



COMUNE DI FIRENZE

Sistema Tramviario Fiorentino

RTI Progettisti:

SYSTRA

SOTECNI
SYSTRA GROUP



ambiente s.p.a.
ingegneria consulenza laboratori
per l'ambiente



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO - FASE C

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Studio Trasportistico Relazione studio trasportistico

COMUNE DI FIRENZE
SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. FILIPPO MARTINELLI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. CHIARA BERSIANI

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE E DEL COORDINAMENTO FRA
LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. PAOLO MARCHETTI



Gruppo di Progettazione:

Ing. A. Piazza (Coordinatore Tecnico)
Dott. Geol. F. Valdemarin (Progettazione Geologica)
Ing. A. Benvenuti (Progetto Opere Idrauliche)
Dott.ssa B. Sassi (Indagini Preliminari Archeologiche)
Ing. F. Tamburini (Studi di carattere Ambientale)
Ing. M. Angeloni (Valutazione Previsionale di Impatto Acustico)
Ing. S. Caminiti (Prog. Ferrotranviario Studi Trasportistici)
Ing. J. Wajs (Progetto Impianti Tecnologici)
Ing. G. D'Angelo (Progetto Strutture)
Ing. D. Salvo (Progetto Arch./Paesaggistico Inser. Urbanistico)
Ing. F. Conti (Sicurezza - Prime Disposizioni)
Ing. B. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)
Ing. G. Coletti (Progettazione Funzionale Depositi Tramviari)
Ing. L. Costalli (Esperto in Esercizio)
Ing. F. Azzarone (Impianti Meccanici)
Ing. D. D'Apollonio (Impianti Elettrici)
Ing. V. Astorino (Cantierizzazione)
Ing. P. Caminiti (Viabilità Interferenti)
Arch. A. Moscheo (PP.SS. Interferenti)
Ing. A. Lucioni (CAM)
Ing. D. Russo (Stime, Capitolati)

COMMESSA	LINEA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B382	42	SF	TRA	RT001	B	—	B382-4.2-SF-TRA-RT001B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Dicembre 2019	EMISSIONE	FARSI	COSTALLI	MARCHETTI
1	Giugno 2020	AGGIORNAMENTO A SEGUITO DI ISTRUTTORIE	FARSI	COSTALLI	MARCHETTI
2					



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

SOMMARIO

1.	PREMESSA	6
2.	NOTA METODOLOGICA	8
2.1	METODOLOGIA DI ANALISI DELLA MOBILITÀ URBANA.....	8
2.2	INDAGINI ALLE PREFERENZE DICHIARATE	8
2.3	RILIEVI DI TRAFFICO	14
2.4	RILIEVI DEL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE.....	18
2.5	ALTRE FONTI STATISTICHE DISPONIBILI.....	26
2.6	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ZONIZZAZIONE.....	26
2.6.1	<i>Metodologia per la definizione delle zone.....</i>	<i>27</i>
2.6.2	<i>Area di analisi.....</i>	<i>27</i>
2.6.3	<i>Zonizzazione</i>	<i>29</i>
2.6.4	<i>Gli attributi delle zone</i>	<i>31</i>
2.7	METODO DI PROIEZIONE DEI RISULTATI AGLI ANNI DI RIFERIMENTO E MODELLIZZAZIONE	
	34	
3.	OFFERTA.....	35
3.1	GRAFO PRIVATO	36
3.1.1	<i>Grafo privato per lo scenario di riferimento 2025.....</i>	<i>42</i>
3.1.2	<i>Grafo privato nello scenario di progetto.....</i>	<i>44</i>
3.2	GRAFO PUBBLICO	47
3.2.1	<i>Evoluzione della rete tram negli scenari modellistici.....</i>	<i>47</i>



3.2.2	<i>Evoluzione della rete TPL su gomma</i>	49
4.	METODOLOGIA DI PREVISIONE DELLA DOMANDA.....	55
4.1	LA STRUTTURA DEL MODELLO DI PREVISIONE DELLA DOMANDA	55
4.2	IL MODELLO A QUATTRO STADI.....	58
4.3	CALIBRAZIONE DELLA COMPONENTE NON SISTEMATICA.....	62
4.4	VALIDAZIONE DEL MODELLO	63
4.5	ESPANSIONE DELLA DOMANDA E PROIEZIONE NEGLI SCENARI FUTURI.....	65
4.5.1	<i>Espansione dal periodo di riferimento ai valori giornalieri e annui</i>	65
4.5.2	<i>Proiezione della domanda negli scenari futuri</i>	66
	<i>Evoluzione della domanda nel comune di Campi Bisenzio</i>	67
	<i>AGGIORNAMENTO DELLA DOMANDA LEGATO ALLA REALIZZAZIONE DEL PUE DI CASTELLO</i>	85
	<i>AGGIORNAMENTO DELLA MATRICE LEGATO ALLA TRASFORMAZIONE DELL'AREA EX MANIFATTURA TABACCHI</i>	89
	<i>ALTRI ELEMENTI DI MODIFICA DELLA MATRICE NEGLI SCENARI FUTURI</i> 91	
4.6	SCUDO VERDE	93
5.	RISULTATI.....	95
5.1	RISULTATI GENERALI DI PREVISIONE SULLE LINEE	95
5.2	DIVERSIONE MODALE.....	112
5.3	EFFETTI SULLA CONGESTIONE STRADALE	113
6.	VALUTAZIONI FINALI.....	121



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

1. PREMESSA

La presente indagine trasportistica è stata prodotta nel rispetto delle precisazioni metodologiche relative alle “Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti”, di cui al D.M. n° 300 del 16 giugno 2017, così come previsto dal D. Lgs. 228/2011.

Nei paragrafi seguenti sono contenute tutte le note metodologiche richieste, oltre ad una sintesi generale della metodologia applicata, che si basa su un modello multimodale a 4 stadi.

Per giungere alle conclusioni dell’analisi seguente è stato necessario comporre un modello ad hoc ed estrarne le conclusioni trasportistiche necessarie alle previsioni dei passeggeri e dello split modale.

Le analisi ed i risultati sono quindi frutto di uno studio trasportistico di tipo classico, basato su metodologia a 4 stadi, per la cui costruzione ci si è avvalsi di diversi contributi di dati, tra cui i più importanti sono un’indagine di tipo CATI alle preferenze dichiarate e i dati di frequentazione e produzione raccolti dal gestore del sistema tranviario già in esercizio in città dal 2011 ad oggi.

Gli anni di analisi principale, modellizzati e simulati, sono i seguenti:

- anno base di riferimento per la ricostruzione della domanda O/D: 2014
- anno base di calibrazione: 2018
- anno 2019, rappresentante lo stato attuale;
- anno di analisi e simulazione, coincidente con la messa in esercizio delle linee tranviarie: 2025;
- anno 2035 in cui si ipotizzano vengano realizzate le previsioni del Nuovo Piano Strutturale di Campi Bisenzio.

Le modifiche negli anni di simulazione possono essere distinte in macro- gruppi:

- evoluzione della domanda di trasporto, legata ai fenomeni socio-economici ed alla trasformazione del territorio;



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

-
- modifiche programmatiche all'offerta di trasporto;
 - modifiche progettuali all'offerta di trasporto legate alla realizzazione dell'opera oggetto di studio;
 - modifiche alle politiche gestionali del trasporto pubblico e privato.

Rientra in quest'ultimo gruppo la realizzazione dello "Scudo Verde" da parte del Comune di Firenze; si tratta di una nuova area a traffico limitato, più estesa rispetto all'attuale, in cui l'accesso sarà subordinato al pagamento di una tariffa per alcune categorie di veicoli mentre sarà del tutto interdetto per altre.

2. NOTA METODOLOGICA

2.1 METODOLOGIA DI ANALISI DELLA MOBILITÀ URBANA

L'analisi della domanda è stata realizzata tramite campagne di rilievo delle diverse componenti modali, svoltesi dal 2014 fino ad Ottobre 2018, e nello specifico:

- indagine telefonica di tipo CATI alle preferenze dichiarate (anno 2014), mirata soprattutto alla calibrazione di un modello di scelta modale;
- campagna di rilievo di traffico privato Ottobre 2018 (effettuata dal Comune di Firenze)
- campagna rilievi delle frequentazioni del TPL su gomma (anno 2014 e Ottobre 2018).

L'area di interesse, che comprende il territorio comunale di Firenze e i comuni di prima cintura, è stata definita attraverso le zone censuarie ISTAT, i cui dati su popolazione e addetti permettono di definire i centroidi del grafo. Infine, la proiezione dei dati ricavati dal 2018 al 2025 è stata ricavata attraverso le stime Eurostat per la Regione Toscana aggiornati a ottobre 2018, non potendo avvalersi di dati specifici.

Nel seguito vengono meglio analizzati gli aspetti appena riassunti.

2.2 INDAGINI ALLE PREFERENZE DICHIARATE

L'indagine telefonica (CATI) è stata realizzata tra i residenti e domiciliati di età superiore ai 14 anni nel Comune di Firenze e in quelli della prima cintura, vale a dire Bagno a Ripoli, Impruneta, Scandicci, Campi Bisenzio, Sesto Fiorentino e Fiesole, che costituiscono l'area di interesse principale. Si sottolinea che tale dato è da ritenersi valido anche per la calibrazione di un modello di scelta modale dal momento che all'epoca delle interviste la linea T1 era già in esercizio da 3 anni ed il suo utilizzo consolidato.

L'indagine telefonica è stata progettata per perseguire i seguenti obiettivi:

- definire lo spostamento principale dei residenti in un giorno tipo;
- definire lo scambio fra la città e la sua periferia;



Comune
di Firenze

- individuare la propensione verso l'utilizzo di modalità diverse di spostamento;
- acquisire informazioni utili alla valorizzazione del tempo e del costo dello spostamento;
- individuare il profilo di chi effettua o meno spostamenti;
- individuare le caratteristiche dello spostamento sistematico nel caso in cui corrisponda con lo spostamento principale.

Sono stati raccolti dati sullo spostamento principale solo nel caso in cui l'intervistato fosse uscito il giorno precedente all'intervista. Le interviste in cui l'utente non ha risposto al requisito appena enunciato non sono comunque state scartate ed hanno permesso di caratterizzare la generazione delle varie zone del modello.

Le interviste sono state effettuate durante l'anno 2014; i giorni in cui è avvenuto lo spostamento rilevato sono giorni feriali, senza particolari peculiarità e per i quali si possa ritenere che la mobilità sia avvenuta in maniera "normale", definiti sopra come giorno tipo.

Il campione estratto, 3600 intervistati, è pari allo 0.7 % della popolazione residente e sufficiente a garantire un margine d'errore del 1.6 %; le interviste sono state pianificate in termini sia di distribuzione fra i vari comuni d'interesse sia di distribuzione per fascia di età e sesso in maniera tale da evitare basi campionarie deboli per qualche categoria di popolazione. La Tabella 1 riporta sinteticamente i dati riferiti ai campioni intervistati.

Tabella 1 - campione intervistato e popolazione di riferimento

Comune	Popolazione al 1° gennaio 2014	Numero intervistati	% delle interviste sulla pop. totale	% intervistati rispetto alla numerosità campionaria
Bagno a Ripoli	25460	296	1.2	8.3
Campi Bisenzio	43720	295	0.7	8.3
Fiesole	14034	98	0.7	2.8
Firenze	367154	2080	0.6	58.5
Impruneta	14730	100	0.7	2.8
Scandicci	49631	395	0.8	11.1
Sesto Fiorentino	48030	291	0.6	8.2

Il questionario si articola in quattro parti:

- Sezione A: introduttiva, necessaria per verificare la distribuzione delle interviste come da progetto. Tramite questa fase risulterà evidente se si tratterà di un'intervista a mobilità nulla o si potrà compilare la successiva sezione.
- Sezione B: permette di caratterizzare lo spostamento principale in termini di:
 - motivo;
 - comune e indirizzo di origine;
 - orario di inizio dello spostamento;
 - comune ed indirizzo di destinazione;
 - orario di arrivo;
 - eventuali passaggi dalla zona a traffico limitato del centro storico di Firenze;
 - frequenza dello spostamento;

- mezzo o mezzi di trasporto;
 - motivazione della scelta del mezzo utilizzato;
 - eventuale tipo di parcheggio utilizzato;
 - costo dello spostamento.
- Sezione C: viene registrata la propensione al cambiamento del modo di trasporto.
 - Sezione D: si raccolgono i dati di struttura familiare e le caratteristiche professionali ed economiche del soggetto interessato.

Grazie alla presenza dell'informazione relativa all'indirizzo di residenza dell'intervistato è stato possibile associare ciascuna intervista alle zone del modello; analogamente, noti indirizzo di partenza e di destinazione per gli spostamenti principali è stato possibile associare ad ogni spostamento le corrispondenti zona di origine e zona di destinazione.

Si riportano in Tabella 2 i dati utilizzati per la calibrazione del modello di generazione per le zone interne del modello.

Tabella 2 - dati di generazione estrapolati dalle interviste nei comuni d'interesse

Comune	Numero interviste	Generazione	Numero	%
Bagno a Ripoli	296	Non usciti	61	20.6
		Usciti	235	79.4
Campi Bisenzio	295	Non usciti	56	19.0
		Usciti	239	81.0
Fiesole	98	Non usciti	15	15.3
		Usciti	83	84.7
Firenze	2080	Non usciti	330	15.9
		Usciti	1750	84.1
Impruneta	100	Non usciti	24	24.0



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

		Usciti	76	76.0
Scandicci	395	Non usciti	87	22.0
		Usciti	308	78.0
Sesto Fiorentino	291	Non usciti	50	17.2
		Usciti	241	82.8
TOTALE	3555		3555	

Le interviste sono state inoltre utilizzate per la calibrazione del modello di scelta modale; fra queste si distinguono quelle effettuate con un solo mezzo e quelle effettuate con più mezzi, includendo fra queste anche quelle in cui è compreso uno spostamento a piedi di durata superiore a cinque minuti. Del campione analizzato, 2521 osservazioni risultano essere effettuate con un solo mezzo, 411 con più di un mezzo.

