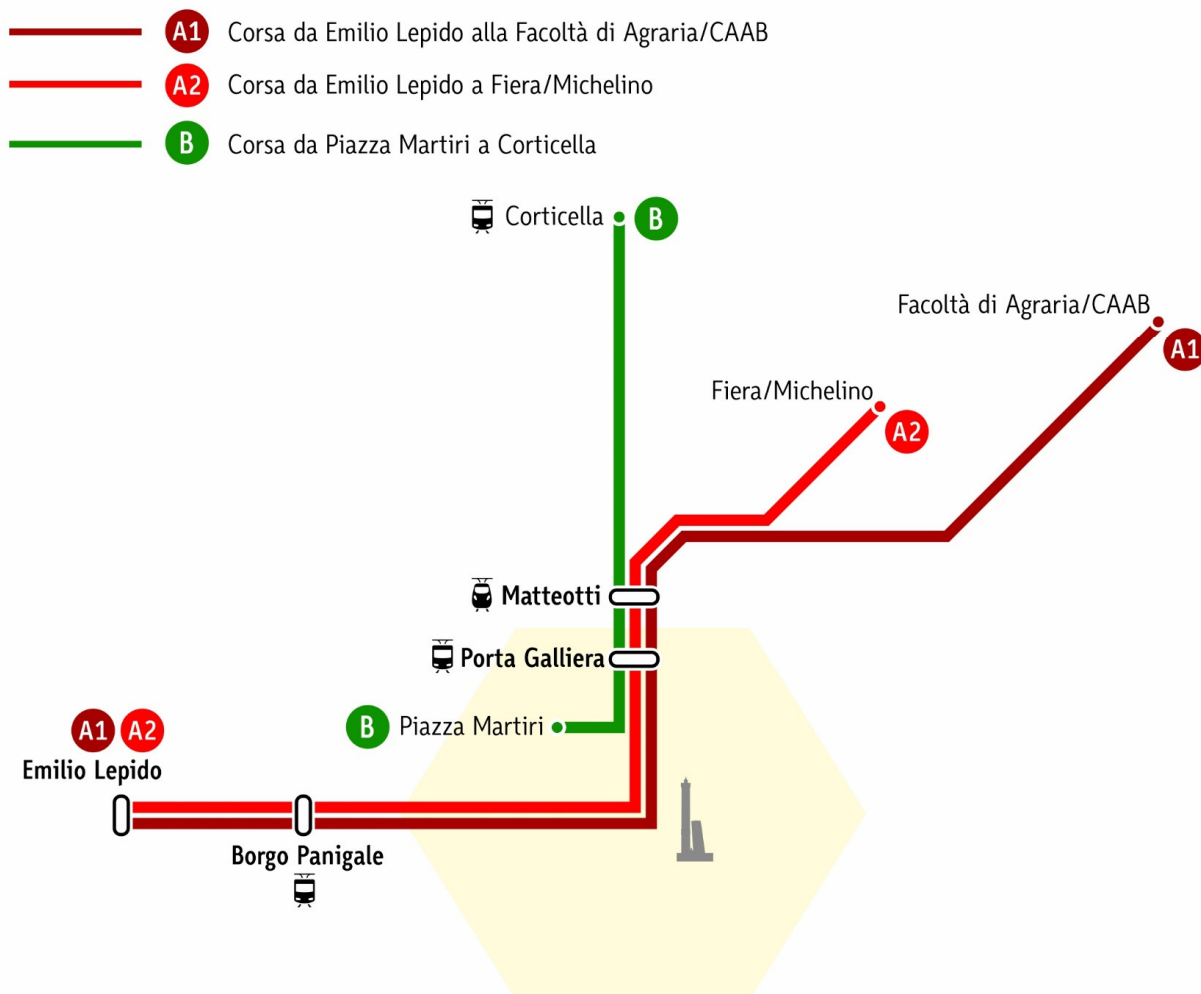
Si ricorda che il modello di esercizio della Linea Rossa prevede una corsa ogni 5 minuti in partenza dal Terminal Emilio Lepido con destinazione rispettivamente al Terminal Michelino Fiera e alla Facoltà di Agraria.

Per ciò che concerne i servizi sulla Linea Verde, si è scelto pertanto di individuare un modello di esercizio che prevede un intertempo a 5' su tutta la linea.

Come riassunto nella figurano 7.19 risultano quindi:

- servizi A1 e A2 a 10 minuti l'uno, 5' su tratta comune;
- servizio B a 5' su tutta la linea.

Figura 7.19: Modello di esercizio dei servizi tranviari previsto nello Scenario di Progetto



L'ipotesi descritta presenta le caratteristiche di produzione riportate nella tabella che segue.

Tabella 7-3: Livelli di produzione indotti dal modello di esercizio

Relazione servita	Estesa (m)	Tempo di percorrenza (min)	N° corse/giorno	Tram*km/giorno
P.zza Martiri-Corticella SFM	6.875	25,0	161	1.107
Corticella SFM – P.zza Martiri	6.953	25,0	161	1.119
Totale	-	-	322	2.226

I valori esposti in tabella sono stati sviluppati nell'ipotesi di servizio seguente:

Tabella 7-4: Modulazione dell'offerta di servizio nel giorno feriale medio

Fascia oraria	Intervallo orario (ore)	Giorno feriale medio		
		Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)
5:30-6:30	1,00	10	6	12
6:30-9:30	3,00	5	36	72
9:30-16:30	7,00	10	42	84
16:30-20:30	4,00	5	48	96
20:30-01:30	5,00	10	29	58
Totale sul giorno		-	161	322
Percorrenze			1.113,2	2.226,3

8. SCENARI FUTURI: RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

8.1 PREMESSA

In questo capitolo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'analisi trasportistica, il cui obiettivo è quello di valutare gli impatti sulla mobilità generati dalla presenza della Linea Verde, così come descritta nei capitoli precedenti.

Il modello sviluppato nel PUMS e qui ripreso e opportunamente specificato per le necessità del progetto in esame, simula la domanda relativa all'intera giornata di un **giorno feriale medio invernale**. I dati relativi all'ora di punta sono determinati sulla base della ripartizione degli spostamenti per fasce orarie risultanti dall'indagine O/D condotta nel 2016 sui residenti della Città metropolitana ed ampiamente illustrata nel paragrafo 4.4.1. Tale segmentazione è stata definita per le differenti macro-componenti della matrice O/D (area centrale del comune di Bologna, aree periferiche, comuni di prima cintura, comuni esterni, etc.).

8.2 PRINCIPALI RISULTATI

Di seguito vengono riportati i principali indicatori trasportistici, riferiti all'intera area di studio, per gli scenari simulati:

- Scenario Attuale, riferito ad un orizzonte temporale pre-pandemico in coerenza coi dati relativi ai livelli di offerta e domanda utilizzati per l'implementazione del modello;
- Scenario di Riferimento;
- Scenario di Progetto.

La quota di domanda che utilizzerà i parcheggi di interscambio è stata distinta dalle altre perché essa, in fase di assegnazione, sarà attribuita alla matrice del trasporto privato sulla relazione "origine/parcheggio in interscambio" e su quella del trasporto pubblico per la relazione "parcheggio di interscambio/destinazione", ovvero il contrario nel caso dello spostamento inverso.

