



COMUNE DI RAVENNA
SERVIZI DI REDAZIONE DI PIANI, STUDI DI MOBILITÀ E TRAFFICO
DELL'INTERO TERRITORIO DEL COMUNE DI RAVENNA



PUMS
RAVENNA
2022-2032

PUMS | RELAZIONE GENERALE DI PIANO ALLEGATO 3

Descrizione del modello multimodale di trasporto

(A1.i)

LUGLIO 2023

CAPOGRUPPO MANDATARIA



MANDANTI

META
mobilità
economia
territorio
ambiente



Seconda di copertina

Cliente	Comune di Ravenna
Riferimento contratto	Rep. Fascicolo 2020/6.7/28 del 22/04/2021
Nome progetto	Servizi di redazione di piani, studi di mobilità e traffico dell'intero territorio del Comune di Ravenna
Nome file	Allegato 3 - Descrizione del modello multimodale di trasporto
Versione	1
Data	12/07/2023

Classificazione del documento

Bozza	<input type="checkbox"/>	Finale	<input checked="" type="checkbox"/>	Riservato	<input type="checkbox"/>	Pubblico	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	--------------------------	--------	-------------------------------------	-----------	--------------------------	----------	-------------------------------------

Autori	Espedito Saponaro, Andrea Lai, Francesca Fermi, Patrizia Malgieri, Ivan Uccelli, Sofia Pechin (TRT)
Approvazione finale	Patrizia Malgieri (TRT)

Contatti mandataria

TRT Trasporti e Territorio
Via Rutilia 10/8
Milano - Italia
Tel: +39 02 57410380
E-mail: info@trt.it
Web: www.trt.it



Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	IL MODELLO DI OFFERTA DI RETI E SERVIZI	10
2.1	LA RETE STRADALE.....	10
2.1.1	<i>Mappa velocità rete.....</i>	13
2.1.2	<i>Mappa capacità rete.....</i>	14
2.2	IL SERVIZIO DEL TPL.....	15
2.3	AREE DI SOSTA	16
3	LA DOMANDA DI TRAFFICO – LE MATRICI O/D.....	17
4	IL MODULO DI RIPARTIZIONE MODALE DEGLI SPOSTAMENTI	21
4.1	FUNZIONE DI DISUTILITÀ DEI MODI SINGOLI (PER GLI SPOSTAMENTI EXTRAZONALI).....	22
4.1.1	<i>Costi operativi</i>	23
4.1.2	<i>Costi di parcheggio.....</i>	23
4.1.3	<i>Tempi di viaggio.....</i>	23
4.1.4	<i>Rischio associato allo spostamento per il modo bici-micromobilità</i>	24
4.1.5	<i>Disponibilità all’origine</i>	25
4.1.6	<i>Parametro legato alla distanza.....</i>	25
4.2	FUNZIONI DI DISUTILITÀ PER I MODI COMPOSTI	25
4.3	FUNZIONE DI DISUTILITÀ INTRAZIONALE.....	25
5	IL MODULO DI ASSEGNAZIONE - I FLUSSI DI TRAFFICO SULLE RETI DI TRASPORTO	27
5.1	PRINCIPALI ELEMENTI RICAVALI DAI CONTEGGI DI TRAFFICO	31
5.2	LA CALIBRAZIONE DELLO STATO DI FATTO.....	34
5.2.1	<i>Parametri di calibrazione</i>	35



1 Introduzione

Il documento ha lo scopo di illustrare i dati e i metodi utilizzati per la stima delle matrici origine/destinazione (matrici O/D) della domanda di mobilità della città di Ravenna e per la valutazione ex ante degli scenari alternativi del Piano attraverso l'applicazione di un modello multimodale di simulazione dei trasporti.

La domanda di mobilità del Comune di Ravenna è stimata a partire dalla matrice O/D degli spostamenti ricavata dai dati telefonici attraverso tecniche di analisi dei Big Data. Questi dati, acquisiti da fonti esterne, sono il risultato di un processo di selezione, elaborazione e validazione dei dati di movimento delle schede telefoniche (SIM) dell'operatore WindTre degli utenti cosiddetti "human", che rappresentano un campione di circa il 30% della popolazione dell'area di studio¹ e consentono quindi di ricostruire accuratamente i fenomeni della mobilità complessiva dell'area di studio.

L'utilizzo delle informazioni sui movimenti delle SIM permette inoltre di tenere conto, con dettaglio orario, di tutti gli spostamenti (tutti i motivi e tutti i modi di trasporto) in generazione e attrazione dall'area di studio avvenuti nel mese di ottobre 2021, periodo coincidente con il periodo di conduzione dei conteggi di traffico, e sono suddivisi per giorno feriale, sabato e domenica.

L'acquisizione di questo tipo di dati di domanda degli spostamenti (matrici O/D tutti i modi e tutti i motivi) costituisce un aspetto innovativo della metodologia proposta per il PUMS di Ravenna rispetto agli approcci modellistici tradizionali che facevano affidamento sulle matrici del Censimento ISTAT relative ai soli spostamenti sistematici (lavoro e studio).

I dati sono stati elaborati in formato matriciale conforme alla zonizzazione del modello di trasporto. La zonizzazione dell'area corrisponde alla Provincia di Ravenna e di parte delle province di Ferrara e di Forlì-Cesena. Le zone esterne sono raggruppate per direttrici ed alimentano i principali assi di comunicazione dell'area di studio (autostrade, ferrovie, viabilità principale). Le province limitrofe di Bologna e di Ferrara sono state separate ognuna in 2 zone: una zona per il capoluogo ed una zona per tutti gli altri Comuni della provincia.

Il modello multimodale di simulazione dei trasporti del PUMS di Ravenna opera su due stadi:

- La fase di ripartizione modale (*mode choice*) calcolata dal modello Visum a partire dalla matrice totale degli spostamenti ricavata dai dati telefonici. In questa fase il modello tiene conto del costo generalizzato degli spostamenti associato ad ogni modo di trasporto per ogni coppia Origine/Destinazione,
- La fase, finale, di assegnazione dei flussi di traffico (in termini di veicoli o di passeggeri) alle diverse reti di trasporto: stradale, dei servizi TPL su gomma, ferroviaria.

Il presente allegato mostra di seguito in dettaglio la descrizione delle attività svolte:

¹ Cfr. AGCOM. Osservatorio sulle comunicazioni 2/2020. "Al marzo 2020 in Italia, paese con circa 60 milioni di abitanti, sono attive 103 milioni di sim; 78,4 milioni sono "human" (utilizzate nelle interazioni umane) e quasi 25 milioni "M2M" (Machine to Machine, ossia quelle sim che consentono lo scambio dati, informazioni e comandi tra apparecchiature e dispositivi con limitata o nessuna interazione umana)." - Le sim "human-residenziali" (tutte quelle non business) sono suddivise secondo le seguenti quote di mercato: WindTre raccoglie il 30,3% della clientela, Tim il 25%, Vodafone il 23%, Iliad l'8,4%. Nel mercato delle sim "human- business" Tim copre il 37,1% del mercato, Vodafone il 35,6% e WindTre il 22%.



- Nel capitolo 2 si presentano gli elementi descrittivi dell'offerta di trasporto dell'area di studio,
- Nel capitolo 3 i principali elementi per la stima della domanda di traffico (in dettaglio trattata nel documento "A1-4-Relazione tecnica definizione matrici O/D"),
- Nel capitolo 4 sono descritti i parametri utilizzati per costruire il modulo di scelta modale,
- Nel capitolo 5 è descritta la fase di assegnazione del traffico alle diverse reti di trasporto e gli esiti della calibrazione del modello nello stato di fatto o situazione attuale,
- Nel capitolo 6 si riassume in una tabella l'elenco degli interventi previsti negli scenari di Piano indicando quelli modellizzati (se influenti ai fini della valutazione quantitativa di comparazione tra i diversi scenari).

L'evoluzione della matrice dei passeggeri e delle merci all'orizzonte temporale del piano (2032), i risultati delle simulazioni degli scenari alternativi di piano la valutazione comparativa sia trasportistica che ambientale è riportata nella "Relazione generale PUMS".

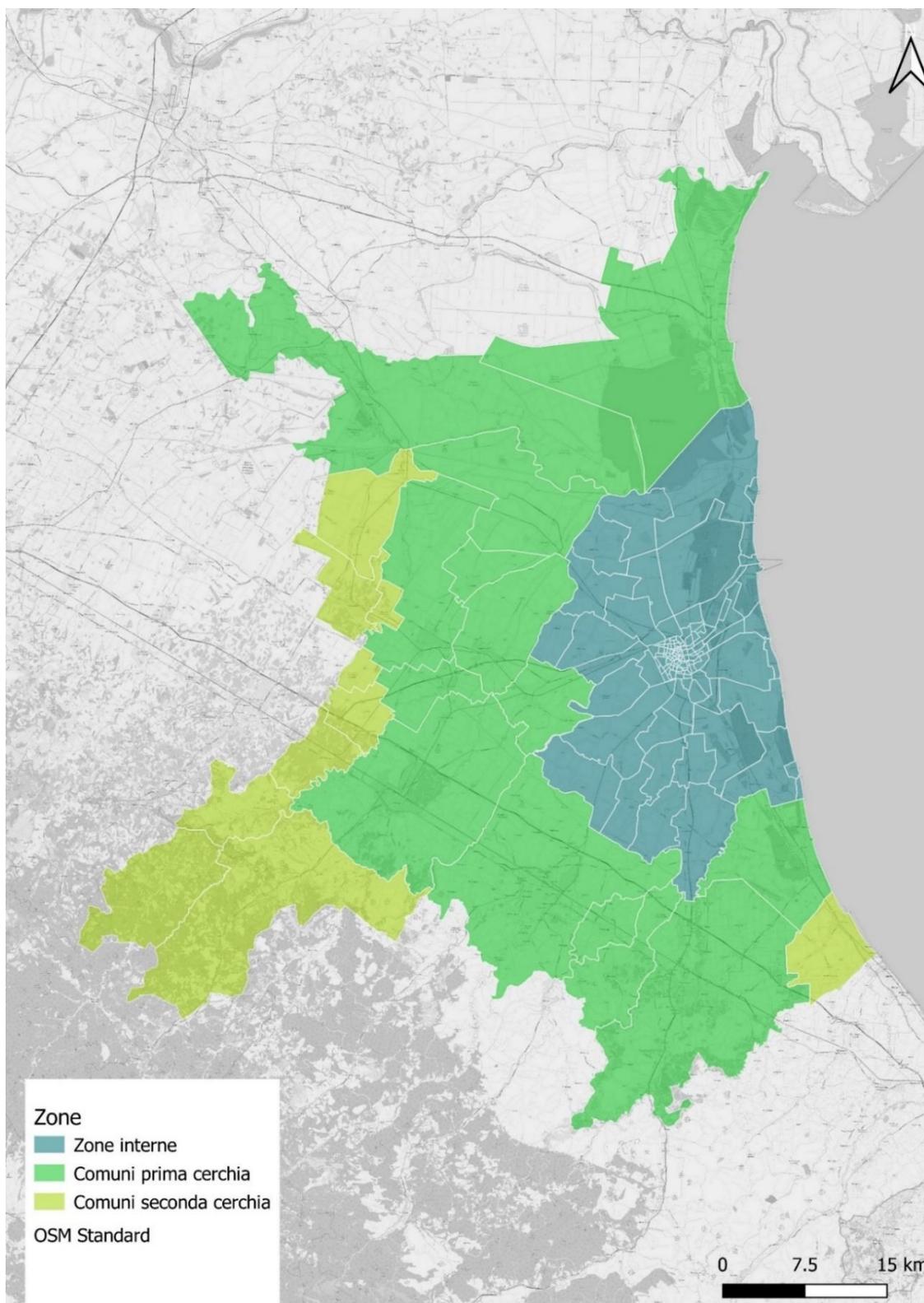


Figura 1-1: Zone interne al Comune di Ravenna e territori comunali di prima e seconda cerchia



Il dataset delle matrici origine/destinazione derivante dai dati telefonici presenta una segmentazione degli spostamenti per:

- giorno della settimana (lavorativi, sabato e domenica);
- ora del giorno (0, 1, 2, ...23);
- motivo dello spostamento.

Relativamente a quest'ultimo elemento vengono raggruppati i seguenti motivi di spostamento:

- Casa - lavoro;
- Casa - altri motivi;
- Altri motivi;
- Ritorni a casa.

Dove per “casa - lavoro” in realtà si intende la somma degli spostamenti sistematici, che comprendono lavoratori e studenti. Per la stima della quota degli studenti si farà riferimento ai dati ISTAT ed alla loro distribuzione zona per zona.

I dati di mobilità da Big Data sono elaborati per ottenere quattro matrici utilizzabili per le operazioni modellistiche. Queste matrici vengono composte conformemente ai motivi di spostamento considerati nel modello: lavoro, studio, altro motivo e ritorni a casa per le fasce orarie punta del mattino e della sera e in seguito sottoposte a una verifica di congruenza con i dati di popolazione residente (ISTAT), con alcuni indicatori di mobilità di riferimento e con le matrici di mobilità eventualmente già disponibili: ISTAT 2011, matrici del PRIT.

L'acquisizione dei dati di traffico dai cellulari copre e sostituisce di fatto le attività dei primi due stadi del modello classico a quattro stadi che **genera** le quantità totali degli spostamenti in funzione delle caratteristiche territoriali dell'area di studio e che successivamente **distribuisce** tali spostamenti tra le zone del modello costruendo i pattern della matrice origine/destinazione di tutti gli spostamenti.

Le matrici derivanti dall'analisi dei Big Data sono quindi processate dal modello di simulazione multimodale che opera i successivi due stadi:

- ripartizione degli spostamenti tra le modalità di trasporto disponibili nell'area di studio;
- assegnazione dei flussi di traffico alle reti di trasporto (stradali, trasporto pubblico).

La figura seguente mostra le sequenze di implementazione del modello multimodale del traffico che a partire dalle matrici degli spostamenti totali conduce alla stima della ripartizione modale degli stessi e alla successiva assegnazione alle reti di trasporto e alla loro calibrazione per confronto con i flussi di traffico rilevati sulla rete stradale e con i dati di frequentazione del trasporto pubblico.