Si riportano di seguito (nel Grafico 1 e nel Grafico 2) le interviste aggregate secondo le seguenti categorie:

- Piedi/bici;
- Moto/motociclo;
- Auto (sia come conducente che come passeggero);
- Mezzo pubblico;
- Multimodo



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

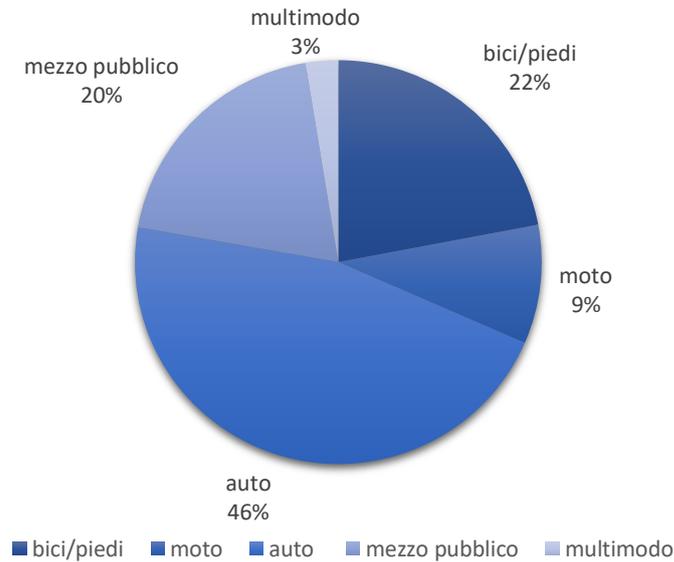


Grafico 1- caratterizzazione degli spostamenti principali rilevati nelle interviste a mobilità non nulla

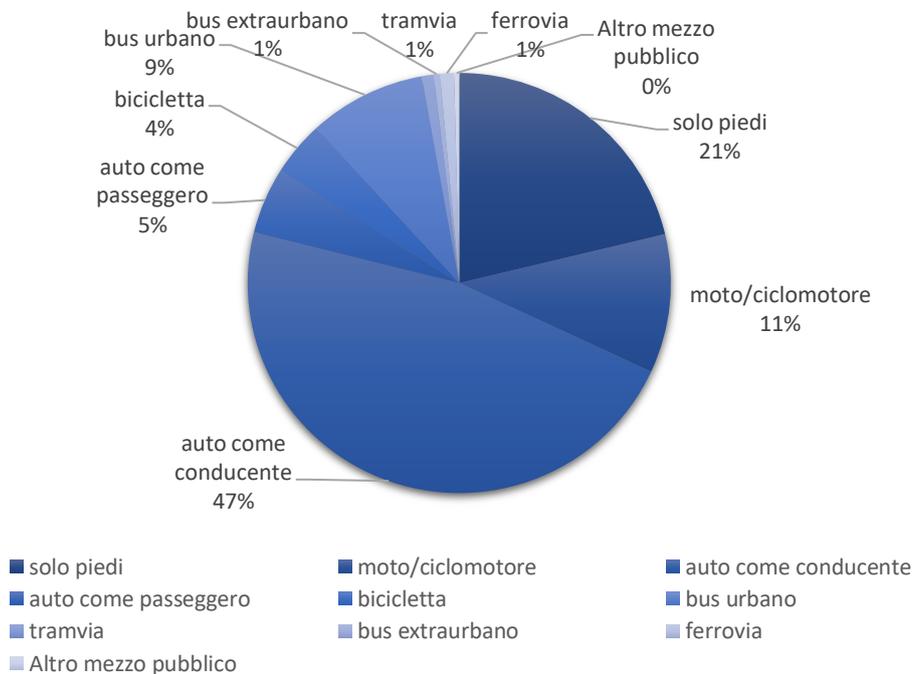


Grafico 2- suddivisione per mezzo scelto tra utenti che hanno utilizzato un solo mezzo

2.3 RILIEVI DI TRAFFICO

Per quanto riguarda la rete privata si è fatto riferimento ai conteggi di traffico dell'ora di punta mattutina 7.00-9.00 resi disponibili dal Comune di Firenze, sulle sezioni indicate in Figura 1.

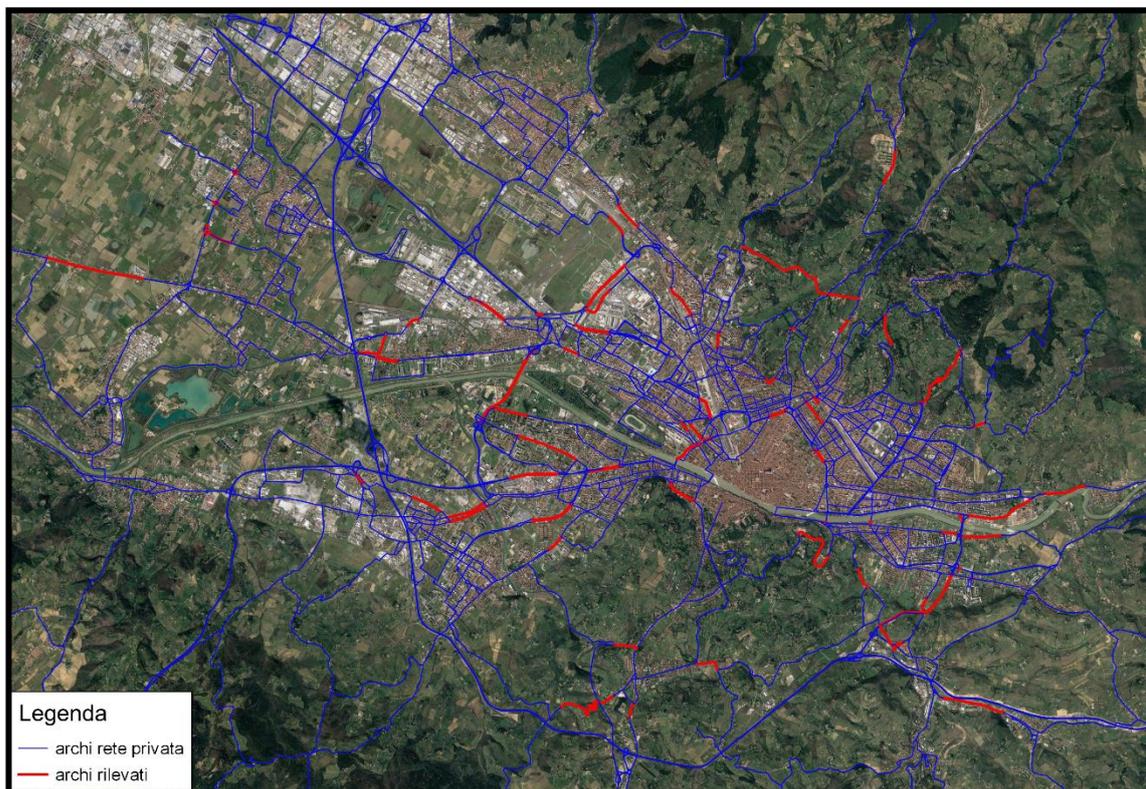


Figura 1 - Indicazione (in rosso) delle postazioni di rilievo dei flussi veicolari del Comune di Firenze

Si tratta di 118 archi rilevati, di cui 41 sono classificati come strade locali, i restanti 77 come secondarie, di cui 60 a carreggiata unica e 17 a carreggiate separate.

Si riportano nella tabella seguente tutti gli archi rilevati, con corrispondente id sul grafo, nome della via e dato di traffico. Il dato di flusso di traffico fornito è relativo a due ore di rilievo; il modello simula invece una sola ora ed è stato quindi necessaria una trasformazione del dato da bi-orario ad orario, da qui i valori decimali del dato di rilievo.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Tabella 3 - Flussi rilevati veicoli leggeri

id	Nome	Flusso rilevato	Classe funzionale
48	Viale Francesco Redi	911.27	secondaria
61	Viale Antonio Gramsci	2007.52	secondaria
78	Via Vittorio Emanuele II	621.05	secondaria
79	Via Vittorio Emanuele II	767.78	secondaria
86	Via Bolognese	761.46	secondaria
87	Via Bolognese	358.85	secondaria
210	Via Goffredo della Torre	543	locale
217	Viale Francesco Talenti	1381.48	secondaria
219	Via Senese	434.95	secondaria
220	Via Senese	376.74	secondaria
236	Viale Europa	1344.84	secondaria
237	Viale Europa	797.17	secondaria
248	Via di Villamagna	107.91	locale
249	Via di Villamagna	598.63	locale
255	Via Luca Giordano	551.92	secondaria
256	Via Luca Giordano	871.94	secondaria
268	Via Generale Carlo Alberto Dalla Chiesa	366.83	secondaria
269	Via Generale Carlo Alberto Dalla Chiesa	566.76	secondaria
272	Via Gabriele D'Annunzio	190.43	locale
273	Via Gabriele D'Annunzio	371.53	locale
363	Via Faentina	328.87	secondaria
364	Via Faentina	301.03	secondaria
551	Via Bolognese Nuova	625.65	secondaria
583	SP1	376.14	secondaria
584	SP1	351.9	secondaria
752	Viale Etruria	817.73	secondaria
782	Via Masaccio	1426.39	locale
867	Piazza Francesco Ferrucci	910.36	secondaria
875	Viale Pietro Nenni	721.03	secondaria
879	Piazza Francesco Ferrucci	1482.42	secondaria
916	Viale Galileo	600.24	secondaria
917	Viale Galileo	682.66	secondaria
940	Via Taddeo Alderotti	800.74	locale



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

id	Nome	Flusso rilevato	Classe funzionale
941	Via Taddeo Alderotti	243.33	locale
978	Via Goffredo della Torre	558	locale
1111	Via di Villamagna	332.74	locale
1112	Via di Villamagna	187.48	locale
1113	Via Kassel	668.42	locale
1413	Piazza Ravenna	614.92	secondaria
1414	Piazza Ravenna	741.48	secondaria
1420	Via Benedetto Fortini	497.31	secondaria
1421	Via Benedetto Fortini	173.29	secondaria
1423	Viale Spartaco Lavagnini	1976.07	secondaria
1493	Via Pratese	1187.44	secondaria
1541	Via di Scandicci	621.88	locale
1542	Via di Scandicci	365.24	locale
1559	Via Curzio Malaparte	453.84	locale
1560	Via Curzio Malaparte	488.01	locale
1561	Via Volterrana	347.18	locale
1562	Via Volterrana	132.19	locale
1586	Via Sestese	649.23	secondaria
1587	Via Sestese	811.25	secondaria
1659	Viale Antonio Gramsci	1673.93	secondaria
1679	Via Pistoiese	695.22	secondaria
1705	Via Gherardo Silvani	444.76	locale
1706	Via Gherardo Silvani	389.16	locale
2086	Via Reginaldo Giuliani	380.97	secondaria
2087	Via Reginaldo Giuliani	542.3	secondaria
2098	Viale Spartaco Lavagnini	847.31	secondaria
2121	Viale Etruria	1659.72	secondaria
2172	Viale 11 Agosto	883.02	secondaria
2204	Via San Domenico	314.06	locale
2205	Via San Domenico	483.81	locale
2249	Viale Alessandro Guidoni	1640.8	secondaria
2274	Via Baccio da Montelupo	562.25	secondaria
2275	Via Baccio da Montelupo	383.35	secondaria
2343	Via Antonio Canova	431.2	locale
2344	Via Antonio Canova	424.69	locale



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

id	Nome	Flusso rilevato	Classe funzionale
2370	Via Francesco Baracca	586.76	secondaria
2371	Via Francesco Baracca	1194.09	secondaria
2392	Via di Brozzi	197.34	locale
2393	Via di Brozzi	63.16	locale
2514	Piazzale di Porta al Prato	1125.99	secondaria
2523	Via Mario Luzi	648.4	secondaria
2524	Via Mario Luzi	1216.11	secondaria
2543	Via dell'Argingrosso	397.35	locale
2544	Via dell'Argingrosso	220.59	locale
2564	Via Pistoiese	478.72	secondaria
2786	Via dell'Antella	743.4	locale
2787	Via dell'Antella	281.8	locale
2861	Via Lucchese	1205.95	secondaria
2871	Viale Francesco Redi	803.05	secondaria
2874	Viale Raffaello Sanzio	873.13	secondaria
2932	Viale Aleardo Aleardi	865.2	secondaria
3018	Rotonda 17 Marzo	1172.5	locale
4063	Via Duca di Calabria	899	secondaria
4095	Via Chiantigiana	459.94	locale
4096	Via Chiantigiana	387.51	locale
4115	Via Duca di Calabria	984	secondaria
4321	Viale 11 Agosto	786.25	secondaria
4335	Viale Alessandro Guidoni	1171.98	secondaria
4352	Viale Francesco Talenti	1132.75	secondaria
4395	Via Benedetto Fortini	339	secondaria
4415	Piazza Vittorio Veneto	1100.07	secondaria
4421	Viale Pietro Nenni	925.23	secondaria
4422	Via Aretina Nuova	379.29	secondaria
4423	Via Aretina Nuova	946.35	secondaria
4471	Rotonda 17 Marzo	717.5	locale
4659	Via Pistoiese	699	secondaria
4660	Via Pistoiese	396	secondaria
7119	Via delle Porte Nuove	1038.32	secondaria
7123	Via del Ponte alle Mosse	762.48	secondaria
7302	Via Bolognese Nuova	197.05	secondaria



Comune
di Firenze

id	Nome	Flusso rilevato	Classe funzionale
96024	Viale Fratelli Rosselli corsia inglese	749.95	locale
99100	Tunnel Le Romite	691.01	secondaria
99101	Tunnel Le Romite	693.39	secondaria
99235	Via del Pantano	710	secondaria
99272	Via del Pantano	442	secondaria
99614	Piazzale di Porta al Prato	1632.41	secondaria
99869	Via di Careggi	619.93	secondaria
99871	Via dell'Olmatello	668.54	locale
99872	Via dell'Olmatello	333.84	locale
99879	Via Salviati	284.04	secondaria
99880	Via Salviati	312.59	secondaria
99883	Via Pisana	540.71	locale
99884	Via Pisana	452.9	locale
99931	Via del Salviatino	29.82	locale
99932	Via del Salviatino	207.81	locale

Tali dati sono relativi ai veicoli leggeri nell'ora di punta mattutina di un unico giorno, martedì 13 novembre 2018. Il dato relativo alle altre due categorie veicolari disponibili (commerciali leggeri e commerciali pesanti) è stato utilizzato per calcolare la proporzioni tra classi veicolari associate a ciascuna tipologia funzionale di arco: tale valore è stato riapplicato agli stati futuri.

2.4 RILIEVI DEL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

Al fine di validare il modello di assegnazione per la componente di domanda pubblica si sono utilizzati i dati di rilievo storici di tutte le linee ATAF (anno 2014) e il risultato di una campagna mirata di rilievo dei saliti-discesi lungo le linee ATAF che percorrono il quadrante ovest della città (linee 29, 30, 35 e 56) e nord (linee 2, 28, 57 e 59) nella fascia oraria 6:00-14:00 di un giorno feriale invernale (scolastico) svoltasi ad ottobre 2018. I rilievi sono stati condotti tramite personale a bordo ed hanno riguardato un numero di corse campionate riportato in tabella.

Tabella 4 - Tasso di campionamento rilievi sulle linee Ataf del quadrante Sud -Est Ottobre 2018

Linea	Tasso di campionamento medio
8	42%
31	42%
32	36%
23	29%

Analizzando i flussi rilevati complessivamente da e per la zona oggetto di studio è possibile osservare la differente distribuzione nella seguente tabella e le relative variazioni percentuale delle fasce di morbida rispetto al picco delle 7:30-8:30.

Tabella 5 – Flussi rilevati per direzione sulle linee Ataf del quadrante Sud-Est

	7:30-8:30	10:30-11:30	13:00-14:00
direzione periferia	863	557	562
		65%	65%
direzione centro	1038	474	790
		46%	76%
tutte le direzioni	1901	1031	1352
		54%	71%

Considerando linea per linea si denota un comportamento differente a seconda delle aree servite dalla linea in esame, della direzione e della fascia oraria, il tutto riassunto nella tabella successiva.

Tabella 6 - Flussi rilevati per direzione sulle linee Ataf del quadrante Sud Est

	7:30-8:30	10:30-11:30	13:00-14:00
Linea 8			
direzione periferia	197	49	78
		25%	40%
direzione centro	297	64	121
		21%	41%
Linea 31			
direzione periferia	66	19	31
		29%	47%
direzione centro	156	59	118
		38%	76%
Linea 32			
direzione periferia	154	88	25
		57%	16%
direzione centro	103	56	183
		54%	178%
Linea 23			
direzione periferia	447	401	428
		90%	96%
direzione centro	482	295	368
		61%	76%

Un miglior quadro d'insieme sull'andamento dei saliti nelle varie fasce orarie della mattina, linea per linea e tutte le linee complessivamente, è desumibile dai seguenti grafici.