Tabella 8-1: Sintesi dei principali risultati trasportistici

		Scenario Attuale	Scenario di Riferimento	Scenario di Progetto
Trasporto privato	Spostamenti/giorno	1.994.186	1.983.952	1.971.788
Trasporto pubblico	Pax/giorno	357.527	379.417	390.460
Park & Ride	Veicoli/giorno	-	5.115	5.465

Nelle tabelle successive, si riportano le stime degli utenti che utilizzeranno la Linea Verde e l'intera rete dei servizi tranviari negli scenari futuri.

Tabella 8-2: Utilizzo della Linea Verde. Saliti, percorrenze e tempi di viaggio²⁰

		Scenario di Riferimento	Scenario Progetto
Saliti	giorno feriale	---	30.226
	anno	---	8.765.666
Pax*km	giorno feriale	---	113.526
	anno	---	32.922.508
Percorrenza media (km)		---	3,75
Tempo medio a bordo (min)		---	9,5

Si rileva che la realizzazione della nuova linea tranviaria comporta un incremento di utenza di **oltre 30.000 passeggeri giorno** rispetto alla domanda servita dalla sola linea Rossa presente nello Scenario di Riferimento, con uno spostamento medio a bordo pari a oltre 3,7 km (oltre il 50% dell'estesa dell'intera linea) e un tempo medio a bordo nell'ordine dei 10 minuti.

Per ciò che concerne l'insieme della rete di trasporto pubblico con riferimento alle linee maggiormente rilevanti si ottengono i seguenti risultati relativi all'intera giornata.

²⁰ Per l'espansione dal giorno medio feriale all'intero anno è stato utilizzato un coefficiente pari a 290

Tabella 8-3: Indicatori trasportistici per le principali linee del TPL. Scenario di Riferimento e di Progetto (pax/gg)

Linea	Scenario di Riferimento		Scenario di Progetto	
	Saliti	Pax km	Saliti	Pax km
11	26.239	106.126	26.509	104.314
13	33.616	155.011	33.642	154.675
14	52.861	187.556	52.425	181.441
19	7.335	24.238	7.462	23.670
20	18.945	47.536	21.617	53.043
21	4.624	12.139	4.594	11.791
25	3.617	7.467	2.468	4.517
27	11.166	29.219	11.087	28.966
32	6.610	13.545	6.491	13.353
33	5.748	10.605	5.472	10.029
35	9.038	23.145	9.029	23.333
36	13.703	41.755	14.179	42.842
Crealis/TPGV	40.516	143.161	41.022	146.087
Linea Rossa	107.867	452.084	107.554	459.151
Linea Verde	-	-	30.226	113.526
Totale	341.885	1.253.587	373.778	1.370.738

Legenda colori

Linea filoviaria

Linea tranviaria

Al fine di verificare se l'intervento di progetto in esame consente di perseguire in maniera efficace gli obiettivi che il PUMS si propone, in particolar modo per ciò che concerne lo share modale, è stato necessario effettuare delle analisi puntuali per valutare l'impatto della nuova linea tranviaria sulla mobilità privata.

Per valutare correttamente gli effetti della realizzazione della rete tranviaria bisogna tenere in conto che sia le evoluzioni sociodemografiche previste sia le nuove urbanizzazioni comporteranno, per l'orizzonte temporale di analisi, un incremento della domanda di mobilità. In questo contesto, grazie al potenziamento dei servizi di TPL e alla realizzazione della Linea Rossa del tram si osserva, già nello Scenario di Riferimento, un aumento di spostamenti giornalieri sui

mezzi pubblici rispetto alla situazione attuale del 8% (considerando il contributo del Park & Ride) e conseguentemente una generale diminuzione della mobilità sui mezzi privati.

E' opportuno specificare che eventuali fenomeni di sovraffollamento della Linea Rossa conseguenti allo shift modale da auto a trasporto pubblico favoriti dall'attivazione della città 30 potranno essere gestiti attraverso maggiore supporto di corse bus in cooperazione sullo stesso percorso.

Si nota infine che, con l'introduzione della nuova linea tranviaria, si prosegue nel processo di diversione modale della domanda dai mezzi privati verso il trasporto pubblico (+11% rispetto alla situazione attuale), con un incremento di passeggeri e dei pax*km sulle principali linee del TPL urbano di Bologna rispettivamente pari al 10% e al 9%.

8.2.1 IMPATTO SULLA MOBILITÀ PRIVATA

Nelle figure successive (Figura 8.1, Figura 8.2 e Figura 8.3) si riportano i flussogrammi relativi alla mobilità privata rispettivamente per: la situazione attuale, lo Scenario di Riferimento e lo Scenario di Progetto. I flussi rappresentati sono quelli relativi all'intera giornata.

Per valutare meglio l'effetto dell'inserimento della nuova infrastruttura tranviaria sulla mobilità privata si riporta nella Figura 8.4 la rete differenza per: Scenario di Progetto VS Scenario di Riferimento. Nella rappresentazione delle reti differenza la legenda dei colori deve essere interpretata in questo modo:

- nelle tratte VERDI il flusso di autovetture diminuisce con l'introduzione della nuova linea tranviaria;
- nelle tratte ROSSE si registra un incremento del flusso di autovetture.

Certamente quest'ultima rappresentazione è quella maggiormente comprensibile e che permette di verificare gli effetti attesi.

È bene ricordare che l'elemento principale che differenzia lo Scenario di Progetto da quello di riferimento consiste nella presenza di un nuovo servizio tranviario.

In generale, è possibile osservare una riduzione delle percorrenze veicolari nell'ordine dei 70.000 veicoli*km per quanto al giorno feriale medio che, utilizzando un coefficiente di espansione giorno-anno pari a 290, rappresenta una riduzione di oltre 20 milioni di veicoli*km ogni anno.

Tale valore, sebbene percentualmente contenuto rispetto alla scala dell'intera Città metropolitana (-0,3%), è ancora più rilevante se considerato che si ottiene su una porzione di rete piuttosto contenuta (come evidente dalla Figura 8.4).

Nel complesso, quindi, la nuova offerta tranviaria e l'ulteriore riorganizzazione della rete del TPL su gomma genera un impatto positivo sulla riduzione della mobilità privata per effetto della ripartizione modale della domanda. Tale effetto è molto evidente proprio sull'asse di penetrazione da Nord (via Bentini, via di Corticella) fino al quartiere della Bolognina.

Figura 8.1: Situazione Attuale. Carichi sulla rete del trasporto privato. Intera giornata



Figura 8.2: Scenario di Riferimento. Carichi sulla rete del trasporto privato. Intera giornata

