

PIANO URBANO DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILE

Quadro conoscitivo

Allegato QC1

ALLEGATO QC1

Nota metodologica

INDICE

| | |
|--|----|
| INDICE | 5 |
| PREMESSA..... | 6 |
| 1 ZONIZZAZIONE | 7 |
| 2 MODELLO DI OFFERTA | 9 |
| 2.1 Costruzione del grafo..... | 9 |
| 2.2 Determinazione delle caratteristiche funzionali | 12 |
| 2.3 Servizi di trasporto pubblico..... | 16 |
| 2.4 Scenari di simulazione negli orizzonti temporali futuri..... | 18 |
| 2.5 Trasporto privato | 19 |
| 3 MODELLO DI DOMANDA..... | 22 |
| 3.1 Stima della domanda attuale | 22 |
| 3.2 Ricostruzione matrice dei veicoli per il trasporto merci da FCD..... | 23 |
| 3.3 Modello di ripartizione modale..... | 24 |
| 4 CALIBRAZIONE | 27 |
| 4.1 Ripartizione modale..... | 27 |
| 4.2 Trasporto Privato | 28 |
| 4.3 Trasporto Pubblico..... | 30 |
| 5 STIMA DELLA DIVERSIONE MODALE SU MOBILITÀ ATTIVA..... | 32 |
| 6 ASSEGNAZIONE | 33 |
| 7 STIMA DELLA DOMANDA GENERATA/ATTRATTA DA FICO..... | 41 |
| 8 POSIZIONAMENTO DELLE COLONNINE DI RICARICA ELETTRICA..... | 43 |
| 8.1 Ricarica Veloce | 43 |
| 8.2 Ricarica Lenta | 44 |

PREMESSA

Nel presente allegato è riportata la metodologia di costruzione e implementazione del modello di simulazione, utilizzato per stimare gli impatti delle azioni proposte dal PUMS, con l'obiettivo di valutarne gli effetti apportati limitatamente alle componenti di mobilità del trasporto privato e pubblico.

All'interno della trattazione sono descritte nel dettaglio le attività di suddivisione dell'area della Città metropolitana in zone di traffico (zonizzazione), la costruzione dei modelli di offerta di trasporto privato e pubblico, del modello di domanda (stima della matrici O/D e modello di ripartizione modale), la fase di calibrazione del modello allo stato attuale, gli interventi considerati in fase di implementazione dello Scenario di Riferimento e l'interazione tra le due componenti (modello di assegnazione).

Con riferimento ai soli orizzonti temporali futuri sono invece descritte le modalità di stima della domanda per il polo attrattore di FICO relativo allo scenario di riferimento, la procedura utilizzata per quantificare la diversione modale da auto privata a ciclabilità e pedonalità nello scenario progettuale e la metodologia utilizzata per ricavare l'ipotesi di posizionamento dei punti di ricarica per i veicoli elettrici.

Infine è fornita una breve descrizione della metodologia utilizzata per fornire un'ipotesi di posizionamento delle colonnine di ricarica elettrica di tipo "lento" e "fast charge".

1 ZONIZZAZIONE

Definita l'area di studio, coincidente con il territorio della città metropolitana, si è proceduto, come nella pratica comune di pianificazione dei trasporti, alla suddivisione della stessa in zone omogenee di generazione ed attrazione di traffico. Le zone interne sono state individuate a partire dalle modellizzazioni utilizzate per precedenti studi effettuati nell'area della città metropolitana.

All'interno di ogni comune il numero di zone risulta differente, in dipendenza delle caratteristiche di popolazione, insediamenti abitativi e viabilità, con l'obiettivo di raggiungere un giusto compromesso tra livello di dettaglio e oneri modellistici, in relazione alla grandezza del sistema oggetto di studio. In particolare i comuni interessati da una sub-zonizzazione sono:

- Bologna, suddiviso in 116 zone;
- Anzola dell'Emilia, suddiviso in 4 zone;
- Valsamoggia, suddiviso in 5 zone;
- Zola Predosa, suddiviso in 6 zone;
- Casalecchio di Reno, suddiviso in 7 zone;
- Sasso Marconi, suddiviso in 3 zone;
- Pianoro, suddiviso in 4 zone;
- San Lazzaro di Savena, suddiviso in 6 zone;
- Castenaso, suddiviso in 5 zone;
- Granarolo, suddiviso in 4 zone;
- Castel Maggiore, suddiviso in 6 zone;
- Calderara, suddiviso in 5 zone;
- Granaglione, suddiviso in 2 zone;
- Imola, suddiviso in 6 zone.

Per comprendere nel modello di trasporto anche gli spostamenti di scambio (sia interno-esterno che esterno-interno) e di attraversamento (esterno-esterno), sono state individuate delle zone cordonali, rappresentate come centroidi puntuali posti esternamente rispetto alla città metropolitana, collegati alla rete di trasporto simulata e coincidenti con i principali poli insediativi limitrofi al territorio provinciale.

Dall'implementazione del procedimento sopra descritto sono state ottenute 220 zone interne e 25 zone esterne, secondo la schematizzazione riportata nelle immagini in Figura 1 e Figura 2.

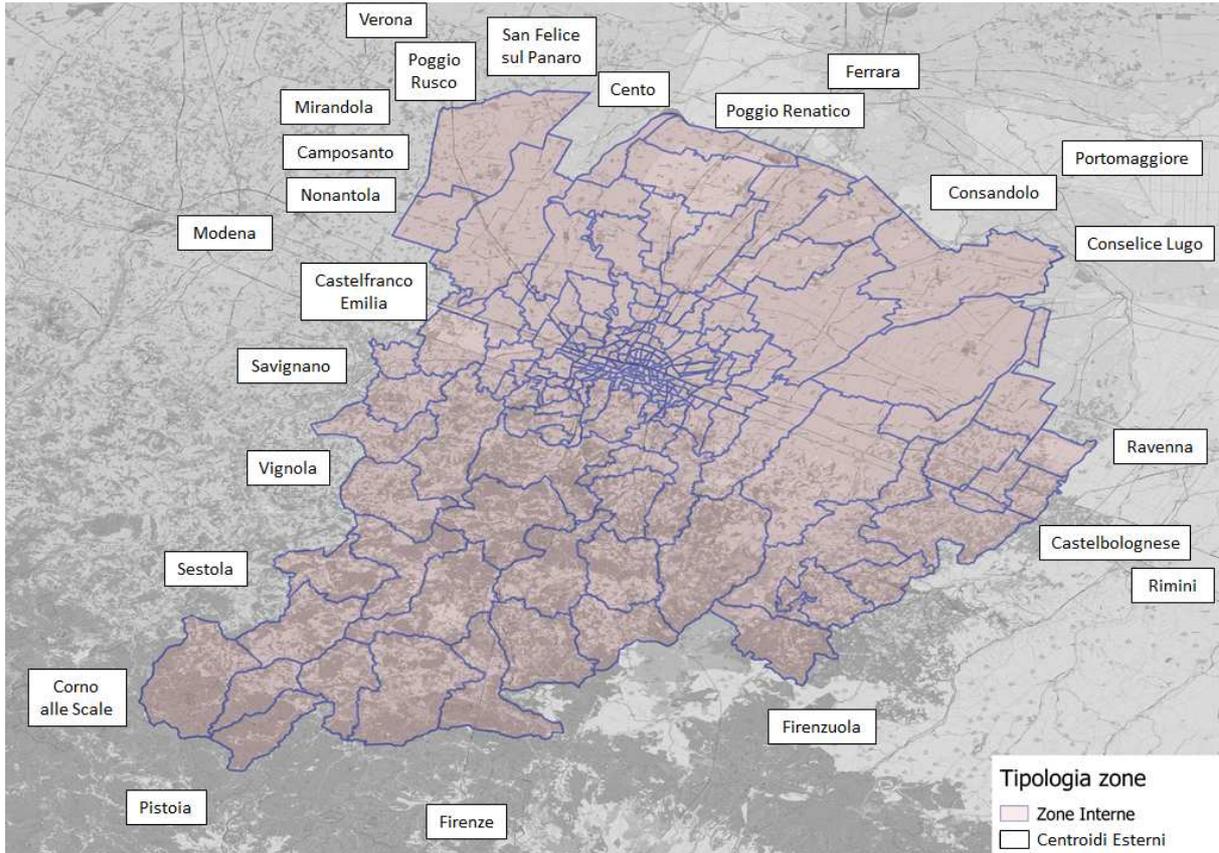


Figura 1 Zonizzazione dell'area di studio (inquadramento generale)



Figura 2 Zonizzazione dell'area di studio (dettaglio Bologna)

2 MODELLO DI OFFERTA

La costruzione del modello di offerta è articolata nei seguenti passi:

1. Costruzione del grafo;
2. Determinazione delle caratteristiche funzionali di ciascun arco della rete;
3. Importazione dei percorsi e degli orari relativi ai servizi di trasporto pubblico.

2.1 Costruzione del grafo

La costruzione di un grafo di trasporto richiede la definizione di nodi e archi. Un importante insieme di nodi è costituito dai centroidi che rappresentano l'inizio e il termine di uno spostamento di una zona e generalmente non corrispondono a luoghi fisici ma, per le zone interne, sono collocati in posizione baricentrica in funzione delle variabili socio-economiche considerate. I centroidi che rappresentano i punti in cui entrano ed escono gli spostamenti generati ed attratti dalle zone cordonali sono invece posti esternamente ai confini territoriali della città metropolitana, in adiacenza alle direttrici da cui presumibilmente possono provenire o dirigersi i relativi spostamenti. Gli altri nodi sono localizzati alle intersezioni tra tronchi stradali e ferroviari inclusi nel modello o in corrispondenza di variazioni significative delle caratteristiche geometriche e/o funzionali dell'arco.

Gli archi possono essere di due tipi: reali, quando rappresentano lo spostamento su un tronco stradale o ferroviario, e fittizi (connettori) che rappresentano lo spostamento dal centroide ad un elemento fisico della rete.

Il grafo utilizzato si basa anch'esso su informazioni reperite da studi precedentemente effettuati. La rete simulata si compone di 24.152 archi, di cui 23.920 stradali e 232 ferroviari, per uno sviluppo complessivo rispettivamente di 7.670 e 828 km di rete.

In Figura 3 e Figura 4 sono riportate le immagini del grafo relativo alla rete di trasporto simulata.

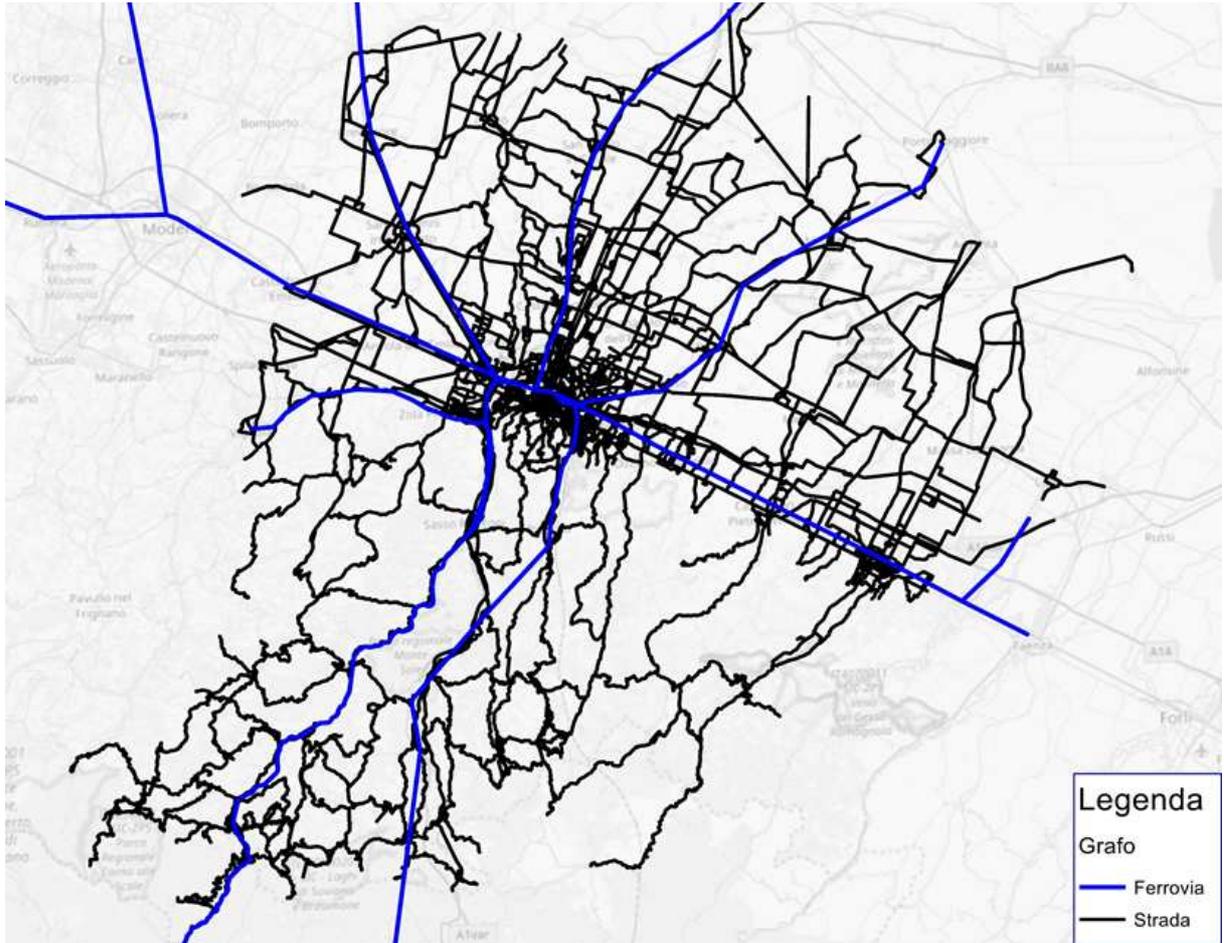


Figura 3 Grafo della rete di trasporto stradale e ferroviaria (inquadramento generale)



Figura 4 Grafo della rete di trasporto stradale e ferroviaria (dettaglio Bologna)

Il processo per l'inserimento dei connettori è stato di carattere iterativo e ha visto il suo compimento definitivo in fase di Calibrazione. Mentre per le connessioni del trasporto privato, di numero più limitato, è stata fatta un'ipotesi basata sulla localizzazione degli insediamenti abitativi presenti in ogni zona, per le connessioni relative al trasporto pubblico il processo ha richiesto un livello di analisi più approfondito. Per ogni zona sono state garantite le connessioni al servizio di trasporto pubblico su gomma con procedura simile a quella per la creazione delle connessioni del trasporto privato, mentre per le zone nell'area di influenza del sistema ferroviario, sono stati garantiti gli accessi alla rete in corrispondenza delle stazioni limitrofe alle stesse, con l'accorgimento di prevedere un costo di accesso in funzione della distanza da percorrere a piedi dai nuclei abitativi presenti.

L'implementazione della procedura ha prodotto come risultato un totale di 1.192 connettori, di cui 317 solo per il trasporto privato, 843 solo per il trasporto pubblico e 32 per entrambe le modalità.

Infine, per controllare la connessione del grafo è stata effettuata l'assegnazione di una matrice unitaria, verificando che fosse disponibile almeno un percorso tra tutte le origini e tutte le destinazioni dell'area.

2.2 Determinazione delle caratteristiche funzionali

Ad ogni arco che compone il grafo stradale sono state attribuite le informazioni relative alla classifica funzionale delle strade, categoria di forma geometrica, numero di corsie e limite di velocità.

Sulla base della sezione tipologica, geometria e tipologia di intersezioni, ad ogni arco è stata quindi attribuita una classe funzionale. Per ogni classe funzionale sono stati definiti diversi tipi di arco ai quali sono state attribuite caratteristiche di capacità e velocità a flusso nullo differenti.