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

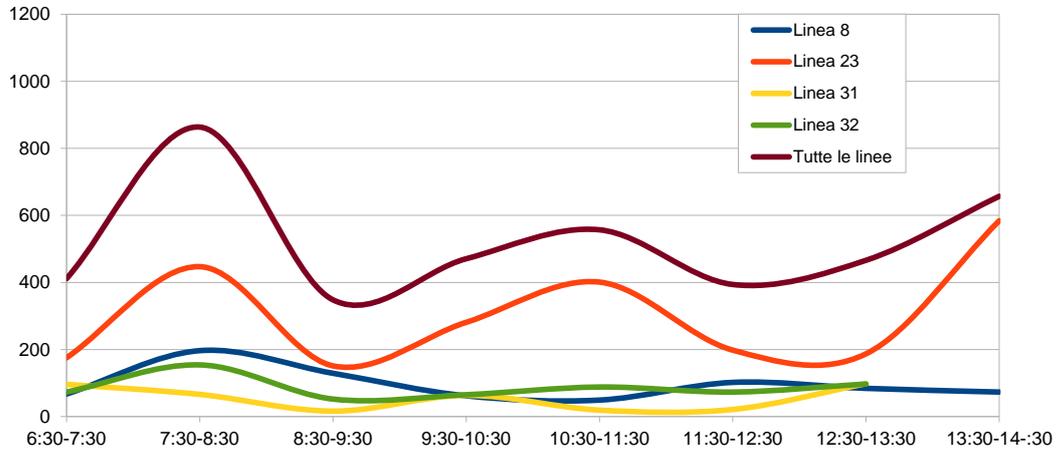


Grafico 3 - Andamento dei flussi rilevati sulle linee Ataf in direzione periferia

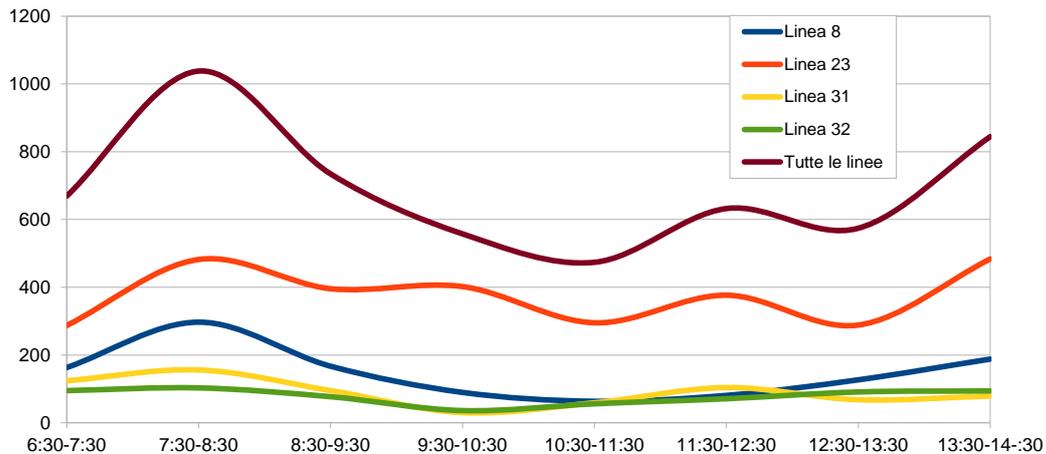


Grafico 4 - Andamento dei flussi rilevati sulle linee Ataf in direzione centro

Nei successivi grafici a colonna sono riportati i saliti e i discesi nella fascia oraria 7:30-8:30 nelle due direzioni di ogni linea. Risulta quindi possibile stimare il flusso di passeggeri lungo una linea, individuando quindi le fermate più frequentate per la salita e la discesa dei passeggeri.



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H1112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

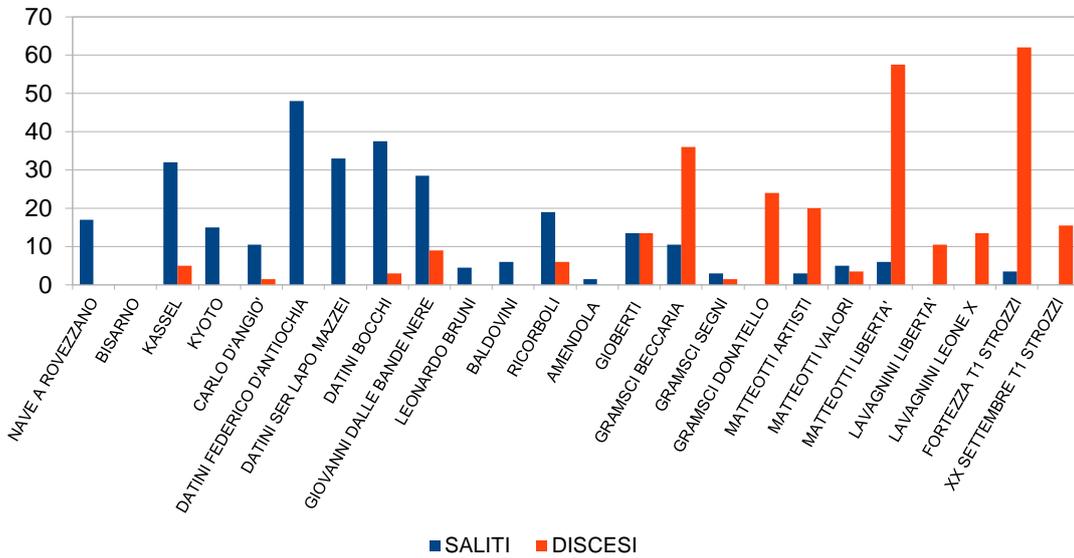


Grafico 5 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 8 Ataf in direzione centro

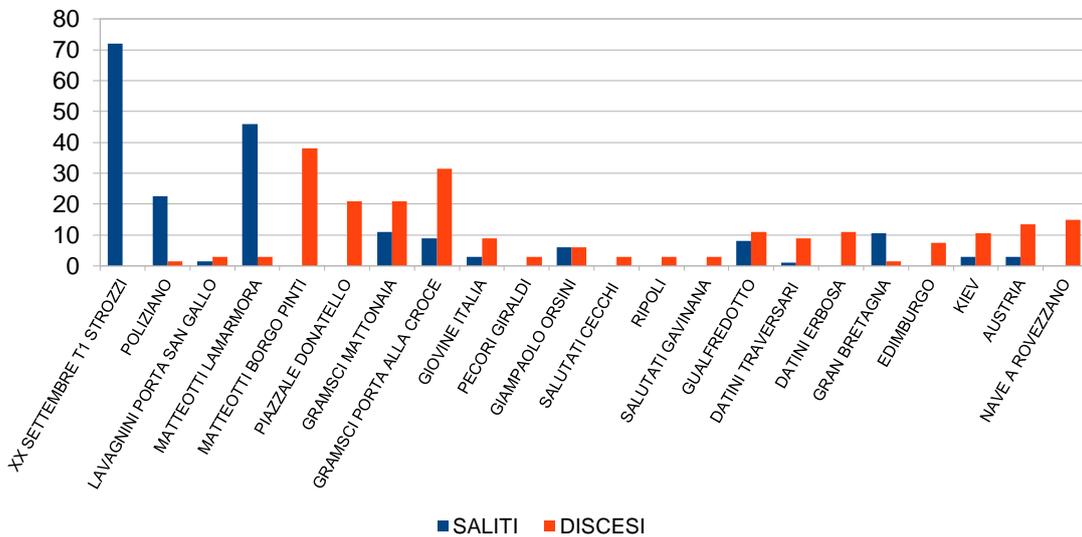


Grafico 6 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 8 Ataf in direzione periferia



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H1112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

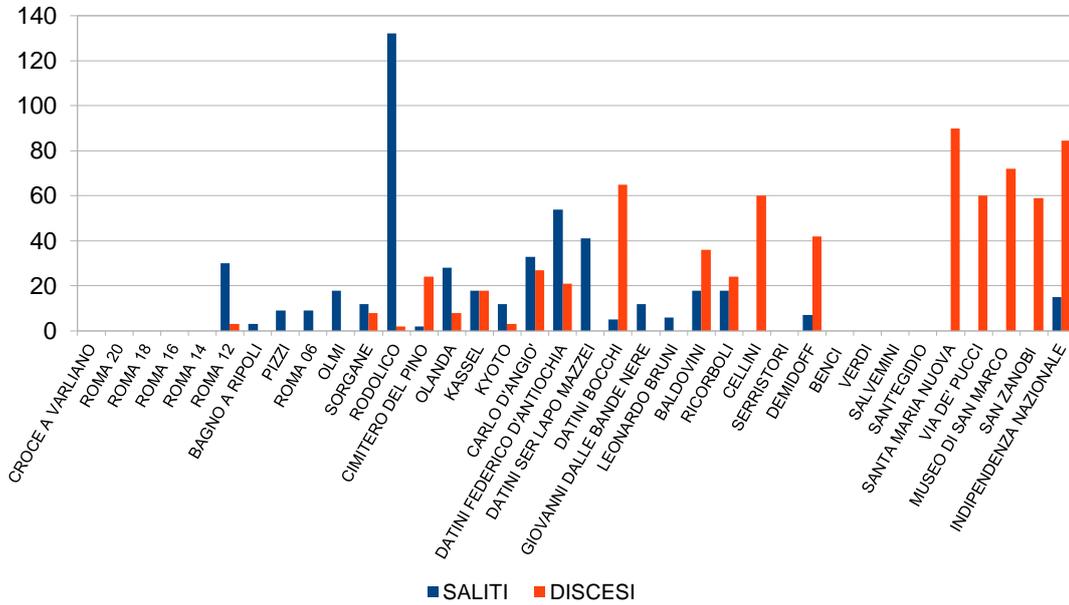


Grafico 7 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 23 Ataf in direzione centro

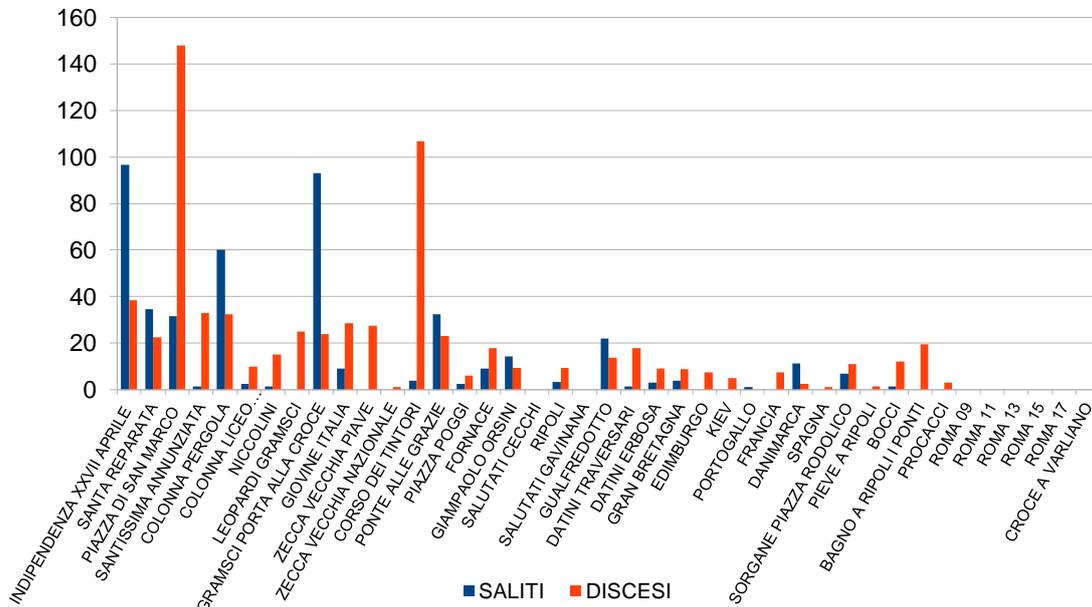


Grafico 8 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 23 Ataf in direzione periferia



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

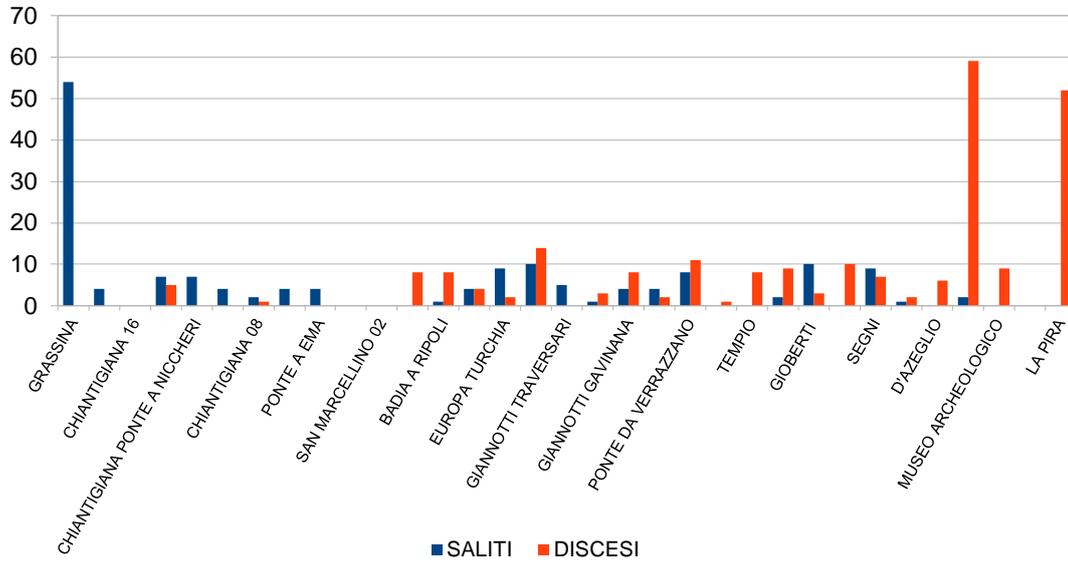


Grafico 9 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 31 Ataf in direzione centro

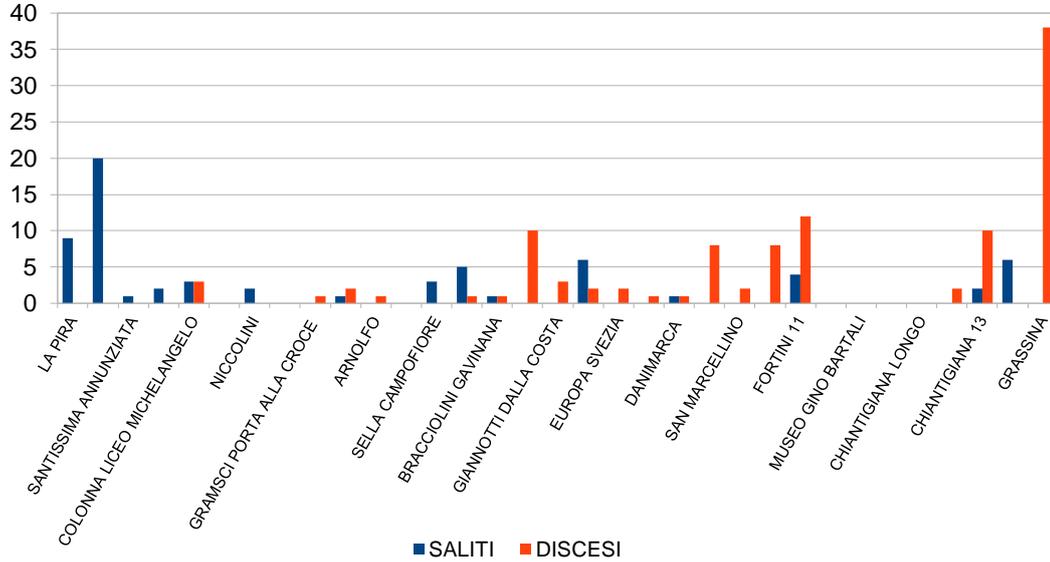


Grafico 10 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 31 Ataf in direzione periferia