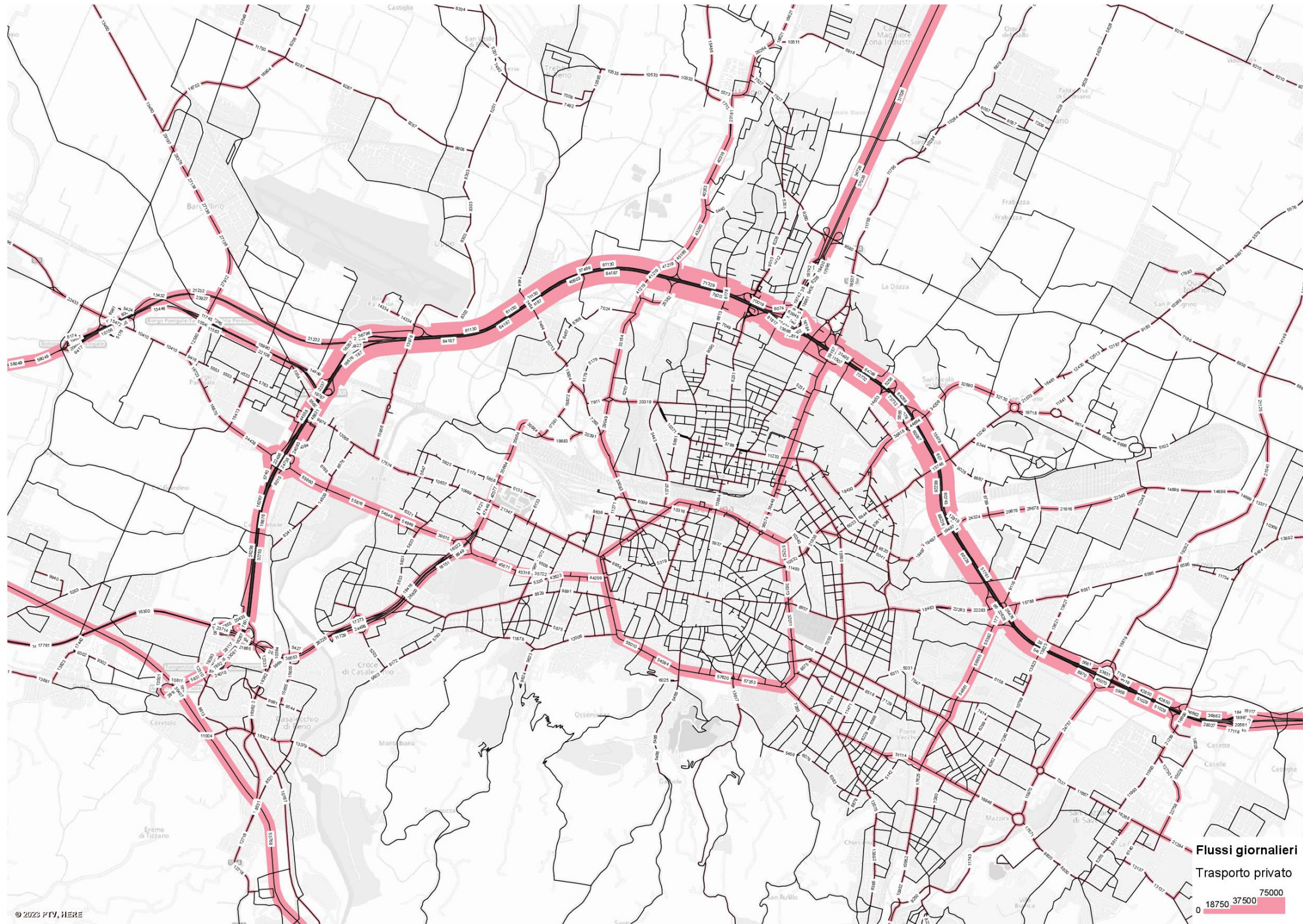


Figura 8.3: Scenario di Progetto. Carichi sulla rete del trasporto privato. Intera giornata

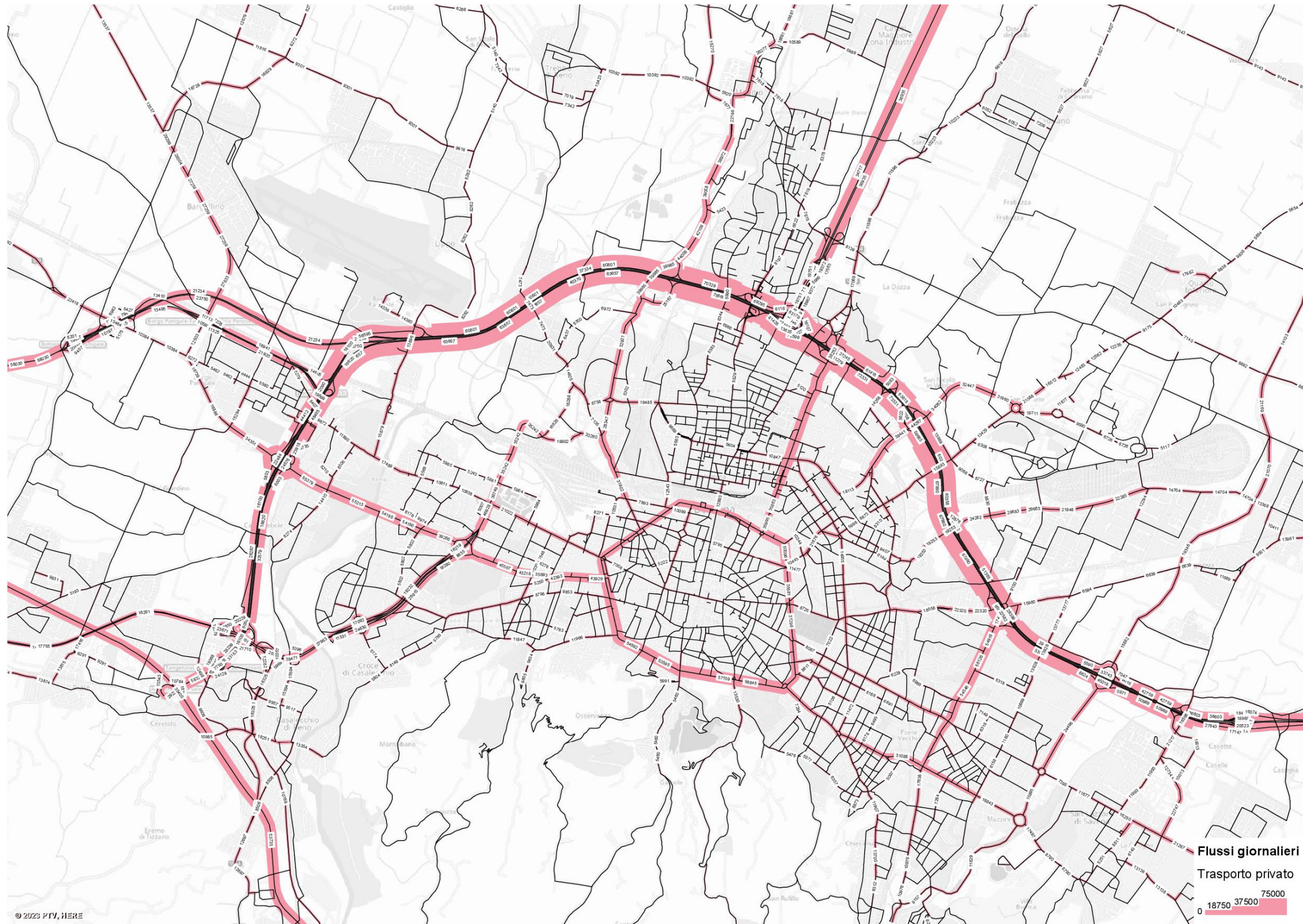
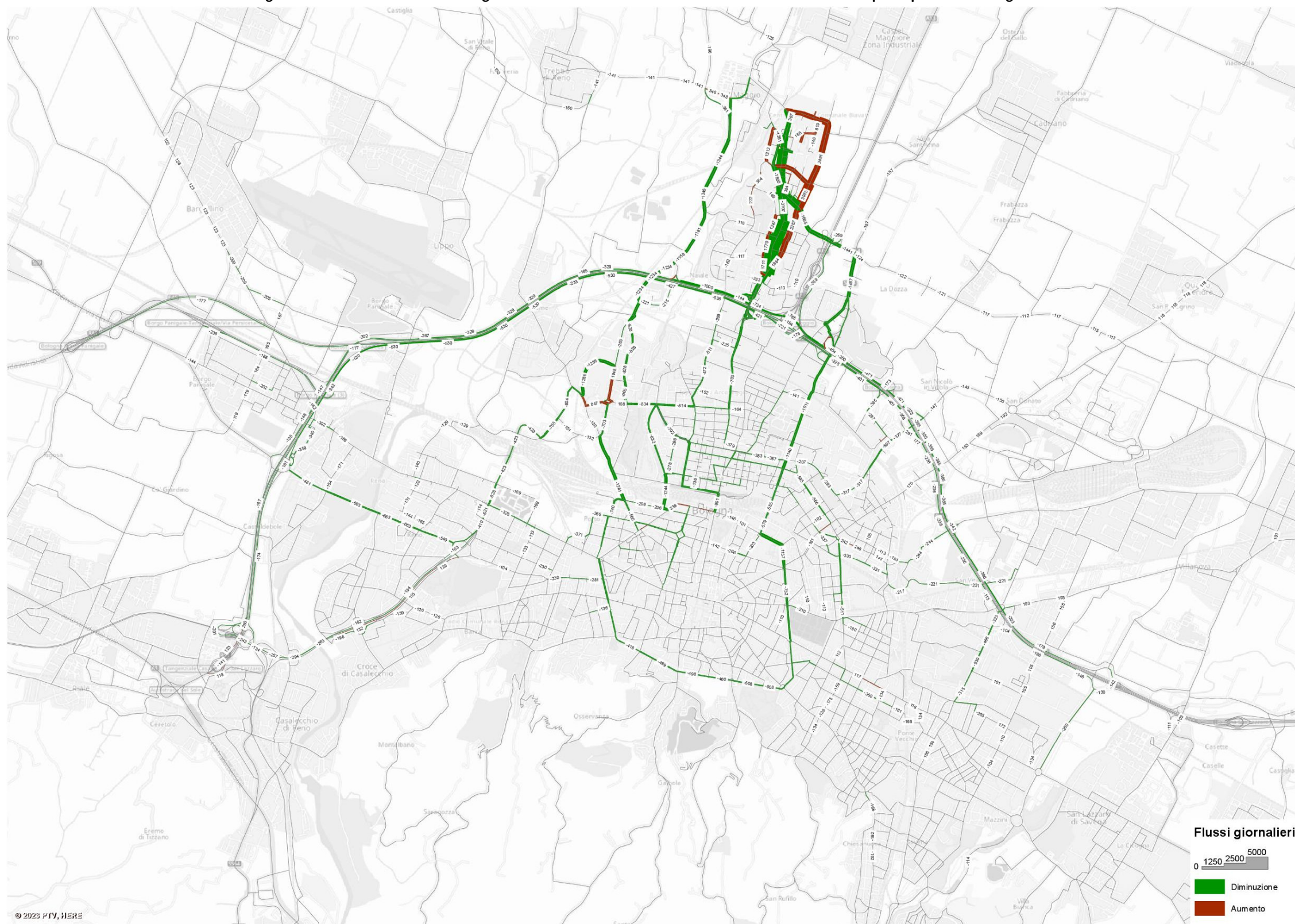