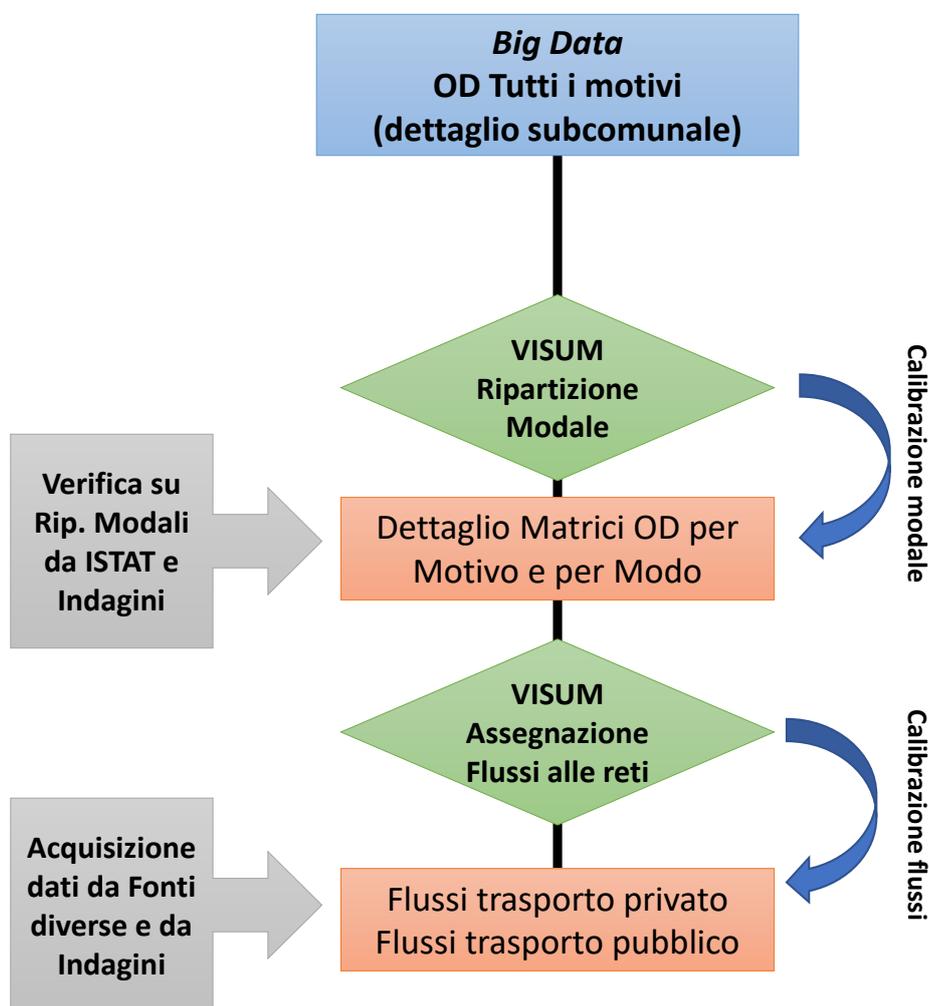


Figura 1-2: Processo di calibrazione delle matrici di traffico e del modello di simulazione

La prima fase modellistica è la ricostruzione della ripartizione modale degli spostamenti. A valle di questa operazione, le matrici O/D modali prodotte dal modello vengono confrontate con le matrici Origine/Destinazione del Pendolarismo ISTAT del 2011 e le matrici del PRIT laddove disponibili. Il numero degli spostamenti effettuati per ciascun modo di trasporto è validato anche con l'utilizzo delle informazioni ricavabili dalle indagini sul trasporto pubblico.

Il processo di calibrazione delle matrici modali è iterativo e tiene conto anche dei risultati della fase successiva di assegnazione alle reti. Laddove, ad esempio, la rete di trasporto pubblico presentasse flussi di traffico molto elevati e quella stradale mostrasse flussi veicolari stradali sottodimensionati, si ritorna sui parametri di calibrazione modale per riequilibrare le rispettive matrici della fase precedente.

Una volta calibrata la ripartizione modale si procede con l'ultima fase della calibrazione dei flussi confrontandoli con i dati di flusso (veicolare stradale, trasporto pubblico, ecc.) disponibili.

In questa fase finale di calibrazione del modello si valuta eventualmente l'utilizzo di una procedura automatica di correzione matriciale (interna al software Visum – TflowFuzzy) che, a partire dai dati di traffico



SERVIZI DI REDAZIONE DI PIANI, STUDI DI MOBILITÀ E TRAFFICO
DELL'INTERO TERRITORIO DEL COMUNE DI RAVENNA
**PUMS | ALLEGATO 3 – Descrizione del modello multimodale
di trasporto**



disponibili su alcuni archi della rete e dal calcolo dei percorsi che utilizzano tali archi, consente di correggere gli spostamenti tra le coppie origine/destinazione che utilizzano tali itinerari.

Tale applicazione è indispensabile per la stima della matrice dei veicoli commerciali a partire dai flussi veicolari rilevati nella campagna di indagine di ottobre 2021 e dai dati di traffico disponibili da diverse fonti (monitoraggio comunale, monitoraggio della Regione Emilia-Romagna, ecc.).



2 Il modello di offerta di reti e servizi

Nei paragrafi seguenti si descrive la rete stradale modellizzata attraverso i principali indicatori di performance degli archi stradali (velocità a libero deflusso e capacità), il servizio del TPL modellizzato e il sistema della sosta.

2.1 La rete stradale

La rete del modello di Ravenna è descritta attraverso l'utilizzo di 79 tipi di arco diversi (link type) ognuno con date caratteristiche tecniche e funzionali. I principali attributi dei link type sono le velocità di flusso libero, le capacità, la definizione delle categorie veicolari ammesse nell'arco (transport system), impedenze relative alla mobilità ciclabile e costi chilometrici (in particolare nelle tratte autostradali).

Le caratteristiche di ogni arco possono essere modificate singolarmente ai fini della calibrazione e per rappresentare al meglio le condizioni locali dello specifico arco.

In generale gli archi rappresentati nel modello si dividono in tre macro-categorie: archi stradali, archi ciclabili o ciclopedonali e archi ferroviari (è presente anche un arco "fittizio" che simula il servizio del traghetto tra porto Corsini e Marina di Ravenna su cui circolano le diverse componenti veicolari).

Tabella 2-1 Tipi di arco (link type) presenti nel modello

LINKTYPE: NO	NAME	Numero corsie	Capacità trasporto privato [Veq/h]	Velocità di flusso libero [km/h]	Velocità minima [km/h]	Estensione degli archi (km)
1	Rotatoria senso unico contromano	1	-	50	4	10,433
2	Rotatoria	2	2000	50	4	4,212
3	Rotatoria	1	1400	40	4	5,041
4	Rotatoria	1	1000	30	4	1,128
5	Rotatoria in progetto	1	1800	50	4	0,297
6	Corsia riservata bus di linea	1	-	50	1	1,476
7	Accesso parcheggio	1	400	20	1	3,729
8	Parcheggio	1	99999	10	0	0,454
10	Strada Extraurbana Principale senso unico contromano - cat B	1	-	50	1	10,061
11	Autostrada 2c con emergenza	2	3200	120	4	538,876
13	Strada Extraurbana Principale 2c senza emergenza - cat B	2	3200	90	4	121,299
15	Strada Extraurbana Principale 2c senza emergenza - cat B	2	2400	70	4	49,865
17	Strada Extraurbana Principale - cat B	1	1600	70	4	67,082
19	Strada Extraurbana Principale - svincolo	1	1200	50	4	13,713



LINKTYPE: NO	NAME	Numero corsie	Capacità trasporto privato [Veq/h]	Velocità di flusso libero [km/h]	Velocità minima [km/h]	Estensione degli archi (km)
20	Strada Extraurbana Secondaria senso unico contromano - cat C	1	-	50	4	6,938
21	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	2	2800	90	4	24,491
22	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	1	1900	70	4	304,649
23	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	1	1850	65	4	121,764
24	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	1	1800	60	4	131,921
25	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	1	1600	60	4	115,363
26	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	1	1400	50	4	460,303
27	Strada Extraurbana Secondaria - cat C	1	1200	50	4	83,048
29	Strada Extraurbana Secondaria - svincolo	1	1000	40	4	4,360
30	Strada Extraurbana Locale senso unico contromano - cat F	1	-	50	4	0,027
31	Strada Extraurbana Locale - cat. F (F1)	1	1100	70	4	30,848
33	Strada Extraurbana Locale - cat. F (F2)	1	900	60	4	1,955
34	Strada Extraurbana Locale - cat. F	1	850	55	4	17,592
35	Strada Extraurbana Locale - cat. F	1	800	50	4	50,201
36	Strada Extraurbana Locale - cat. F	1	750	45	4	70,436
37	Strada Extraurbana Locale - cat. F	1	700	40	4	89,660
38	Strada Extraurbana Locale - cat. F	1	600	40	4	369,237
40	Strada Urbana di Scorrimento senso unico contromano - cat D	1	-	50	4	0,352
41	Strada Urbana di Scorrimento 2c - cat D	2	2800	65	4	9,890
50	Strada Urbana di Interquartiere senso unico contromano - cat D-E	1	-	50	4	4,011
52	Strada Urbana di Interquartiere 2c - cat D-E	2	2200	60	4	2,135
53	Strada Urbana di Interquartiere - cat D-E	1	1850	55	4	9,515
54	Strada Urbana di Interquartiere - cat D-E	1	1800	55	4	27,385
55	Strada Urbana di Interquartiere - cat D-E	1	1650	50	4	17,773
56	Strada Urbana di Interquartiere - cat D-E	1	1500	50	4	31,536
57	Strada Urbana di Interquartiere - cat D-E	1	1300	50	4	4,293
58	Strada Urbana di Interquartiere - cat D-E	1	1100	50	4	6,500
60	Strada Urbana di Quartiere senso unico contromano - cat E	1	-	50	4	15,133
61	Strada Urbana di Quartiere 2c - cat E	2	2300	55	4	4,175
62	Strada Urbana di Quartiere 2c - cat E	2	2000	50	4	3,140
63	Strada Urbana di Quartiere - cat E	1	1500	50	4	17,126
64	Strada Urbana di Quartiere - cat E	1	1300	45	4	10,798
65	Strada Urbana di Quartiere - cat E	1	1100	45	4	18,465

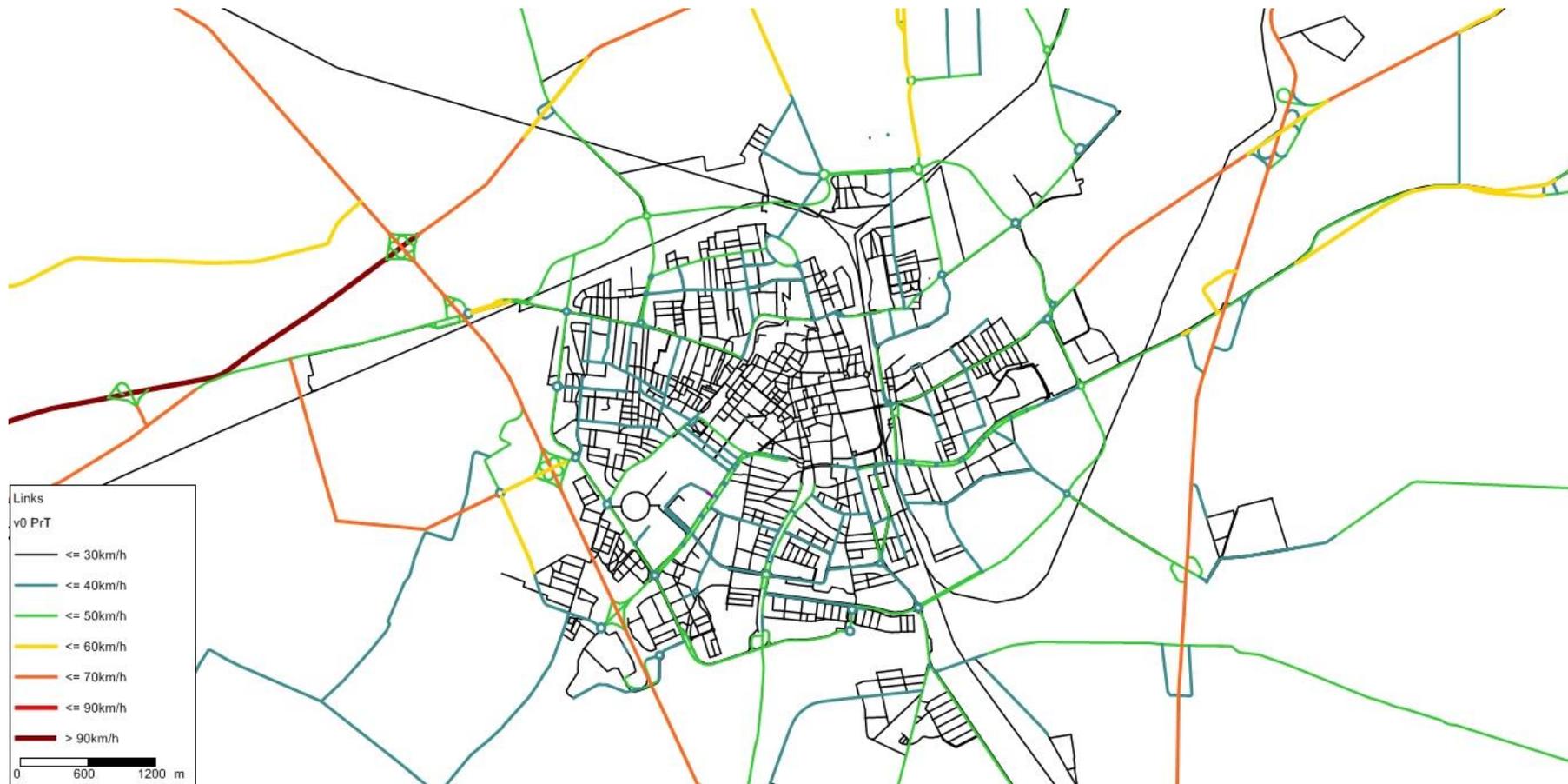


LINKTYPE: NO	NAME	Numero corsie	Capacità trasporto privato [Veq/h]	Velocità di flusso libero [km/h]	Velocità minima [km/h]	Estensione degli archi (km)
66	Strada Urbana di Quartiere - cat E	1	900	45	4	30,233
67	Strada Urbana di Quartiere - cat E	1	800	45	4	87,674
68	Strada Urbana di Quartiere - cat E - svincolo	1	400	40	4	0,684
70	Strada Urbana Locale Interquartiere senso unico contromano - cat E-F	1	-	50	4	18,125
71	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	1200	50	4	0,897
73	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	1000	45	4	2,337
74	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	900	45	4	7,801
75	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	800	40	4	17,506
76	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	700	40	4	48,186
77	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	500	35	4	61,796
78	Strada Urbana Locale Interquartiere - cat E-F	1	400	30	4	224,475
80	Strada Urbana Locale senso unico contromano - cat F	1	-	50	4	32,527
81	Strada Urbana Locale - cat. F	1	900	40	4	31,042
82	Strada Urbana Locale - cat. F	1	850	40	4	64,385
83	Strada Urbana Locale - cat. F	1	800	35	4	9,493
84	Strada Urbana Locale - cat. F	1	700	35	4	40,218
85	Strada Urbana Locale - cat. F	1	600	30	4	21,342
86	Strada Urbana Locale - cat. F	1	500	30	4	17,393
87	Strada Urbana Locale - cat. F	1	400	25	4	137,442
88	Strada Urbana Locale - cat. F	1	300	25	4	13,702
90	Strada Urbana ZTL senso unico contromano	1	200	15	4	6,047
91	Strada Urbana ZTL 00,00-24,00	1	150	15	4	12,073
92	Strada Urbana ZTL 07,30-20,30	1	250	15	4	1,188
94	Itinerario ciclo-pedonale - cat Fbis	1	100	15	5	219,811
95	Itinerario ciclo-pedonale-lento	1	50	10	5	37,947
96	Strada pedonale	1	20	5	5	1,926
97	Percorso ciclabile monodirezionale	1	100	18	5	2,352
98	Percorso ciclabile bidirezionale	1	100	18	5	21,128
99	Ferrovia	1	-	-	-	534,582
100	Traghetto	1	99999	10	1	0,404