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

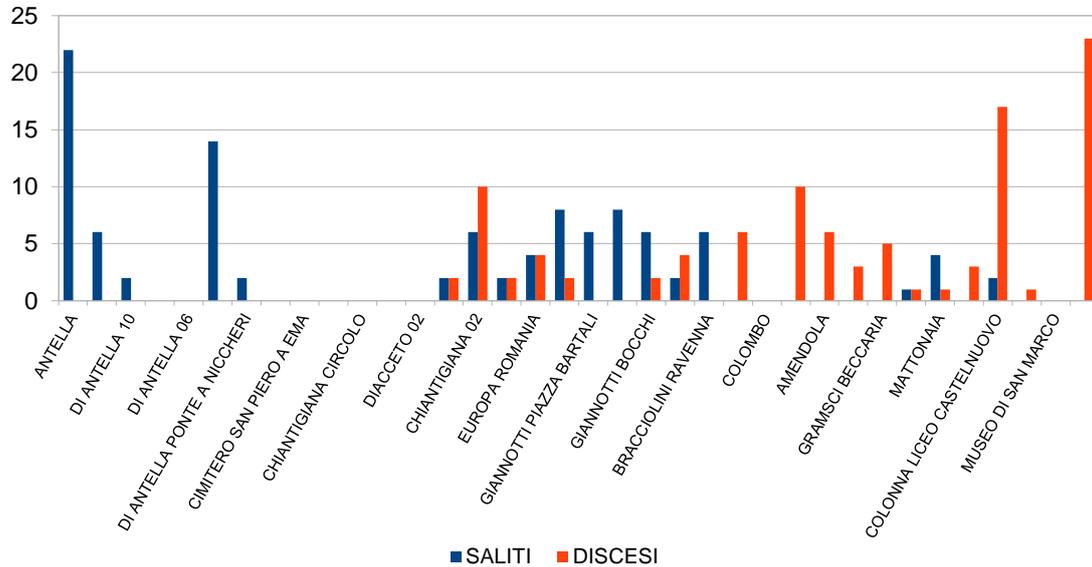


Grafico 11 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 32 Ataf in direzione centro

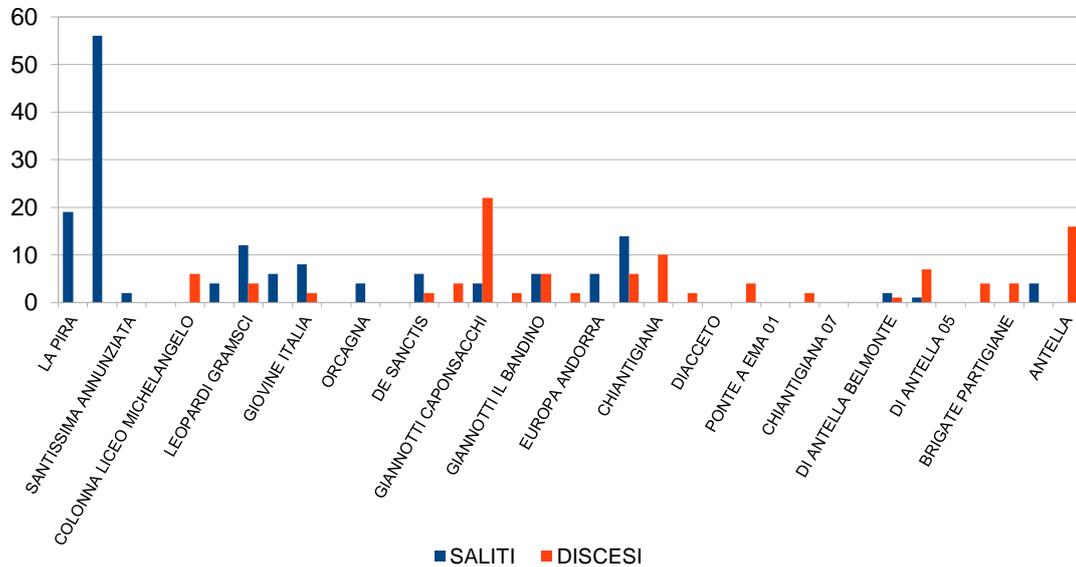


Grafico 12 - Passeggeri saliti e discesi sulla linea 32 Ataf in direzione periferia

Per quanto riguarda il servizio pubblico locale urbano su ferro (tram), è stato possibile acquisire dalla società GEST i rilievi effettuati nell'arco di 3 mesi (settembre-novembre 2018), in



Comune
di Firenze

seguito all'entrata in esercizio della cosiddetta linea T3, prolungamento dell'esistente linea T1, oltre al dato storico della linea T1. La Figura 2 mostra la distribuzione media oraria dei saliti sulla linea T1 Villa Costanza – Careggi nelle diverse fasce orarie della giornata, distinta per direzione.

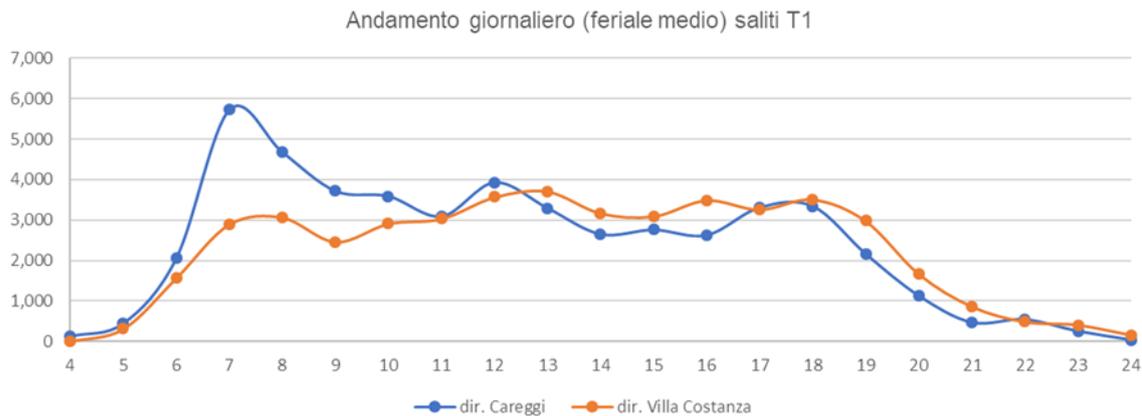


Figura 2- andamento giornaliero medio saliti totali orari sulla linea T1

2.5 ALTRE FONTI STATISTICHE DISPONIBILI

La domanda di trasporto nell'area d'interesse è stata poi definita tramite i dati dei censimenti ISTAT. Come risulta evidente dal paragrafo 2.6, le zone del modello sono state caratterizzate con i dati socioeconomici del censimento ISTAT 2011; anche i dati del pendolarismo sono stati utilizzati come riferimento per il modello, in particolare:

- Pendolarismo 2001, con livello di dettaglio per sezioni di censimento;
- Pendolarismo 2011, con livello di dettaglio comunale.

2.6 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ZONIZZAZIONE

La schematizzazione della domanda di trasporto si basa sull'organizzazione dell'area di studio in unità discrete, le zone, alle quali vengono riferite tutte le grandezze d'interesse. Sono aggregazione di unità territoriali amministrative, delle quali sono disponibili dati socioeconomici univoci e coerenti.

2.6.1 Metodologia per la definizione delle zone

Per la zonizzazione si sono utilizzate le sezioni di Censimento ISTAT, per cui sono pubblicati i dati di residenti e addetti ad ogni censimento della popolazione italiana. Si ipotizza che tutti gli spostamenti originati/destinati nella zona abbiano inizio/fine in un unico punto fittizio che coincide con il baricentro geometrico della zona, detto centroide. Alla base della scelta delle dimensioni e della forma delle zone si pongono i seguenti criteri:

- elementi di separazione fisica sia naturali che infrastrutturali (fiumi, linee ferroviarie, etc.) vengono utilizzati come confini delle zone, dal momento che il loro attraversamento influisce sulle dinamiche di mobilità;
- le aree appartenenti ad una stessa zona devono avere caratteristiche omogenee dal punto di vista socioeconomico, di utilizzo del suolo e dal punto di vista trasportistico (in termini di tempi di viaggio);
- i limiti amministrativi rappresentano limiti anche per la definizione delle zone.

Ad ogni zona è associato un centroide, vale a dire il nodo che la rappresenta nel grafo: è generalmente baricentrico o coincidente con il punto più densamente abitato della zona stessa. Il grafo stradale del modello si riferisce ad una zonizzazione ed è quindi caratterizzato dalla presenza dei centroidi, nodi nei quali si ipotizza che terminino gli spostamenti relativi a ciascuna zona. I centroidi non rappresentano necessariamente un punto fisico realmente esistente nella rete ed è quindi necessario, se il caso lo richiede, introdurre nel grafo degli archi fittizi, detti connettori, che rappresentano l'accesso al grafo da ogni zona. Ogni centroide può essere connesso alla rete tramite più di un connettore, in particolare nei casi in cui sia necessario specificare due comportamenti o due modi diversi ma allocati nella stessa zona.

2.6.2 Area di analisi

La definizione dell'area di studio del modello è una scelta progettuale e dipende dal fenomeno rappresentato. In primo luogo, è necessario distinguere fra area di studio e ambiente

esterno: la prima coincide con l'area su cui insiste l'offerta di trasporto studiata e su cui si pensa si possano esaurire gli effetti di un eventuale intervento su di essa; la seconda sta al di là dell'ideale confine dell'area studiata e di questa interessano solo le interconnessioni e le interazioni con l'estensione che costituisce lo specifico oggetto di studio.

L'area che partecipa attivamente alla domanda di trasporto e subisce le scelte effettuate sull'offerta dell'ambito fiorentino è definita come area metropolitana fiorentina; essa comprende al suo interno il Comune di Firenze e i Comuni contermini ad esso, che si caratterizzano per il gran volume di scambi quotidiani sistematici e non, fatta eccezione per i Comuni di Signa, Lastra a Signa e Montelupo Fiorentino, che rientrano comunque nell'area d'interesse. La scelta dei confini è stata fatta in funzione dell'estensione dei servizi di trasporto pubblico su gomma erogati da ATAF&LINEA; sono stati considerati appartenenti all'area metropolitana tutti i Comuni interessati da almeno una linea suddetta. Si elencano di seguito i Comuni dell'area metropolitana:

- Firenze;
- Bagno a Ripoli;
- Impruneta;
- Scandicci;
- Campi Bisenzio;
- Sesto Fiorentino;
- Calenzano
- Vaglia;
- Fiesole.

Fa parte dell'area vasta di analisi anche la provincia di Prato, che forma con Firenze un unico sistema metropolitano: di questa parte di territorio non verranno simulati gli effetti della domanda sull'offerta ma sarà comunque oggetto di sviluppo dei modelli di domanda.



Comune
di Firenze

L'ambiente esterno corrisponde invece alla restante parte della Regione Toscana non compresa nell'area di studio e al territorio del centro-nord esterno alla Regione, aggregato in 4 aree in relazione alle principali direttrici di accesso/ingresso.

2.6.3 Zonizzazione

La rappresentazione territoriale del modello si basa su 536 zone di traffico così suddivise:

- 4 zone esterne alla Toscana;
- 531 zone interne alla Toscana, di cui 417 nell'area metropolitana fiorentina.

In **Figura 3e** in **Figura 4** sono riportate la zonizzazione generale e la zonizzazione di dettaglio.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO

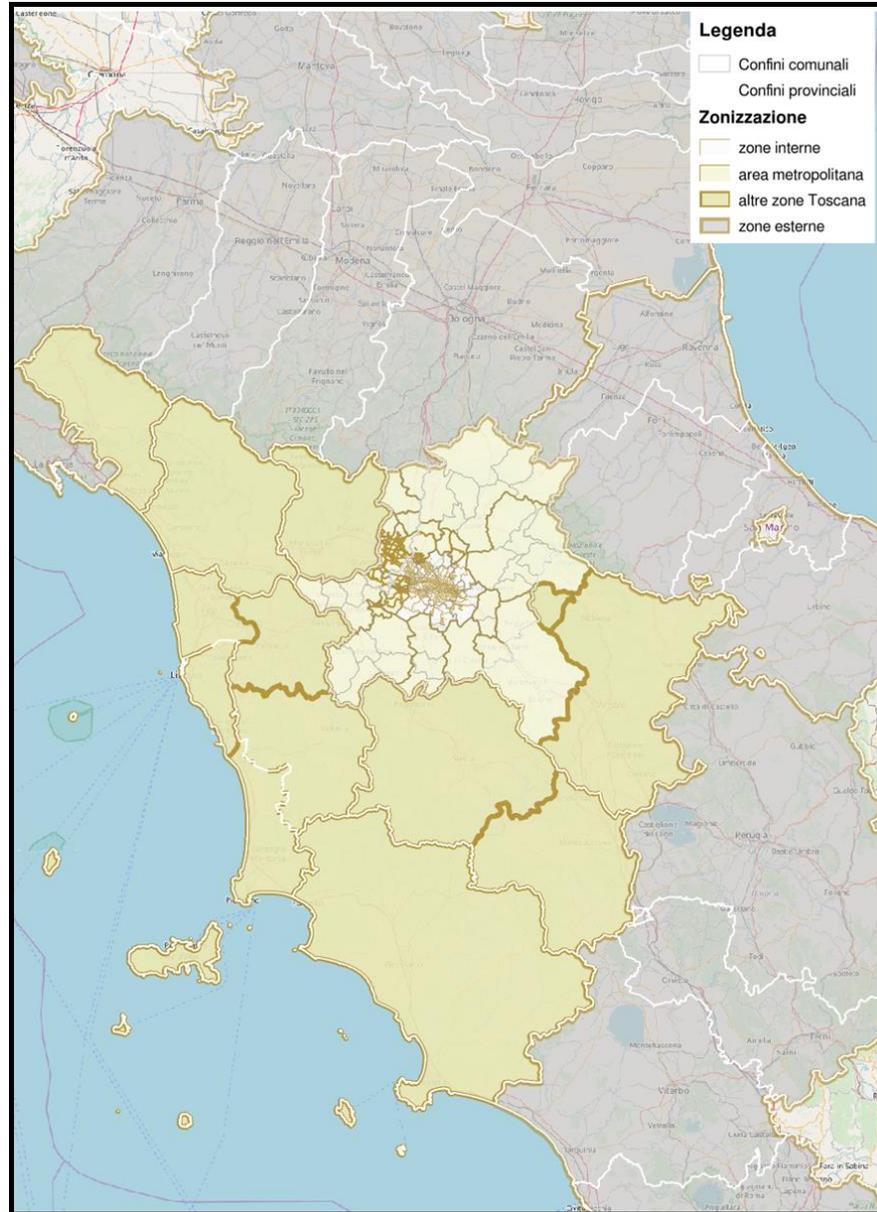


Figura 3- Zonizzazione generale del modello



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

La Figura 5 riporta graficamente la distribuzione e la densità della popolazione, mentre la
Figura 6 riporta densità e distribuzione degli addetti.