Sono state individuate otto macro-classi funzionali, di cui quattro per le strade extraurbane (autostrada, primaria, secondaria, locale) e quattro per le strade urbane (scorrimento, interquartiere, di quartiere o locali). In Figura 5 e Figura 6 è fornita una rappresentazione grafica della rete che evidenzia l'appartenenza degli archi alle diverse classi funzionali, mentre in Tabella 1 si riportano, per i diversi tipi di arco considerati, le caratteristiche di lunghezza complessiva all'interno della rete, numero di corsie, capacità giornaliera e velocità a flusso nullo.

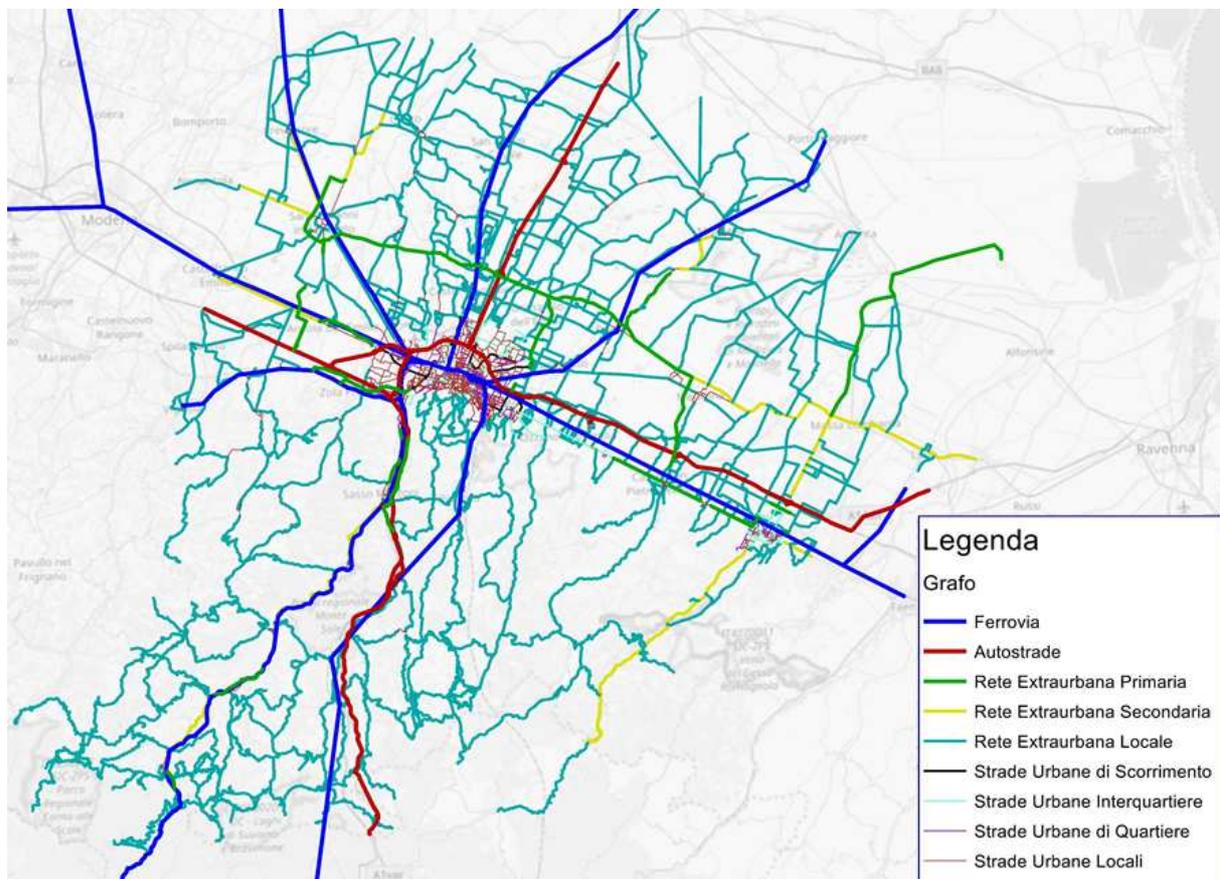


Figura 5 Classificazione funzionale degli archi della rete (inquadramento generale)

Complessivamente all'interno della rete sono presenti:

- 306 archi autostradali, per una lunghezza complessiva di 379 km;
- 525 archi di rete extraurbana primaria, per una lunghezza complessiva di 340 km;
- 736 archi di rete extraurbana secondaria, per una lunghezza complessiva di 303 km;
- 13.457 archi di rete extraurbana locale, per una lunghezza complessiva di 5.200 km;

- 595 archi di rete urbana di scorrimento, per una lunghezza complessiva di 149 km;
- 1.327 archi di rete extraurbana locale, per una lunghezza complessiva di 219 km;
- 1.655 archi di rete extraurbana locale, per una lunghezza complessiva di 199 km;
- 5.319 archi di rete extraurbana locale, per una lunghezza complessiva di 881 km;

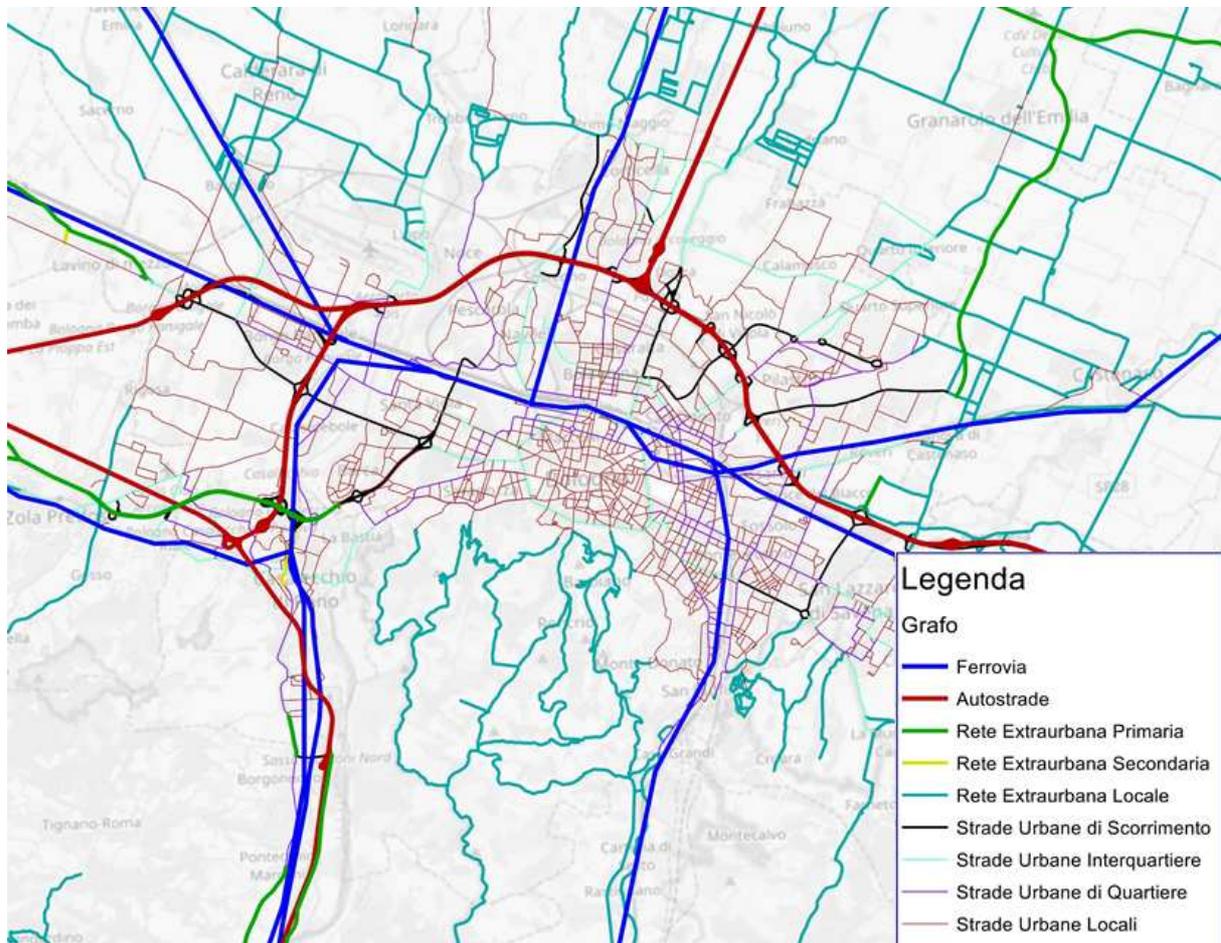


Figura 6 Classificazione funzionale degli archi della rete (dettaglio Bologna)

Tabella 1 Caratteristiche funzionali degli archi del grafo stradale

| MACROTIPO | NUMERO TIPO | LUNGHEZZA [KM] | NUMERO DI CORSIE | CAPACITÀ [VEH/GIORNO] | VELOCITÀ [KM/H] |
|------------|-------------|----------------|------------------|-----------------------|-----------------|
| AUTOSTRADA | 11 | 25,446 | 4 | 120.000 | 130 |
| AUTOSTRADA | 12 | 150,285 | 3 | 90.000 | 130 |
| AUTOSTRADA | 13 | 29,506 | 3 | 80.000 | 110 |
| AUTOSTRADA | 14 | 86,515 | 2 | 66.000 | 130 |
| AUTOSTRADA | 15 | 52,365 | 2 | 60.000 | 110 |
| AUTOSTRADA | 16 | 1,135 | 1 | 45.000 | 110 |

| | | | | | |
|-------------------------------|----|----------|---|--------|----|
| AUTOSTRADA | 17 | 0,615 | 1 | 30.000 | 90 |
| AUTOSTRADA | 18 | 5,523 | 1 | 25.000 | 70 |
| AUTOSTRADA | 19 | 27,845 | 1 | 20.000 | 40 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 21 | 19,275 | 2 | 55.000 | 90 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 22 | 1,416 | 2 | 50.000 | 70 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 23 | 32,859 | 1 | 28.000 | 90 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 24 | 59,154 | 1 | 27.000 | 70 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 25 | 18,868 | 1 | 25.000 | 70 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 26 | 196,309 | 1 | 24.000 | 70 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 27 | 4,158 | 1 | 22.000 | 60 |
| EXTRAURBANA PRIMARIA | 29 | 8,189 | 1 | 20.000 | 40 |
| EXTRAURBANA SECONDARIA | 31 | 2,513 | 2 | 44.000 | 70 |
| EXTRAURBANA SECONDARIA | 32 | 241,534 | 1 | 22.000 | 60 |
| EXTRAURBANA SECONDARIA | 33 | 58,618 | 1 | 20.000 | 50 |
| EXTRAURBANA SECONDARIA | 39 | 0,164 | 1 | 13.000 | 30 |
| EXTRAURBANA LOCALE | 41 | 380,448 | 1 | 22.000 | 70 |
| EXTRAURBANA LOCALE | 42 | 1204,945 | 1 | 20.000 | 60 |
| EXTRAURBANA LOCALE | 43 | 1632,541 | 1 | 18.000 | 50 |
| EXTRAURBANA LOCALE | 44 | 1981,531 | 1 | 16.000 | 40 |
| URBANA DI SCORRIMENTO | 63 | 49,654 | 2 | 64.000 | 90 |
| URBANA DI SCORRIMENTO | 64 | 5,665 | 2 | 60.000 | 70 |
| URBANA DI SCORRIMENTO | 65 | 41,618 | 2 | 45.000 | 60 |
| URBANA DI SCORRIMENTO | 66 | 10,745 | 2 | 40.000 | 50 |
| URBANA DI SCORRIMENTO | 68 | 5,278 | 2 | 38.000 | 40 |
| URBANA DI SCORRIMENTO | 69 | 36,116 | 1 | 20.000 | 40 |
| URBANA INTERQUARTIERE | 71 | 19,748 | 3 | 48.000 | 40 |
| URBANA INTERQUARTIERE | 72 | 11,802 | 2 | 32.000 | 40 |
| URBANA INTERQUARTIERE | 73 | 39,749 | 2 | 28.000 | 40 |
| URBANA INTERQUARTIERE | 74 | 23,760 | 1 | 16.000 | 40 |
| URBANA INTERQUARTIERE | 75 | 88,355 | 1 | 14.000 | 40 |

| | | | | | |
|-----------------------|----|---------|---|--------|----|
| URBANA INTERQUARTIERE | 76 | 35,208 | 1 | 12.500 | 40 |
| URBANA INTERQUARTIERE | 79 | 0,526 | 2 | 22.000 | 40 |
| URBANA DI QUARTIERE | 81 | 41,011 | 2 | 30.000 | 40 |
| URBANA DI QUARTIERE | 82 | 8,501 | 2 | 27.000 | 35 |
| URBANA DI QUARTIERE | 83 | 76,107 | 1 | 12.000 | 35 |
| URBANA DI QUARTIERE | 84 | 63,403 | 1 | 10.500 | 35 |
| URBANA DI QUARTIERE | 85 | 8,658 | 1 | 9.500 | 35 |
| URBANA DI QUARTIERE | 86 | 0,997 | 1 | 9.000 | 35 |
| URBANA LOCALE | 91 | 2,776 | 2 | 22.000 | 30 |
| URBANA LOCALE | 92 | 17,107 | 1 | 10.000 | 30 |
| URBANA LOCALE | 93 | 302,497 | 1 | 9.000 | 30 |
| URBANA LOCALE | 94 | 483,281 | 1 | 8.000 | 30 |
| URBANA LOCALE | 97 | 5,635 | 1 | 7.000 | 25 |
| URBANA LOCALE | 98 | 42,467 | 1 | 6.000 | 25 |
| URBANA LOCALE | 99 | 28,011 | 1 | 5.000 | 25 |

Ad ogni tipologia di classe funzionale è stata infine assegnata una funzione di costo (del tipo BPR) che esprime la variazione dei tempi di percorrenza, in funzione del flusso transitante sull'arco. La funzione, i cui parametri cambiano in funzione della tipologia di arco, ha la seguente forma:

$$T_{perc} = T_0 * (1 + a * sat^b)$$

dove:

- T_{perc} : tempo di percorrenza dell'arco per un determinato valore di flusso;
- T_0 : tempo di percorrenza a flusso nullo;
- sat : grado di saturazione, inteso come rapporto tra flusso e capacità.
- a e b parametri variabili in funzione della tipologia di arco.

La Tabella 2 identifica per ogni tipologia di arco il numero della funzione BPR utilizzata (il numero sulla riga rappresenta la decina del tipo di arco, quello sulla colonna l'unità), mentre nella Tabella 3 sono riportati i valori dei parametri a e b .

Tabella 2 Funzioni BPR per tipologia di arco

| Decine/unità del tipo di arco | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 11 | 11 | 13 | 13 | 15 | 15 | 17 | 18 | 19 |
| 2 | 15 | 18 | 15 | 17 | 15 | 18 | 18 | 18 | 19 |

| | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | 15 | 17 | 18 | 15 | 17 | 18 | 37 | 37 | 37 |
| 4 | 15 | 17 | 18 | 18 | 37 | 17 | 37 | 48 | 48 |
| 5 | 17 | 18 | 37 | 37 | 37 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| 6 | 13 | 13 | 15 | 13 | 15 | 17 | 17 | 19 | 19 |
| 7 | 71 | 17 | 71 | 71 | 75 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 8 | 71 | 75 | 75 | 19 | 19 | 19 | 19 | 88 | 88 |
| 9 | 91 | 92 | 92 | 94 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |

Tabella 3 Valori dei parametri a e b delle utilizzate nelle BPR

| Numero funzione BPR | a | b |
|---------------------|-----|-----|
| 11 | 4 | 9 |
| 13 | 4 | 8 |
| 15 | 4 | 7 |
| 17 | 4 | 6 |
| 18 | 4 | 5 |
| 19 | 3 | 3 |
| 37 | 4 | 4,5 |
| 48 | 3,5 | 3,5 |
| 71 | 3,5 | 5 |
| 75 | 3,5 | 4 |
| 88 | 3 | 2,5 |
| 91 | 2,5 | 4 |
| 92 | 2,5 | 3 |
| 94 | 2 | 2 |
| 95 | 2 | 1,5 |

2.3 Servizi di trasporto pubblico

L'offerta di trasporto pubblico, ossia l'insieme di percorsi, fermate e orari di passaggio alle stesse, sono stati importati nel modello di simulazione a partire dal database dei GTFS (General Transit Feed Specification).