2.1.1 Mappa velocità rete

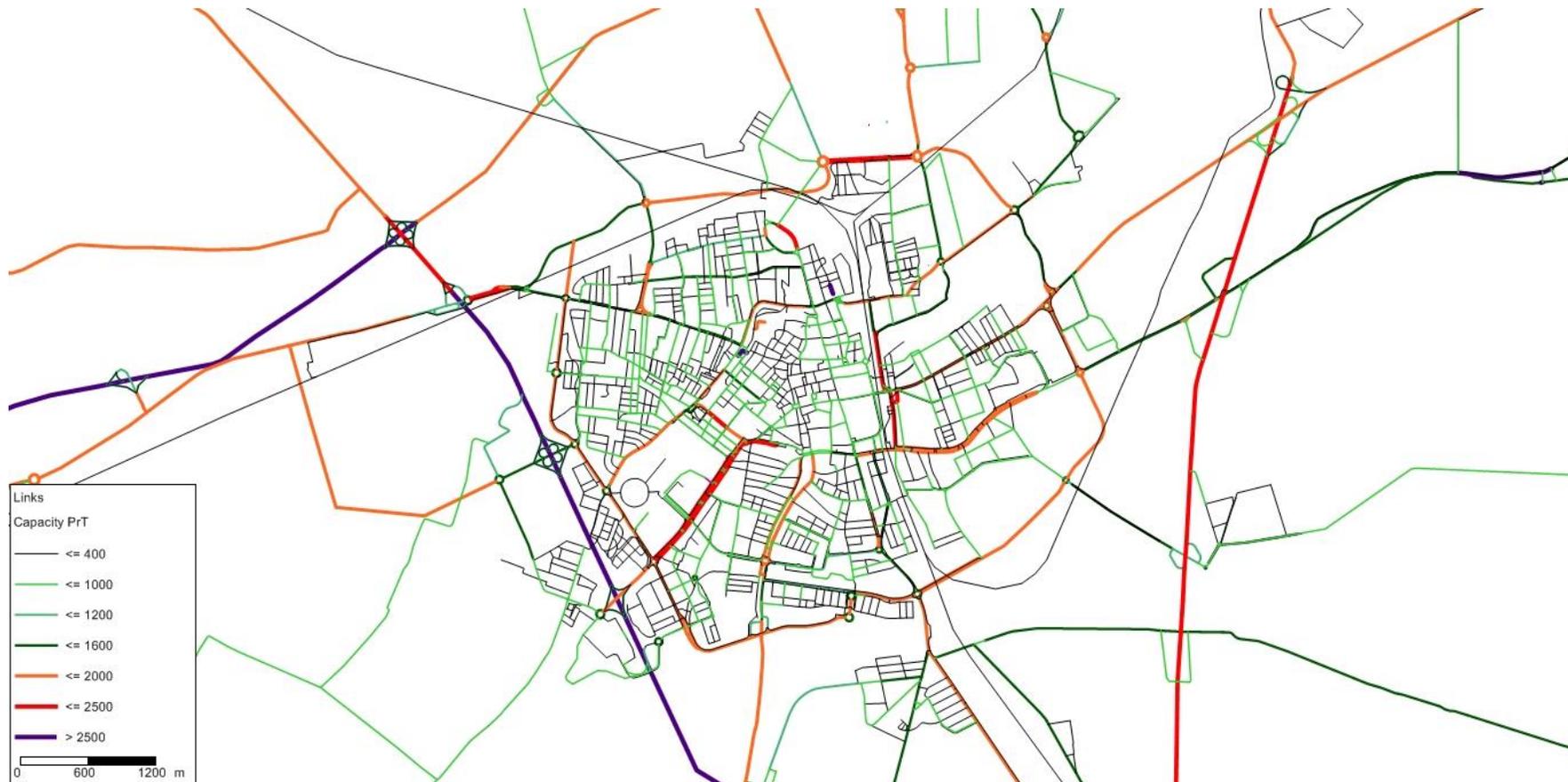
Nella figura seguente si mostra la mappa tematica del grafo stradale secondo diverse categorie di velocità.





2.1.2 Mappa capacità rete

Nella figura seguente si mostra la mappa tematica del grafo stradale secondo diverse categorie di capacità.





2.2 Il servizio del TPL

Il trasporto pubblico è rappresentato tramite la definizione delle linee di trasporto pubblico sia su gomma che su ferro.

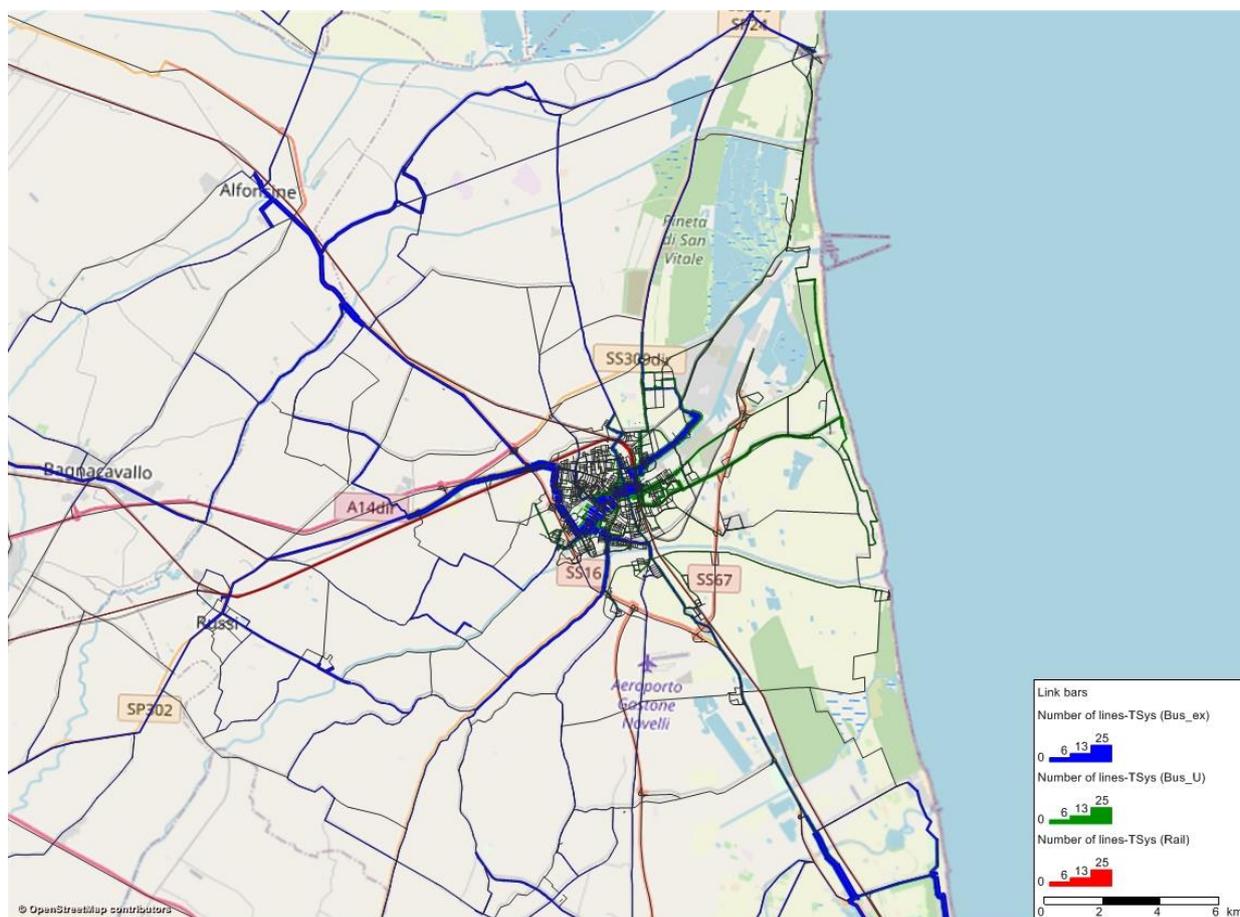
A queste linee nel modello sono assegnate le seguenti caratteristiche:

- tipologia di servizio (es. se urbano o extraurbano),
- uno o più percorsi che descrivono le diverse corse simulate nella fascia di punta del mattino,
- la definizione delle fermate servite per linea. Le fermate sono schematizzate ed il loro numero dipende dal livello di definizione della zonizzazione adottata,
- la definizione dei tempi di percorrenza tra una fermata e l'altra
- il numero di corse effettuate nella fascia di punta del mattino specificando l'orario di partenza per ogni corsa.

Il modello simula 11 linee urbane e suburbane e 29 linee extraurbane su gomma e il servizio in 3 tratte ferroviarie: Rimini-Ravenna-Ferrara, Bologna-Castel Bolognese-Ravenna e Faenza-Granarolo-Ravenna.

Agli spostamenti che avvengono sul trasporto pubblico, è inoltre associata una tariffa.

I modi autobus, urbano ed extraurbano sono associati ad una tariffazione a zone, mentre il treno è associato ad una tariffazione chilometrica.

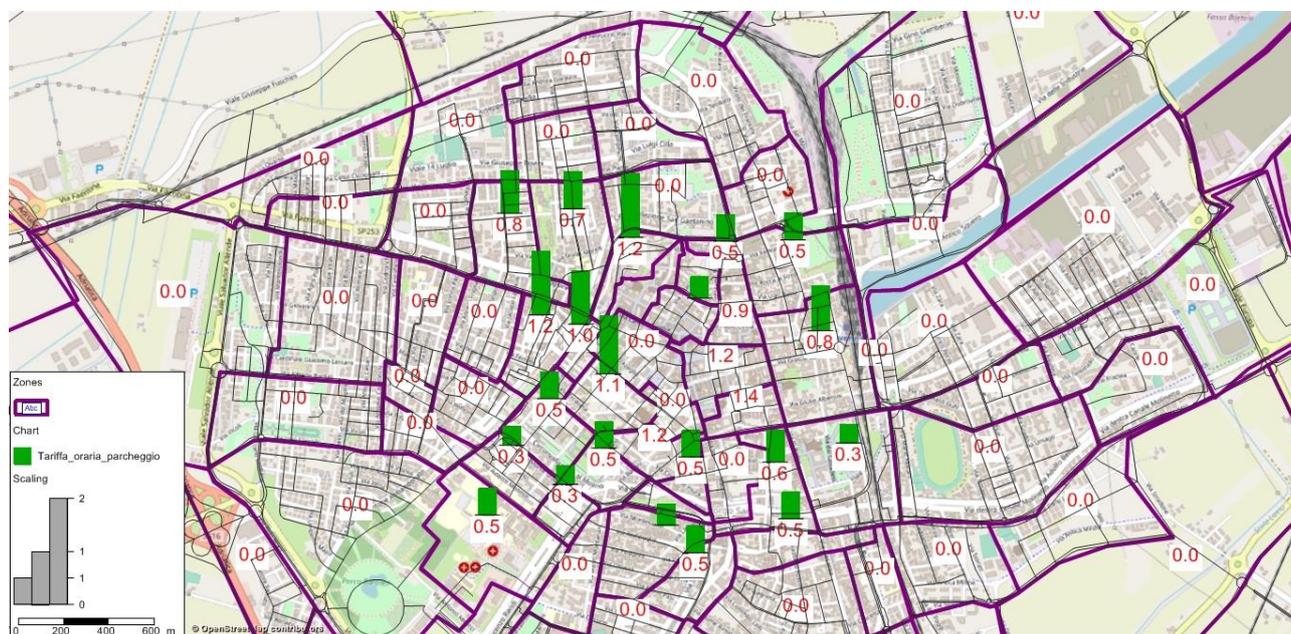




2.3 Aree di sosta

In generale, le aree di sosta, ed in particolare quelle relative alla sosta su strada, sono state modellizzate utilizzando le caratteristiche delle zone di trasporto (cfr. di seguito) definite nel modello. A queste zone è stata associata una tariffa oraria, un coefficiente che varia da 0 a 1 per indicare il grado di copertura dei parcheggi a pagamento nella zona trasportistica e un tempo medio di sosta assegnato per i diversi motivi di spostamento.

I parcheggi scambiatori sono invece stati implementati attraverso zone “fittizie” di passaggio dei flussi in cui si effettua il park and ride. Queste zone non risultano essere zone di origine o di destinazione finale dello spostamento ma punti intermedi dove avviene lo scambio modale tra auto e trasporto pubblico (autobus). A queste zone viene associata una capacità e curva di deflusso per tener conto del grado di saturazione.





3 La domanda di traffico – le matrici O/D

La domanda di mobilità del Comune di Ravenna è stimata a partire dalla matrice O/D degli spostamenti ricavata dai dati telefonici attraverso tecniche di analisi dei Big Data. Questi dati, acquisiti da fonti esterne, sono il risultato di un processo di selezione, elaborazione e validazione dei dati di movimento delle schede telefoniche (SIM) dell'operatore WindTre degli utenti cosiddetti "human", che rappresentano un campione di circa il 30% della popolazione dell'area di studio² e consentono quindi di ricostruire accuratamente i fenomeni della mobilità complessiva dell'area di studio.

L'utilizzo delle informazioni sui movimenti delle SIM permette inoltre di tenere conto, con dettaglio orario, di tutti gli spostamenti (tutti i motivi e tutti i modi di trasporto) in generazione e attrazione dall'area di studio avvenuti nel mese di ottobre 2021, periodo coincidente con il periodo di conduzione dei conteggi di traffico, e sono suddivisi per giorno feriale, sabato e domenica.

L'acquisizione di questo tipo di dati di domanda degli spostamenti (matrici O/D tutti i modi e tutti i motivi) costituisce un aspetto innovativo della metodologia proposta per il PUMS di Ravenna rispetto agli approcci modellistici tradizionali che facevano affidamento sulle matrici del Censimento ISTAT relative ai soli spostamenti sistematici (lavoro e studio). In un secondo momento si stimava la componente erratica della domanda di traffico con l'utilizzo del modello di simulazione del traffico e di procedure matematiche di correzione delle matrici.

I dati sono stati elaborati in formato matriciale conforme alla zonizzazione del modello di trasporto in corso di implementazione. La zonizzazione dell'area corrispondente alla Provincia di Ravenna e di parte delle province di Ferrara e di Forlì-Cesena è riportata nella figura seguente. Le zone esterne sono raggruppate per direttrici ed alimentano i principali assi di comunicazione dell'area di studio (autostrade, ferrovie, viabilità principale). Le province limitrofe di Bologna e di Ferrara sono state separate in 2 zone: il capoluogo e tutti gli altri Comuni.

² Cfr. AGCOM. Osservatorio sulle comunicazioni 2/2020. "Al marzo 2020 in Italia, paese con circa 60 milioni di abitanti, sono attive 103 milioni di sim; 78,4 milioni sono "human" (utilizzate nelle interazioni umane) e quasi 25 milioni "M2M" (Machine to Machine, ossia quelle sim che consentono lo scambio dati, informazioni e comandi tra apparecchiature e dispositivi con limitata o nessuna interazione umana)." - Le sim "human-residenziali" (tutte quelle non business) sono suddivise secondo le seguenti quote di mercato: WindTre raccoglie il 30,3% della clientela, Tim il 25%, Vodafone il 23%, Iliad l'8,4%. Nel mercato delle sim "human- business" Tim copre il 37,1% del mercato, Vodafone il 35,6% e WindTre il 22%.