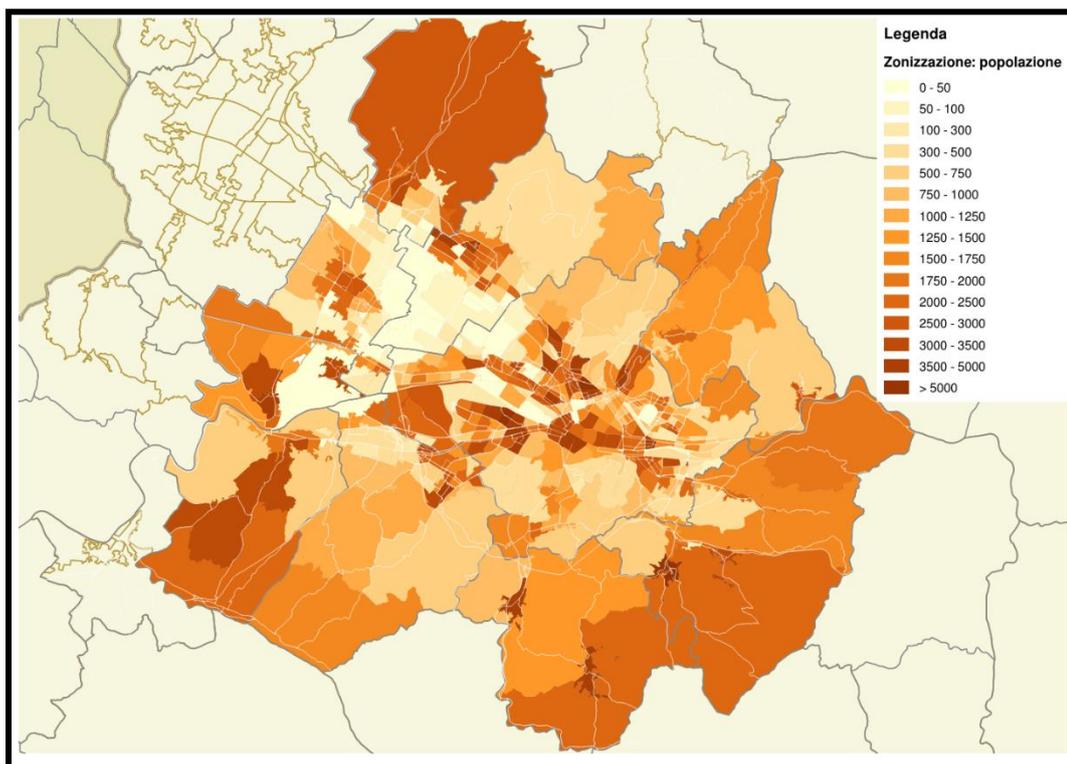


Figura 5- Distribuzione dei residenti nelle zone interne del modello



Comune
di Firenze

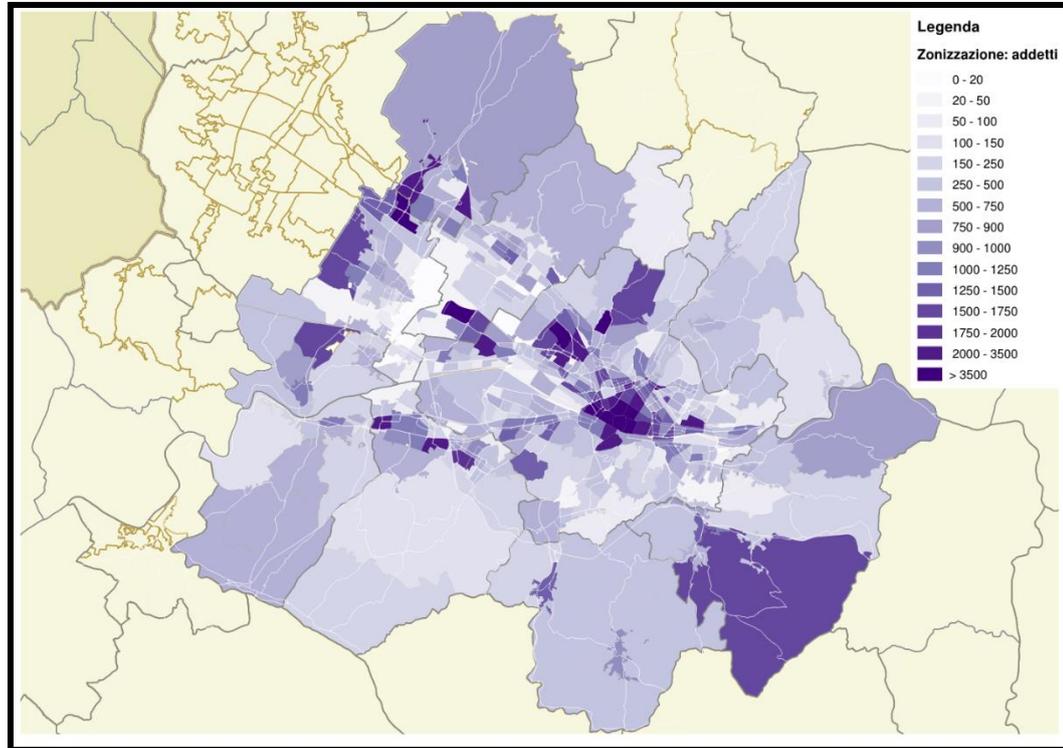


Figura 6- Distribuzione degli addetti nelle zone interne del modello

L'area si presenta come un sistema socioeconomico multicentrico. I residenti sono sparsi in vari quartieri della città, come Statuto, Novoli, Gavinana e Isolotto, oltre che a Sesto Fiorentino e nel centro storico, dove però il confronto degli ultimi censimenti indica una tendenza allo spopolamento, quanto meno di popolazione residente. Si nota poi come fuori dal centro abitato del capoluogo, vi siano dei nuclei rilevanti: a sud ne è un esempio Grassina. In destinazione, oltre al centro storico, dove si concentra la maggior parte degli addetti, si riconoscono in modo distinto il polo di Novoli, di Careggi e dell'Osmanoro per la concentrazione di addetti.

Per il Comune di Firenze è possibile risalire alla zona a sosta controllata di appartenenza (ZCS), alla sua tipologia tramite tipo ZCS (disciplinata D, non disciplinata ND), al costo del parcheggio (costo orario ZCS), desunto da quello medio degli stalli. Il costo del parcheggio è stato attribuito considerando il costo dell'abbonamento mensile del parcheggio in ciascuna ZCS

(fonte: www.serviziallastrada.it) ed è stato riportato ad un valore giornaliero considerando 20 giorni lavorativi. Un attributo specifico è definito da ZTL, dal quale è possibile invece capire se la zona appartiene alla zona a traffico limitato (valore 1) oppure no (0). Infine, è stato associato ad ogni zona un numero di stalli di sosta, schematizzati successivamente nell'arco di parcheggio ad essa associata in uscita dalla rete stradale.

2.7 METODO DI PROIEZIONE DEI RISULTATI AGLI ANNI DI RIFERIMENTO E MODELLIZZAZIONE

Come già anticipato, il modello a 4 stadi è stato costruito intorno all'anno base 2014, data la disponibilità di diverse fonti di indagine, e ricalibrato nella componente di scelta del percorso al 2018, grazie alla disponibilità di dati utili a tale operazione e data la necessità di validare il comportamento del modello in caso di modifiche importanti allo scenario di mobilità urbana, come la messa in esercizio di una nuova linea tranviaria (o sua estensione), in questo caso la T1 nella tratta Alamanni-Careggi. Nei capitoli seguenti saranno spiegate nel dettaglio le ipotesi di proiezione agli anni di modellizzazione futuri, vale a dire al 2025.

3. OFFERTA

L'elemento di base per la rappresentazione dell'offerta di trasporto è il grafo. Il grafo è costituito da due insiemi ordinati, quello dei nodi e quello degli archi. I nodi sono collocati in corrispondenza delle intersezioni o di strozzature della rete; gli archi ne rappresentano il collegamento, vale a dire archi stradali con particolari caratteristiche funzionali e geometriche. Si passa dal grafo alla rete di trasporto quando si associa all'arco una relazione quantitativa, quali parametri che permettono poi di descrivere una funzione di costo, tempi sugli archi,(...). Gli archi di un grafo possono essere:

- archi reali che rappresentano tratti stradali o tratte del trasporto pubblico;
- fittizi, come quelli che collegano i centroidi alla rete di trasporto oppure gli archi di parcheggio.

Il grafo utilizzato per il seguente progetto, sia per lo stato attuale che per gli orizzonti temporali futuri, è suddivisibile in tre grandi categorie:

- **privato**, costituito da una selezione di archi della rete stradale della provincia di Firenze. Ha un dettaglio maggiore per il territorio comunale di Firenze mentre la maglia cresce allontanandosi da esso; è tagliato ai confini dell'area metropolitana fiorentina;
- **pubblico**, costituito dai servizi pubblici d'interesse, descritti nel dettaglio per la rete urbana e da una schematizzazione per i servizi extraurbani e ferroviari;
- **pedonale**, perlopiù corrispondente con la rete privata senza le relative limitazioni sui sensi di circolazione.

É necessario sottolineare che il privato ed il pubblico si appoggiano alla rete pedonale e non possono prescindere da questa, che costituisce la via di accesso alle zone: per il privato esiste la possibilità di passare dalla rete privata a quella pedonale tramite gli archi fittizi di parcheggio, ma non è possibile il passaggio inverso. Per il pubblico invece sono ammesse entrambe le direzioni fra grafo pedonale e pubblico.

3.1 GRAFO PRIVATO

Il processo di estrazione del grafo si è così articolato:

- estrazione di tutta la rete per l'area di studio;
- selezione delle strade d'interesse su cui si realizzano la maggior parte degli spostamenti d'interesse ;
- classificazione funzionale;
- caratterizzazione in termini di numero di corsie, capacità, velocità di flusso libero, parametri della funzione di costo.

Gli attributi che caratterizzano il grafo concorrono a determinare le funzioni di costo, che ne esprimono il costo generalizzato dell'arco in funzione delle sue caratteristiche fisiche e funzionali e in funzione delle condizioni di deflusso.

Le curve di deflusso utilizzate sono di tipo BPR; hanno in generale la seguente forma:

$$t=t_0[1+\alpha*(f/C)^\beta]$$

dove

- t_0 è il tempo sull'arco a flusso libero, calcolato come rapporto fra lunghezza dell'arco e la velocità a flusso libero secondo il limite del Codice della Strada.
- f flusso sull'arco;
- C capacità nominale dell'arco, vale a dire il massimo flusso orario assorbibile in una sezione in un'ora di tempo, oltre cui l'arco si trova in condizioni di congestione totale. Dato il contesto urbano, nel determinare la capacità si è tenuto in conto sia di quelle situazioni in cui la larghezza delle corsie non può essere sfruttata per intero per esempio per la presenza di parcheggi lungo strada non autorizzati, sia nodi semaforizzati particolarmente complessi;



- α (alpha) e β (beta) parametri della funzione di costo, scelti in base alla classificazione funzionale della strada e calibrati in condizione di congestione per replicare i tempi effettivamente misurati sulla rete.

Al fine di adattare meglio le curve di deflusso al contesto studiato sono stati calibrati i parametri a e b sulla base dei flussi rilevati sulla rete dal Comune di Firenze. Sono stati presi in considerazione i flussi sugli archi già menzionati nel Capitolo 2.3 e dei valori di partenza delle costanti a e b per le differenti categorie funzionali considerando esclusivamente le strade secondarie, a loro volta suddivise in strade a carreggiata unica ed a carreggiate separate, e quelle locali. I parametri di partenza delle curve BPR sono:

- $a=0.717590$ e $b=4.106190$ per le strade locali;
- $a=0.717590$ e $b=4.106190$ per le strade secondarie a carreggiata unica;
- $a=1.086770$ e $b=4.005140$ per le strade secondarie a carreggiate separate.

Ipotizzando un approccio deterministico e avendo fissato una funzione di costo generalizzato per gli archi della rete si calcola per via iterativa l'assegnazione dei flussi sulla rete fino al raggiungimento dell'equilibrio.

Il processo di calibrazione delle curve BPR è basato sulla minimizzazione dello scarto quadratico medio tra i flussi misurati e quelli assegnati dal modello:

$$\min_{a,b} Z(a,b) = \frac{1}{2} \sum_i (\bar{x}_i - x_i)^2$$

Si può sostituire nell'equazione precedente il flusso assegnato x_i ricavandolo direttamente dalla formula delle curve BPR del tipo

$$t_i = t_{i0} \left[1 + a \left(\frac{x_i + x_{0i}}{c_i} \right)^b \right]$$

da cui si ottiene quindi



$$x_i = c_i \left(\frac{\frac{t_i}{t_{i0}} - 1}{a} \right)^{\frac{1}{b}} - x_{0i}$$

che se sostituito nella prima formula la modifica in:

$$\min_{a,b} Z(a,b) = \frac{1}{2} \sum_i \left[\bar{x}_i + x_{0i} - c_i \left(\frac{\frac{t_i}{t_{i0}} - 1}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \right]^2$$

Si instaura un procedimento iterativo alla ricerca dei valori di a e b , tali per cui la funzione obiettivo ottenuta al generico passo k sia inferiore rispetto a quella ottenuta al passo precedente:

$$Z(a^k, b^k) < Z(a^{k-1}, b^{k-1})$$

Il criterio di arresto può essere valutato direttamente sulle variabili: nel caso in esame, essendo proprio a e b gli obiettivi della calibrazione. Il procedimento pertanto termina non appena risulti verificata la seguente espressione:

$$\frac{\left\| \begin{pmatrix} a^{k+1} \\ b^{k+1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a^k \\ b^k \end{pmatrix} \right\|}{\max \left\{ \left\| \begin{pmatrix} a^k \\ b^k \end{pmatrix} \right\|, 1 \right\}} \leq \varepsilon$$

La tolleranza è assunta pari a $\varepsilon=10^{-3}$. Per risolvere il problema si applica il metodo del gradiente: si individua il minimo, che grazie alla convessità delle curve risulta quello assoluto, lungo la direzione di discesa, muovendosi con un passo ottimale.

Quindi ricapitolando la procedura: dopo aver assegnato i flussi con i parametri di partenza delle curve BPR, si calcola la funzione Z e mediante il metodo del gradiente si determinano i valori di a e b che minimizzano la funzione stessa. Si assegna nuovamente la domanda sulla rete con i nuovi parametri ottenuti e si svolge lo stesso procedimento fino alla convergenza delle variabili.

I nuovi parametri delle curve BPR ottenuti dopo il procedimento sono:

- $\alpha=0.52387$ e $b=4.15229$ per le strade locali;
- $\alpha=0.6801$ e $b=4.12816$ per le strade secondarie a carreggiata unica;
- $\alpha=0.68652$ e $b=4.07118$ per le strade secondarie a carreggiate separate.

Si riportano nelle seguenti immagini le variazioni delle curve di deflusso per ciascuna categoria funzionale di strada:

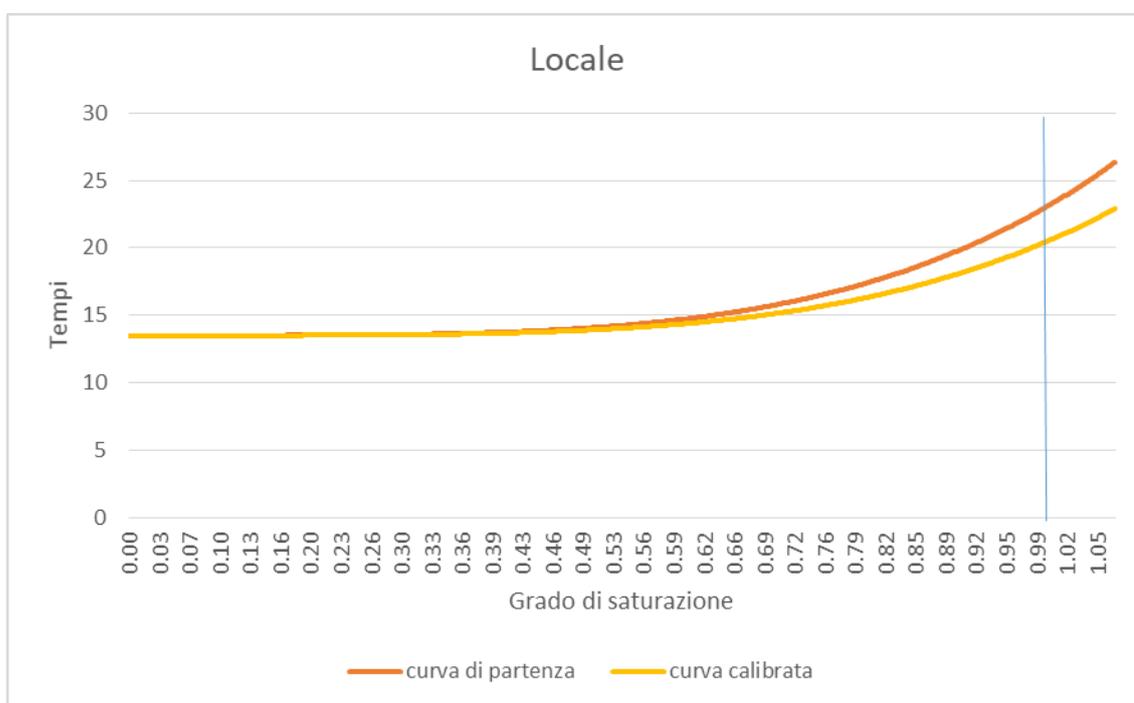


Grafico 13 - Confronto curve di deflusso per strada locale



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

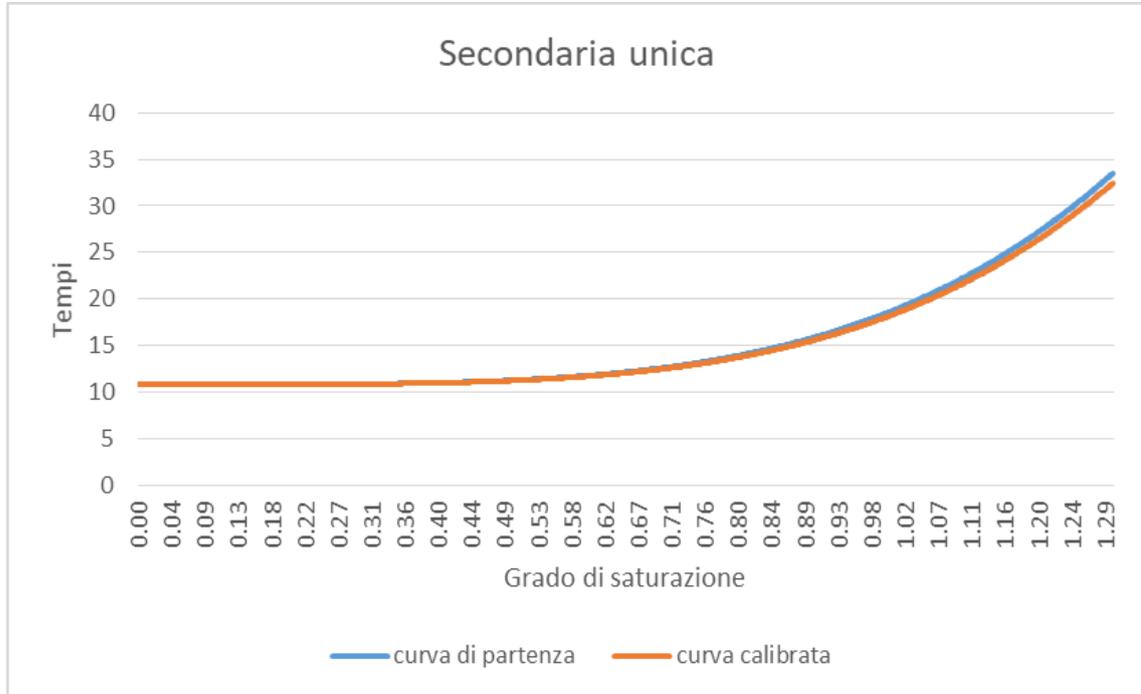


Grafico 14 - Confronto curve di deflusso per strade secondarie a carreggiata unica



Comune
di Firenze

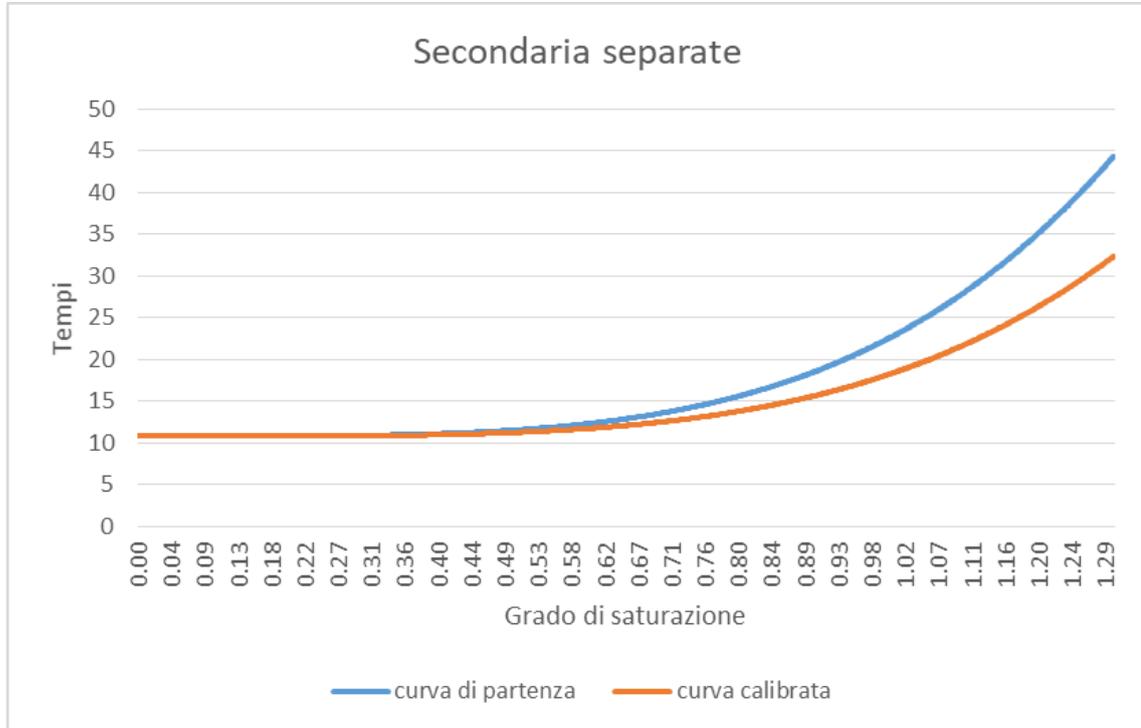


Grafico 15 - Confronto curve di deflusso per strade secondarie a carreggiata separata

La scelta della classe funzionale è stata fatta per le varie strade in base alla sezione stradale, alla funzione assunta nel territorio e alle componenti di traffico presenti, coerentemente con la classificazione fornita dal DM 6792/2001, come qui sotto riportata:

- rete primaria;
- rete principale;
- rete secondaria;
- rete locale.



Comune
di Firenze

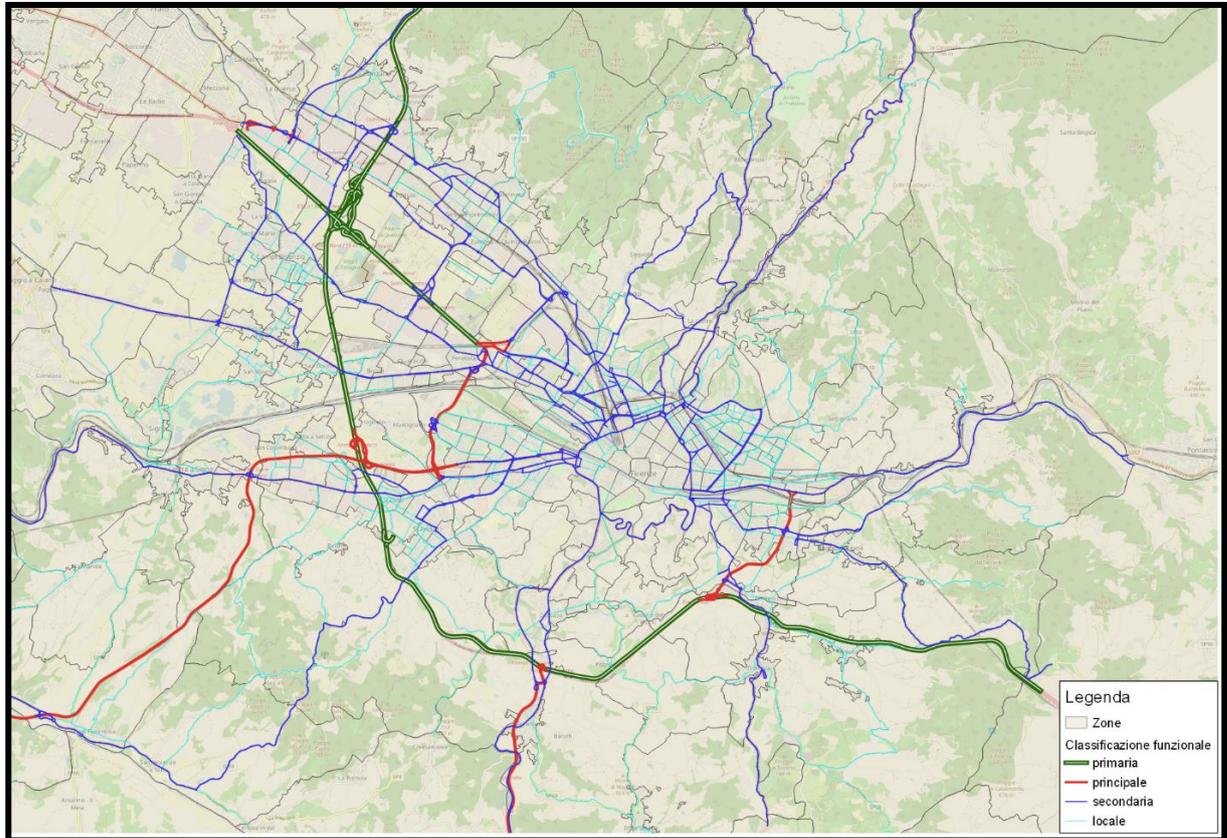


Figura 7 - Grafo privato per classificazione funzionale

Fanno parte del grafo privato anche gli archi privati fittizi che rappresentano gli stalli ZCS disponibili in ogni zona e i parcheggi scambiatori.

3.1.1 Grafo privato per lo scenario di riferimento 2025

Lo scenario di riferimento rappresenta lo scenario di “Business as usual” all’anno in cui verrà valutato anche lo scenario di progetto, il **2025**. In tale anno si introducono nell’offerta di trasporto tutti quegli interventi che presumibilmente saranno in esercizio sulla base delle informazioni contenute negli strumenti di pianificazione territoriale e del confronto con l’Amministrazione comunale; la realizzazione di tali infrastrutture risulta indipendente da quella dell’opera oggetto di analisi.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO

Per quanto riguarda l'offerta privata, si riportano in Tabella 7 le azioni previste in esercizio al 2025 e sulla base delle quali è stato modificato il grafo della rete privata.

Intervento	Fonte	Anno previsto di entrata in esercizio
Variante di Grassina alla Chiantigiana	Nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Bagni a Ripoli (2015)	2020
Nuovo Ponte stradale Villamagna-Aldo Moro	Progetto linea Bagno a Ripoli	2023
PUE Castello	Variante PU Firenze	2025

Tabella 7- interventi relativi alla rete veicolare presenti nello stato di riferimento

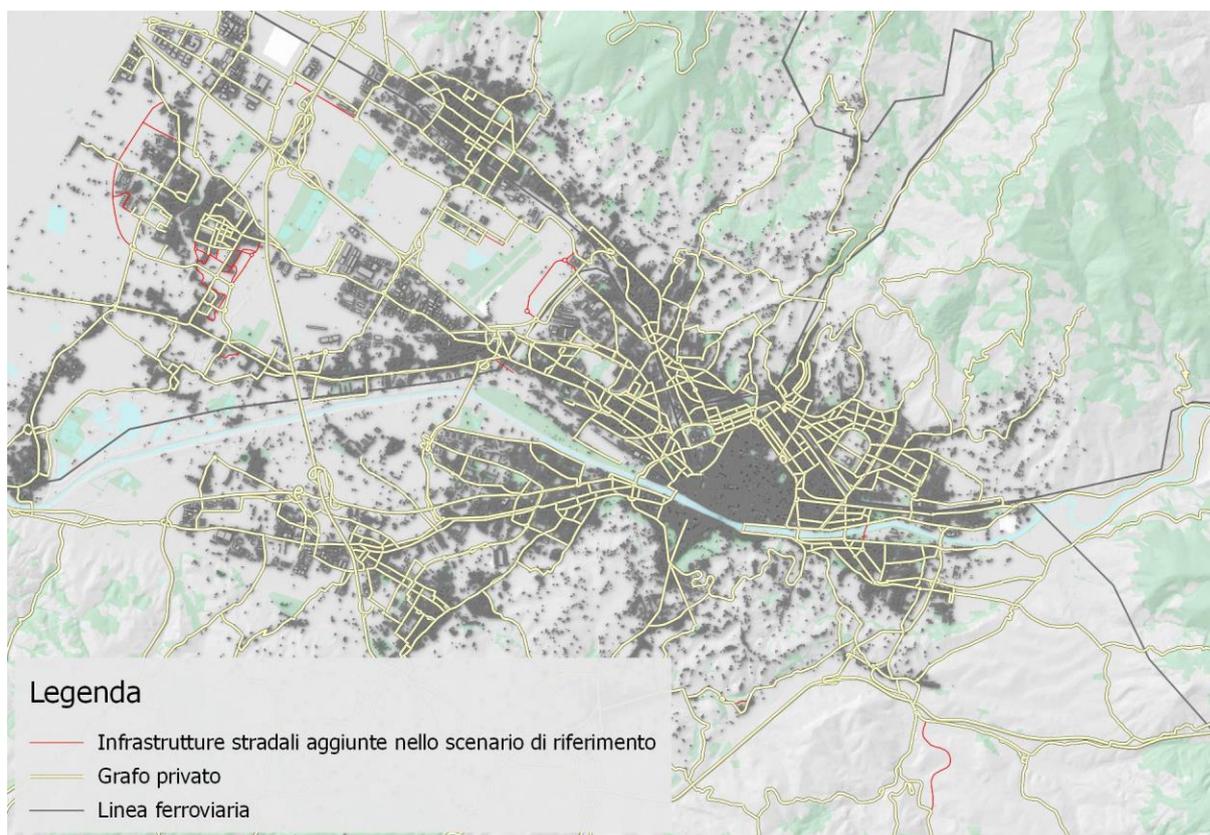


Figura 8 - Evoluzione del grafo privato da scenario attuale a scenario di riferimento

In questo scenario vengono attivati i parcheggi scambiatori riportati in Tabella 8.

Tabella 8- Parcheggi scambiatori attivi nello scenario di riferimento

Parcheggio	Fonte
Etruria	Regolamento Urbanistico Comune di Firenze
Foggini	Regolamento Urbanistico Comune di Firenze
Nenni Torregalli	Regolamento Urbanistico Comune di Firenze
Batoni	Regolamento Urbanistico Comune di Firenze
Alderotti (Meccanotessile)	Regolamento Urbanistico Comune di Firenze
Peretola	Regolamento Urbanistico Comune di Firenze
Bagno a Ripoli	Progetto linea Bagno a Ripoli
Potenziamento il Pino	Progetto linea Bagno a Ripoli
Indiano Cascine	Progetto linea Piagge

3.1.2 Grafo privato nello scenario di progetto

Nello scenario di progetto si riproducono tutte le modifiche introdotte nello scenario di riferimento. A queste si aggiunge la creazione di una circolazione promiscua tram- veicoli privati lungo via dei Mille, riprodotta nel modello attraverso la riduzione di capacità e velocità di flusso libero dell'arco che schematizza via dei Mille.

Vengono inoltre inseriti nel grafo i parcheggi scambiatori, legati alla progettazione della linea:

- Parcheggio scambiatore Castagno
- Pistoiese;
- Campania.