Figura 8.4: Scenario Differenza - Progetto VS Riferimento. Variazione dei carichi sulla rete del trasporto privato. Intera giornata



La riduzione degli spostamenti stimata nell'arco dell'intera giornata su queste infrastrutture è combinazione dell'effetto di riduzione del numero di automobili e del cambio di itinerario di una parte degli utenti. Questi i valori stimati di riduzione del flusso:

- Via Bentini – Via di Corticella: circa 3.500 veicoli/gg
- Tangenziale Nord versante occidentale: circa 1.000 veicoli/gg
- Via De Gasperi – Via Togliatti: circa 700 veicoli/gg

Degli incrementi di flusso si riscontrano solamente nelle altre viabilità di penetrazione da nord che vengono utilizzate da utenti che trovano maggior difficoltà ad accedere al centro città attraverso l'asse di via di Corticella.

Come ulteriore elemento di valutazione degli impatti generati sulla viabilità privata dal nuovo servizio tranviario, possiamo utilizzare le classi di criticità individuate attraverso il rapporto flusso/capacità dell'arco. In Tabella 8-4 si riporta il confronto tra i chilometri di rete stradale che ricadono in ciascuna classe per lo scenario di riferimento e quello di progetto.

Tabella 8-4: Analisi della rete stradale in funzione del rapporto Flusso/Capacità

Rapporto Flusso/Capacità	Scenario di Riferimento (km)	Scenario di Progetto (km)	Var. %
$\leq 0,6$	7.507	7.507	---
Compreso tra 0,6 e 0,9	264	265	+0,3%
$\geq 0,9$	111	109	-2,4%

Anche questo indicatore ci dice che la rete stradale, a valle della realizzazione del progetto, consentirà un migliore deflusso dei veicoli. Deflusso che registrerà i maggiori benefici proprio negli orari di punta della giornata.

8.2.2 LA DOMANDA GIORNALIERA E ORARIA SULLA LINEA DEL TRAM

Come esposto nei precedenti paragrafi, si stima che, su base annua, i passeggeri del sistema tranviario composto dall'insieme della Linea Rossa e della Linea Verde verso Corticella siano pari a circa 40 milioni, corrispondenti a oltre 137.000 passeggeri nel giorno medio feriale.

Considerando che, nella configurazione in cui è presente la sola Linea Rossa, i passeggeri anno risultano pari a 31,3 milioni, se ne può dedurre che il contributo all'utenza tranviaria fornito dalla nuova linea ammonta a circa 8,7 milioni di passeggeri/anno (+28%) ed oltre 30mila passeggeri/giorno.

Nelle successive figure (Figura 8.5 e Figura 8.6) si riportano rispettivamente il flussogramma dei carichi giornalieri su tutta la rete del trasporto pubblico locale (bus, filobus e tram) e quello relativo alla sola rete tranviaria.

Da quest'ultimo flussogramma si evince che, sulla Linea Verde tra Piazza Martiri e Corticella, il carico massimo si attesta a circa 26.000 passeggeri/giorno.

Nella successiva tabella, invece, i carichi giornalieri sulla tranvia sono rappresentati per tratte omogenee, viene esposto sia il carico teorico medio relativo ai soli servizi che si originano o si attestano dalla/alla stazione di Corticella.