I GTFS definiscono un formato comune per i percorsi, gli orari e le relative informazioni geografiche dei servizi di trasporto pubblico. Tramite l'importazione dei database in formato CSV è possibile ricostruire e implementare sulla rete il modello di offerta di trasporto pubblico con tutte le caratteristiche di interesse per il modello di simulazione.

A seguito dell'importazione, nel giorno feriale medio, risultano presenti 192 linee di trasporto pubblico, di cui 181 su gomma e 11 su ferro, per un totale di circa 4.000 e 250 coppie di corse rispettivamente.

Nelle immagini in Figura 7 e Figura 8 sono rappresentati esclusivamente i 18.642 archi della rete su cui transitano i servizi di trasporto pubblico.

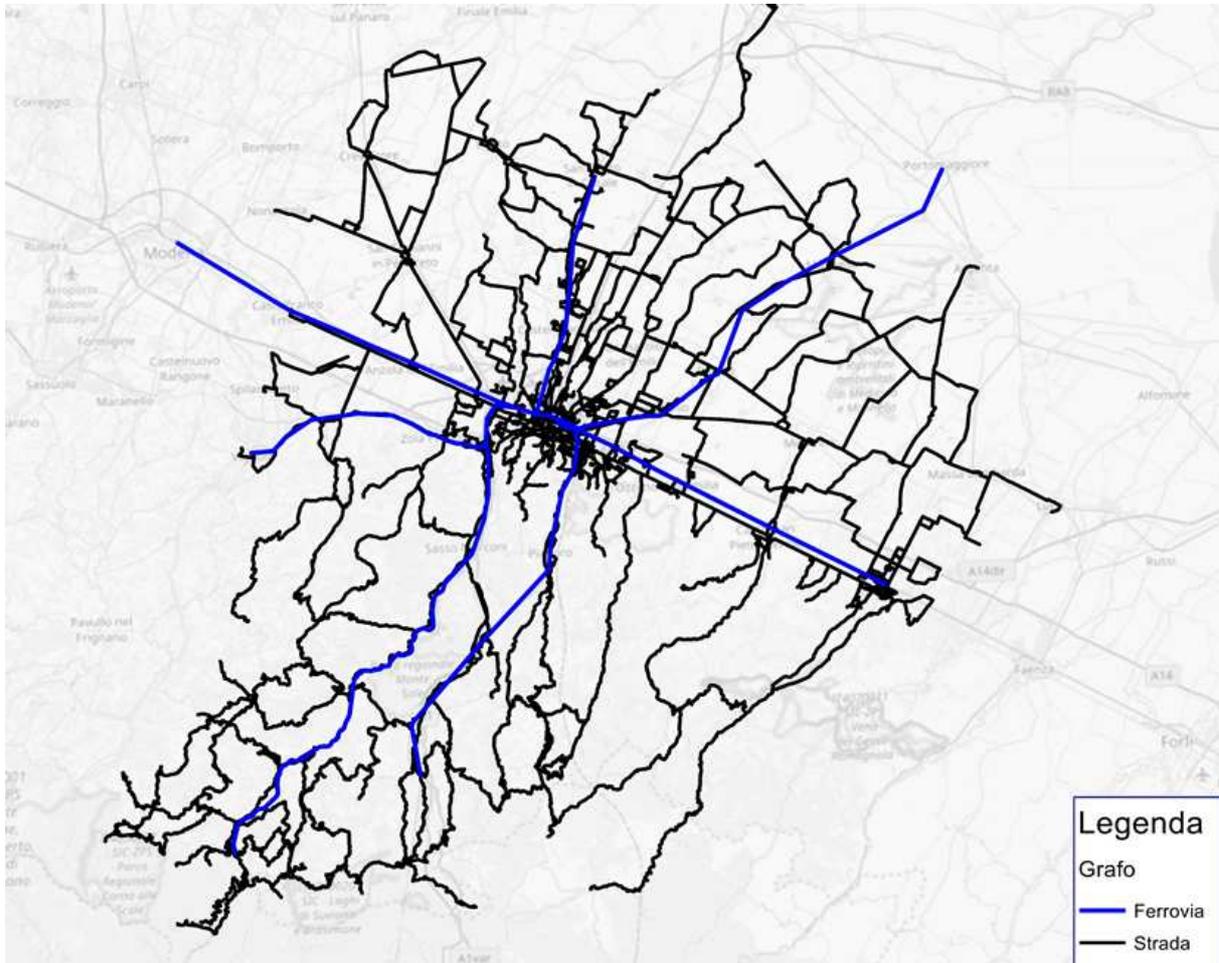


Figura 7 Grafo della rete interessata dai servizi di trasporto pubblico (inquadramento generale)

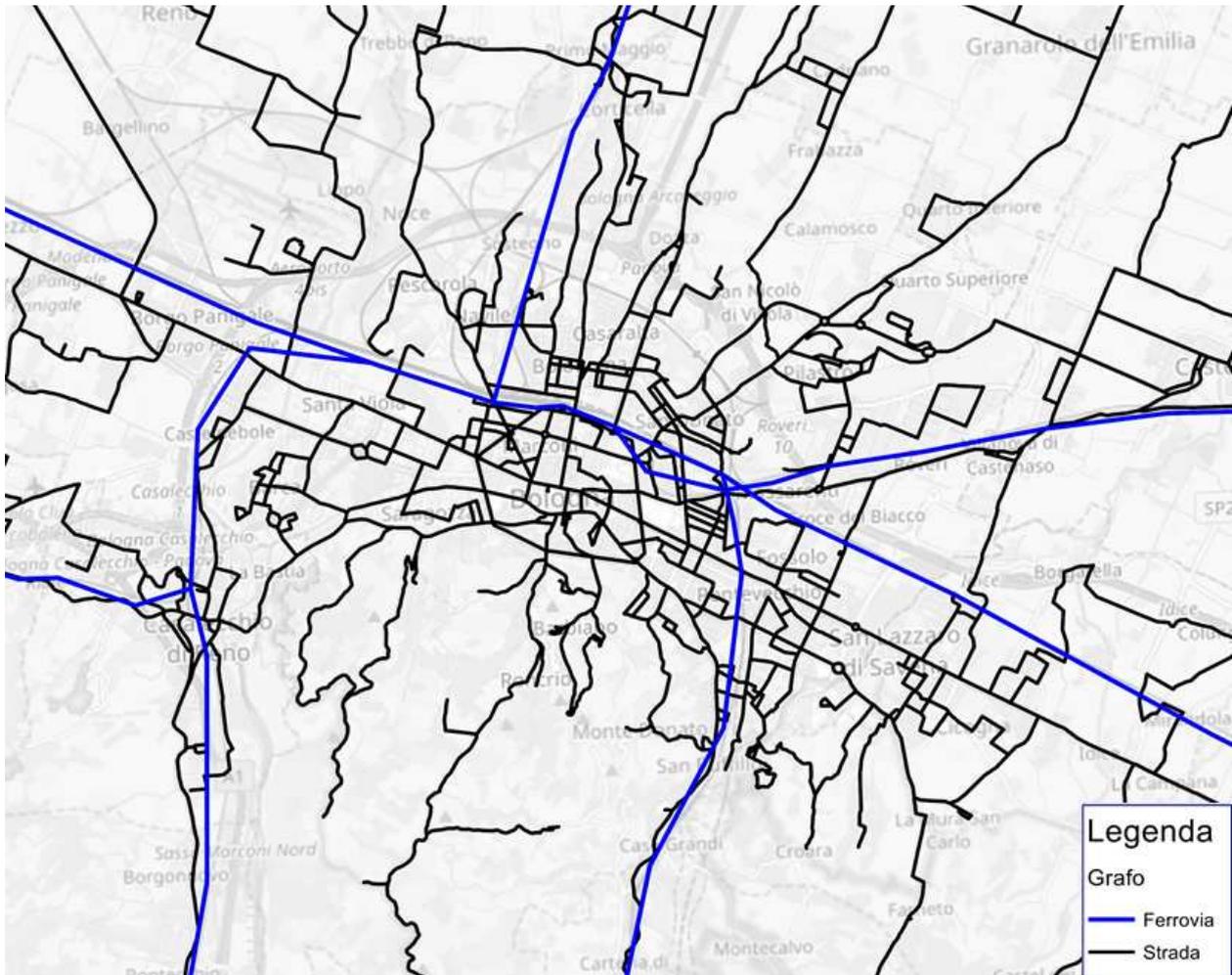


Figura 8 Grafo della rete interessata dai servizi di trasporto pubblico (dettaglio Bologna)

2.4 Scenari di simulazione negli orizzonti temporali futuri

La descrizione delle caratteristiche dell'offerta dettagliata nei precedenti paragrafi fa riferimento alla configurazione dello stato attuale; per lo scenario di progetto - definito Scenario PUMS (2030) - si rimanda alla "Relazione del Piano" (Parte A – Mobilità delle persone). Per brevità di trattazione, nel presente paragrafo, sono descritte sinteticamente le modifiche implementate sull'offerta di trasporto pubblico e privato relative allo scenario di riferimento (a livello di domanda i cambiamenti derivano dall'applicazione del modello di ripartizione modale e della stima dello shift di mobilità attiva descritti nel seguito della trattazione).

2.5 Trasporto privato

Le modifiche implementate nello scenario di riferimento relative all'offerta di trasporto privato, differenziate per tipologia di viabilità interessata sono riassunte nella Tabella 4, mentre nella Tabella 4 Interventi dello scenario di riferimento relativi all'offerta di trasporto privato, sono riportati gli interventi implementati sull'offerta di trasporto pubblico, suddivisi tra sistema ferroviario e sistema di trasporto su gomma.

Tabella 4 Interventi dello scenario di riferimento relativi all'offerta di trasporto privato

| Intervento | Tipologia di viabilità |
|---|--------------------------|
| Potenziamento del semianello tangenziale/autostradale di Bologna | Autostradale/Tangenziale |
| Svincolo tangenziale 4 e 4bis: dismissione di una delle rampe di uscita dalla tangenziale (sia lato Nord che Sud) e conseguente raddoppio delle altre rampe di uscita/ingresso | Autostradale/Tangenziale |
| Svincolo Lame: raddoppio della rampa di uscita Nord | Autostradale/Tangenziale |
| Svincolo Roveri: dismissione rampa esistente e realizzazione nuova rampa | Autostradale/Tangenziale |
| Svincoli S. Vitale e S. Lazzaro: raddoppio delle rampe in uscita | Autostradale/Tangenziale |
| Realizzazione di complanari est/ovest del ramo di A13 tra diramazione A14 e svincolo Bologna-Arcoveggio con svincolo di comunicazione con Via Aposazza | Autostradale/Tangenziale |
| Realizzazione complanare Nord dell'A14 tra Ponte Rizzoli e Bologna-S. Lazzaro con realizzazione di svincoli di collegamento alla viabilità secondaria | Autostradale/Tangenziale |
| Realizzazione della 3 corsia sull'A13 tra Bologna-Arcoveggio e Ferrara Sud | Autostradale/Tangenziale |
| Realizzazione della 4 corsia sulla A14 tra svincolo Idice della complanare Sud e diramazione per Ravenna | Autostradale/Tangenziale |
| Completamento della Nuova Bazzanese tra Bazzano e Via Lunga con realizzazione degli svincoli di collegamento con la viabilità secondaria | Viabilità extraurbana |
| Realizzazione di un collegamento tra la via Porrettana tra uscita autostradale Cantagallo e Raccordo autostrada/tangenziale in corrispondenza della stazione ferroviaria Casalecchio-Garibaldi | Viabilità extraurbana |
| Completamento dell'asse di collegamento tra Osteria Nuova e Trebbo di Reno | Viabilità extraurbana |
| Realizzazione di un collegamento tra le aree ad est e ad ovest del fascio ferroviario tra le stazioni di Rastignano e Bologna S. Ruffillo | Viabilità extraurbana |
| Realizzazione di uno svincolo di collegamento tra SP 253 e la zona di Ca'dell'Orbo | Viabilità extraurbana |
| Realizzazione di uno svincolo e di una rotonda 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 | Viabilità extraurbana |
| Realizzazione di alcuni rami infrastrutturali tangenziali all'abitato di Imola atti a garantire il bypass da parte dei flussi di attraversamento | Viabilità extraurbana |
| 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 | Viabilità extraurbana |
| Realizzazione di un collegamento in direzione Nord-Sud tra la San Vitale e via dell'Industria | Viabilità urbana |
| Realizzazione di 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 | Viabilità urbana |

Tabella 5 Interventi dello scenario di riferimento relativi all'offerta di trasporto pubblico

| Intervento | Ferro/Gomma |
|---|--------------------|
| Realizzazione delle fermate SFM di Prati di Caprara e Zanardi | Ferro |
| Completamento delle fermate SFM Borgo Panigale Scala e S.Vitale-Rimesse | Ferro |
| Realizzazione del collegamento stazione-aeroporto con People Mover | Ferro |
| Progetto PIMBO: filoviarizzazione delle linee portanti del TPL di Bologna | Gomma |
| Realizzazione del progetto Crealis | Gomma |

3 MODELLO DI DOMANDA

La costruzione del modello di domanda di trasporto è articolata nei seguenti passi:

1. Stima della domanda attuale per modalità di trasporto;
2. Costruzione del modello di ripartizione modale tra auto e trasporto pubblico

La seconda fase si è resa imprescindibile, vista la necessità di valutare gli effetti degli interventi sulle reti di trasporto pubblico e privato riguardanti la scelta della modalità di trasporto per effettuare gli spostamenti. Si ricorda che per ipotesi la domanda totale è stata ritenuta invariante negli orizzonti temporali di riferimento delle simulazioni.

3.1 Stima della domanda attuale

La domanda di trasporto simulata nel modello sotto forma di matrici Origine/Destinazione (di seguito matrici O/D) relative alle auto e al trasporto pubblico è stata ricostruita a partire dall'indagine conoscitiva, attraverso cui sono stati calcolati gli spostamenti dei residenti nella città metropolitana.

Per stimare invece la quota di spostamenti prodotta dai non residenti è stato utilizzato il seguente approccio:

- Sono stati identificati i gate di accesso (spostamenti di scambio da matrice RER auto e ferro) e i principali poli attrattori presenti all'interno del territorio metropolitano (alta velocità, aeroporto, autostazione, fiera, università e ospedali);
- Sono stati stimati, sulla base dei dati a disposizione, gli spostamenti di scambio tra città metropolitana ed esterno;
- Limitatamente ai poli attrattori sono stati ipotizzati gli spostamenti indotti (spostamenti accessori effettuati dai City Users non residenti all'interno della città metropolitana).

Dalle analisi prodotte la domanda giornaliera che influenza il modello (escludendo quindi gli spostamenti intrazonali) è pari a 1.258.944 spostamenti effettuati su auto privata e 353.620 su trasporto pubblico. Nella Tabella 6 e Tabella 7 sono riportate le matrici O/D per macroarea relative alle modalità auto e trasporto pubblico (si rimanda per la definizione delle macroaree al relativo paragrafo del quadro conoscitivo), dato di input per la calibrazione del modello di ripartizione modale.