A questi sono stati aggiunti una serie di parcheggi da previsioni urbanistiche del Comune di Campi Bisenzio; questi sono individuati in Figura 9 con un cerchio bianco.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 7020921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

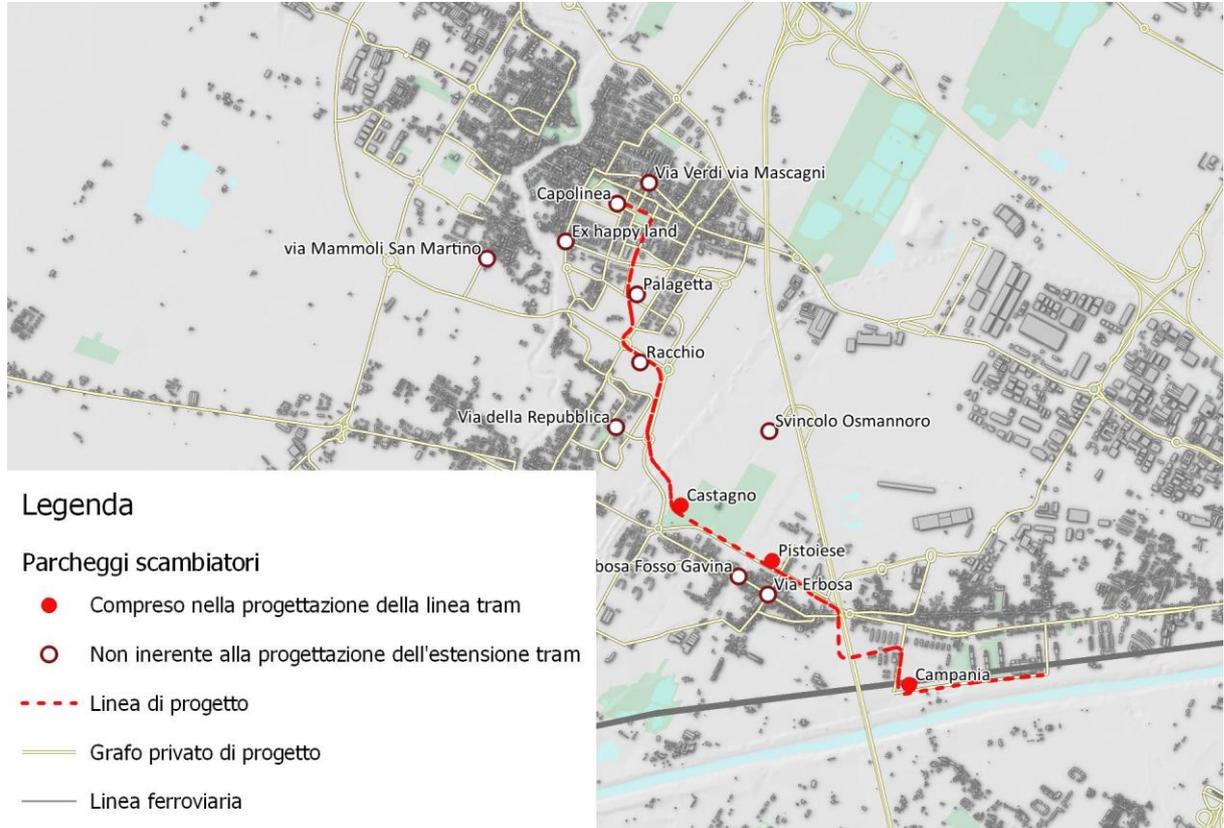


Figura 9 - Parcheggi aggiunti nello scenario di progetto

Nel modello di trasporto, il parcheggio autostradale di Osmannoro è collegato alla fermata tranviaria “Pistoiese” attraverso una navetta bus dalla capacità di 20 persone ed un tempo di percorrenza parcheggio-fermata tram di 5 minuti.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

**Tabella 9 -Riepilogo dei parcheggi presenti nei vari scenari, le celle celesti indicano la presenza del
parcheggio nel corrispondente scenario**

Parcheggio	SC2014 Scenario interviste OD	SC2018 calibrazione	SR2019 Stato di fatto	SR2025 Scenario di riferimento	CBa2025 Scenario di progetto
Villa Costanza					
Ponte a Greve					
Careggi CTO					
Etruria					
Foggini					
Nenni-Torregalli					
Batoni					
Alderotti (Meccanotessile)					
Bagno a Ripoli					
Peretola					
Guidoni					
Potenziamento Il Pino					
Rovezzano					
Indiano Cascine					
Piagge					
Campania					
Pistoiese					
Castagno					
Racchio					
Palagetta					
Capolinea					
Parcheggio autostradale Osmannoro					
Via Erbosa					



Comune
di Firenze

Parcheggio	SC2014 Scenario interviste OD	SC2018 calibrazione	SR2019 Stato di fatto	SR2025 Scenario di riferimento	CBa2025 Scenario di progetto
Via Erbosa Fosso Gravina					
Via della Repubblica					
Via Mammoli San Martino					
Ex Happy Land					
Via verdi Via Mascagni					

 Parcheggio presente nello scenario

3.2 GRAFO PUBBLICO

Il grafo pubblico è costituito da archi di corsa, di salita e di discesa, che rappresentano i servizi pubblici offerti nell'area di studio e i loro punti di accesso ed uscita (le fermate/paline), collegati alla rete pedonale ed agli archi di parcheggio.

Per quanto riguarda il trasporto urbano su gomma sono state inserite le linee diurne di maggiore interesse di ATAF&Linea; come per la rete privata il livello di dettaglio è maggiore per il comune di Firenze, più discretizzato all'esterno.

3.2.1 Evoluzione della rete tram negli scenari modellistici

Le linee tram sono state inserite in maniera completa e corrispondente all'effettiva configurazione. In particolare, vale quanto segue per i diversi scenari:



Comune
di Firenze

Tabella 10 - Prospetto delle linee tranviarie presenti in ogni scenario e delle frequenze

SCENARIO		T1 Careggi - Villa Costanza	T2 Aeroporto - Libertà	T3 (lotto II) Bagno a Ripoli – Don Michele	T4.1 Leopolda - Piagge	T4.2a Piagge - Ruccellai.
Calibrazione	SC2018					
Attuale 2019	SR2019					
Riferimento 2025	SR2025					
Progetto 2025	SFa2025					
frequenza		4 min 20 s	4 min 20 s	5 min	6min	6 min

Per quanto riguarda le caratteristiche della linea oggetto di studio si riportano nella tabella seguente.

Tabella 11 - Caratteristiche della linea oggetto di studio

Linea	Lunghezza linea [m]	Velocità commerciale [km/h]	Intertempo [min]	Tempo medio di percorrenza [min]	Tempo di giro [min] ¹	Mezzi
4.2+4.1	11661	19.35	6'25''	36'09''	82	16

Insieme al completamento della rete tranviaria è necessario implementare le modifiche all'assetto della rete di trasporto pubblico di completamento di ciascuno scenario, tramite gli elementi progettuali di rilievo:

- integrazione tariffaria: nessuna barriera al cambio di mezzo su vettori eventualmente differenti;
- rete TPL urbana sviluppata in modo complementare ed armonico con le linee tram, orientata all'utente e gerarchizzata nei seguenti livelli funzionali:

¹ Sul totale della linea 4.1+4.2

- linee forti (indistintamente se su ferro o gomma), che connettono funzionalmente i quadranti di Firenze su cui si concentra la domanda di trasporto;
 - linee secondarie trasversali, le quali intercettano in più punti la rete principale, fornendo connessioni radiali;
 - linee secondarie circolari, per le zone a bassa domanda di mobilità, in grado di connettere le zone periferiche, intercettando in più punti le linee principali senza attraversare il centro;
 - linee di ricucitura, a servizio di particolari punti d'interesse dislocate in zone periferiche.
- attestazione dei servizi extraurbani in punti d'intercambio disposti radialmente rispetto al centro città, al fine di ridurre il transito nel centro della città dei mezzi extraurbani in sovrapposizione al servizio urbano;
 - inserimento dei parcheggi scambiatori auto-mezzo pubblico di progetto.

3.2.2 Evoluzione della rete TPL su gomma

Il grafo pubblico 2019 riproduce la rete su gomma all'attivazione della linea T2 che ha comportato per esempio l'eliminazione della linea 22 del servizio urbano.

Per quanto riguarda l'offerta pubblica, nello **scenario di riferimento 2025** risultano in esercizio la linea 4.1 (Leopolda – Piagge) e la linea 3.2 (Bagno a Ripoli - Don Minzoni). Questo comporterà le seguenti modifiche al TPL su gomma:

- La limitazione della linea 23 Nuova Scuola Carabinieri - T3 Piave,
- La limitazione linee 31-32 in Piazza Francia (interscambio T3 Europa 2),
- La soppressione della linea 8
- l'attestazione della linea extraurbana proveniente dalla direttrice di via Roma (da Troghi/San Donato in Collina) in corrispondenza dello scambiatore nell'area di trasformazione adiacente a Olmi;



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

- la limitazione della linea 30 per scambio con linea T4.1, in zona Indiano, e con la T2 in zona fermata Montegrappa;
- attestazione della direttrice extraurbana Poggio a Caiano – Firenze alla fermata Piagge.

Nello scenario di progetto vengono introdotte ulteriori modifiche nell'ottica di integrazione fra rete tram e trasporto pubblico su gomma. In particolare:

- attestazione della linea 35 al parcheggio scambiatore Castagno (San Donnino);
- attestazione della linea 303 al capolinea della linea T4.2 "S.Piero" Campi Bisenzio (Calenzano-Campi Bisenzio centro);
- modifica del percorso della linea 67 per favorire l'interscambio con la linea T4.2 in corrispondenza del parcheggio scambiatore Castagno (San Donnino);
- modifica del percorso della linea 68 per favorire l'interscambio con la linea T4.2 in corrispondenza della stazione delle Piagge.
- attestazione della direttrice extraurbana Poggio a Caiano – Firenze alla fermata Castagno.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 7020921E3 - CUP H11E16001130001 + H1112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

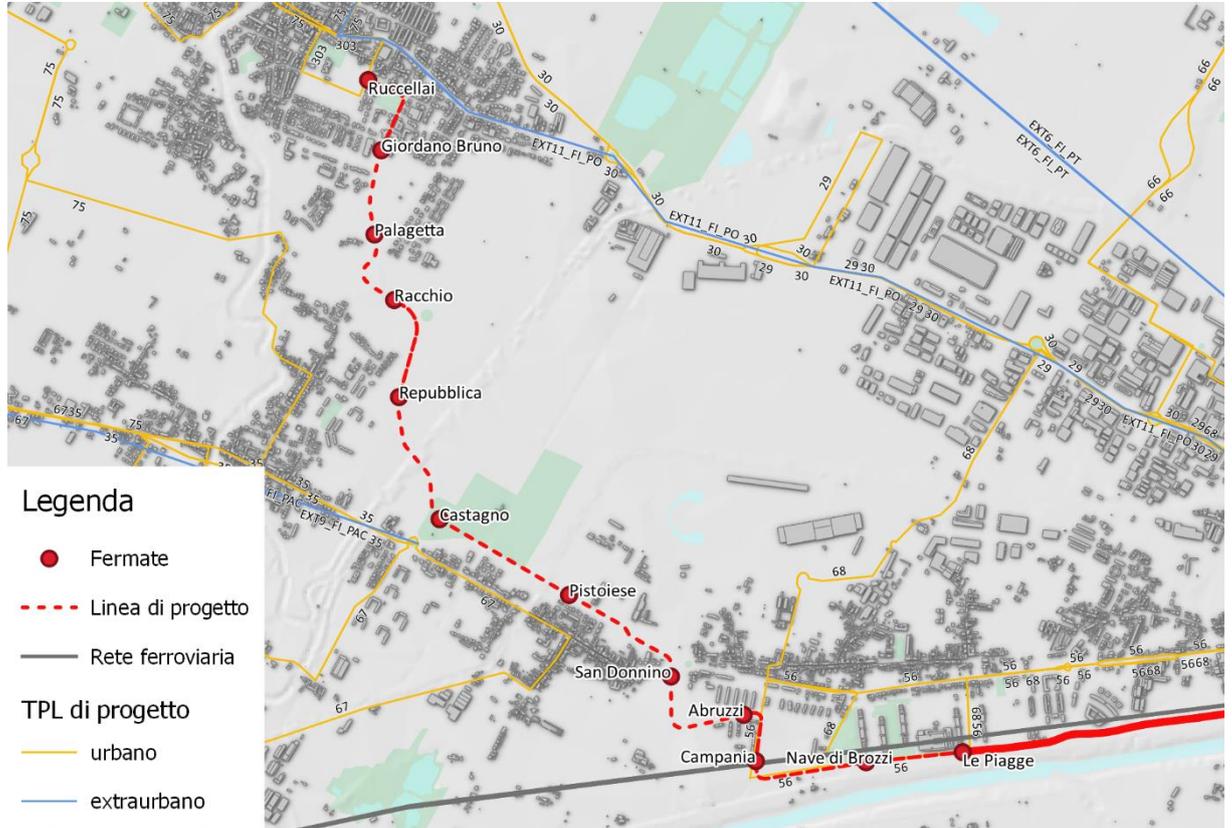


Figura 10 -Inquadramento TPL nell'area della linea di progetto

Si riporta di seguito della rete TPL nei vari scenari simulati.