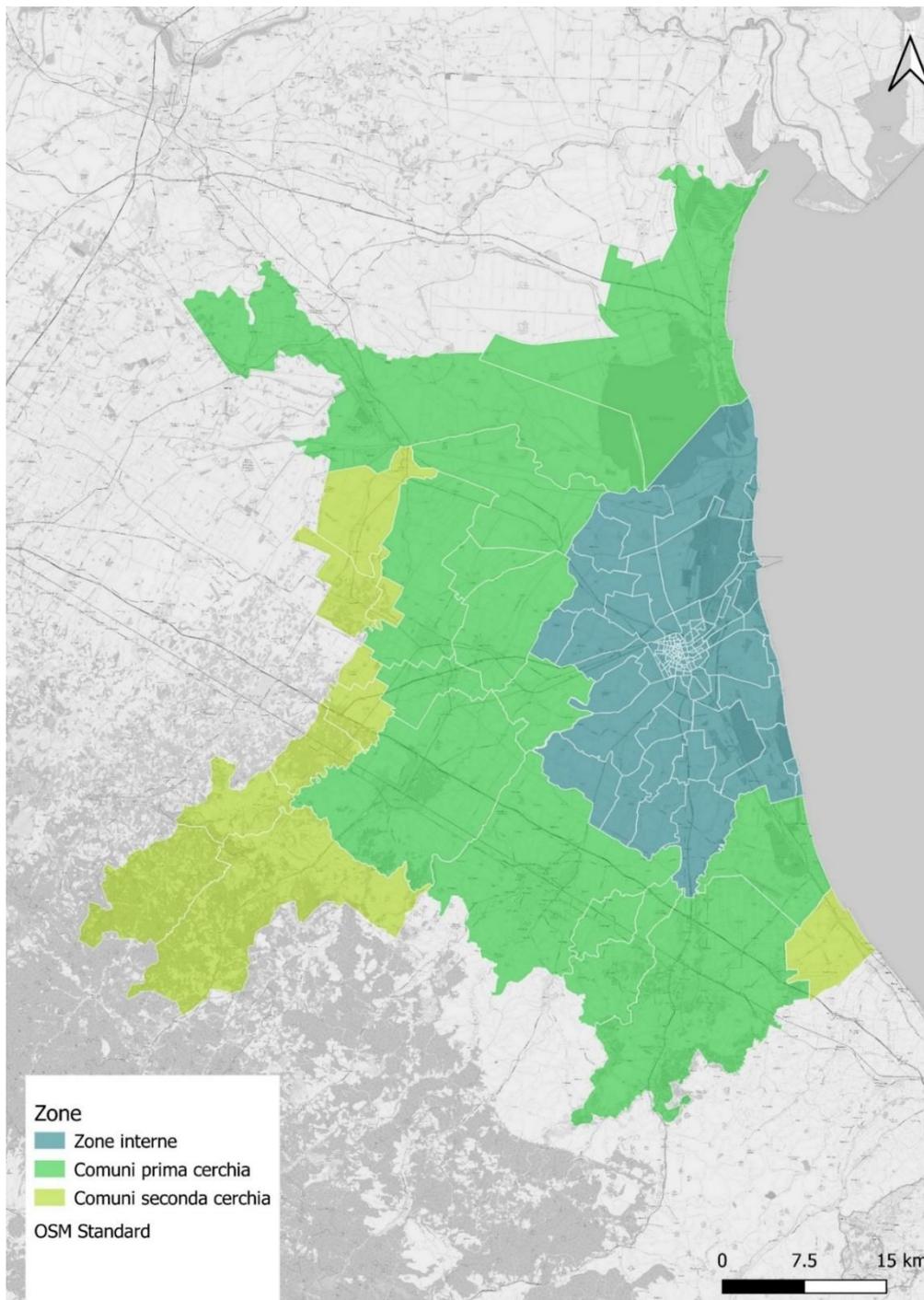


Figura 3-1: Zone interne al Comune di Ravenna e territori comunali di prima e seconda cerchia

Il dataset delle matrici origine/destinazione derivante dai dati telefonici presenta una segmentazione degli spostamenti per:

- giorno della settimana (lavorativi, sabato e domenica);
- ora del giorno (0, 1, 2, ...23);
- motivo dello spostamento.



Relativamente a quest'ultimo elemento vengono raggruppati i seguenti motivi di spostamento:

- Casa - lavoro;
- Casa - altri motivi;
- Altri motivi;
- Ritorni a casa.

Dove per “casa - lavoro” in realtà si intende la somma degli spostamenti sistematici, che comprendono lavoratori e studenti. Per la stima della quota degli studenti si è fatto riferimento ai dati ISTAT ed alla loro distribuzione zona per zona incrociando i dati con il numero di scuole presenti nelle diverse zone di Ravenna.

I dati di mobilità da Big Data sono elaborati per ottenere quattro matrici utilizzabili per le operazioni modellistiche. Queste matrici vengono composte conformemente ai motivi di spostamento considerati nel modello: lavoro, studio, altro motivo e ritorni a casa per le fasce orarie punta del mattino e della sera e in seguito sottoposte a una verifica di congruenza con i dati di popolazione residente (ISTAT), con alcuni indicatori di mobilità di riferimento e con le matrici di mobilità eventualmente già disponibili: ISTAT 2011, matrici del PRIT.

L'acquisizione dei dati di traffico dai cellulari copre e sostituisce di fatto le attività dei primi due stadi del modello classico a quattro stadi che **genera** le quantità totali degli spostamenti in funzione delle caratteristiche territoriali dell'area di studio e che successivamente **distribuisce** tali spostamenti tra le zone del modello costruendo i pattern della matrice origine/destinazione di tutti gli spostamenti.

Le matrici derivanti dall'analisi dei Big Data sono quindi processate dal modello di simulazione multimodale che opera i successivi due stadi:

- ripartizione degli spostamenti tra le modalità di trasporto disponibili nell'area di studio;
- assegnazione dei flussi di traffico alle reti di trasporto (stradali, trasporto pubblico).

La figura seguente mostra le sequenze di implementazione del modello multimodale del traffico che a partire dalle matrici degli spostamenti totali conduce alla stima della ripartizione modale degli stessi e alla successiva assegnazione alle reti di trasporto e alla loro calibrazione per confronto con i flussi di traffico rilevati sulla rete stradale e con i dati di frequentazione del trasporto pubblico.

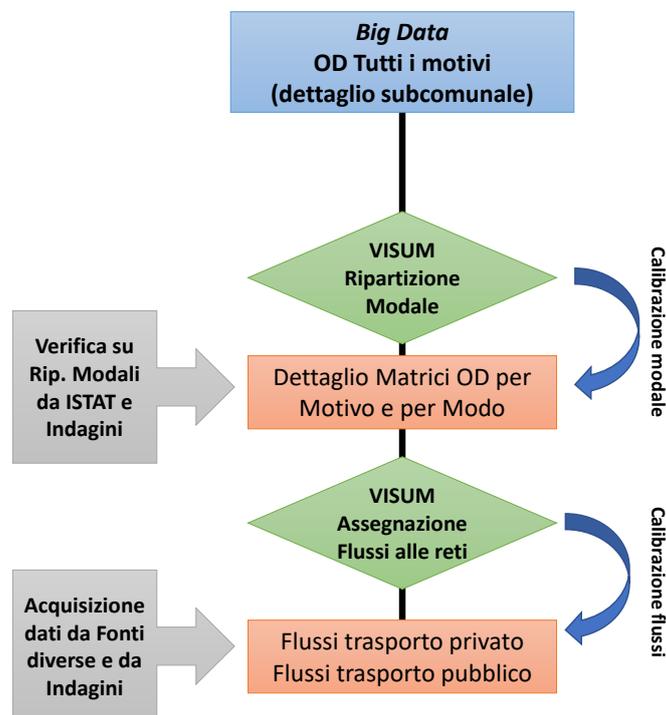


Figura 3-2: Processo di calibrazione delle matrici di traffico e del modello di simulazione

La prima fase modellistica è la ricostruzione della ripartizione modale degli spostamenti. A valle di questa operazione, le matrici O/D modali prodotte dal modello sono state confrontate con le matrici Origine/Destinazione del Pendolarismo ISTAT del 2011. Il numero degli spostamenti effettuati per ciascun modo di trasporto è stato validato anche tenendo in considerazione le informazioni ricavabili dalle indagini stradali e sul trasporto pubblico.

Il processo di calibrazione delle matrici modali è iterativo e tiene conto anche dei risultati della fase successiva di assegnazione alle reti. Laddove, ad esempio, la rete di trasporto pubblico presentasse flussi di traffico molto elevati e quella stradale mostrasse flussi veicolari stradali sottodimensionati, si ritorna sui parametri di calibrazione modale per riequilibrare le rispettive matrici della fase precedente.

Una volta calibrata la ripartizione modale si procede con l'ultima fase della calibrazione dei flussi confrontandoli con i dati di flusso (veicolare stradale, trasporto pubblico, ecc.) disponibili.

In questa fase finale di calibrazione del modello utilizza una procedura automatica di correzione matriciale (interna al software Visum – TflowFuzzy) che, a partire dai dati di traffico disponibili su alcuni archi della rete e dal calcolo dei percorsi che utilizzano tali archi, consente di correggere gli spostamenti tra le coppie origine/destinazione che utilizzano tali itinerari.

Tale applicazione, in particolare, è indispensabile per la stima della matrice dei veicoli commerciali a partire dai flussi veicolari rilevati nella campagna di indagine di ottobre 2021 e dai dati di traffico disponibili da diverse fonti (monitoraggio comunale, monitoraggio della Regione Emilia-Romagna, ecc.).



4 Il modulo di ripartizione modale degli spostamenti

La ripartizione multimodale (*mode choice*) calcolata dal modello Visum a partire dalla matrice totale degli spostamenti ricavata dai dati telefonici e segmentata secondo i 4 motivi di spostamento, avviene utilizzando il costo generalizzato associato ad ogni modo per ogni coppia O/D. Il “costo” dello spostamento è funzione anche di componenti di scelta che non sono solo legati ai costi o ai tempi di viaggio ma anche a caratteristiche proprie dell’uso di quel modo (costanti modali) che tengono conto di alcuni fattori percepiti dagli utenti di quel modo come ad esempio il comfort, la sicurezza, l’affidabilità, ecc.

Il costo generalizzato è ricostruito applicando le funzioni di disutilità legate all’utilizzo di ogni modo di spostamento. A sua volta, ogni modo di spostamento è costituito da una catena di modi semplici combinati tra loro: es. raggiungo a piedi la fermata del TPL, attendo l’arrivo del bus, faccio il viaggio e lo concludo a destinazione con l’ultimo tratto a piedi oppure combinazioni più complesse come il Park&Ride che tengono conto anche dei tempi di interscambio tra l’auto e il bus e dei costi del parcheggio.

Il modello per il PUMS di Ravenna considera i seguenti modi di spostamento:

- Auto
- Park&Ride
- Moto
- Treno
- Bus extraurbano
- Bus urbano
- Bici e monopattini
- Bici e monopattini sharing
- Piedi
- HGV: veicoli commerciali pesanti
- LGV: veicoli commerciali leggeri.

Di questi, treno, bus urbano ed extra-urbano e sosta di interscambio Park&Ride comprendono la costruzione di percorsi multimodali di cui coprono il segmento principale.

Biciclette e monopattini sono considerati parte di un unico modo in quanto assimilabili per velocità, interazione con gli altri veicoli, fattore di rischio ed elementi che contribuiscono alla costruzione della costante modale.

L’assegnazione degli spostamenti ai diversi modi di trasporto, disponibili per ogni coppia O/D, avviene per mezzo di un modello logit.

In questo tipo di modelli, la probabilità che una certa alternativa x sia scelta è data dalla seguente formula:

$$P_x = \frac{e^{\lambda v_x}}{\sum_x e^{\lambda v_x}}$$

La formula del logit afferma quindi che la probabilità che una certa alternativa x sia scelta è data dal rapporto tra l’esponentiale della componente deterministica della sua utilità (v_x) moltiplicata per il parametro λ e la somma di tali esponentiali estesa a tutte le alternative.

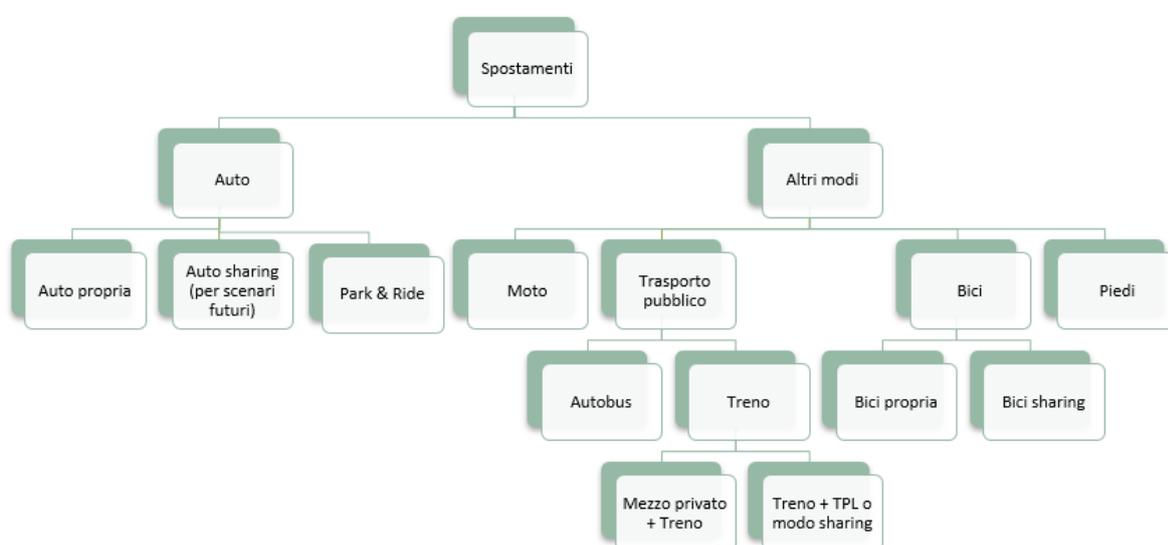
Gli elementi su cui tipicamente si agisce per calibrare il modello logit sono quindi:



- Il parametro λ , che regola la dispersione della scelta tra le alternative (più il suo modulo è alto e maggiore sarà il numero di spostamenti che sceglieranno l'alternativa più conveniente, al contrario un valore del modulo minore porterà a una maggiore dispersione degli spostamenti sulle diverse alternative).
- Le componenti delle funzioni di utilità che riflettono rischi, penalizzazioni o incentivi e livello di comfort delle diverse alternative.