Tabella 6 Matrice O/D auto per macroaree

| Macroarea | Bologna | Cintura | Collina-Montagna | Imolese | Pianura | Esterno | Totale |
|----------------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|----------------|
| Bologna | 350.098 | 76.244 | 16.546 | 15.693 | 39.046 | 27.740 | 525.368 |

| | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|------------------|
| Cintura | 76.563 | 160.100 | 11.697 | 3.951 | 20.475 | 9.958 | 282.744 |
| Collina-Montagna | 16.324 | 12.262 | 24.712 | 468 | 3.070 | 7.142 | 63.978 |
| Imolese | 15.462 | 4.338 | 378 | 127.703 | 5.934 | 14.174 | 167.988 |
| Pianura | 38.853 | 19.571 | 3.070 | 6.105 | 42.166 | 24.753 | 134.517 |
| Esterno | 27.344 | 10.025 | 7.238 | 14.503 | 24.657 | 581 | 84.348 |
| Totale | 524.644 | 282.540 | 63.640 | 168.423 | 135.349 | 84.348 | 1.258.944 |

Tabella 7 Matrice O/D trasporto pubblico per macroaree

| Macroarea | Bologna | Cintura | Collina-Montagna | Imolese | Pianura | Esterno | Totale |
|-------------------------|----------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Bologna | 193.949 | 16.579 | 6.037 | 5.994 | 13.725 | 17.701 | 253.985 |
| Cintura | 16.579 | 8.441 | 934 | 301 | 1.722 | 2.153 | 30.130 |
| Collina-Montagna | 6.037 | 934 | 1.993 | 0 | 145 | 734 | 9.844 |
| Imolese | 5.994 | 301 | 0 | 6.047 | 91 | 1.469 | 13.902 |
| Pianura | 13.725 | 1.722 | 145 | 91 | 2.211 | 2.904 | 20.797 |
| Esterno | 17.701 | 2.153 | 734 | 1.469 | 2.904 | 0 | 24.961 |
| Totale | 253.985 | 30.130 | 9.844 | 13.902 | 20.797 | 24.961 | 353.620 |

La domanda dei veicoli per il trasporto delle merci è stata invece stimata a partire dall'elaborazione dei dati Floating Car Data (FCD) relativi alle suddette categorie veicolari. Tale domanda è stata poi successivamente corretta in fase di calibrazione utilizzando i conteggi di traffico.

3.2 Ricostruzione matrice dei veicoli per il trasporto merci da FCD

Nell'approccio classico della pianificazione dei trasporti si è solito stimare la domanda di spostamento dalle caratteristiche socio-economiche dell'area in esame, quali ad esempio popolazione, tasso di motorizzazione, addetti ecc., unite alle indagini effettuate tramite interviste all'utenza. L'approccio proposto per la stima della domanda dei veicoli adibiti al trasporto delle merci utilizza, invece, i dati delle posizioni dei veicoli dotati di scatola nera, detti FCD (Floating Car Data). Tali dati, nati in realtà per fini assicurativi, si rivelano uno strumento molto utile per la costruzione di matrici Origine/Destinazione.

I vantaggi della metodologia riguardano principalmente l'utilizzo di un dato rilevato anziché derivato da stime, la possibilità di avere un monitoraggio per un periodo di tempo più esteso (nel caso in esame un mese), che sarebbe complicato e decisamente troppo oneroso economicamente ottenere tramite interviste, nonché un'attendibilità statistica migliore.

Dalle elaborazioni effettuate, nel giorno feriale medio, si registrano 132.522 e 55.555 spostamenti rispettivamente per i veicoli commerciali leggeri e per i mezzi pesanti.

3.3 Modello di ripartizione modale

Per stimare lo shift ottenibile negli scenari simulati tra le modalità auto privata, trasporto pubblico e la modalità mista del Park&Ride è stato definito, calibrato e validato un modello di ripartizione modale. 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 alcuni parametri, moltiplicati per dei coefficienti (α) che ne indicano il peso percepito dall'utenza.

Per la definizione della forma delle funzioni di utilità sono stati scelti alcuni parametri relativi alle due modalità di trasporto. In particolare per la funzione relativa all'auto privata, per ogni relazione O/D, sono stati estrapolati:

- I tempi di percorrenza (T_{auto});
- Il costo del parcheggio nella zona di destinazione ($Costo_{park}$);
- Un attributo specifico per tale modalità (X_{auto}).

Per la modalità trasporto pubblico i parametri utilizzati sono stati i seguenti:

- Tempo di accesso (T_{acc});
- Tempo di attesa alla fermata di origine; ($T_{att\ orig}$)
- Tempo a bordo (T_b);
- Tempo a piedi (T_p);
- Tempo di attesa ai trasbordi ($T_{att\ trasb}$);
- Tempo di egresso (T_{egr});
- Costo del biglietto ($Costo_{tp}$).

Le funzioni di utilità (U) assumono quindi le seguenti forme:

- $U_{Auto} = T_{auto} * \alpha T_{auto} + Costo_{park} * \alpha Costo_{park} + X_{auto} * \alpha X_{auto}$
- $U_{TP} = T_{acc} * \alpha T_{acc} + T_{att\ orig} * \alpha T_{att\ orig} + T_b * \alpha T_b + T_p * \alpha T_p + T_{att\ trasb} * \alpha T_{att\ trasb} + T_{egr} * \alpha T_{egr} + Costo_{tp} * \alpha Costo_{tp}$

I valori dei parametri sono stati, dove possibile (tempi), calcolati dal modello di simulazione, mentre per i restanti attributi sono stati reperiti i dati necessari sul web (sito TPER per costo biglietto, siti comunali per tariffazione sosta ecc.).

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:

$$p = \frac{e^{\frac{V_j^q}{\theta}}}{\sum_{i=1}^m e^{\frac{V_i^q}{\theta}}}$$

ossia la probabilità della generica alternativa j è determinata dal rapporto tra il numero di Nepero elevato all'utilità di tale alternativa 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. Sono stati escluse dal calcolo le quote di spostamenti intrazonali, vista l'impossibilità di stimare a livello modellistico i valori degli attributi nella funzione di utilità. I coefficienti ottenuti sono riportati nella Tabella 8, mentre i risultati del processo di calibrazione del modello sono descritti nel relativo paragrafo.

Tabella 8 Valori dei coefficienti stimati dal modello di ripartizione modale

| Modalità di trasporto | Relativo attributo | Valore |
|-----------------------|--------------------|--------|
| Auto | T auto | -0,5 |
| Auto | Costo park | -1,8 |
| Auto | X Auto | -2,1 |
| Trasporto pubblico | T att orig | -2,1 |
| Trasporto pubblico | T acc | -4,4 |
| Trasporto pubblico | T p | -0,1 |
| Trasporto pubblico | T att trasb | -0,1 |
| Trasporto pubblico | T b | -0,1 |
| Trasporto pubblico | T egr | -2,5 |
| Trasporto pubblico | Costo tp | -0,1 |
| Trasporto pubblico | Θ | -5 |

Sostituendo quindi i valori degli attributi degli scenari di previsione è possibile ottenere le relative quote di spostamenti su auto privata e trasporto pubblico per tali orizzonti temporali.

Analogamente, la matrice di utenza che effettua Park&Ride è stata ottenuta ricavando le probabilità di scelta dell'utenza di giungere direttamente a destinazione utilizzando l'auto, oppure di lasciare l'auto in uno dei parcheggi dedicati a tale modalità e raggiungere la destinazione finale dello spostamento tramite le linee di trasporto pubblico su gomma. Tale scelta è stata simulata esclusivamente per gli utenti diretti a Bologna. Per calcolare l'utilità dell'alternativa Park&Ride è stata utilizzata una funzione "mista", ossia è stata calcolata la somma dell'utilità legata all'auto per la parte di spostamento

che termina nel parcheggio di interscambio, mentre per la restante tratta è stata utilizzata quella relativa al trasporto pubblico.

La ripartizione modale tra trasporto privato e trasporto pubblico ottenuta dall'applicazione del modello, negli scenari di simulazione è riportata nel grafico in Figura 9.

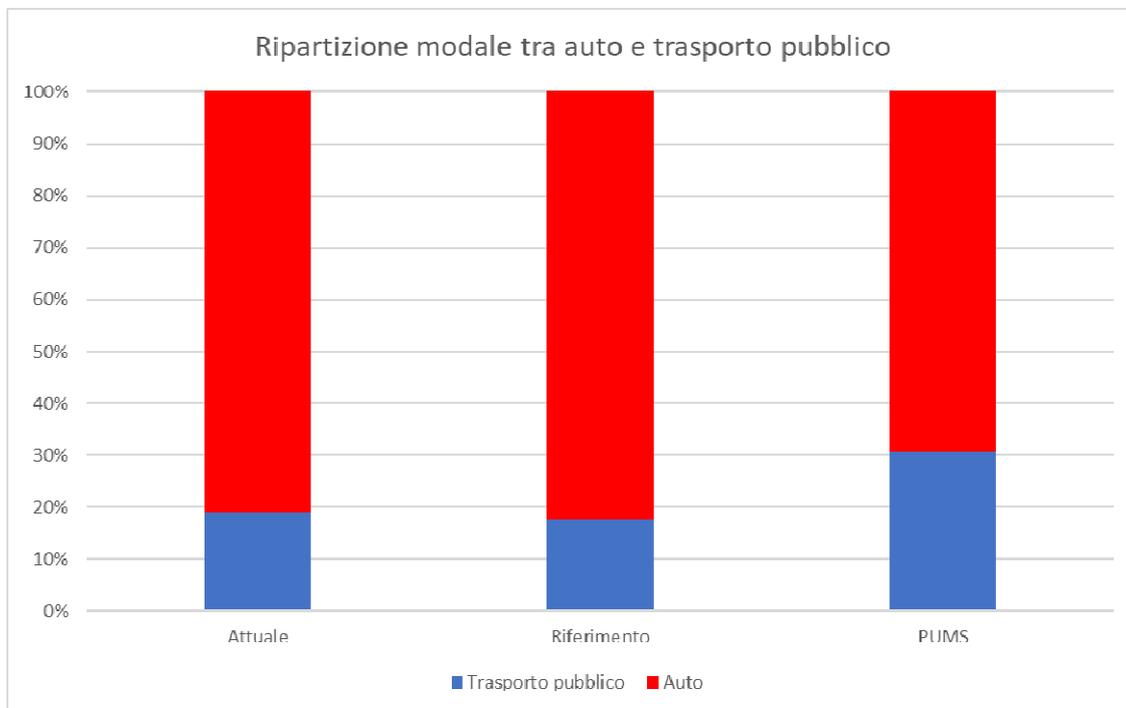


Figura 9 Ripartizione modale tra auto e trasporto pubblico negli scenari di simulazione

4 CALIBRAZIONE

I modelli di offerta di trasporto (privato e pubblico) e il modello di ripartizione modale sono stati oggetto di una fase di calibrazione affinché fossero in grado di riprodurre le condizioni osservate nella realtà ed essere quindi ritenuti affidabili per la valutazione degli scenari progettuali. Un modello è considerato ben calibrato quando c'è una buona corrispondenza, valutata attraverso indicatori statistici, tra le grandezze stimate e quelle effettivamente rilevate nelle campagne di indagine. In particolare, nella fase di calibrazione, è stato effettuato un processo iterativo di modifica delle caratteristiche della rete, delle funzioni di deflusso e delle connessioni presenti nel modello di simulazione. Si rammenta che i valori dei flussi simulati sono stati ottenuti tramite l'assegnazione delle matrici O/D nel modello di simulazione, le cui specifiche sono descritte nel relativo paragrafo.

4.1 Ripartizione modale

Per la calibrazione del modello di ripartizione modale sono state messe a confronto, per relazione O/D e modalità di trasporto, le matrici ottenute dalla stima effettuata tramite indagine e quelle derivanti dall'applicazione del modello di ripartizione modale, per un totale complessivo di 36 dati di confronto per ognuna delle due modalità di trasporto. I grafici in Figura 10 e Figura 11 riportano i risultati ottenuti.

Come si può osservare il modello di ripartizione modale replica fedelmente le matrici ottenute dall'elaborazione dell'indagine finalizzata alla stima delle matrici O/D, difatti sia il coefficiente angolare della retta di regressione sia il coefficiente di correlazione R^2 risultano prossimi all'unità.

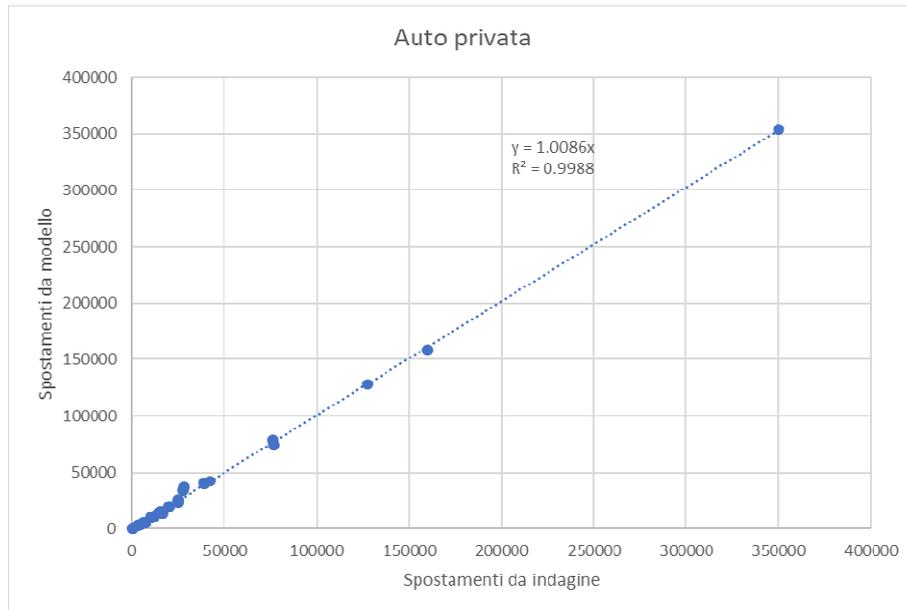


Figura 10 Corrispondenza tra spostamenti da modello di ripartizione modale e matrice O/D da indagine (auto privata)

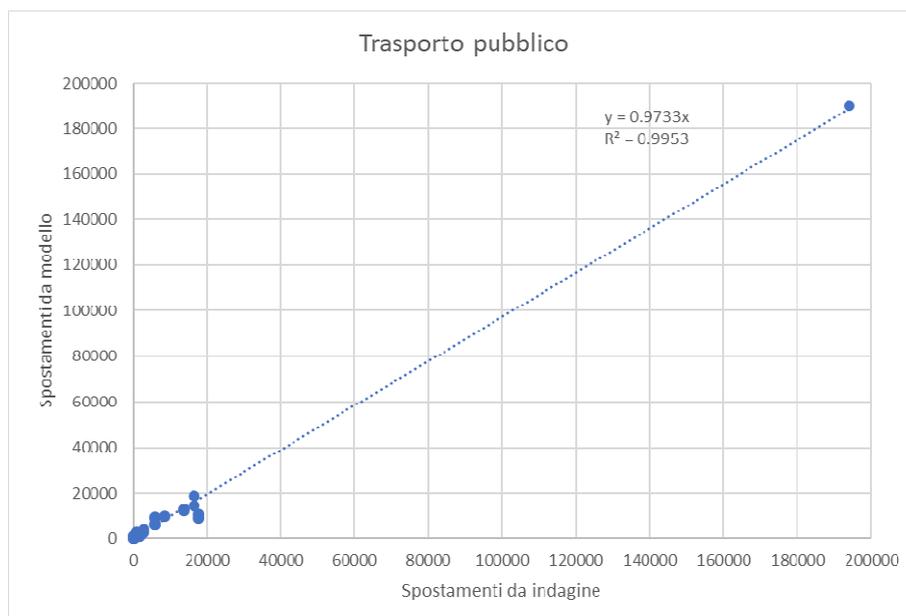


Figura 11 Corrispondenza tra spostamenti da modello di ripartizione modale e matrice O/D da indagine (trasporto pubblico)

4.2 Trasporto Privato

Per quanto riguarda il trasporto privato (auto, veicoli commerciali leggeri e mezzi pesanti) il modello di offerta è stato calibrato osservando la corrispondenza tra i flussi ottenuti dall'applicazione del modello di simulazione e quelli conteggiati nelle campagne di indagine condotte. In particolare, per la modalità di trasporto su auto privata sono stati utilizzati i flussi giornalieri conteggiati in corrispondenza di 43 sezioni di rilievo bidirezionali, per un totale di 86 dati di confronto, mentre per i veicoli adibiti al trasporto merci

sono state utilizzate 98 sezioni bidirezionali (comprehensive anche delle postazioni ZTL), per un totale di 392 dati di confronto (per ogni sezione sono stati confrontati sia i flussi dei veicoli commerciali leggeri che quelli dei mezzi pesanti). I risultati sono riportati graficamente nelle immagini in Figura 12 e Figura 13.