Tabella 8-5: Carichi teorici medi sulla Linea Verde (pax/gg e pax/h)

Tratta Omogenea	Pax/giorno	Pax/h
Martiri-Unità	17.083	2.083
Unità-Tangenziale	23.548	2.942
Tangenziale-Corticella	12.847	1.681

Figura 8.5: Scenario di Progetto. Carichi sulla rete del trasporto pubblico (bus, filobus, tram). Intera giornata

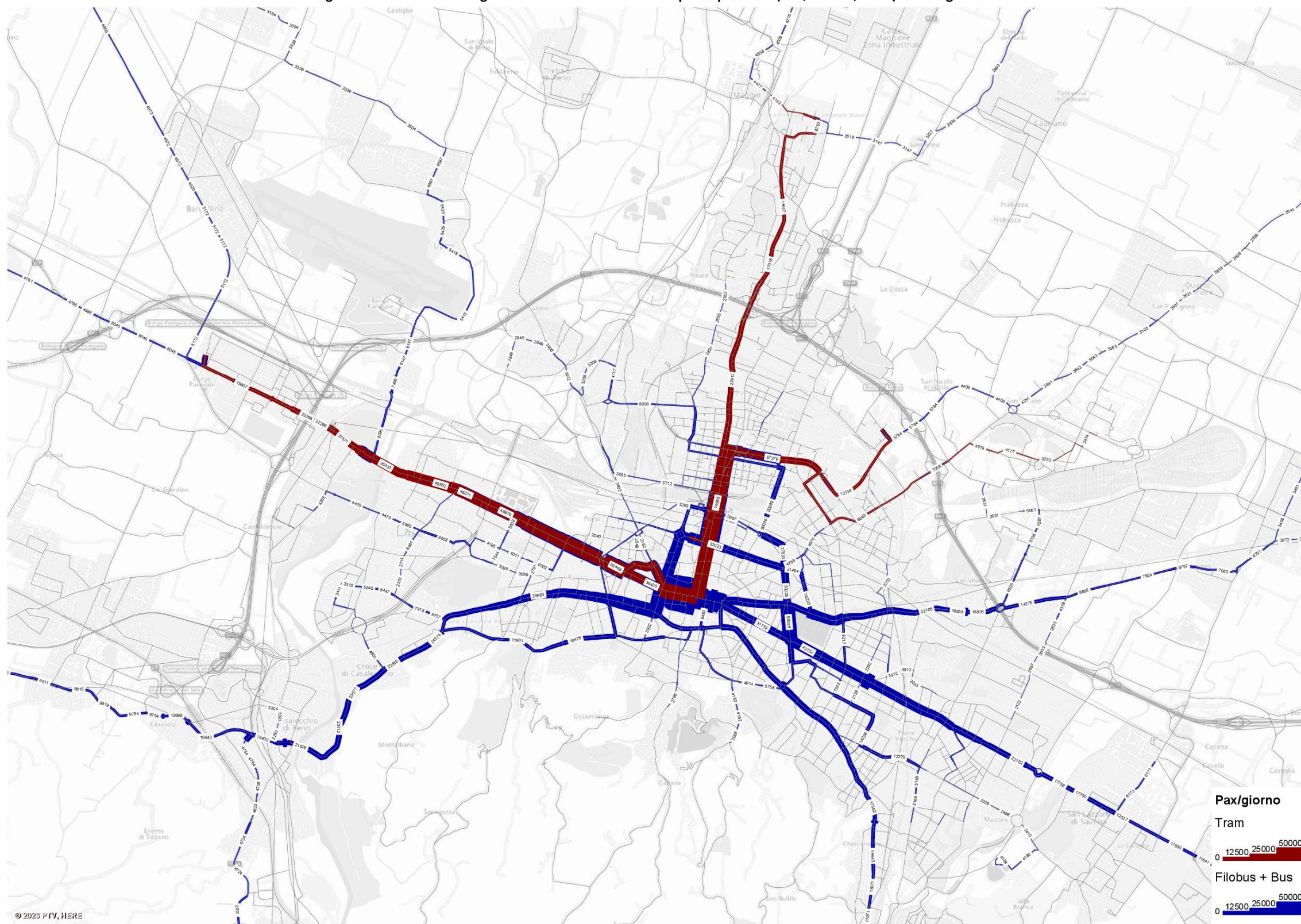
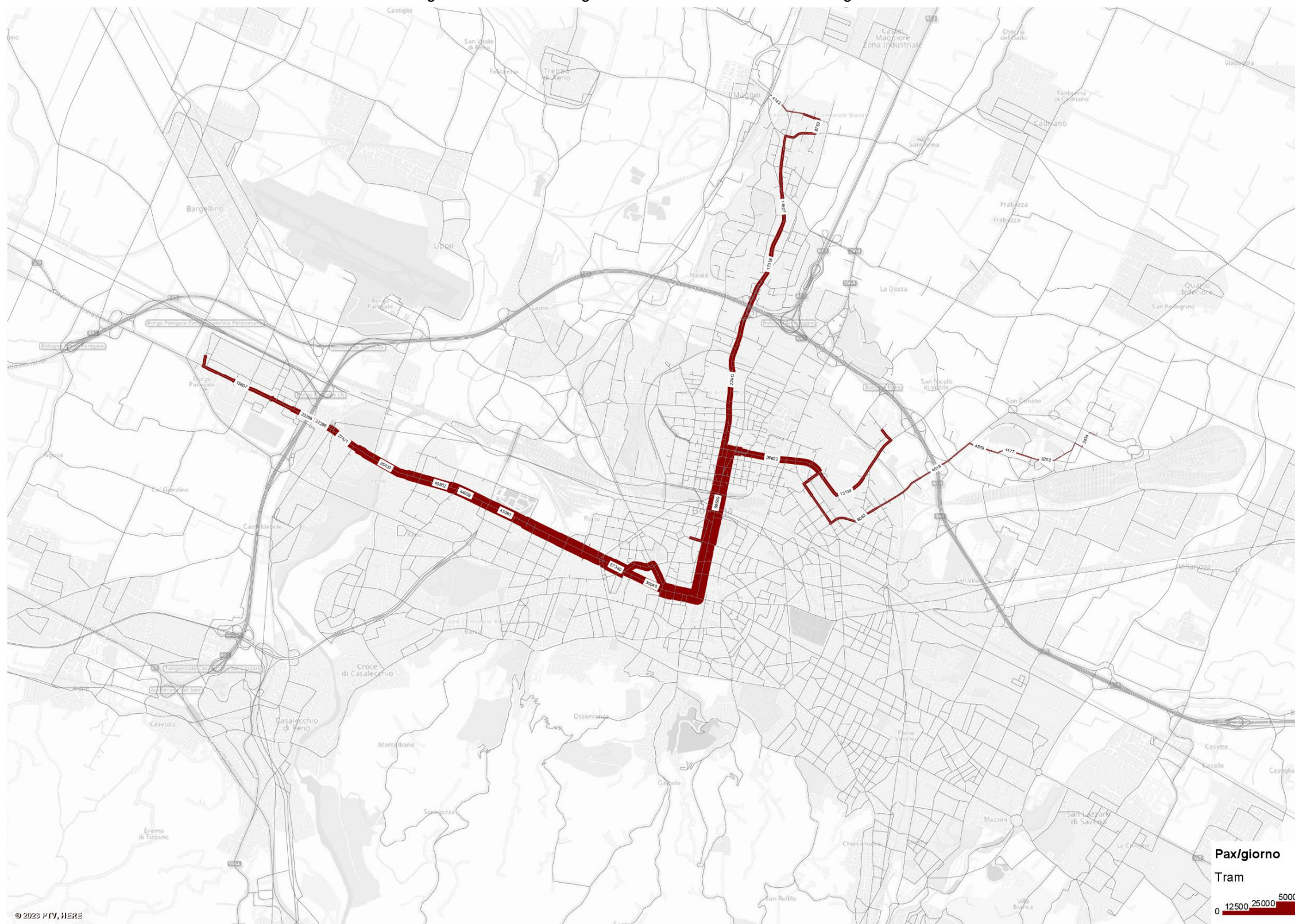


Figura 8.6: Scenario di Progetto. Carichi sulla rete tranviaria. Intera giornata



Passando ad analizzare i risultati relativi all'ora di punta si ricorda, come già esposto nella premessa del presente capitolo, che la matrice di domanda del trasporto pubblico relativa all'ora di punta è stata ricostruita sulla base della ripartizione degli spostamenti per fasce orarie risultanti dall'indagine O/D condotta nel 2016 sui residenti della Città metropolitana.