Il risultato delle operazioni di mode choice è costituito da una lista di matrici di domanda. A ciascun modo singolo corrisponde un'unica matrice modale che indica per ciascuna coppia O/D quanti sono gli spostamenti che scelgono tale modo. Per i modi composti, invece, vengono prodotte più matrici: una per il modo principale e una per ciascuno dei relativi modi feeder.

La seguente figura schematizza lo schema gerarchico del modello di scelta modale rappresentato:



Di seguito si descrivono le componenti delle funzioni di disutilità utilizzate nel modello Visum:

- funzione di disutilità dei modi singoli;
- funzione di disutilità dei modi composti;
- funzione di disutilità utilizzate per la ripartizione dei modi intrazonali.

4.1 Funzione di disutilità dei modi singoli (per gli spostamenti extrazonali)

Le disutilità per i modi singoli sono costruite attraverso l'utilizzo dei seguenti elementi:

- Costi operativi dello spostamento + (eventuale) pedaggio,
- Costo del parcheggio,
- Tempo dello spostamento,
- Rischio dello spostamento,
- Disponibilità del modo all'origine (la disponibilità del modo viene utilizzata solo per i modi sharing),



- Parametro legato alla distanza degli spostamenti che consente di limitare l'uso improprio di alcune modalità di spostamento su lunghe distanze.

Traducendo in formula, la funzione di disutilità relativa al modo M, per il segmento di domanda s, tra la zona di origine i e la zona di destinazione j è data da:

$${}^sF_{Dis_{ij}}^M = {}^sCost_{ij}^M + {}^sC_{Park}_{ij}^M + {}^sTime_{ij}^M * {}^sVOT + Risk_{ij}^M + \frac{1}{DispMode_i^M} + DIST_factor_{ij}^M$$

La funzione di disutilità corrisponde dunque al costo generalizzato del trasporto espresso in termini monetari [€]. Anche il tempo di spostamento viene monetizzato applicando un VOT, valore del tempo di spostamento (euro/ora), dipendente dal motivo di spostamento (es. più elevato per i viaggi di affari e più basso per gli spostamenti per studio).

4.1.1 Costi operativi

Per costruire i costi dell'auto propria e dei motocicli si tiene conto dei costi operativi al chilometro e dei costi dei pedaggi. I costi operativi dell'auto risultano essere 0.117 €/km, mentre quelli della moto risultano essere 0.055 €/km.

Dei costi operativi si hanno anche per i modi sharing, legato, per quanto riguarda le biciclette, al tempo di utilizzo (0.069 €/min)

Per il trasporto pubblico i costi sono quelli relativi alla tariffazione (biglietti e abbonamenti), i quali sono stati modellati al fine di essere il più rappresentativi possibile per ogni linea (urbana/extraurbana/ferrovia, ecc.).

4.1.2 Costi di parcheggio

Il costo del parcheggio, stimato solo per il modo auto, viene calcolato nel modello attraverso la seguente formulazione:

$${}^sC_{Park}_i = Prob_park_pagamento_i * Tariffa_oraria_media_i * {}^sTempo_medio_sosta$$

Dove la probabilità di trovare parcheggio a pagamento (prob_park_pagamento) viene stimata per ogni zona con valori compresi tra 0 e 1, tenendo conto della eventuale presenza di parcometri e relativa densità ed eventuale presenza di aree di sosta gratuita.

La tariffa oraria media viene stimata sovrapponendo alla zonizzazione il layer delle zone tariffarie e ricavandone così un costo "medio" per zona.

Per quanto riguarda il tempo medio di sosta, per ogni motivo di spostamento s è stato definito un tempo medio di permanenza in fase di sosta.

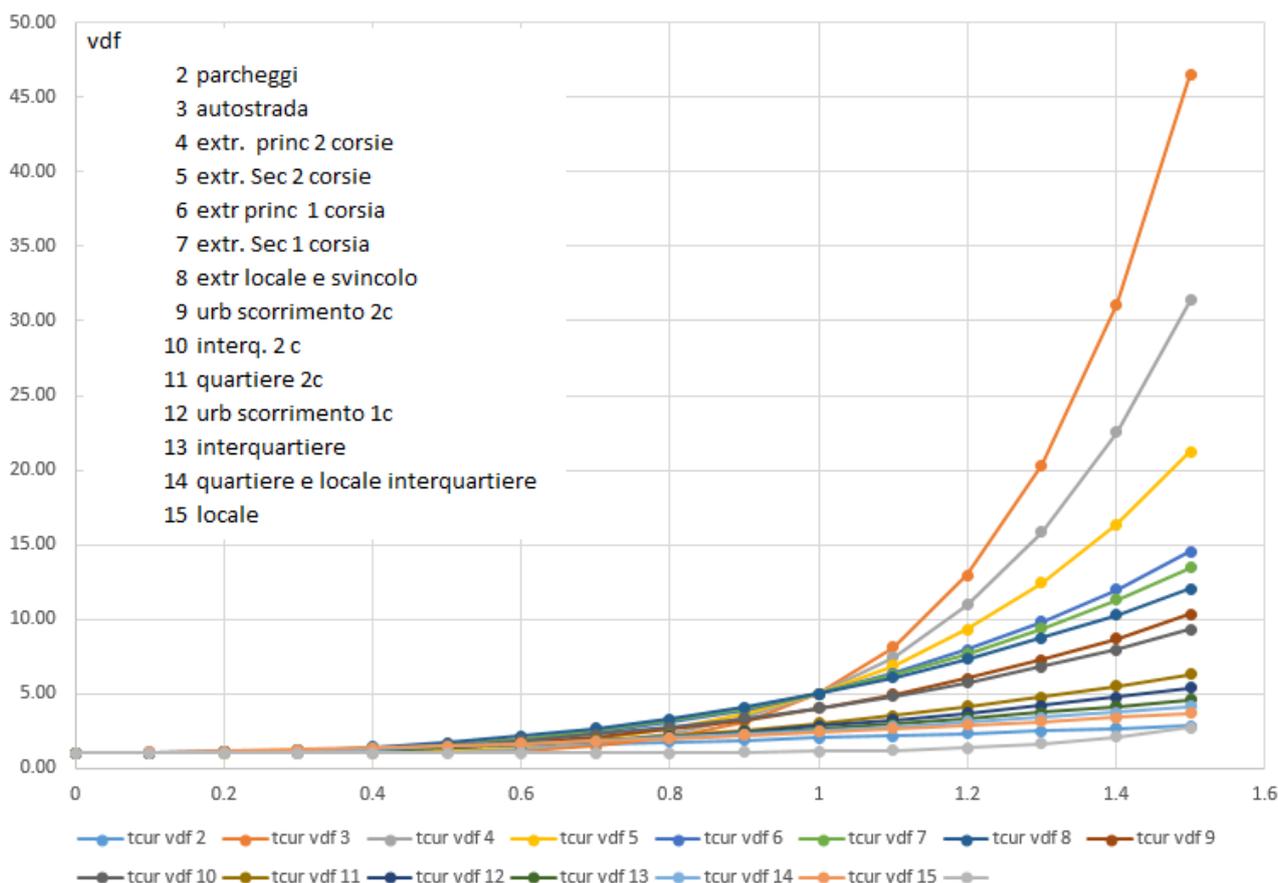
4.1.3 Tempi di viaggio

I tempi di viaggio sono calcolati sugli archi stradali attraverso l'applicazione delle funzioni (curve) di deflusso che li fanno variare al variare del grado di congestione dell'arco stesso. Se la congestione cresce allora i tempi di viaggio crescono. A differenza dei modi di trasporto privati (auto, moto, veicoli commerciali), durante la



fase di assegnazione, i tempi di viaggio sono fissi per la ferrovia e per il TPL extraurbano e dipendono da quanto previsto nella tabella degli orari o secondo la frequenza del servizio. Così come il TPL, i tempi per i modi bici e piedi rimangono invariati e non sono soggetti alle curve di deflusso

Curve di deflusso



4.1.4 Rischio associato allo spostamento per il modo bici-micromobilità

Il rischio è associato ai modi bici (in cui si tiene conto anche del monopattino), sia propri che condivisi. Questo fattore di rischio viene costruito nella fase di calcolo delle *skim*³, associando un “costo” ad ogni arco in funzione della tipologia dell’arco percorso.

La stima del rischio dello spostamento per questi modi è basata sul parametro di rischio (fattore di impedenza “Imp_cycling_fact”) associato al i-esimo link, il quale dipende dal link type (velocità). Il fattore di rischio è calcolato come differenza tra l’impedenza e il tcur (“TTC”), dove l’impedenza è $tcur * Imp_cycling_fact$.

³ Termine con cui nel framework Visum ci si riferisce ad alcuni elementi che compongono la disutilità, come il tempo di percorrenza o il costo dello spostamento tra una zona di origine e una di destinazione.



In particolare, questo fattore di impedenza risulta essere pari a 1 (rischio nullo) negli archi ciclabili separati e dedicati e crescente in altre tipologie di archi in funzione delle velocità a flusso libero dei veicoli motorizzati e delle relative caratteristiche funzionali (rischi bassi per strade locali), differenziando tra strade urbane ed extraurbane.

4.1.5 Disponibilità all'origine

La disponibilità all'origine viene applicata per i modi condivisi (Bici sharing) e rappresenta il fatto che in alcune zone è più facile trovarli che in altre (es. in periferia bici e monopattini condivisi potrebbero non essere disponibili). Questo elemento serve alla calibrazione (assorbe parte della costante modale) e può essere usato per simulare politiche o per correggere eccessi di spostamenti generati con un dato modo condiviso da determinate zone. La disponibilità varia da un minimo di 0 (0,001 nel modello) ad un massimo di 1.

La sua stima iniziale è effettuata considerando il numero di stazioni e, perciò il numero di bici disponibili per ogni zona, in relazione alla sua estensione.

4.1.6 Parametro legato alla distanza

Il parametro di distanza serve per rappresentare la disutilità che si ha nell'utilizzare i modi privati per lunghe distanze. Nello specifico riflette il fatto che all'aumentare della distanza da percorrere, alcuni modi perdono di attrattività: ad esempio se uno spostamento prevede di percorrere grandi distanze con transito su autostrade o strade extraurbane è difficile che si scelga la moto, sarà invece privilegiato l'uso dell'automobile.

Questo parametro è legato alla distanza attraverso una funzione esponenziale che, per i vari modi definisce il livello di discomfort, sicurezza ecc. ed è scelto in fase di calibrazione per ogni modo, dove si avrà un parametro piccolo per le auto e via via crescente per moto, bici e piedi.

Il dist factor è calcolato come $a_M * (Dist_{ij})^{b_M}$, dove Dist è la skim delle distanze e a e b due parametri da calibrare per i modi. Anche il dist_factor è espresso in termini monetari [€].

4.2 Funzioni di disutilità per i modi composti

Per il calcolo delle funzioni di disutilità per i modi multimodali si fa affidamento sulla procedura Visum detta *multimodal assignment*, che ricostruisce il costo per ciascuna O/D come la somma dei costi dei singoli modi e delle penalizzazioni date dagli interscambi lungo la sequenza (costi aggiuntivi e perditempo). Questa procedura permette di calcolare le matrici *skim* per tutti i modi che ammettono catene multimodali e si fonda sulla definizione del modo principale (Main mode) e dei modi feeder, ossia i modi che possono essere usati prima o dopo il main mode per completare lo spostamento.

Un esempio è costituito dal treno. Il modo treno può prevedere un modo feeder a monte (es. piedi) per raggiungere la stazione di partenza e un modo feeder a valle per arrivare fino a destinazione (es. il bus urbano).

4.3 Funzione di disutilità intrazonale

Le disutilità intrazonali sono semplificate e sono costruite attraverso l'utilizzo dei seguenti elementi:



- Costo dello spostamento
- Tempo dello spostamento
- Disponibilità del modo all'origine.

Per ogni segmento s , la disutilità del modo M tra la zona di origine i e la zona di destinazione j è determinata dalla seguente formula, dove gli addendi hanno significato analogo a quelli presentati per le disutilità extrazonali.

$${}^sCG_{ij}^M = {}^sCost_{ij}^M + {}^sTime_{ij}^M * {}^sVOT + \frac{1}{DispMode_i^M}$$

In questo caso, dal momento che gli spostamenti intrazonali non vengono assegnati alla rete, le skim di tempo sono calcolate relativamente ad una lunghezza media di spostamento teorica per zona ricavata in relazione all'estensione della zona in oggetto e a delle velocità input definite per ogni modo e zona.



5 Il modulo di assegnazione - I flussi di traffico sulle reti di trasporto

Ottenute le matrici modali, si passa alla fase di assegnazione degli spostamenti alle reti di trasporto. Questa fase prevede l'utilizzo di algoritmi diversi per i modi pubblici e i modi privati. Il primo si fonda sulla ricerca dei percorsi più convenienti delle linee che collegano le O/D di interesse e sulla successiva assegnazione dei flussi. Il secondo assegna alla rete i flussi di veicoli privati sulla base del Primo Principio di Wardrop, il quale afferma che *in condizioni di equilibrio, il traffico in una rete congestionata si dispone in modo che nessun utente possa migliorare il proprio costo di viaggio cambiando percorso.*

La validazione dei risultati del modello di assegnazione calibrato allo stato di fatto avviene attraverso il confronto tra i flussi veicolari modellizzati e i flussi dei veicoli assegnati a partire dai dati di domanda disponibili, con un processo iterativo che termina quando gli scostamenti tra i due valori (modellizzato ed osservato) in valore assoluto ed in valore percentuale sono minimi. Per valutare la bontà dei risultati ottenuti, si tiene conto di alcuni indicatori trasportistici (come, ad esempio, il GEH e il coefficiente di determinazione della retta di regressione, che deve essere almeno pari a 0,9). Il confronto avviene su circa 110 sezioni stradali di controllo prevalentemente concentrate nel territorio comunale ed in parte sui restanti Comuni di prima e seconda cerchia.

I dati di flussi disponibili per la correzione e la validazione delle matrici provengono da varie fonti:

- conteggi dei flussi di traffico in continuo sulle principali strade regionali – 2019 e 2021 (Sistema di monitoraggio della Regione Emilia-Romagna),
- spire del sistema di monitoraggio continuo - 2019 e 2021 (Fonte Comune di Ravenna),
- passaggi ai varchi della ZTL - 2019 e 2021 (Fonte Comune di Ravenna),
- altri conteggi sul territorio comunale svolti tra il 2017 e il 2019 (Fonte Comune di Ravenna),
- studi di traffico relativi a piani attuativi (Fonte Comune di Ravenna),
- dati di frequentazione del TPL da indagini effettuate in ottobre/novembre 2021.

La localizzazione dei conteggi di traffico disponibili è riportata nelle figure seguenti.