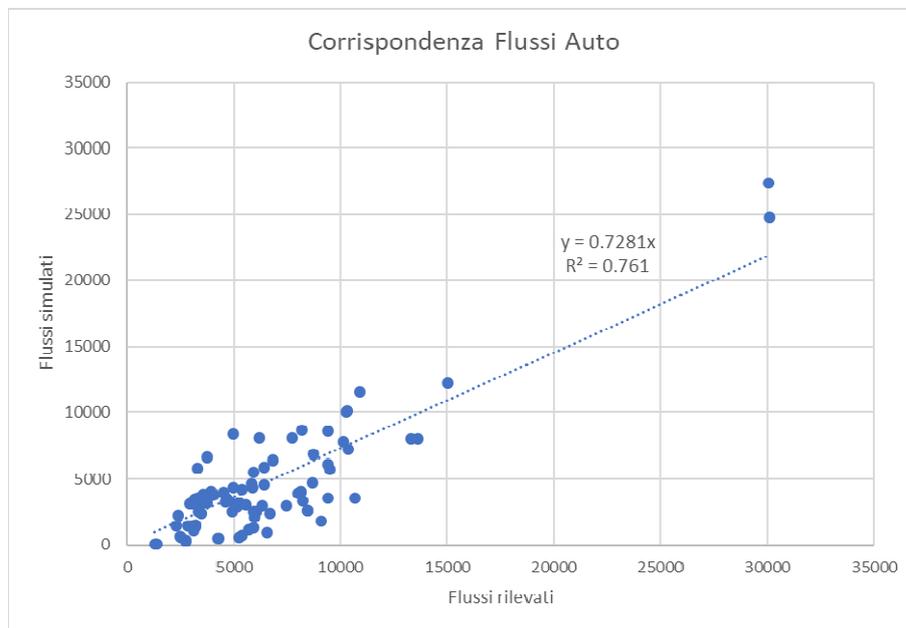


Figura 12 Corrispondenza tra flussi giornalieri simulati e conteggiati (auto privata)

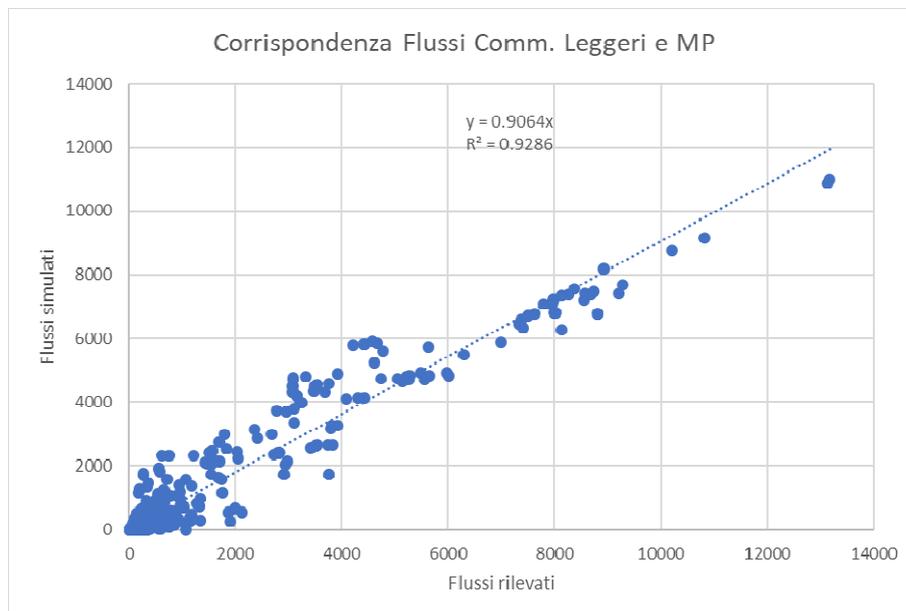


Figura 13 Corrispondenza tra flussi giornalieri simulati e conteggiati (Commerciali Leggeri e Mezzi Pesanti)

Osservando la Figura 12 si può notare come la pendenza della retta di regressione sia inferiore all'unità, ad indicazione del fatto che i flussi simulati risultano inferiori a quelli derivanti dai conteggi di traffico. Tale risultanza è presumibilmente frutto dell'impossibilità da parte del modello di replicare gli spostamenti intrazonali, che costituiscono una buona parte della matrice assegnata. In generale la

corrispondenza risulta accettabile, come indicato dai valori del coefficiente di correlazione R^2 prossimo all'unità.

4.3 Trasporto Pubblico

Per la calibrazione del modello di offerta del trasporto pubblico sono stati utilizzati:

- Per il servizio ferroviario SFM i dati dei passeggeri a bordo lungo le tratte (186 dati di confronto)
- Per il servizio su gomma i dati dei passeggeri saliti su alcune linee urbane di Bologna (10 dati di confronto)

Nelle seguenti immagini (Figura 14 e Figura 15) sono riportati graficamente i risultati dei confronti effettuati.

Come si può notare anche per il trasporto pubblico i valori dei coefficienti di correlazione R^2 assumono valori prossimi all'unità, indice della buona corrispondenza ottenuta nel modello di simulazione, sebbene i coefficienti angolari della retta indichino la presenza di una sovrastima dei passeggeri su ferro.

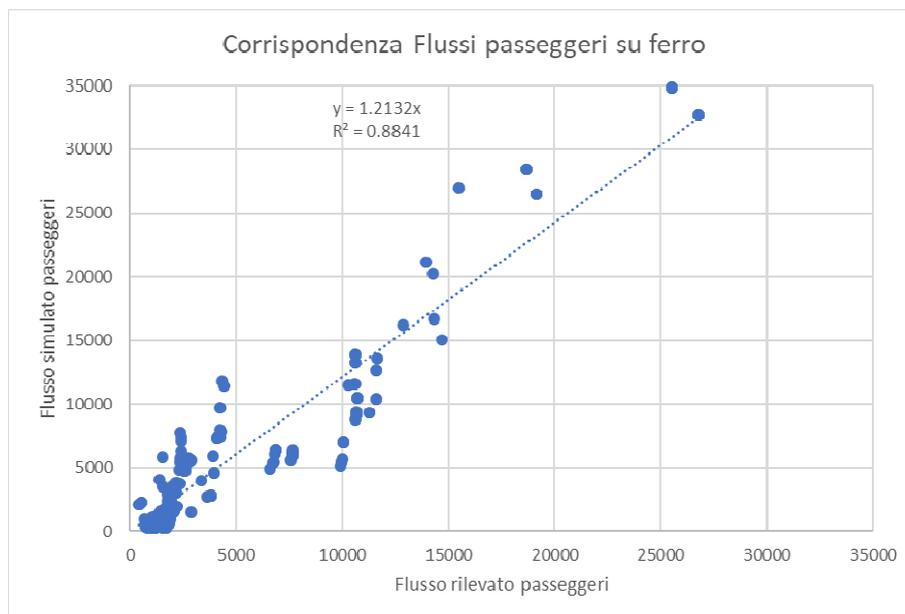


Figura 14 Corrispondenza tra flussi passeggeri giornalieri simulati e conteggiati (ferro)

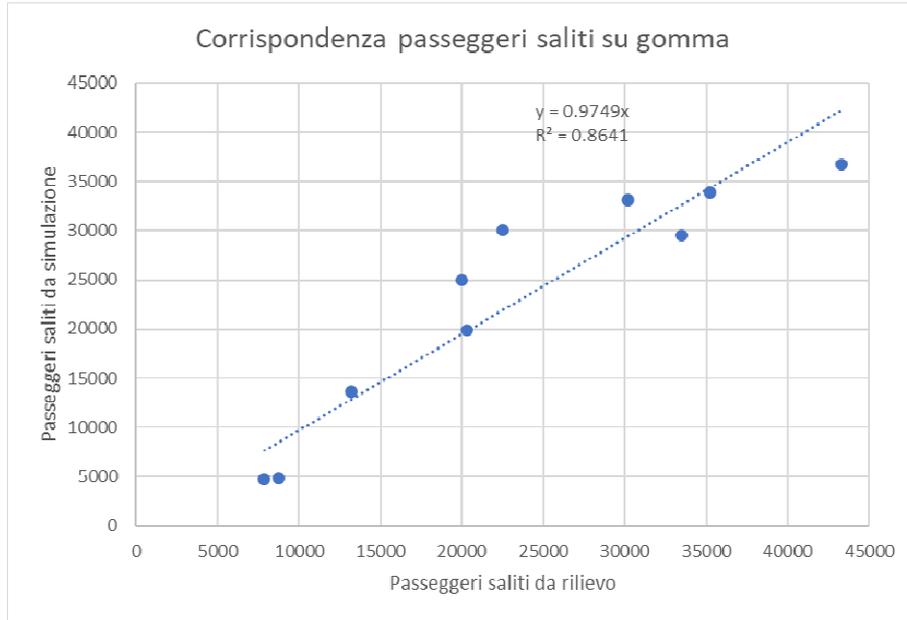


Figura 15 Corrispondenza tra passeggeri giornalieri saliti da simulazione e conteggiati (gomma)

5 STIMA DELLA DIVERSIONE MODALE SU MOBILITÀ ATTIVA

Per stimare gli effetti sulla ripartizione modale delle opere per la pedonalità e la ciclabilità previste dal PUMS è stata applicata la seguente metodologia.

Partendo dai target che indicano, per ogni relazione tra comuni della città metropolitana (spostamenti di scambio con Bologna, intercomunali o infracomunali), gli spostamenti in auto privata da trasferire su bici e piedi, è stata effettuata un'analisi sulle distanze tra i centroidi delle zone del modello di simulazione, con l'obiettivo di verificare l'effettiva possibilità di ottenere la diversione modale desiderata. Le ipotesi fatte consistono nell'identificazione di soglie di distanza, individuate in 5 km per gli spostamenti da trasferire su mobilità pedonale, 15 km per la ciclabile, oltre le quali non è possibile ottenere gli effetti desiderati. Dall'applicazione della procedura è emerso come sia possibile trasferire su bici 217.421 dei 238.750 spostamenti previsti (91%), mentre per la mobilità pedonale, l'effettiva quota di spostamenti trasferibili ammonta a 23.129 su 33.950 (68%). Nel grafico in Figura 16 sono riportati i confronti (tra stato attuale e scenario PUMS) tra la percentuale di spostamenti relativi alla quota cumulata di auto e trasporto pubblico e quelli relativi alla quota di mobilità attiva.

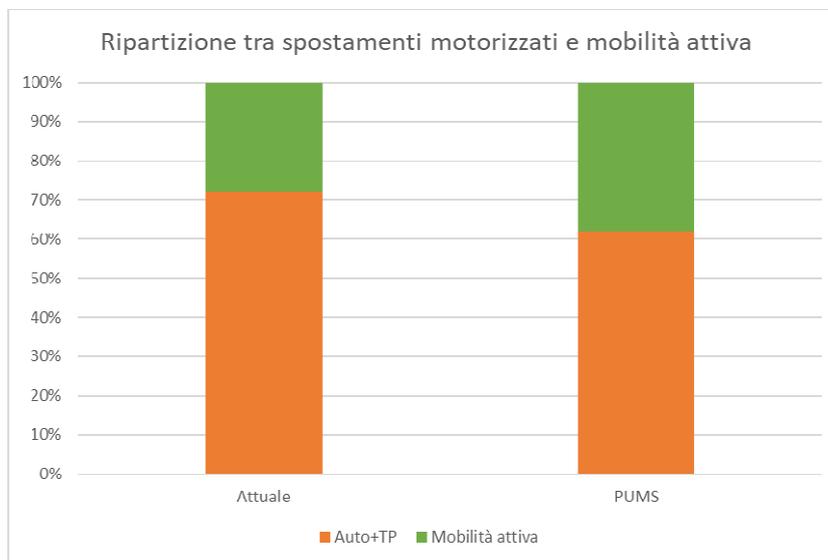


Figura 16 Ripartizione tra spostamenti motorizzati (Auto + trasporto pubblico) e mobilità attiva (bici + piedi)

6 ASSEGNAZIONE

Nel presente capitolo si descrivono i parametri e le modalità di assegnazione delle matrici giornaliere nel modello di simulazione e si presentano i risultati relativi ai tre scenari (attuale, riferimento e PUMS) sia in termini di flussi veicolari, che di passeggeri trasportati dai servizi di trasporto pubblico.

Il modello di scelta del percorso utilizzato per il trasporto privato è all'equilibrio, ossia gli utenti scelgono il percorso che minimizza il tempo impiegato per giungere dall'origine alla destinazione (si ricorda che i tempi di percorrenza di ogni arco variano in base ai flussi transitanti sullo stesso). Per il trasporto pubblico è stata utilizzata un'assegnazione ad orario, per cui ogni utente sceglie il percorso minimizzando il proprio tempo di percorrenza, che risulta variabile in base all'orario di uscita dalla zona di origine. La distribuzione oraria all'interno della giornata delle quote di domanda uscenti dalle zone di origine è stata determinata in base alle informazioni ricavate dall'indagine conoscitiva sulla mobilità della città metropolitana.

Le immagini da Figura 17 a Figura 28 mostrano, rispettivamente per stato attuale, scenario di riferimento e scenario PUMS, i flussogrammi giornalieri del trasporto privato, differenziati per tipologia di veicoli (auto, veicoli commerciali leggeri, mezzi pesanti) e i passeggeri giornalieri trasportati, differenziati per sistema di trasporto (ferrovia, tram, gomma, People Mover).