Si riportano, per l'insieme della rete di trasporto pubblico, i risultati relativi all'ora di punta per le linee maggiormente rilevanti.

Tabella 8-6: Indicatori trasportistici per le principali linee del TPL. Scenario di Riferimento e di Progetto (pax/h)

Linea	Scenario di Riferimento		Scenario di Progetto	
	Saliti	Pax km	Saliti	Pax km
11	3.829	12.276	3.871	12.249
13	5.303	18.520	5.289	18.396
14	8.692	25.531	8.601	24.619
19	1.012	2.747	1.029	2.677
20	2.865	5.940	3.290	6.684
21	748	1.554	743	1.511
25	490	850	350	552
27	1.874	4.350	1.867	4.322
32	1.110	2.075	1.093	2.024
33	1.005	1.766	957	1.682
35	1.451	3.090	1.421	3.091
36	1.910	4.540	1.968	4.615
Crealis TPGV	5.901	17.653	5.992	18.075
Tram Rosso	15.422	55.002	15.375	55.533
Tram Verde	-	-	4.236	13.826
Totale	51.611	155.893	56.082	169.855

Legenda colori

Linea filoviaria

Linea tranviaria

È importante osservare che il servizio tranviario nella fascia oraria di punta assorbe il 35% del totale degli utenti che utilizzano le principali linee di TPL. Analogamente a quanto visto per l'intera giornata, di seguito si riportano (Figura 8.7 e Figura 8.8) i flussogrammi dei carichi ora di punta su tutta la rete del trasporto pubblico locale (bus, filobus e tram) e quello relativo alla sola rete tranviaria.

Figura 8.7: Scenario di Progetto. Carichi sulla rete del trasporto pubblico (bus, filobus, tram). Ora di punta mattutina

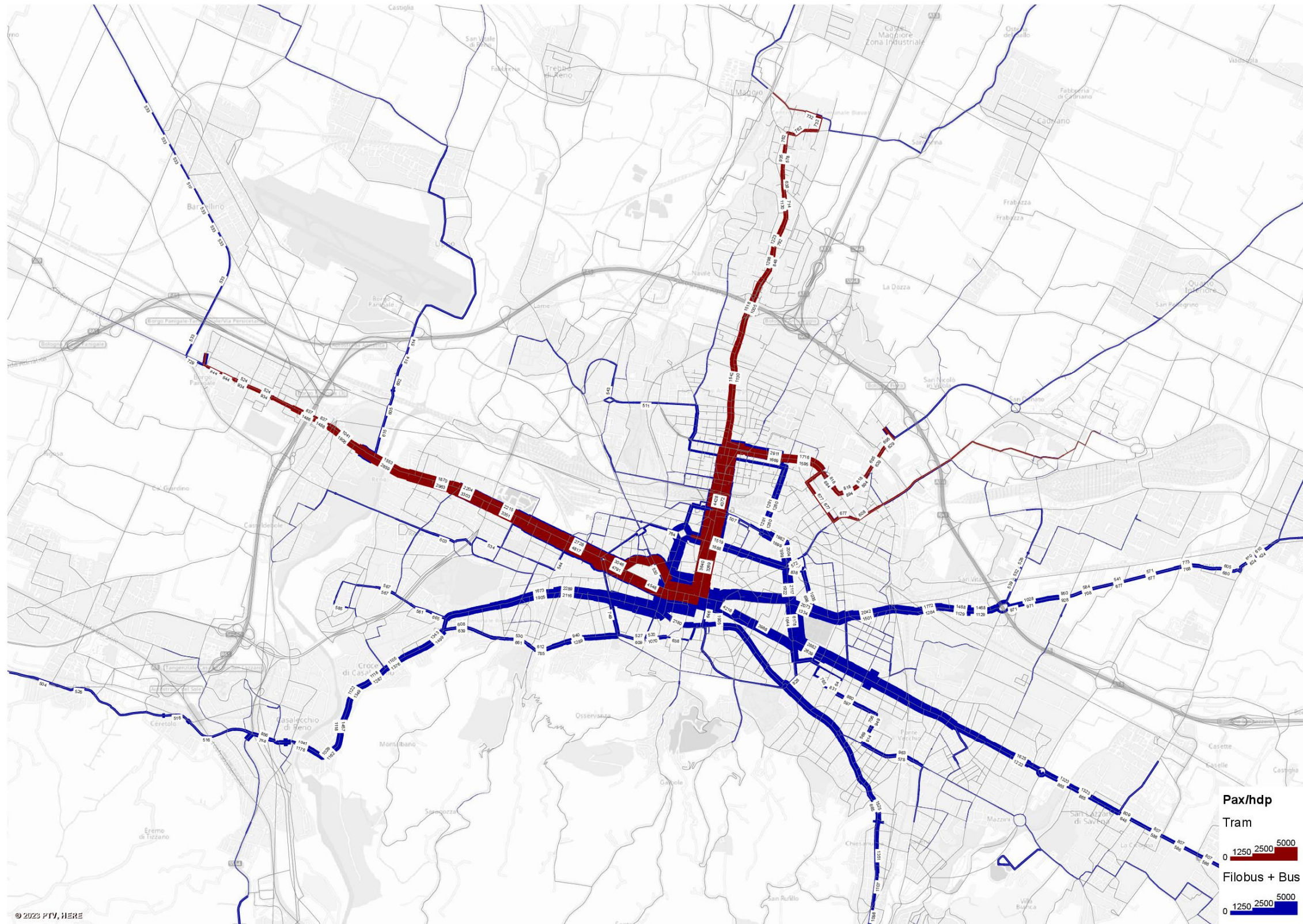
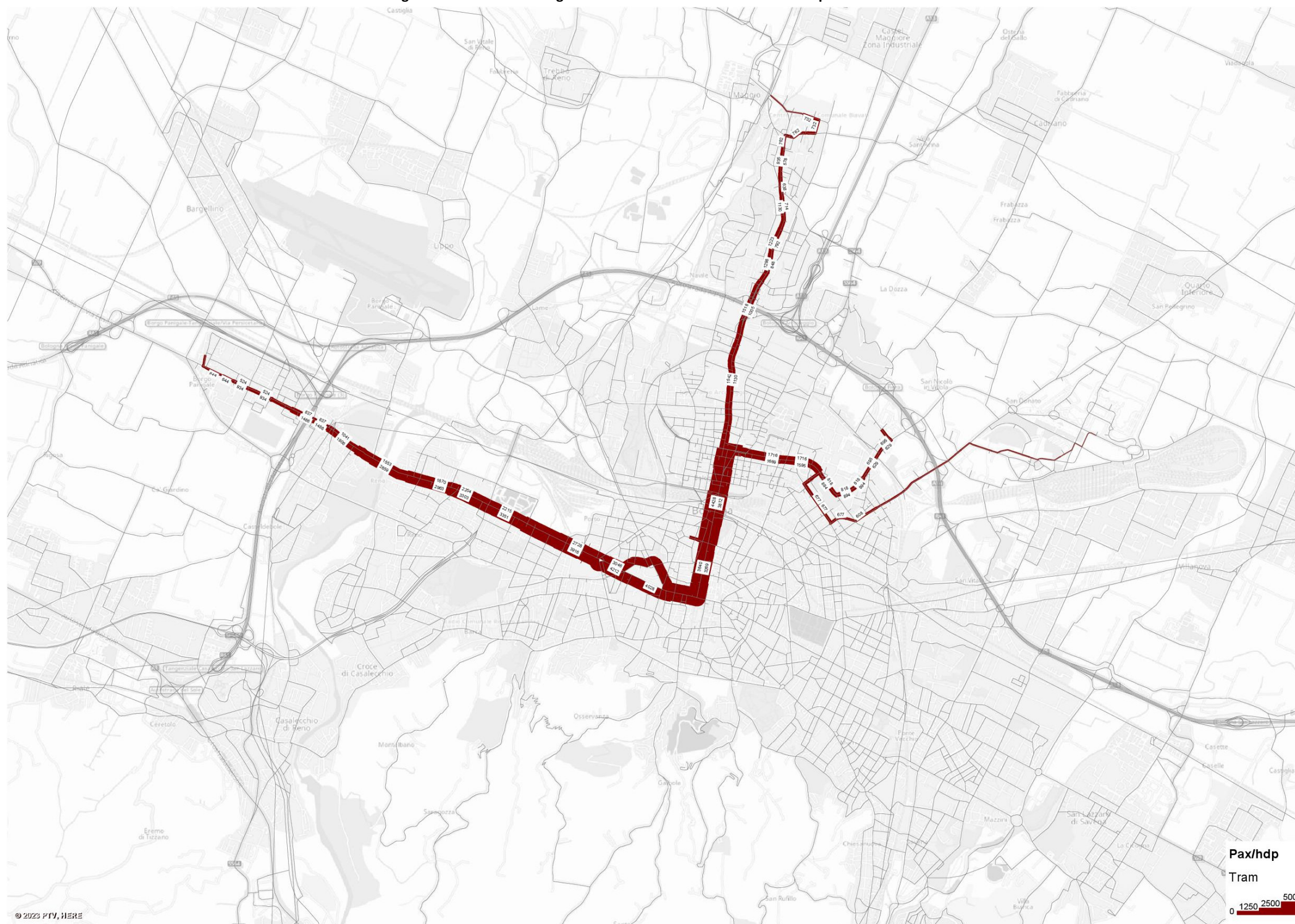