Figura 5-1: Dati di traffico disponibili da diverse fonti per l'intero territorio provinciale

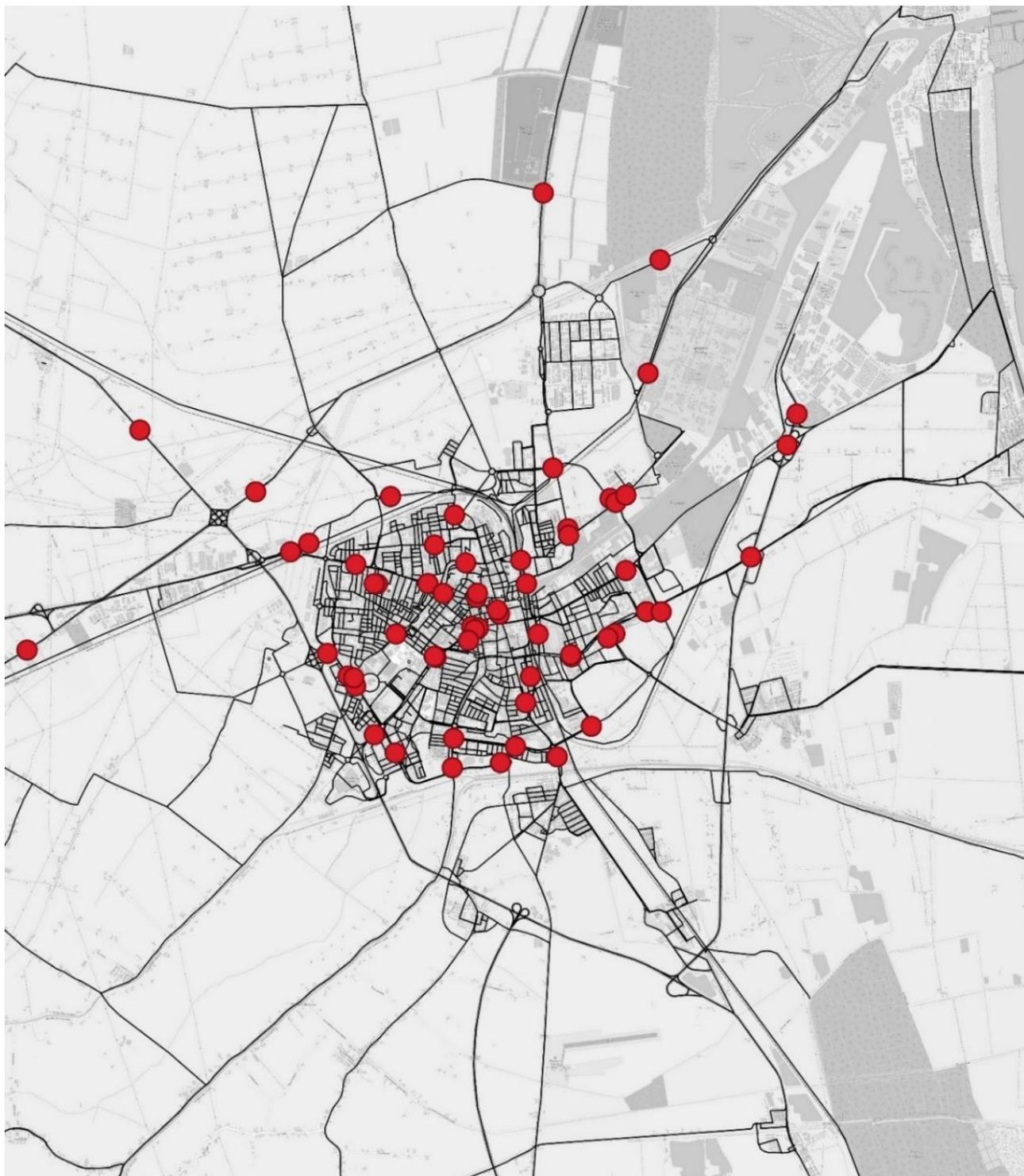


Figura 5-2: Dati di traffico disponibili nelle zone centrali del Comune di Ravenna da fonte comunale

Ad integrazione dei dati di traffico esistenti, sono state eseguite due campagne di rilievi: una per il trasporto pubblico e una per il trasporto veicolare privato.



Quest'ultima è stata eseguita nel mese di ottobre 2021 in corrispondenza dei punti di controllo evidenziati in blu nella figura seguente.

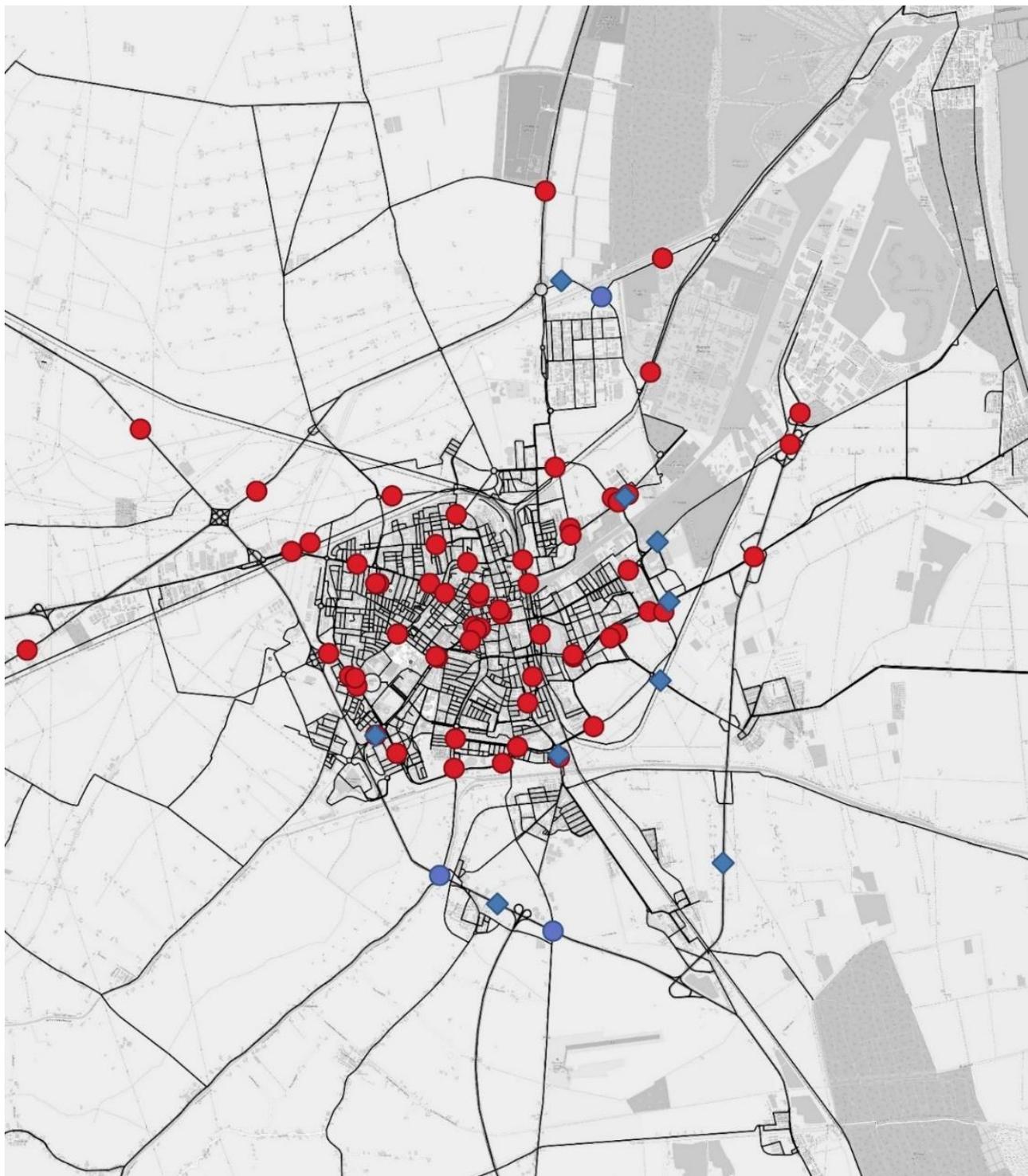


Figura 5-3: In rosso sono rappresentati i dati esistenti sul territorio comunale, in blu i punti di controllo aggiuntivi



I rilievi sono di due tipi:

- conteggi classificati di **sezione** (rombi blu nell'immagine precedente), svolti su 9 sezioni stradali bidirezionali relativamente a quattro classi veicolari (motocicli, autovetture, veicoli commerciali leggeri e commerciali pesanti) per sette giornate consecutive (lunedì-venerdì, sabato, domenica);
- conteggi classificati delle **manovre ai nodi** (cerchi blu nell'immagine precedente), svolti su 3 nodi viari relativamente a cinque classi veicolari (motocicli, autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti e autobus) per la fascia oraria di punta del mattino (7:30 – 9:00) e della sera (17:30 – 19:00) nel giorno feriale.

5.1 Principali elementi ricavati dai conteggi di traffico

La tabella successiva restituisce la localizzazione delle postazioni di rilievo.

Tabella 5-1: Localizzazione dei punti di rilievo dei flussi di traffico

TIPOLOGIA	LOCALIZZAZIONE	GIORNI E FASCE ORARIE	
Sezioni stradali	R01	via Canale Magni tra l'intersezione con via Bassette e l'intersezione con la SS309	7 giorni consecutivi, 0:00-24:00
	R02	via Baiona, tra l'intersezione Rotonda Belgio e l'intersezione Rotonda dei Portuali	
	R03	via Trieste, a est dell'intersezione con via Monti	
	R04	via Destra Canale Molinetto, tra l'intersezione Rotonda Francia e l'intersezione a livelli sfalsati con la SS67, in prossimità del passaggio a livello	
	R05	via Stradone, a sud dell'intersezione Rotonda Germania, in prossimità del passaggio a livello	
	R06	via Romea Sud, nei pressi del ponte sul Fiumi Uniti	
	R07	SS16 Adriatica, tra il chilometro 154+400 e il chilometro 155+000	
	R08	SS67 Tosco Romagnola, tra il chilometro 220+400 e il chilometro 220+700	
	R09	viale V. Randi, tra l'intersezione Rotonda Lussemburgo e l'intersezione a livelli sfalsati con la SS16	



TIPOLOGIA	LOCALIZZAZIONE		GIORNI E FASCE ORARIE
Intersezioni stradali	N01	intersezione a rotatoria tra via Canale Magni e via Bassette (Rotonda degli Scaricatori)	Giorno feriale, 7:30-9:00 e 17:30-19:00
	N02	intersezione semaforizzata tra SS16 e via Dismano	
	N03	intersezione a rotatoria tra SS16 e via Ravegnana	

Le sezioni dove si è registrato il maggior volume di traffico sono:

- la 6 - via Romea sud all'ingresso dell'area urbana centrale da meridione con oltre 30.000 veicoli/giorno,
- la 7 - SS16 Adriatica con circa 28.300 veicoli/giorno,
- la 9 - viale Randi all'ingresso dell'area urbana centrale da occidente con valori di poco superiori a 28.000 veicoli/giorno.

La sezione più scarica risulta essere la sezione 1, interessata dal passaggio di circa 7.000 veicoli al giorno. Le sezioni rimanenti presentano dei livelli di traffico che variano dai 10.000 ai 16.000 veicoli giornalieri.

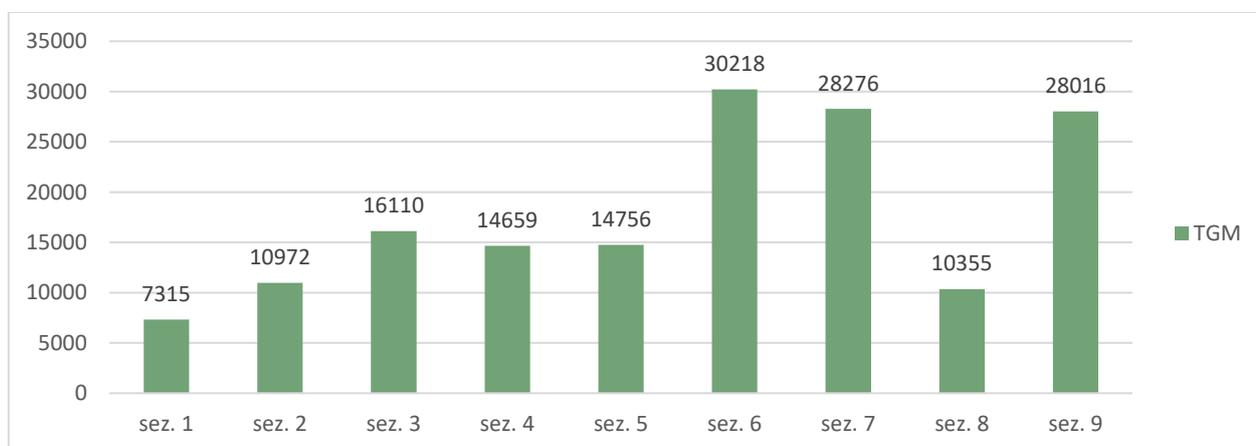


Figura 5-4: TGM – Traffico Giornaliero Medio registrato ad ottobre 2021

Le percentuali del traffico giornaliero medio che interessano le sezioni in esame nelle ore di punta del mattino e della sera (7:30-9:00 e 17:30-19:00) risultano attestarsi, generalmente attorno all'11-12%, con contenute differenze tra il mattino e la sera, ad eccezione delle sezioni con minor traffico che presentano scostamenti percentuali più ampi tra mattino e sera.

Le percentuali di mezzi pesanti rilevate variano da un massimo del 45% nella sezione 1 (dovuta in parte anche all'assenza di veicoli leggeri da/per Porto Corsini e gli altri lidi nord a causa della chiusura del ponte sul canale Baiona) ad un minimo del 2% nelle sezioni 6 e 9. In generale, nelle sezioni poste sulle strade di collegamento tra l'entroterra e il porto (1, 2, 3, 8) e sull'itinerario nazionale della Statale Adriatica (7), la quota dei veicoli pesanti sul totale dei veicoli rilevati è più consistente.

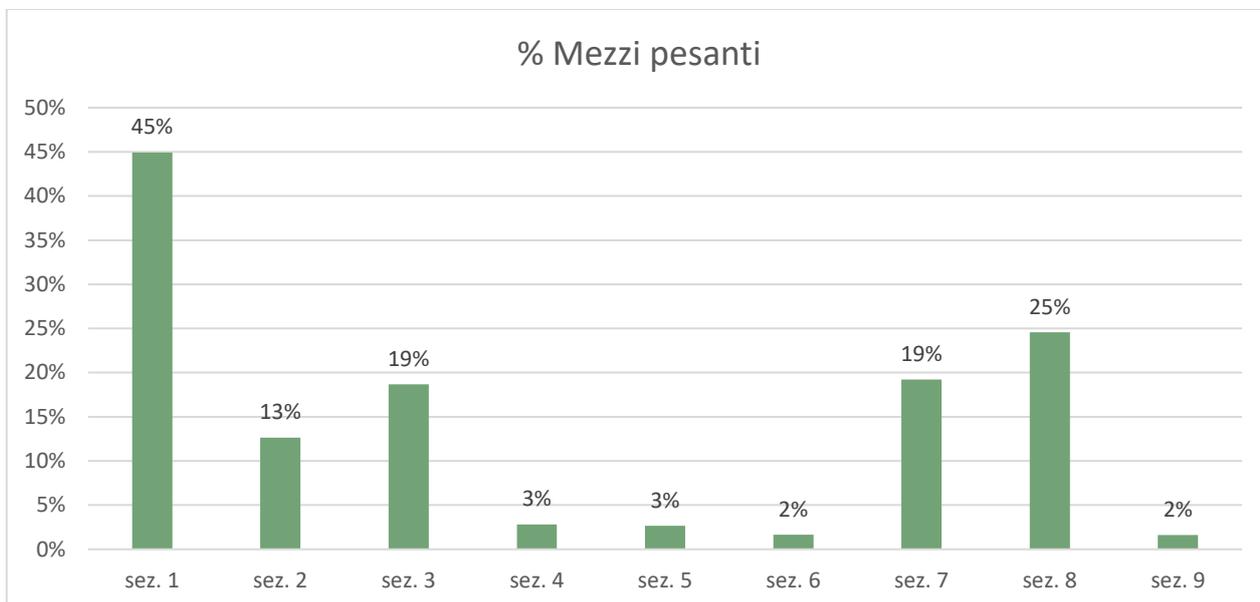


Figura 5-5: Percentuale del traffico merci registrata nelle sezioni di rilevazione ad ottobre 2021

Per quanto riguarda i nodi, si riportano due grafici in cui si mostrano, in sintesi, i volumi veicolari suddivisi nelle seguenti categorie: auto; commerciali leggeri + commerciali medi; commerciali pesanti e autobus.