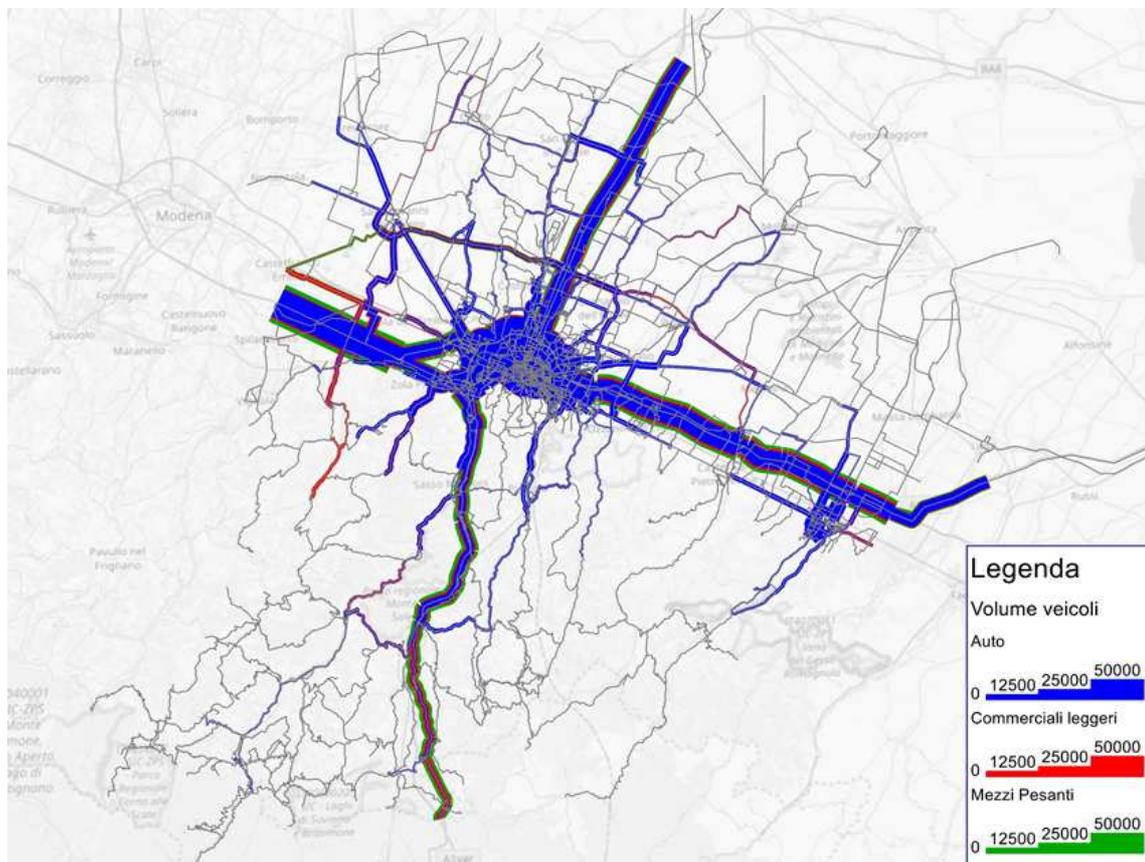


Figura 17 Flussogramma trasporto privato stato attuale (inquadramento generale)

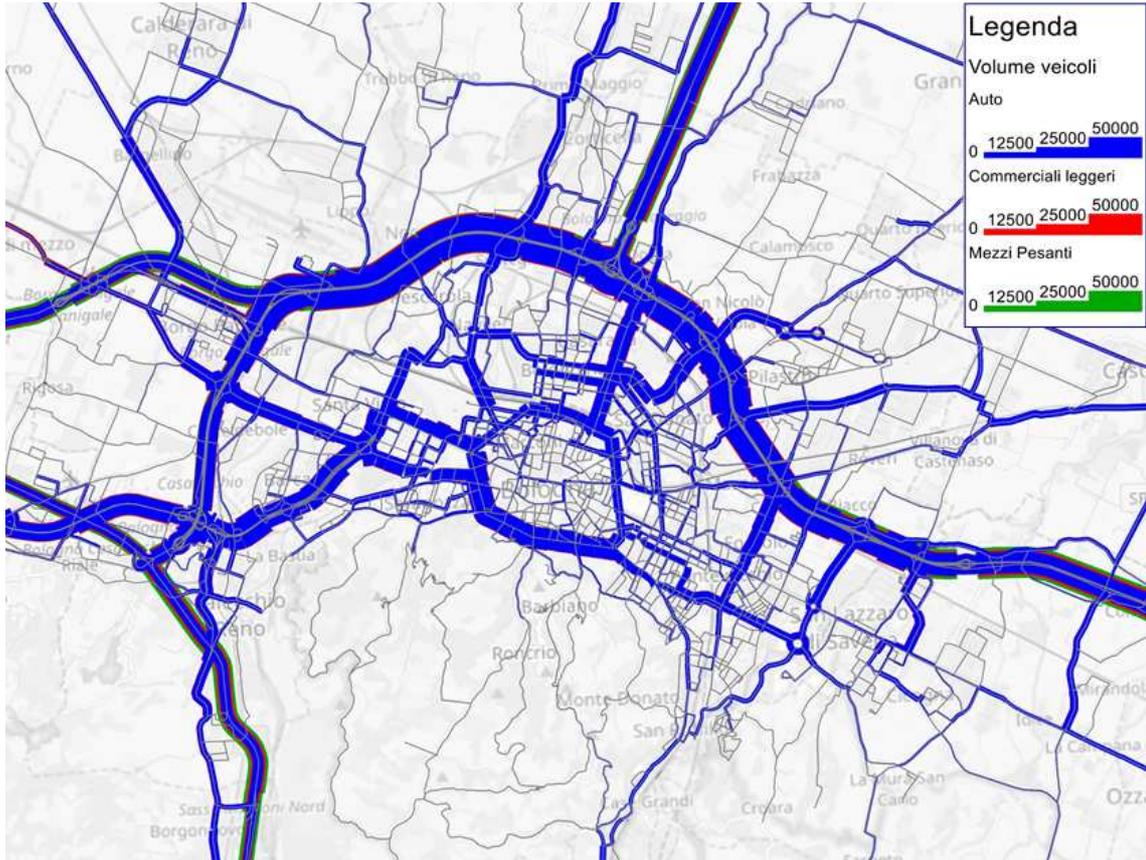


Figura 18 Flussogramma trasporto privato stato attuale (dettaglio Bologna)

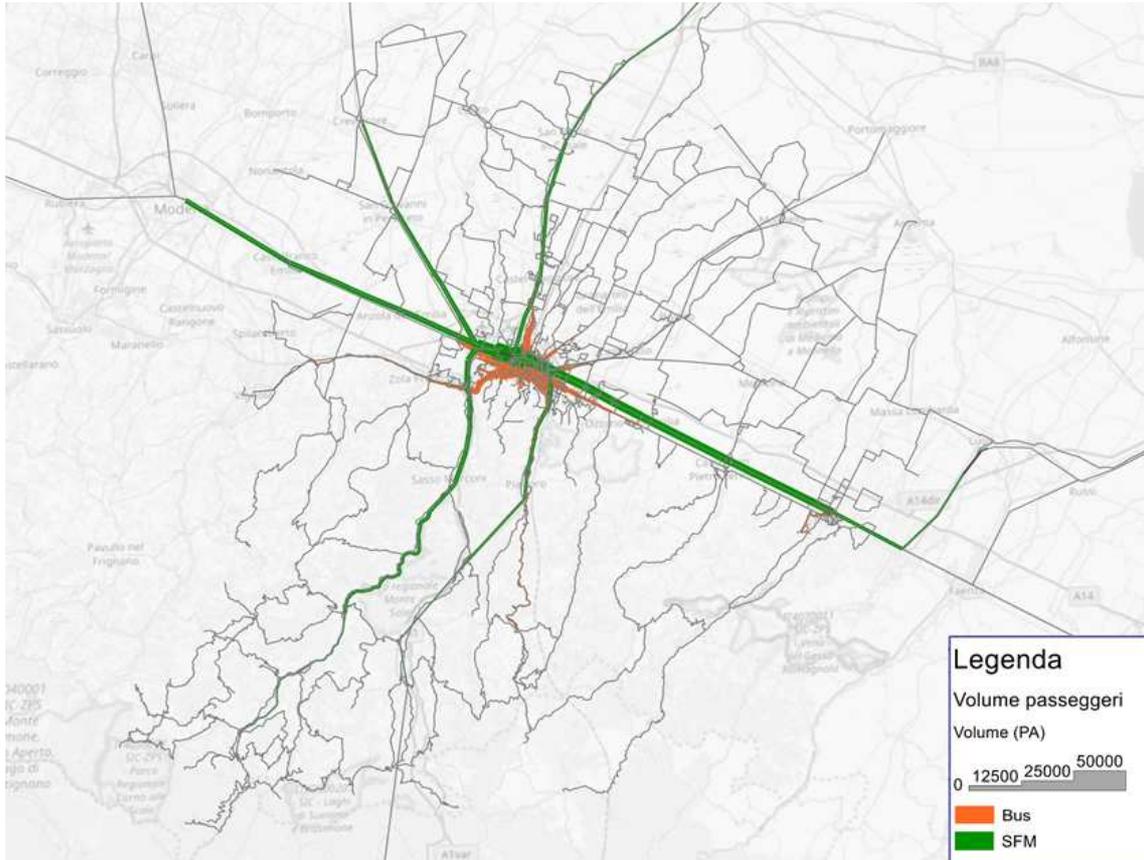


Figura 19 Passeggeri trasporto pubblico stato attuale (inquadramento generale)

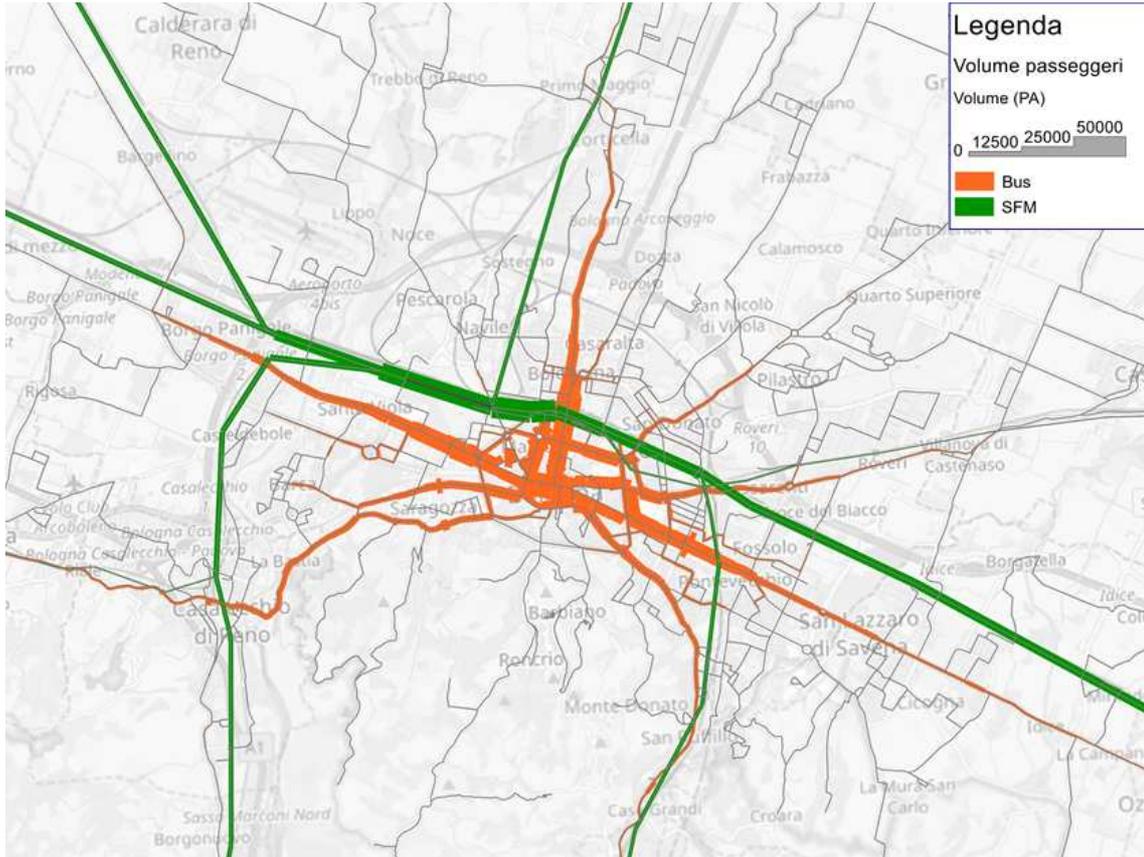


Figura 20 Passeggeri trasporto pubblico stato attuale (dettaglio Bologna)

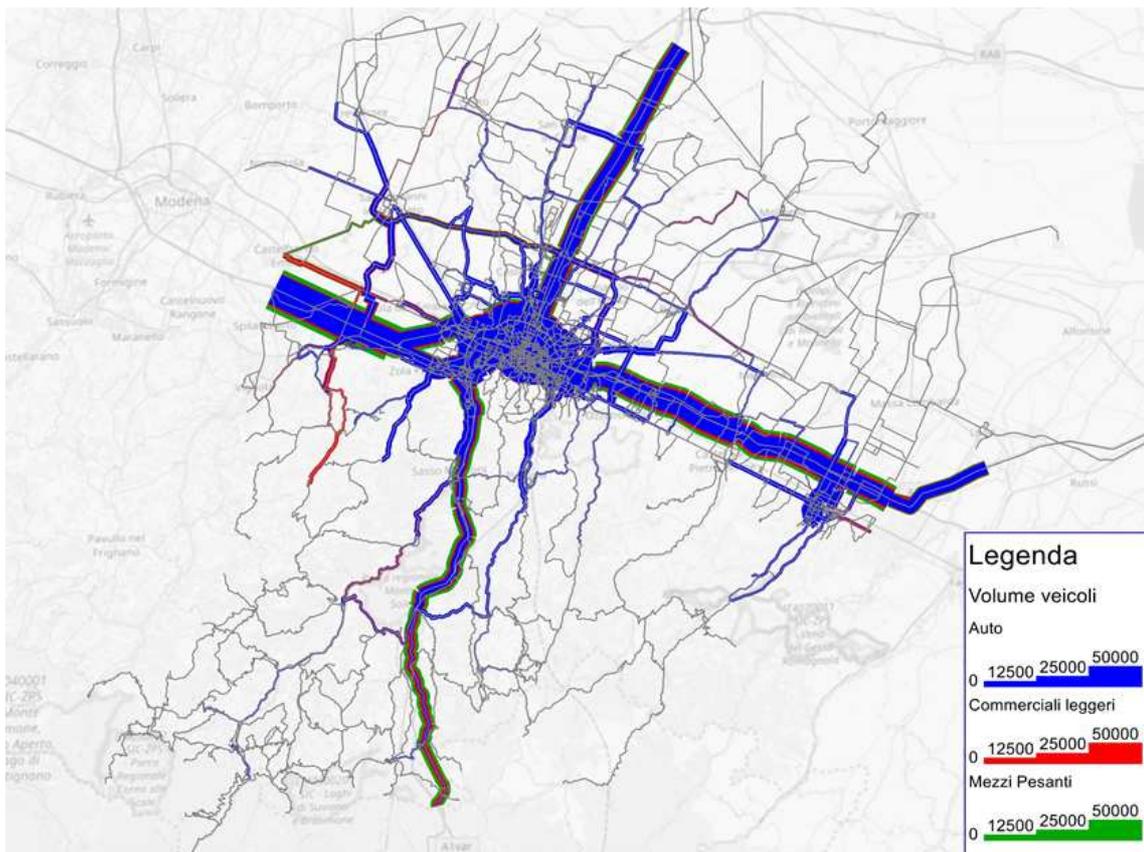


Figura 21 Flussoigramma trasporto privato scenario di riferimento (inquadramento generale)