Figura 8.8: Scenario di Progetto. Carichi sulla rete tranviaria. Ora di punta mattutina



L'andamento dei saliti e discesi alle singole fermate è riportato prendendo in considerazione solamente alle corse che si originano/attestano dal/al capolinea Nord di Corticella con riferimento all'ora di punta. Le informazioni sono riportate prima in formato tabellare (

Tabella 8-7 e Tabella 8-8) e successivamente in formato grafico (Figura 8.9 e Figura 8.10).

Tabella 8-7: Passeggeri saliti/discesi sui servizi attestati al Capolinea di Corticella. Direzione Sud (pax/h)

Fermata	Saliti	Discesi	A Bordo
CORTICELLA STAZIONE	315	0	-
SHAKESPEARE	417	0	315
SANT'ANNA	31	0	732
BENTINI SUD	171	2	763
COLOMBAROLA	92	2	932
LIPPARINI	109	3	1.022
RONCAGLIO	98	5	1.128
PINARDI	77	2	1.221
MARZIALE	225	5	1.296
DE GIOVANNI	109	4	1.516
ISTITUTO ALDINI	12	5	1.621
LOMBARDI	66	14	1.628
CA' DEI FIORI	173	74	1.680
PIAZZA DELL'UNITÀ	23	519	1.779
MATTEOTTI ALTA VELOCITA'	54	316	1.283
AUTOSTAZIONE	10	183	1.021
MILLE (PIAZZA DEI MARTIRI)	0	848	848
CORTICELLA STAZIONE	315	0	-

Figura 8.9: Passeggeri saliti/discesi sulla Linea Verde. Direzione Sud (pax/h)

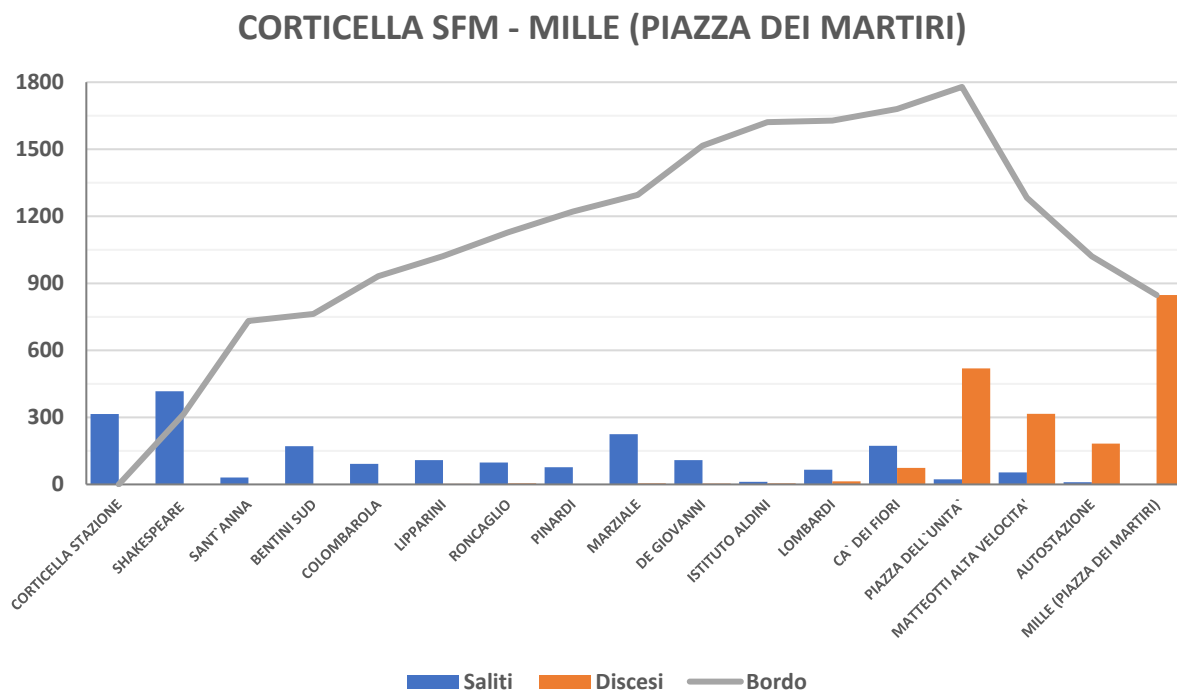
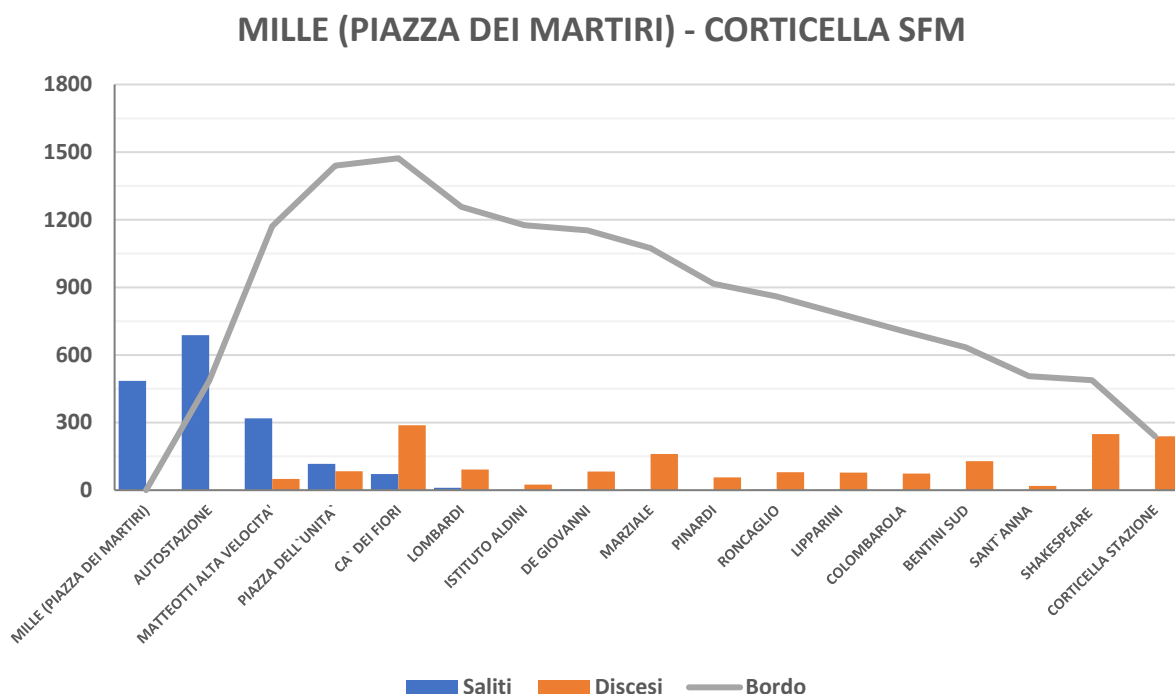