I volumi di traffico, nei tre nodi, risultano essere sempre più elevati al mattino rispetto al pomeriggio, dove, in particolare, si nota una diminuzione dei veicoli commerciali, sia leggeri che pesanti.

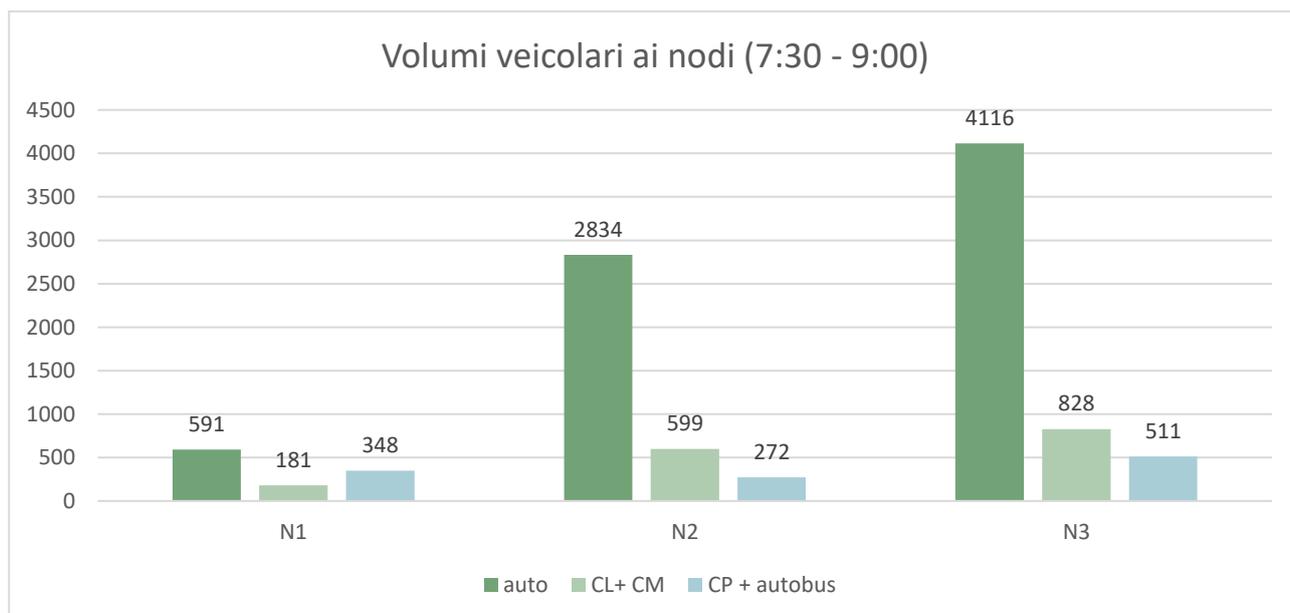


Figura 5-6: Flussi veicolari registrati nelle intersezioni ad ottobre 2021, fascia di punta della mattina

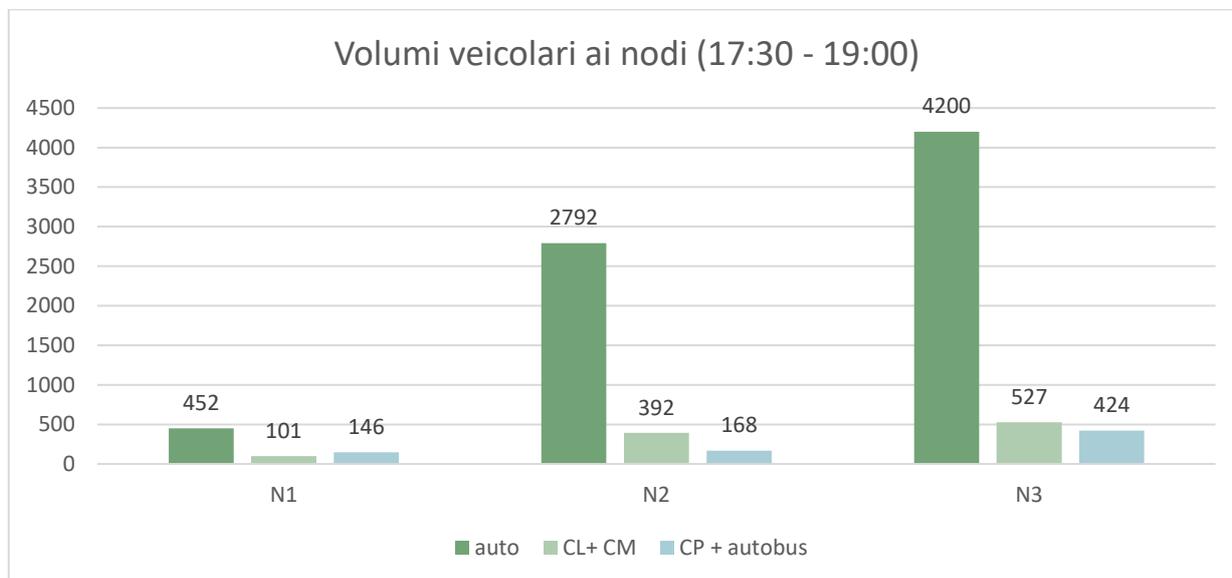


Figura 5-7: Flussi veicolari registrati nelle intersezioni ad ottobre 2021, fascia di punta della sera

5.2 La calibrazione dello stato di fatto

La procedura di calibrazione è un complesso processo iterativo che tiene conto dei risultati ottenuti nei due step modellistici di ripartizione modale e di assegnazione dei flussi alle reti che di volta in volta sono messi a confronto con le informazioni osservate a partire dalle matrici modali degli spostamenti sistematici, ai veicoli conteggiati sulla rete stradale, alle frequentazioni del TPL rilevate ad hoc.

Il processo iterativo si conclude quando questi confronti (osservato/modellizzato) portano ad un buon livello di approssimazione che per prassi di letteratura è stabilito essere superiore a 0,9. Questo è il coefficiente di correlazione tra le due grandezze messe a confronto.

Nella figura seguente si riportano in maniera sintetica gli esiti di tale processo.

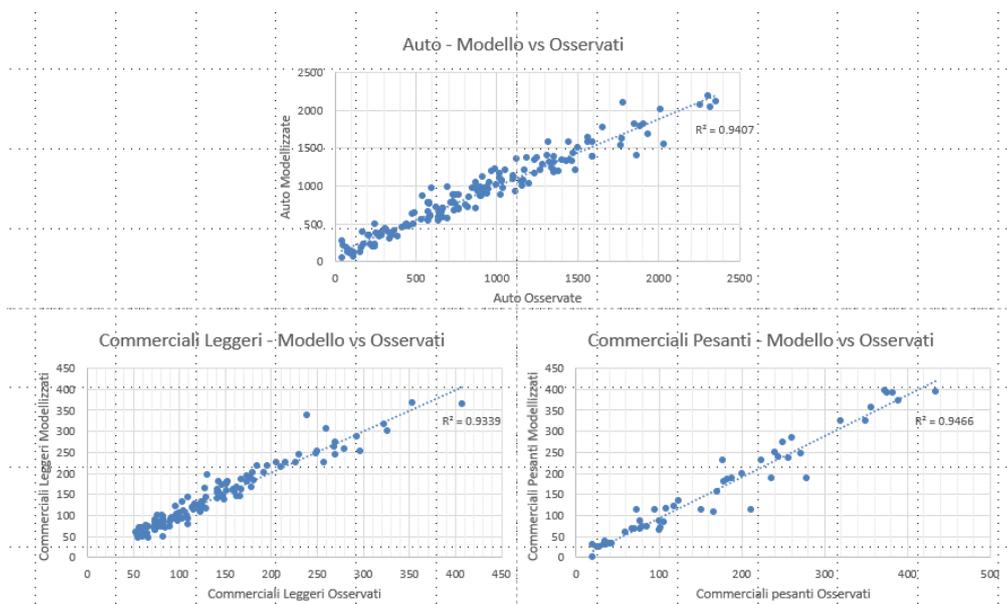


Figura 5-8: Calcolo del coefficiente di correlazione tra i valori di traffico osservato e modellizzato su un campione rappresentativo di archi stradali



Per completare la calibrazione si sono confrontati anche i dati osservati dalle rilevazioni sul TPL e si sono confrontati con il dato modellizzato.

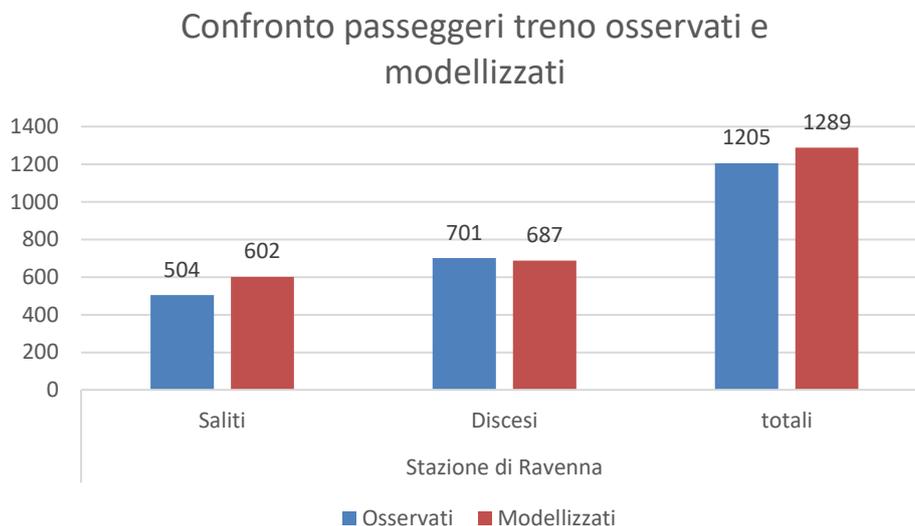


Figura 5-9: Confronto dei saliti/discesi osservati e modellizzati per il modo treno

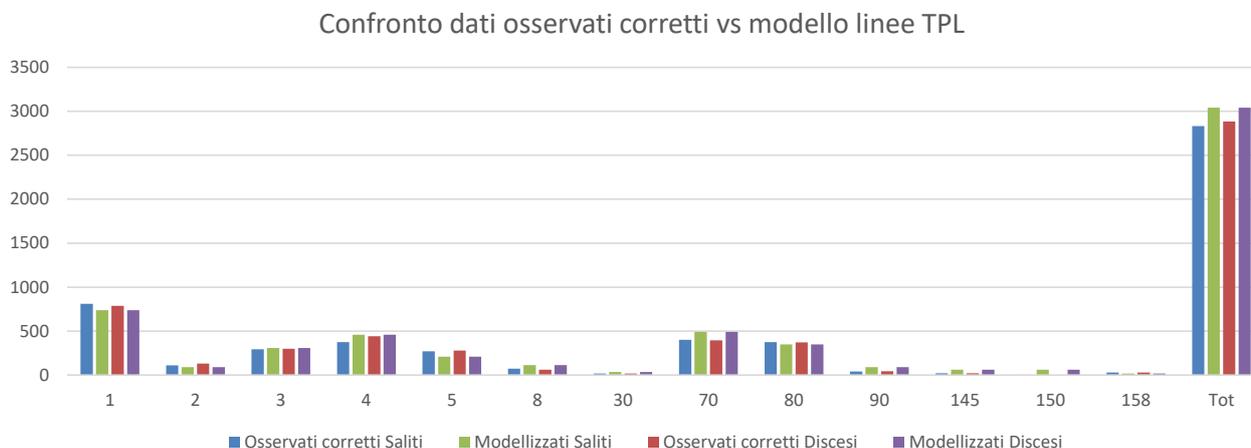


Figura 5-10: Confronto dei saliti/discesi osservati e modellizzati per il modo TPL su gomma – dati per linea

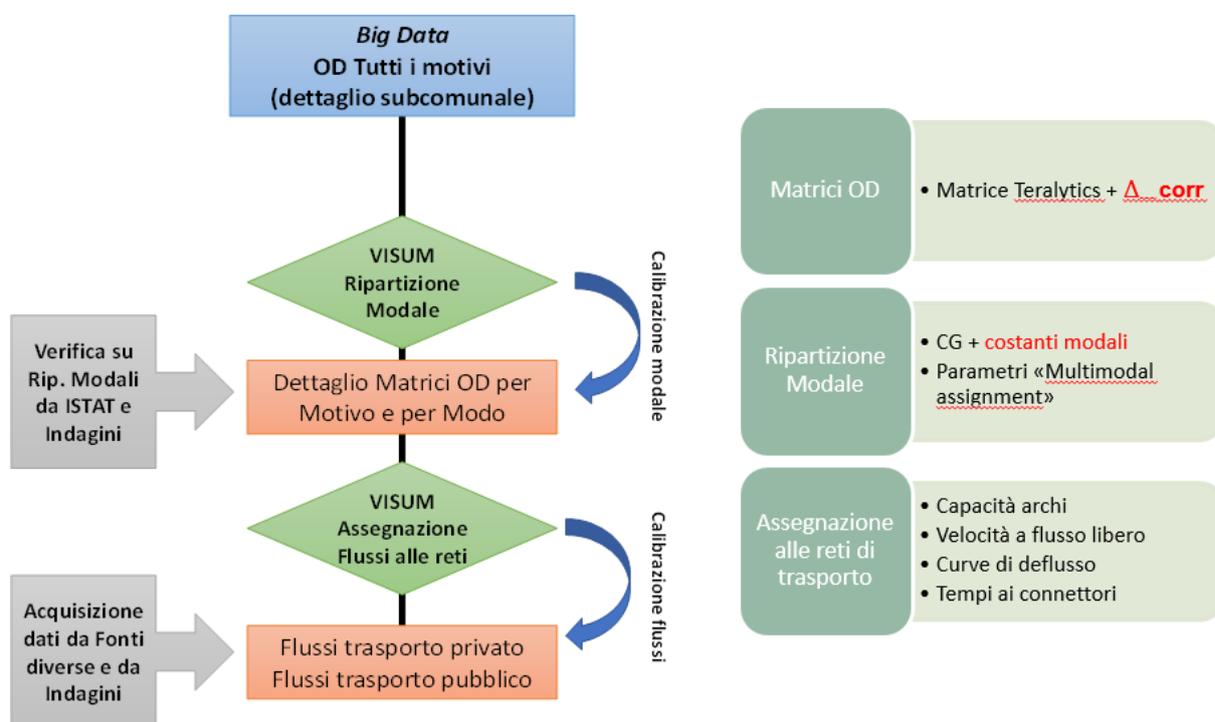
5.2.1 Parametri di calibrazione

Alla luce di quanto illustrato ai paragrafi precedenti per la calibrazione del modello multimodale dei trasporti del PUMS di Ravenna si è operato sui seguenti parametri:

- Costanti modali;
- Costi e tempi di interscambio;
- Fattore di rischio;



- Fattore di distanza;
- Disponibilità del modo all'origine;
- Parametro di dispersione (λ) utilizzato dal logit per distribuire l'assegnazione degli spostamenti ai diversi modi di trasporto;
- Parametri assegnazione multimodale (λ , share massimo distanza percorsa dal feeder, eventuali penalità aggiuntive per specifici feeder).