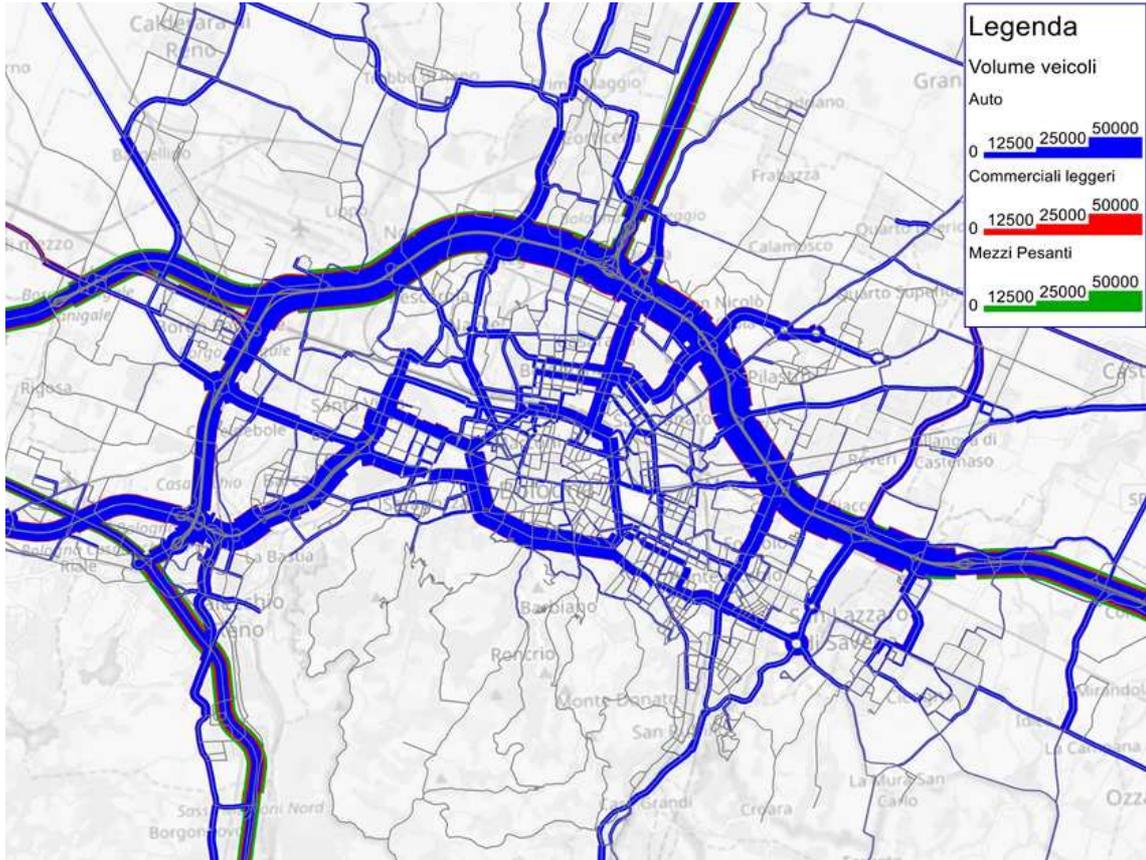


Figura 22 Flussogramma trasporto privato scenario di riferimento (dettaglio Bologna)

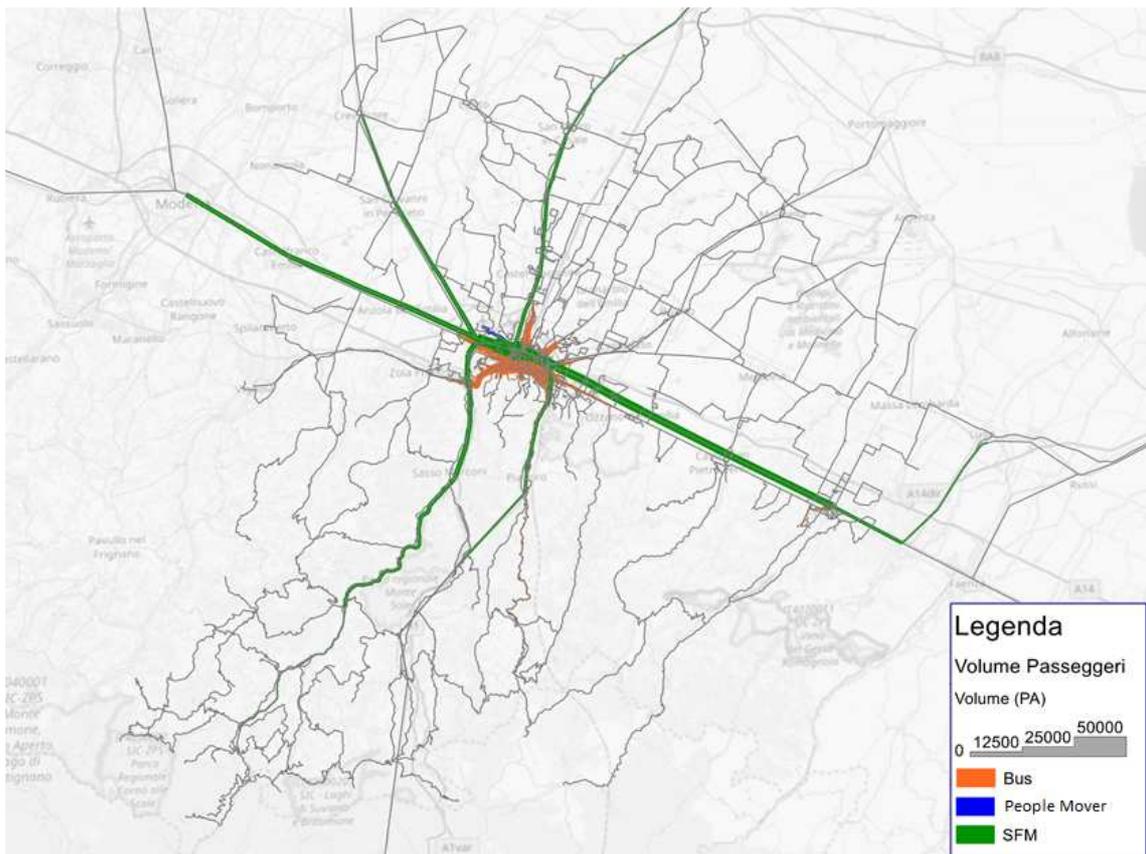


Figura 23 Passeggeri trasporto pubblico scenario di riferimento (inquadramento generale)

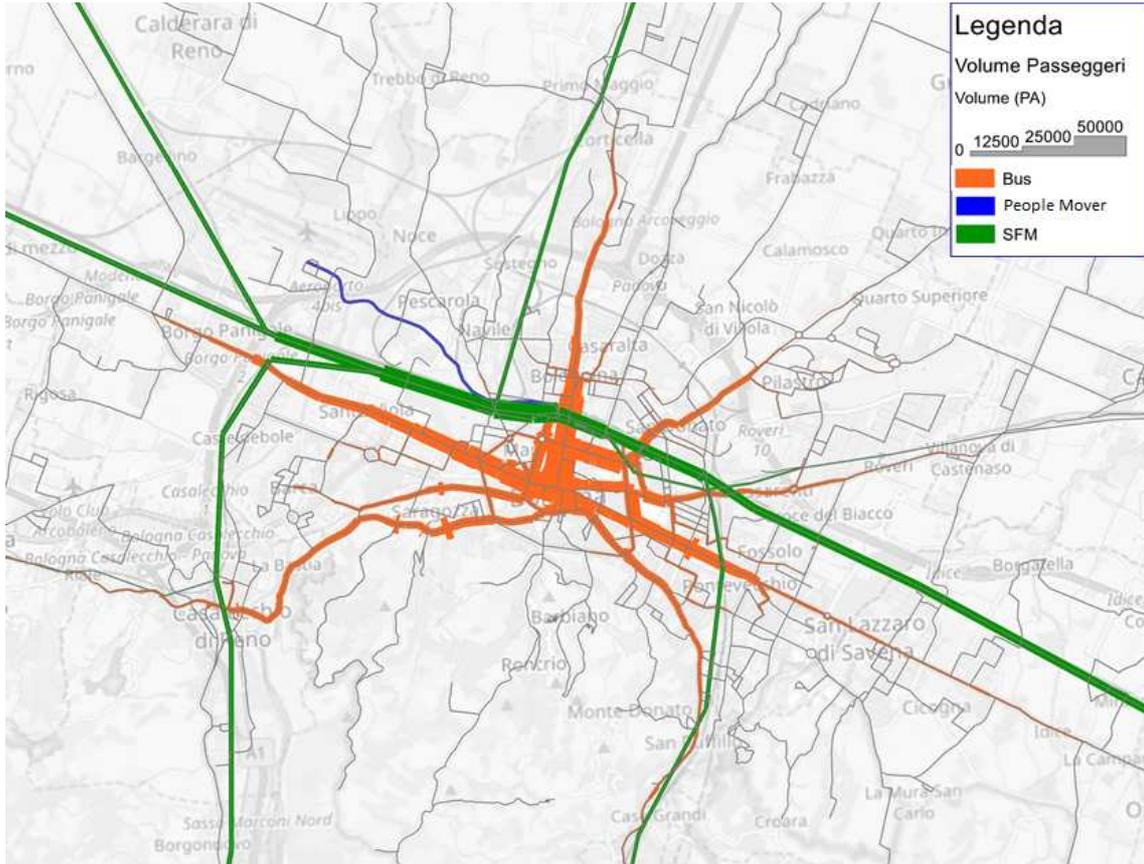


Figura 24 Passeggeri trasporto pubblico scenario di riferimento (dettaglio Bologna)

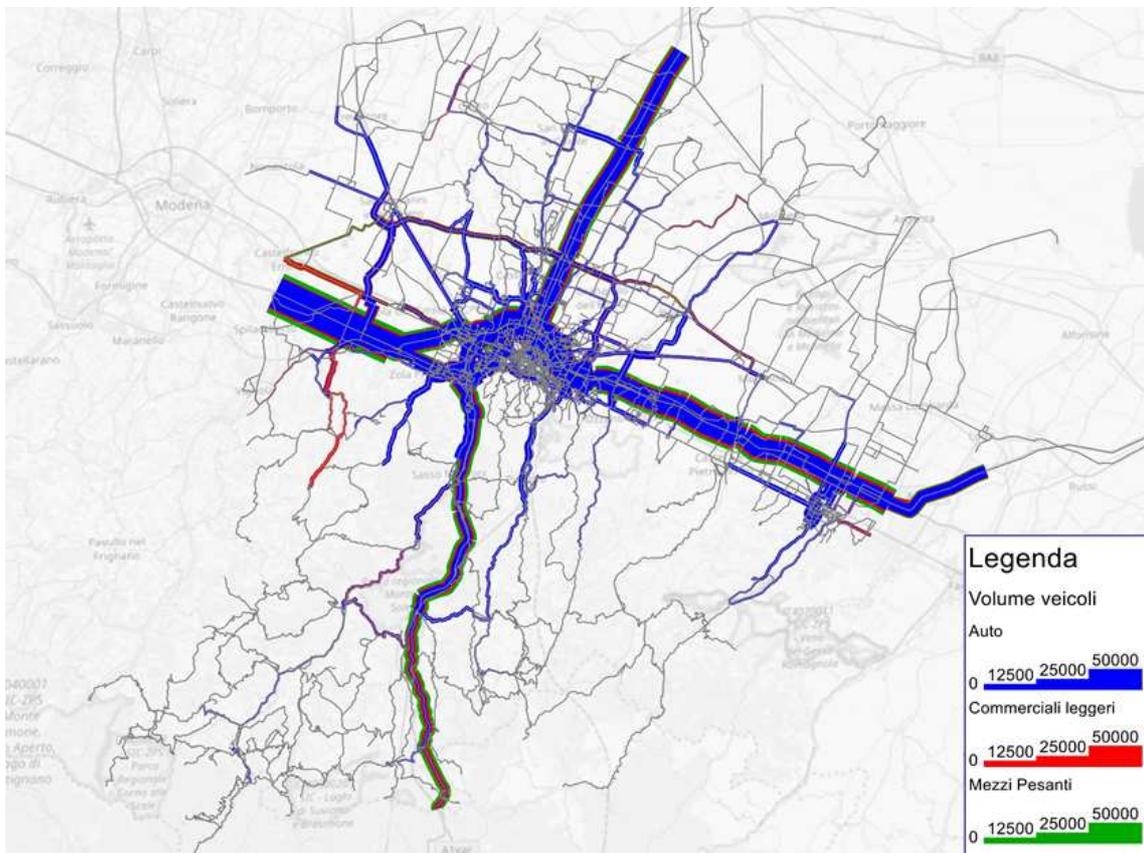


Figura 25 Flussogramma trasporto privato scenario PUMS (inquadramento generale)

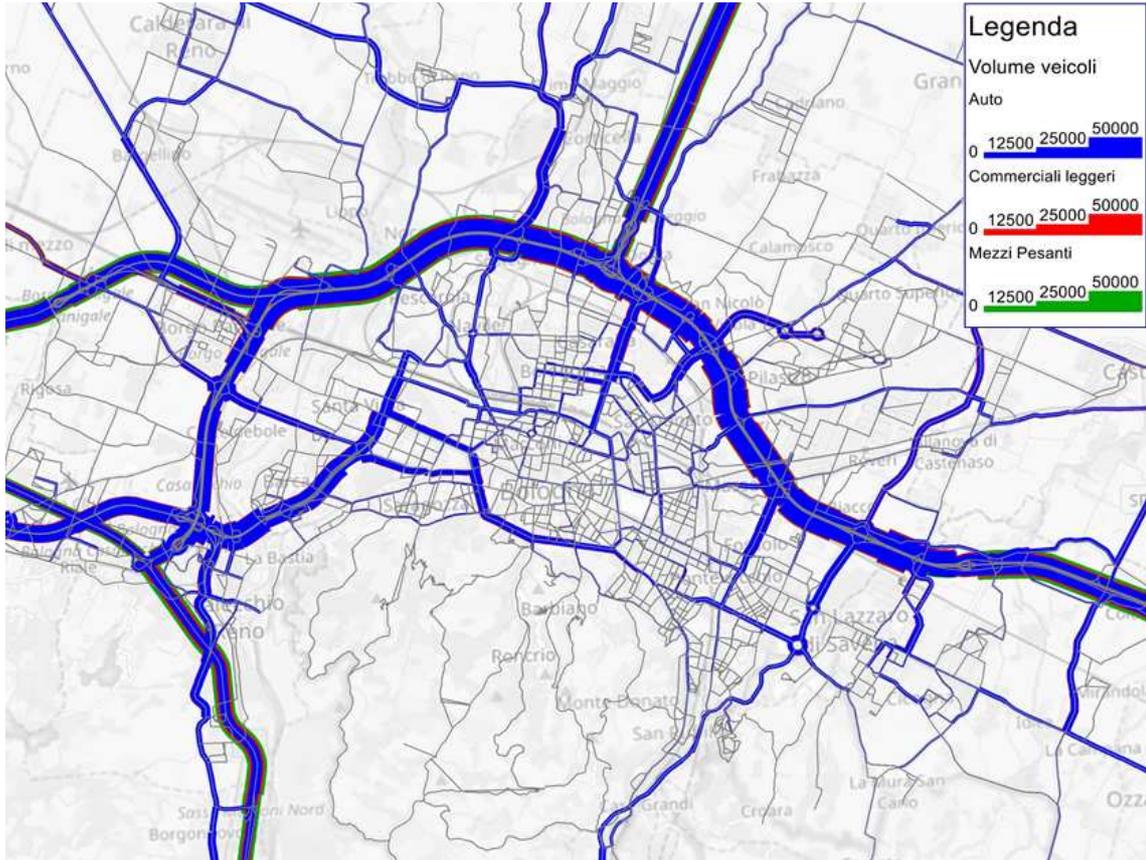


Figura 26 Flussogramma trasporto privato scenario PUMS (dettaglio Bologna)