Tabella 8-8: Passeggeri saliti/discesi sulla Linea Verde. Direzione Nord (pax/h)

Fermata	Saliti	Discesi	A Bordo
MILLE (PIAZZA DEI MARTIRI)	485	0	-
AUTOSTAZIONE	688	2	485
MATTEOTTI ALTA VELOCITÀ	319	50	1.171
PIAZZA DELL'UNITÀ	117	84	1.440
CA' DEI FIORI	72	288	1.473
LOMBARDI	11	92	1.257
ISTITUTO ALDINI	2	25	1.176
DE GIOVANNI	4	83	1.153
MARZIALE	3	161	1.074
PINARDI	1	57	916
RONCAGLIO	3	80	860
LIPPARINI	2	78	783
COLOMBAROLA	1	74	707
BENTINI SUD	1	129	634
SANT'ANNA	1	19	506
SHAKESPEARE	0	249	488
CORTICELLA STAZIONE	0	239	239

Figura 8.10: Passeggeri saliti/discesi sui servizi attestati al Capolinea di Corticella. Direzione Nord (pax/h)



9. CONCLUSIONI E SINTESI DEI RISULTATI

Dall'analisi svolta risulta che la realizzazione della nuova Linea Verde verso Corticella costituisce un ulteriore passo verso la realizzazione del progetto di rete tranviaria che il PUMS della Città metropolitana di Bologna ha indicato tra i progetti chiave per poter perseguire gli obiettivi di una mobilità maggiormente sostenibile in termini: di riduzione delle emissioni inquinanti, di incremento della sicurezza stradale, di fluidificazione della circolazione, ecc.

Il progetto prevede che la nuova infrastruttura tranviaria si connetta alla Linea Rossa in corrispondenza di Piazza dell'Unità e si diriga verso Nord attraverso la direttrice di via di Corticella e poi di via Bentini, compia un semi anello su via Sant'Anna, via Byron e via Shakespeare per andarsi ad attestare alla stazione SFM di Corticella dove è previsto un nodo di interscambio.

Dal punto di vista del modello di esercizio, invece, il servizio sarà esercito con una corsa ogni 5 minuti, con una produzione del servizio correlato alla realizzazione del tratto Nord della Linea Verde indicata di seguito.

Tabella 9-1: Livelli di produzione indotti dal modello di esercizio

Relazione servita	Estesa (m)	Tempo giro (min)	N° corse/gg	Treni*km/gg
P.zza Martiri-Corticella SFM	6.875	25,0	161	1.107
Corticella SFM – P.zza Martiri	6.953	25,0	161	1.119
Totale	-	-	322	2.226

Nello scenario di Progetto i carichi delle linee portanti del trasporto pubblico di Bologna sono riportati di seguito.

Tabella 9-2: Indicatori trasportistici per le principali linee del TPL. Scenario Progetto

Linea	Scenario di Riferimento		Scenario di Progetto	
	Saliti	Pax km	Saliti	Pax km
11	26.239	106.126	26.509	104.314
13	33.616	155.011	33.642	154.675
14	52.861	187.556	52.425	181.441
19	7.335	24.238	7.462	23.670
20	18.945	47.536	21.617	53.043

Linea	Scenario di Riferimento		Scenario di Progetto	
	Saliti	Pax km	Saliti	Pax km
21	4.624	12.139	4.594	11.791
25	3.617	7.467	2.468	4.517
27	11.166	29.219	11.087	28.966
32	6.610	13.545	6.491	13.353
33	5.748	10.605	5.472	10.029
35	9.038	23.145	9.029	23.333
36	13.703	41.755	14.179	42.842
Crealis TPGV	40.516	143.161	41.022	146.087
Linea Rossa	107.867	452.084	107.554	459.151
Linea Verde	-	-	30.226	113.526
Totale	341.885	1.253.587	373.778	1.370.738

Legenda colori

Linea filoviaria

Linea tranviaria

Come si può osservare il servizio tranviario assorbe oltre il **35% nell'arco dell'intera giornata** e del totale degli utenti che utilizzano le principali linee di TPL. Di seguito il riassunto sull'utilizzo dei servizi della Linea Verde del tram nello scenario di Progetto.

Tabella 9-3: Utilizzo della Linea Verde. Saliti, percorrenze e tempi di viaggio²¹

		Scenario di Riferimento	Scenario Progetto
Saliti	giorno ferial	---	30.226
	anno	---	8.765.666
Pax*km	giorno ferial	---	113.526
	anno	---	32.922.508
Percorrenza media (km)		---	3,75
Tempo medio a bordo (min)		---	9,5

Qui si evidenzia che la realizzazione della nuova linea tranviaria attrae una utenza di oltre 30.226 passeggeri giorno (+28%) rispetto alla domanda servita dalla sola linea Rossa.

²¹ Per l'espansione dal giorno medio ferial all'intero anno è stato utilizzato un coefficiente pari a 290

Analizzando la distribuzione dei carichi lungo tracciato si osserva che sulla linea Verde per Corticella SFM, il carico massimo si attesta a oltre 26.000 passeggeri/giorno. L'analoga analisi riferita alla fascia oraria di punta evidenzia che sulla Linea Verde il carico massimo si attesta poco al di sotto dei 1.800 pax/h, nei pressi di Piazza dell'Unità in direzione del centro città.

Infine, la distribuzione dei saliti e discesi nell'ora di punta sulla direzione di massimo carico presenta l'andamento riportato nella figura seguente.

Figura 9.1: Passeggeri saliti/discesi sui servizi attestati al Capolinea di Corticella. Direzione Sud (pax/h)