Nelle figure seguenti si mostrano gli esiti dell'assegnazione alle reti di trasporto della domanda di mobilità sotto forma di matrici modali origine/destinazione.

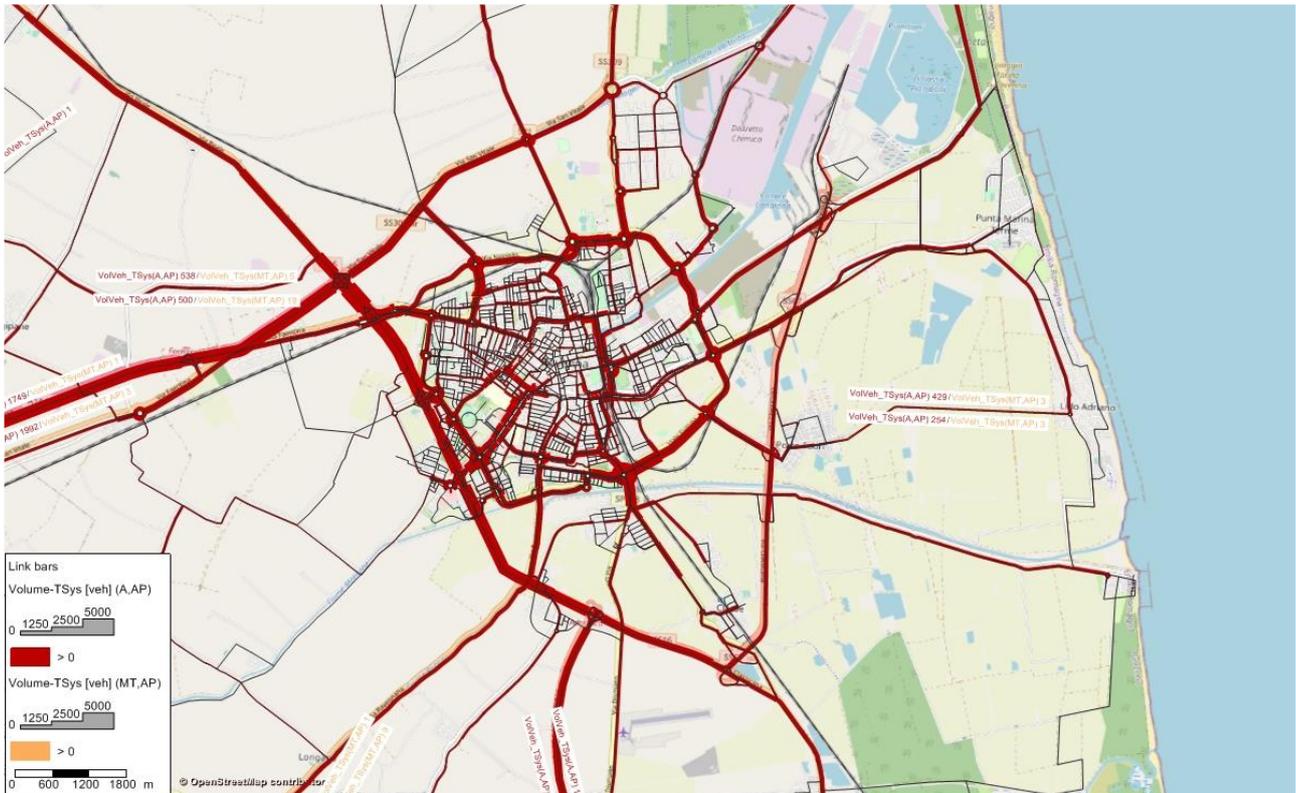


Figura 5-11: Assegnazione della mobilità privata alla rete stradale (autoveicoli nella fascia di punta del mattino)

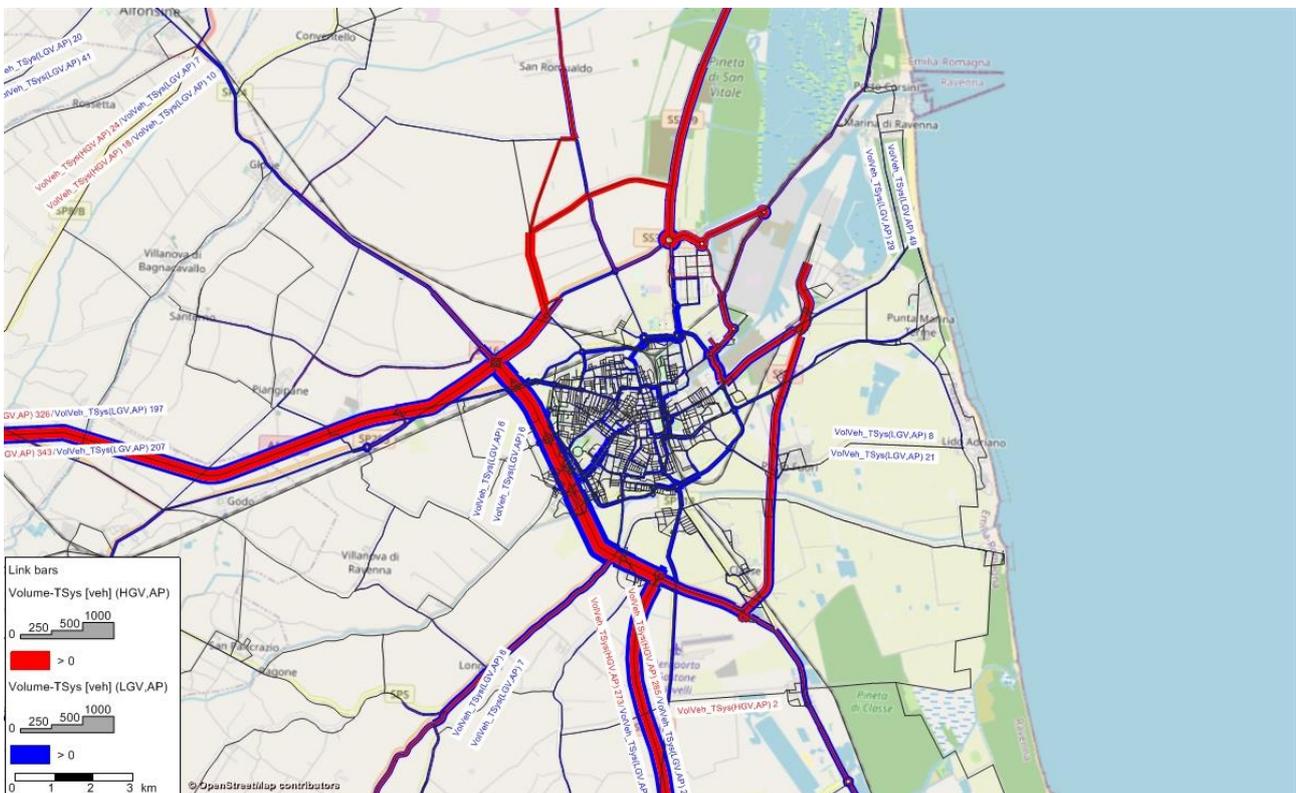


Figura 5-12: Assegnazione alla rete stradale dei veicoli commerciali leggeri (LGV) e pesanti (HGV) nella fascia di punta del mattino

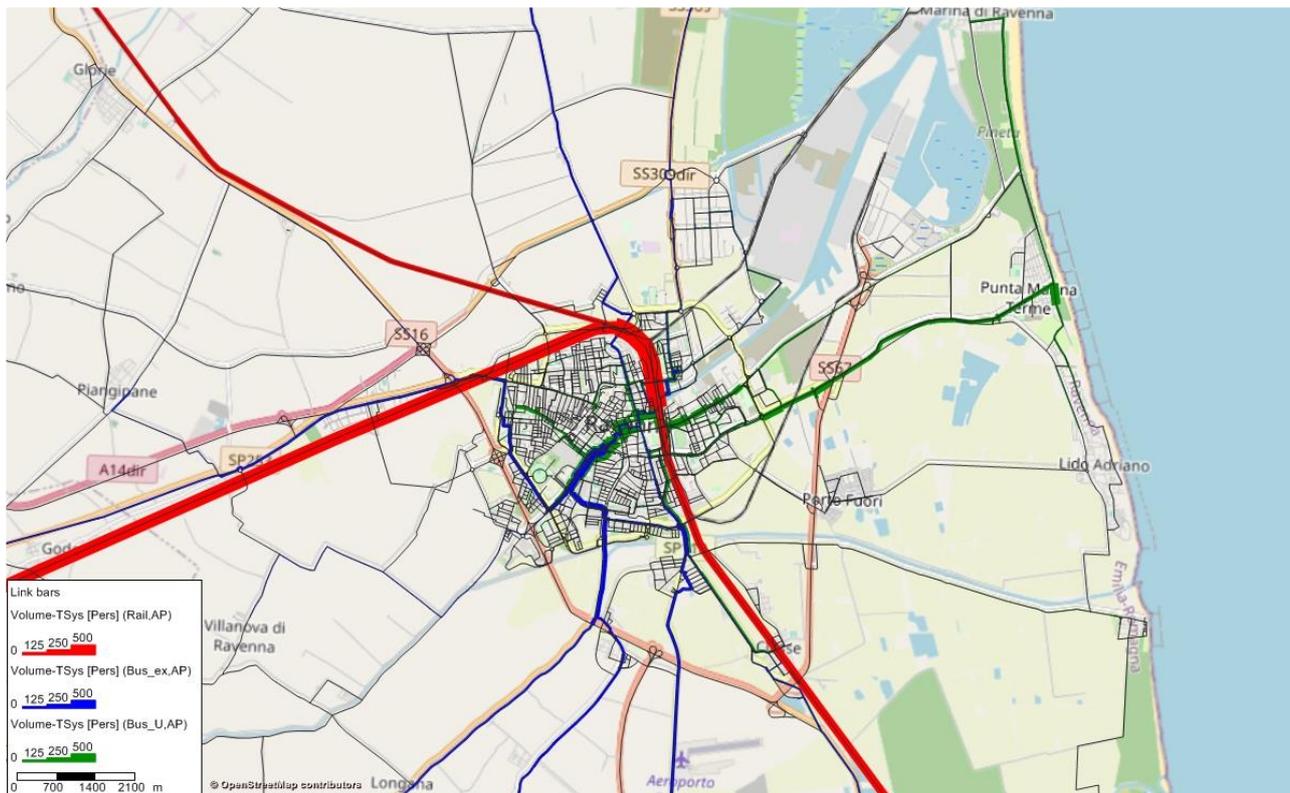


Figura 5-13: Assegnazione alle reti di Trasporto Pubblico (passeggeri nella fascia di punta del mattino)

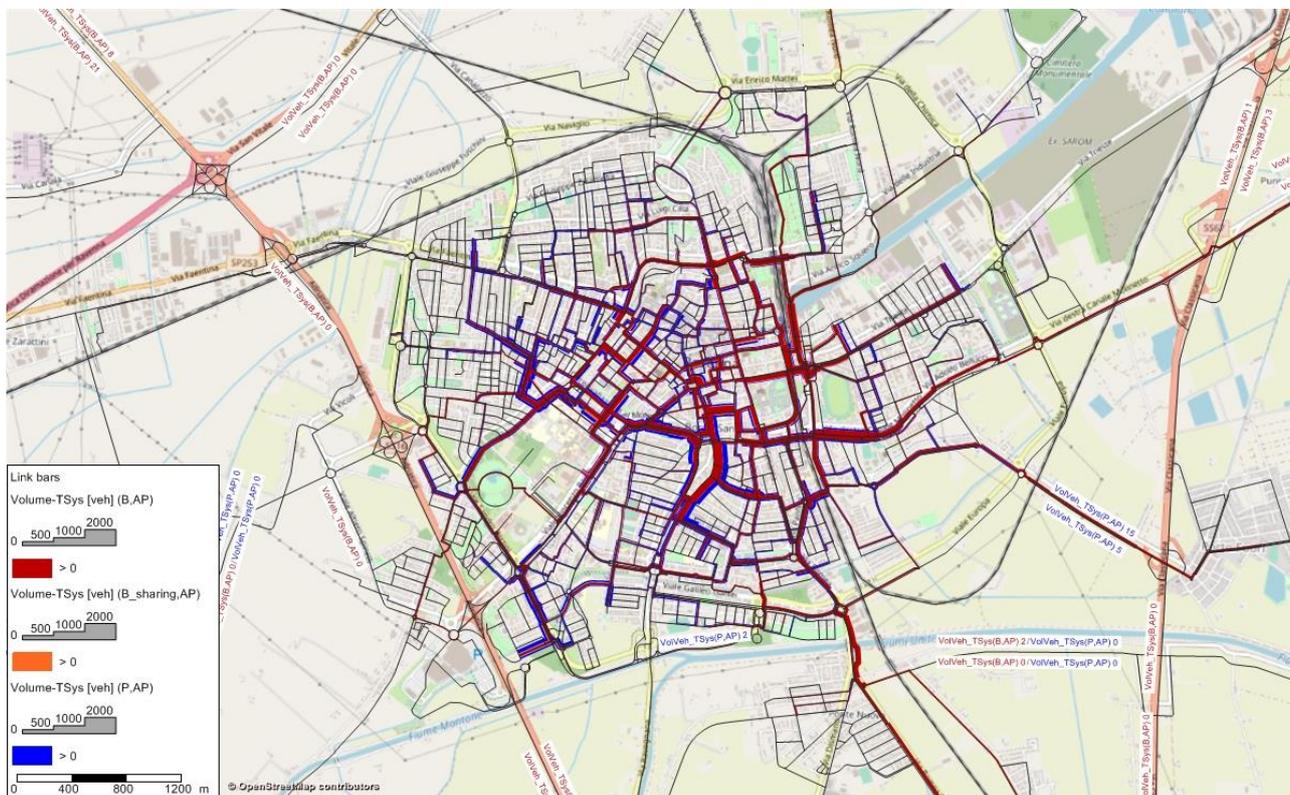


Figura 5-14: Assegnazione della mobilità attiva alla rete stradale e ciclopedonale (persone nella fascia di punta del mattino)