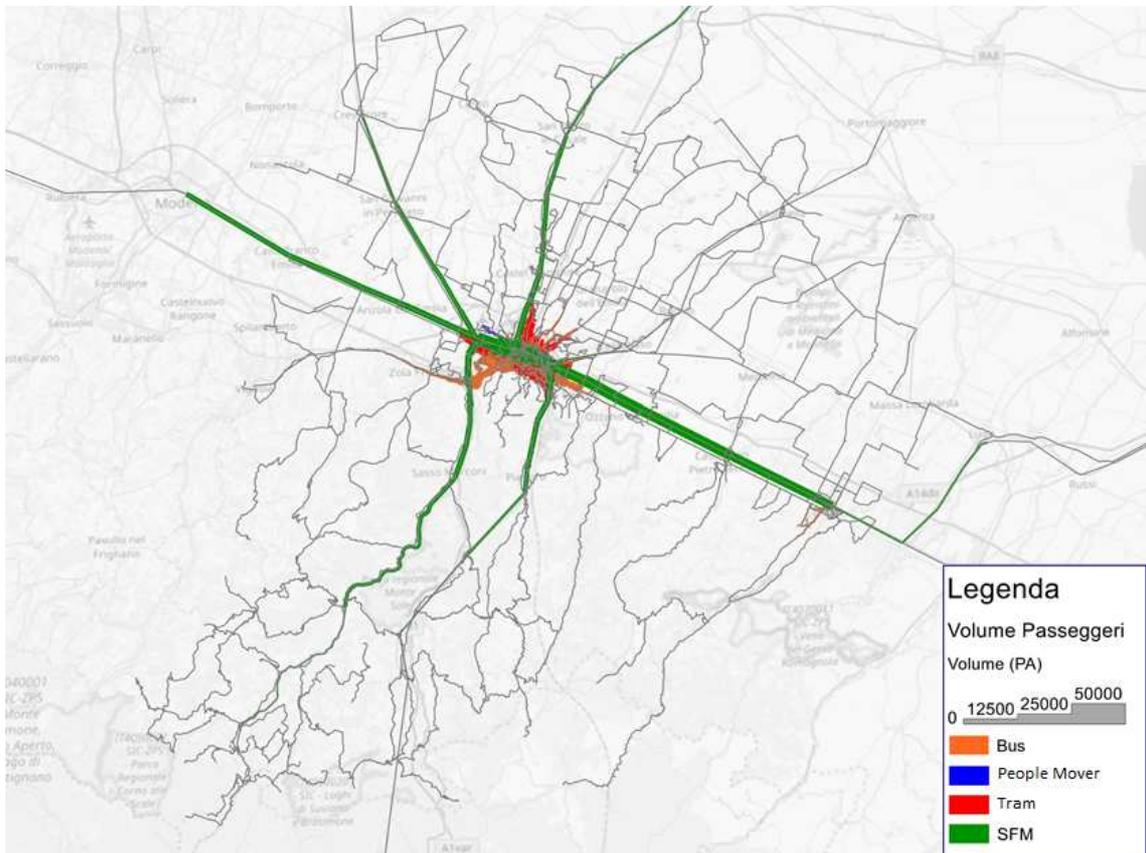


Figura 27 Passeggeri trasporto pubblico scenario PUMS (inquadramento generale)

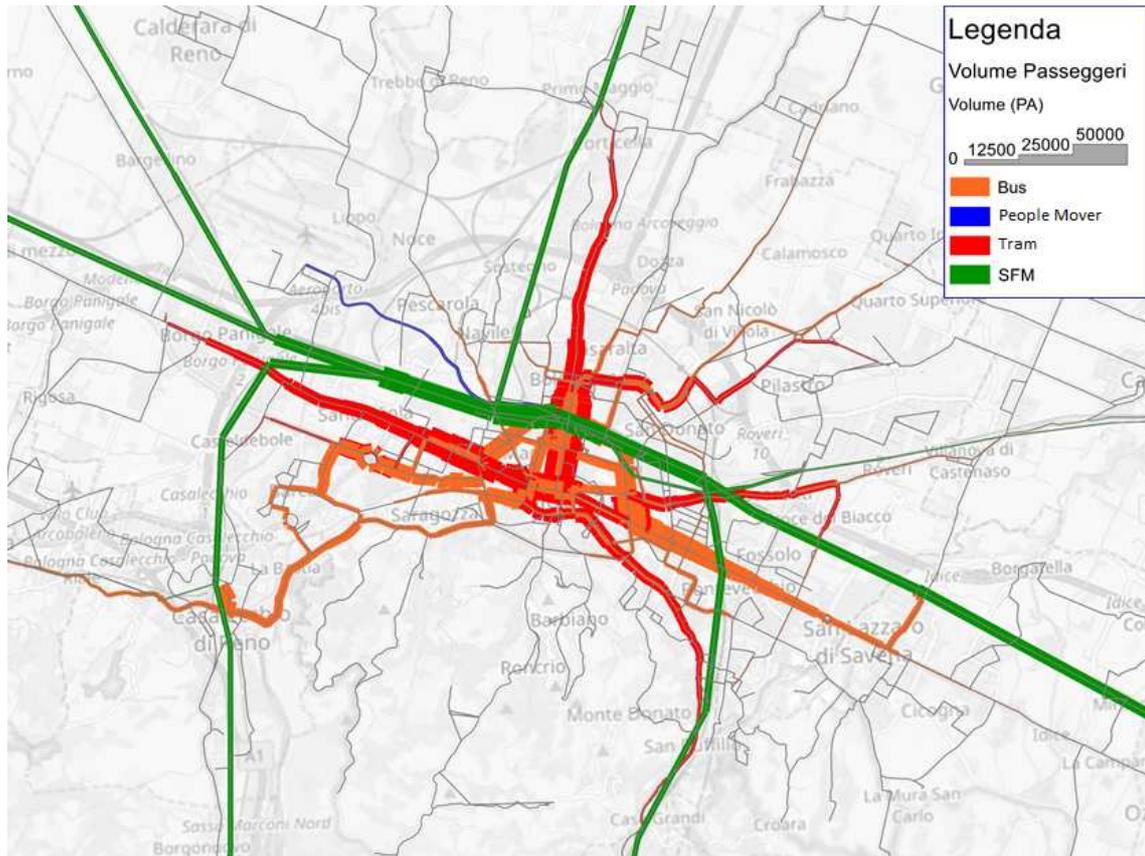


Figura 28 Passeggeri trasporto pubblico scenario PUMS (dettaglio Bologna)

Dalle osservazioni dei flussogrammi si evince come nello scenario di riferimento, gli interventi infrastrutturali sulla viabilità principale, determinino un sensibile aumento dei flussi su tali arterie, pur non modificando in maniera apprezzabile le quote di ripartizione modale.

Grazie agli interventi dello Scenario PUMS (2030), tale effetto tende ad attenuarsi per via dell'aumento dei passeggeri trasportati su ferro, in particolare lungo le direttrici parallele alle autostrade (Imola, Modena, Ferrara; Firenze). L'effetto più apprezzabile rimane in ogni caso l'aumento dei passeggeri del trasporto pubblico nell'area centrale di Bologna, dovuto al potenziamento dei punti di interscambio tra le diverse modalità di trasporto pubblico e alle linee tranviarie, che determina sensibili riduzioni dei flussi su auto privata.

7 STIMA DELLA DOMANDA GENERATA/ATTRATTA DA FICO

Una delle modifiche apportate al modello di simulazione nello scenario di riferimento riguarda la matrice di domanda assegnata, che prevede l'inclusione della domanda giornaliera generata ed attratta dal polo di FICO. Vista l'ipotesi sull'invarianza della domanda, la quota aggiuntiva di spostamenti è stata sottratta alle relazioni O/D presenti allo stato attuale.

Le fasi del processo di stima della domanda sono state organizzate secondo i seguenti step:

1. Stima degli spostamenti generati ed attratti da FICO e delle relative zone di provenienza/destinazione;
2. Individuazione delle quote di domanda aggiuntive tramite l'applicazione di un modello gravitazionale.

In base ai dati pubblicati da FICO, la domanda giornaliera attratta da FICO (e di conseguenza anche quella generata) ammonta a circa 8.500 spostamenti nel giorno feriale medio. Di questi, il 73% proviene da origini esterne alla città metropolitana, di cui l'8% dall'estero e quindi accede presumibilmente al sistema simulato dalla zona dell'aeroporto, mentre il 32% sceglie di pernottare in città. Di conseguenza degli 8.500 spostamenti totali, 3.540 sono provenienti dai centroidi esterni, 4.960 dalle zone interne, di cui 680 dall'aeroporto.

Per ogni zona, sia interna che esterna alla città metropolitana, sono stati calcolati i coefficienti gravitazionali, direttamente proporzionali alla media tra generazione e attrazione della zona e inversamente proporzionali al quadrato della distanza. La quota per ogni zona di spostamenti diretti e provenienti da FICO è stata ottenuta (ad eccezione della domanda da/per l'aeroporto, pari a 680 spostamenti/giorno) tramite l'applicazione delle seguenti formule:

- Per i centroidi esterni, $Sr_{iFICO} = \frac{C_i}{\sum C_{est}} * Sr_{estFICO}$
- Per i centroidi interni, $Sr_{iFICO} = \frac{C_i}{\sum C_{int}} * Sr_{intFICO}$

dove:

Sr_{aFICO} = spostamenti dalla zona i a FICO;

C_i = coefficiente gravitazionale della zona i;

$\sum C_{est}$ = sommatoria dei coefficienti delle zone esterne;

$\sum C_{int}$ = sommatoria dei coefficienti delle zone interne;

$Sr_{estFICO}$ = totale degli spostamenti dall'esterno a FICO;

$Sr_{intFICO}$ = totale degli spostamenti dall'interno a FICO.

La domanda in eccesso è stata poi sottratta ad ogni relazione O/D dello stato attuale proporzionalmente alla media dell'incidenza della singola relazione sul totale di generazione della zona di origine e sul totale di attrazione della zona di destinazione, utilizzando la seguente formula:

$$Sr_{ij} = Sa_{ij} - S_{FICO} * \left(\frac{\frac{Sa_{ij}}{Ga_i} + \frac{Sa_{ij}}{Aa_j}}{2} \right)$$

dove:

Sr_{ij} = spostamenti dalla zona i alla zona j nello scenario di riferimento;

Sa_{ij} = spostamenti dalla zona i alla zona j nello scenario attuale;

S_{FICO} = domanda totale generata e attratta da FICO;

Ga_i = totale spostamenti generati dalla zona i;

Aa_j = totale spostamenti attratti dalla zona j.

8 POSIZIONAMENTO DELLE COLONNINE DI RICARICA ELETTRICA

Tramite l'analisi dei dati di sosta estrapolati dal database FCD, è stata individuata un'ipotesi di posizionamento delle colonnine di ricarica. Dal punto di vista della tecnologia si possono distinguere due sistemi:

1. Il sistema “*fast charge*” (ricarica rapida, durata tra i 10 e i 30 minuti) da installare prevalentemente presso le aree di servizio di strade ad alto scorrimento o autostrade;
2. Le colonnine a ricarica lenta (tempo necessario tra le 2 e le 8 ore), invece, sono posizionate principalmente lungo le strade in prossimità di aree di sosta, nei parcheggi di interscambio o presso i poli attrattori di traffico.

8.1 Ricarica Veloce

Per la tipologia “fast charge” la metodologia applicata propone di attribuire un livello di priorità di installazione in funzione della numerosità di sosta nelle aree di servizio. Sono state quindi mappate le aree di servizio sulla rete autostradale e tangenziale all'interno della città metropolitana ed estratti i punti di sosta di durata inferiore a 1 ora (in maniera tale da escludere errori di inclusione delle soste in punti limitrofi). Sono state identificate in totale 7 aree di servizio (riportate in Figura 29), di seguito elencate in ordine decrescente di priorità di installazione:

- La Pioppa (A14 tra Borgo Panigale e innesto su A1);
- Sillaro (A14 tra Bologna S. Lazzaro e Castel S. Pietro);
- Badia (A1 Variante di Valico);
- Cantagallo (A1 tra Bologna Casalecchio e Sasso Marconi);
- Castelbentivoglio (A13 tra Bologna Interporto e Altedo);
- Roncobilaccio (A1 Panoramica all'altezza dell'omonima uscita);
- Distributore Eni Metano (Complanare Sud dell'A14).



Figura 29 Numerosità delle soste nelle aree di servizio sulla rete autostradale/tangenziale

8.2 Ricarica Lenta

Per individuare un set di postazioni papabili per il posizionamento delle colonnine di tipologia di ricarica lenta è stata utilizzato il seguente approccio:

- Per prima cosa sono state escluse le soste di durata incompatibile con il tempo necessario al completamento della ricarica (durata inferiore a 4 ore o superiore a 8 ore);
- Per ogni punto di sosta di tale sottoinsieme è stato costruito un buffer spaziale di raggio pari a 250 metri (ipotizzando tale il raggio di influenza della singola stazione di ricarica);
- Per ogni buffer creato sono stati conteggiati i punti di sosta ricadenti nella geometria.
- Infine è stata prodotta una mappa della densità dei buffer di sosta e sono stati scelti i punti a densità maggiore.

Il risultato della procedura ha individuato i punti riportati nell'immagine in Figura 30.

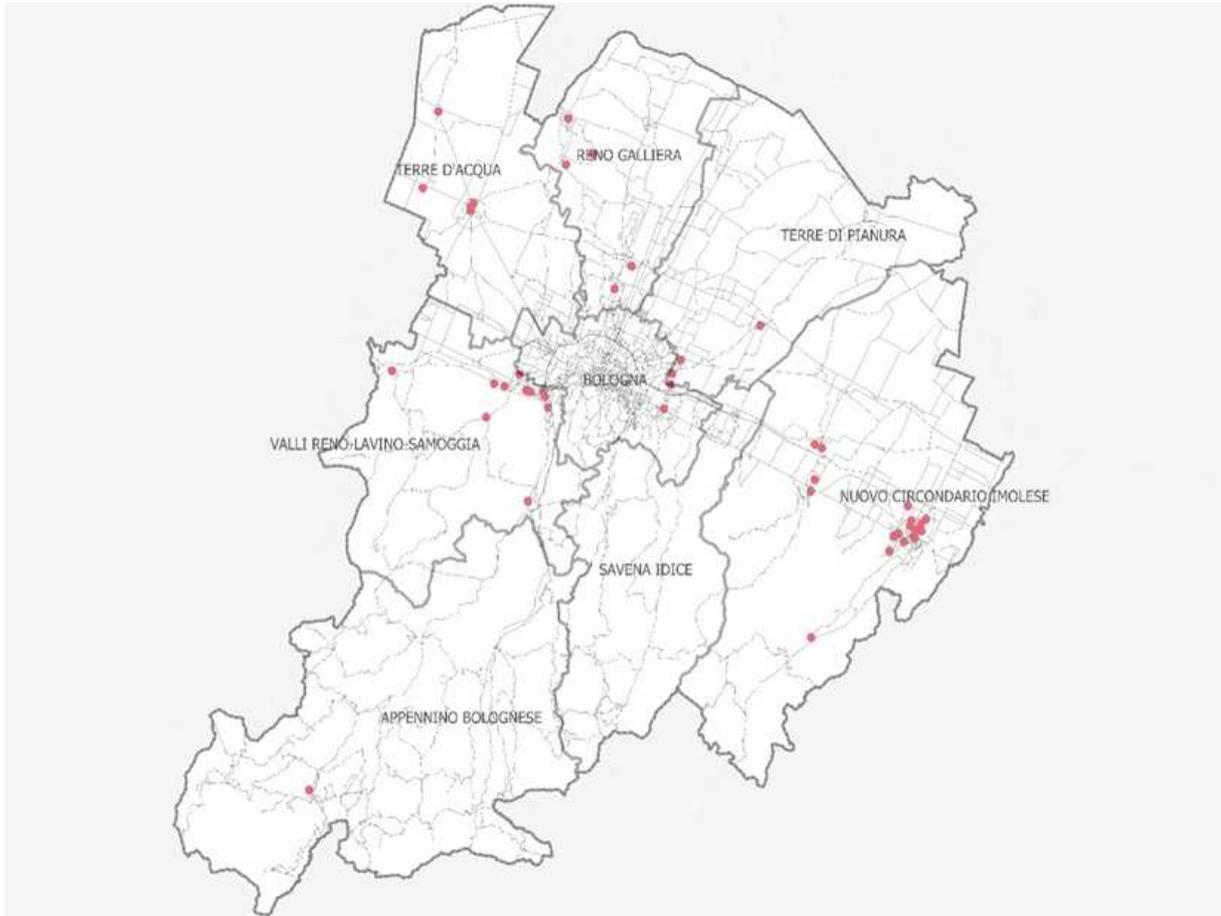


Figura 30 Ipotesi di posizionamento delle postazioni di ricarica lenta