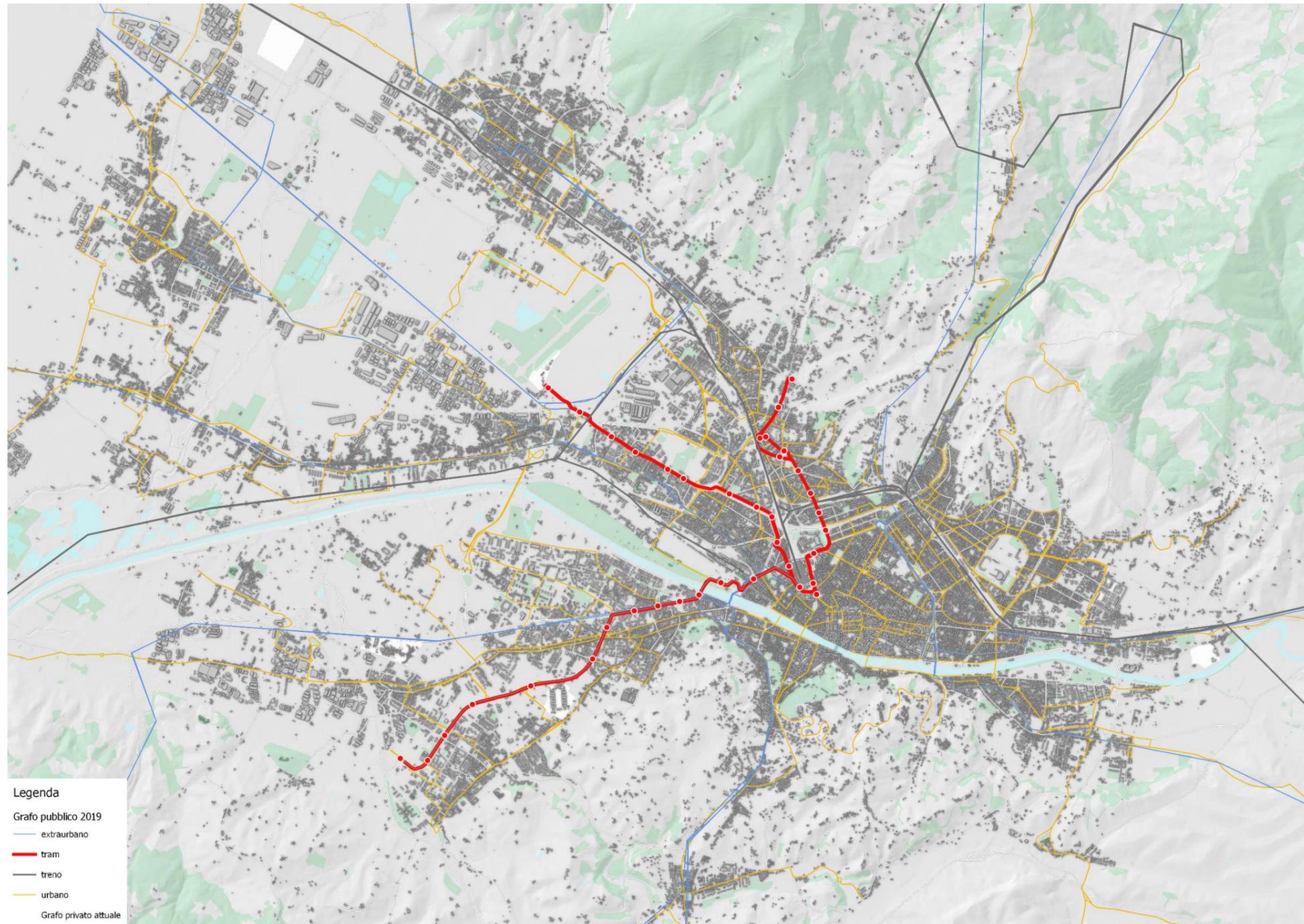


Figura 11 - Il grafo pubblico nello scenario attuale

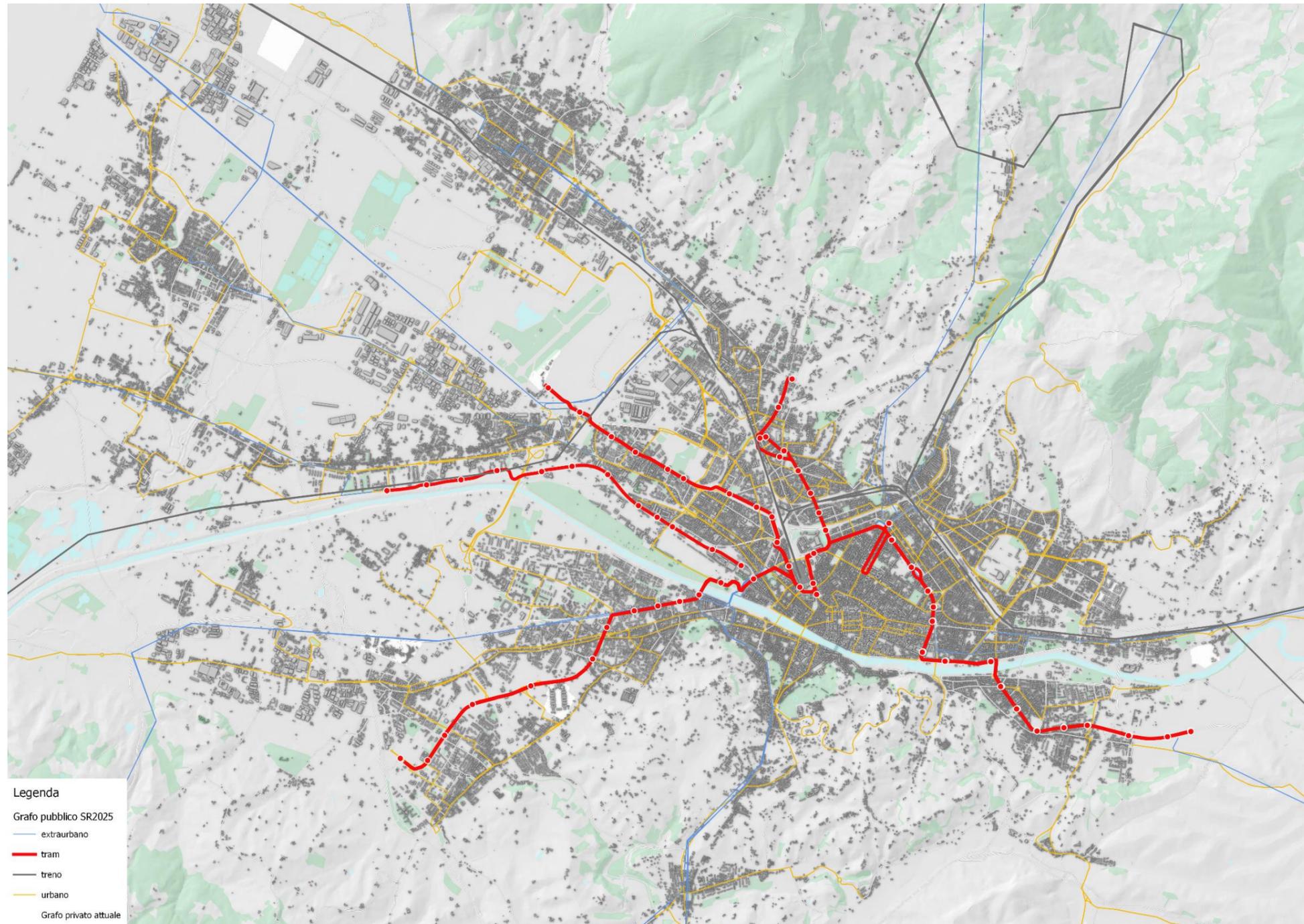


Figura 12 - Grafo pubblico scenario di riferimento 2025 (SR2025)

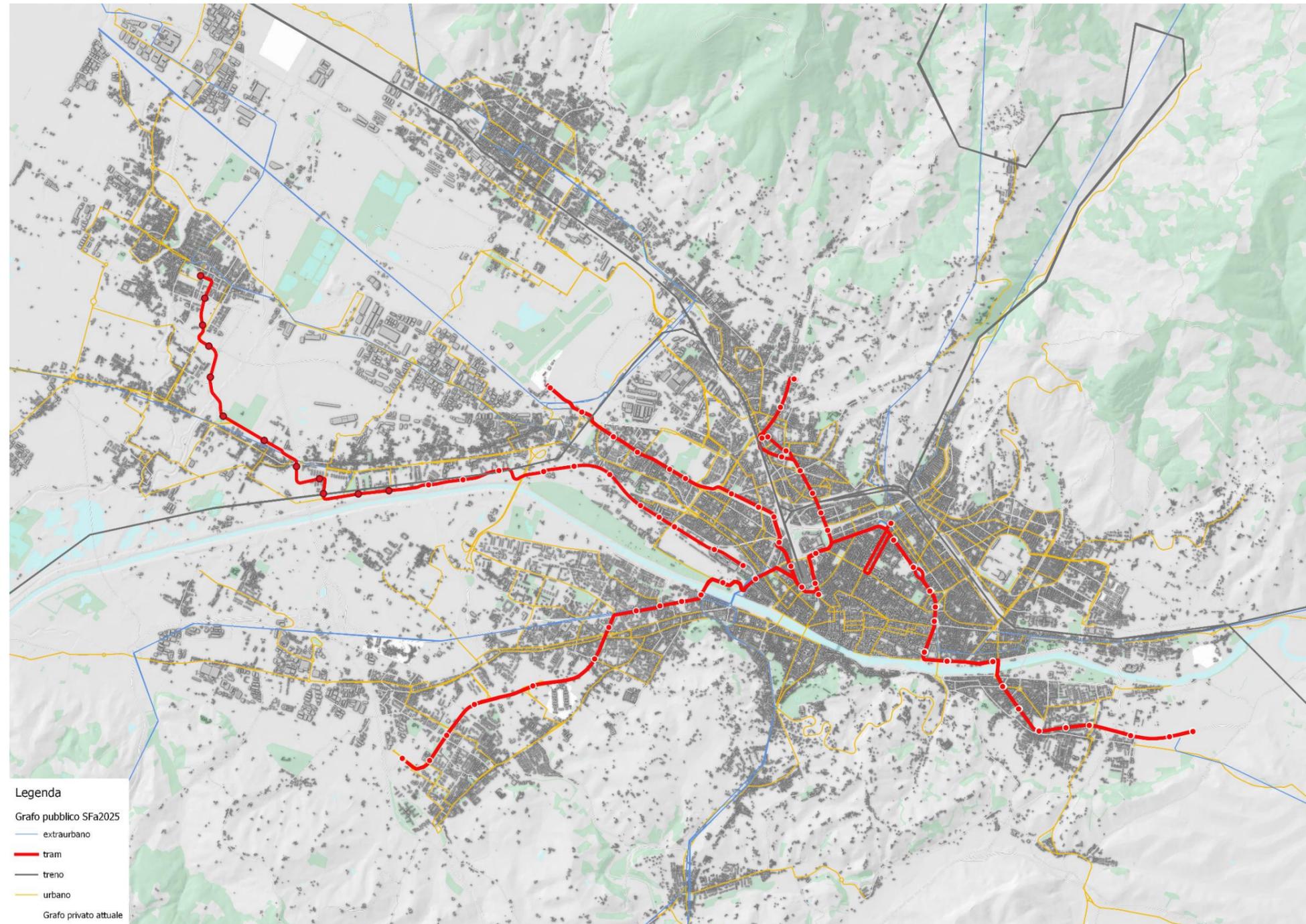


Figura 13 - Grafo pubblico scenario di progetto 2025 (CBa2025)

4. METODOLOGIA DI PREVISIONE DELLA DOMANDA

Attraverso il modello a quattro stadi vengono definiti i sotto-modelli di generazione, di distribuzione, di ripartizione e infine di scelta del percorso. I risultati di tali modelli sono poi stati espansi dall'ora di punta del mattino del giorno feriale medio al giorno ed alla settimana tipo, attraverso i coefficienti di espansione calcolati a partire dai dati di frequentazione dei diversi modi.

Per ogni scenario è stata utilizzata la domanda stimata per l'anno dello scenario stesso, considerando la crescita prevista della popolazione ed integrando le matrici in base all'evoluzione dell'assetto del territorio per l'attrattività di nuovi poli o di strutture ampliate modificate.

4.1 LA STRUTTURA DEL MODELLO DI PREVISIONE DELLA DOMANDA

Lo studio trasportistico si basa su un modello di trasporto multimodale a 4 stadi dell'ora di punta mattutina del giorno feriale medio; in particolare sono oggetto di indagine e simulazione specifica le componenti privata (su gomma) e pubblica (su ferro e gomma) del trasporto, ma entrano nella catena modellistica anche i modi moto, piede e bici, che hanno una rilevanza non trascurabile nell'indagine delle dinamiche urbane di mobilità.

Le reti di tipo privato, pubblico e pedonale sono state implementate sull'area urbana con sufficiente dettaglio, includendo tutte le linee ATAF&LINEA e tutte le strade necessarie agli spostamenti interzonalì e all'accesso alla rete di TPL.

Il modello simula entrambe le tipologie di utenza, sistematica e non sistematica. In particolare la prima è oggetto di simulazione tramite i primi tre stadi del modello, calibrato anche in base ad una campagna di interviste di tipo stated preferences, mentre la seconda classe di utenti, più varia nella sua composizione e per definizione composta da spostamenti

non regolari e quindi difficilmente classificabili, è stata estrapolata a valle di un processo di calibrazione che si è avvalso di un elevato numero di postazioni di rilievo veicolare e di una campagna di conteggio saliti-discesi alle fermate. Questa scelta si basa sull'assunzione che, una volta calibrata la componente sistematica (casa - scuola/lavoro), che rappresenta la maggior parte degli spostamenti della punta mattutina, il differenziale registrato sulla rete sia costituito dal resto dell'utenza. La classe non sistematica è residuale sui mezzi di trasporto pubblico nell'ora di punta, dato anche il loro affollamento, e ne costituisce invece la base nelle ore di morbida. Questo assunto vale ancora di più in una città come Firenze, dove la componente non sistematica non include solo i movimenti per svago e/o affari, ma anche una considerevole domanda turistica non trascurabile. Tale evidenza è facilmente desumibile dall'andamento orario dei dati di frequentazione dei vari modi, che vedono punte sempre meno evidenti ed un alto tasso di frequentazione (o congestione stradale) anche nelle cosiddette ore di morbida.

L'uso del modello per ogni orizzonte temporale e scenario si basa sui seguenti passi:

- aggiornamento delle variabili socioeconomiche (residenti, addetti) delle diverse zone per gli orizzonti temporali di analisi;
- aggiornamento del grafo privato e pubblico di offerta in termini di infrastrutture, servizi (percorsi di linea, frequenze, regolarità) e capacità;
- applicazione in cascata del modello di generazione e distribuzione;
- applicazione tramite un processo iterativo di cicli di coerenza dei modelli di scelta modale e scelta del percorso, ai fini di minimizzare lo scarto tra iterazioni successive.

Si rende necessaria la strutturazione degli ultimi due stadi in un ciclo iterativo dal momento che al variare della domanda cambiano gli attributi associati a ciascun modo (in particolare il tempo di percorrenza lungo strada e il tempo di ricerca del parcheggio).

Nei paragrafi seguenti è illustrata sommariamente la metodologia di costruzione, calibrazione e validazione del modello, che si basa su processi iterativi successivi. Il risultato è costituito da:

1. **modello di generazione**, dipendente dalla popolazione residente suddivisa per fasce di età, corrispondenti in linea di massima alla popolazione scolastica e lavorativa;
2. **modello di distribuzione di tipo gravitazionale** basato sugli addetti e la distribuzione dei poli scolastici / universitari, corretto per minimizzare gli scarti con la distribuzione ISTAT ed evitare un fenomeno di eccessivo sprawling;
3. **modello di ripartizione modale di tipo Logit** tra i cinque modi piede-bici-moto-auto-pubblico, calibrato sulle interviste all'utenza dell'area metropolitana fiorentina;
4. modelli di scelta del percorso all'equilibrio per la componente privata e a frequenza per la componente pubblica, in grado di ripartire l'utenza tra ferro-gomma e tram.

A questi si aggiunge un **modello misto per l'utenza park&ride**, che inserisce nei percorsi all'equilibrio, il percorso costituito dal tratto stradale + parcheggio + mezzo pubblico. Tale utenza è considerata nella matrice auto fino al cordone e in quella pubblica dal punto di salita sul mezzo pubblico.

L'assegnazione del percorso si basa non sul tempo di percorrenza ma sul concetto di **costo generalizzato**, per cui è necessario associare ad ogni classe di utenza un valore economico del tempo (VOT) ed un costo operativo dei veicoli (VOC), di cui si riportano di seguito i valori: questa scelta è motivata dal fatto che nel modello sono implementati anche i costi medi di parcheggio ZCS, dei parcheggi di struttura e dei mezzi pubblici, che influiscono sostanzialmente sulla scelta del mezzo e del percorso.

Tabella 12 - Valore economico del tempo e Costi operativi dei veicoli

Voce	Valore
VOT [euro/h]	11.38
VOC [euro/km]	0.142

4.2 IL MODELLO A QUATTRO STADI

Il modello di domanda si compone di tre differenti componenti:

- il modello di generazione;
- il modello di distribuzione;
- il modello di ripartizione modale;
- il modell
- o di scelta del percorso.

Il modello di generazione è stato calibrato sulle interviste telefoniche per quanto concerne l'area metropolitana fiorentina (si veda il paragrafo 2.1) e sulla banca dati relativa al pendolarismo 2011 per la restante area di piano esterna. L'esplicitazione analitica di generazione degli spostamenti generati per ciascuna zona nella fascia di punta mattutina per l'area metropolitana è la seguente:

$$\text{emessi (zona)} = 0.2739 (\text{pop2064}) - 0.03 (\text{pop64})$$

dove:

- pop2064: popolazione per zona compresa nella fascia di età 19-64 anni;
- popo64: popolazione per zona con età maggiore di 64 anni.

Gli emessi così calcolati sono stati suddivisi tra studenti ed addetti secondo la ripartizione della popolazione per età in ciascuna zona.

Definito il numero di utenti che si originano da ciascuna zona di traffico, il modello di distribuzione consente di suddividere ciascun movimento nelle possibili destinazioni: è stato calibrato a partire dalle banche dati sul pendolarismo ISTAT ed aggiornato in base alle indagini telefoniche. È un modello di tipo gravitazionale, in cui l'attrattività di ogni zona è funzione degli **addetti** e della **distanza in termini di tempo di viaggio** dall'origine, corretto per tenere conto della maggior attrattività delle zone su cui sono presenti poli scolastici/universitari, per minimizzare gli scarti con la distribuzione ISTAT e per evitare un fenomeno di eccessivo

sprawling. In Tabella 13 sono riportati i coefficienti che di proporzionalità degli attributi del modello di distribuzione ottenuti come appena descritto e la loro significatività .

Tabella 13 - Coefficienti del modello di generazione e loro significatività

β	VALORE	t-test
$\beta_{ADDETTI}$	0.0000361	21.57
B_{TEMPO}	-0.0894	-17.26

A valle dei primi due stadi si ottengono le matrici delle diverse classi di utenza: gli addetti, gli studenti e gli utenti dei presidi sanitari. Le ultime due matrici si distinguono dalla prima per la limitazione delle zone in destinazione, filtrate in base alla presenza di ospedali, presidi ambulatoriali ASL, scuole o sedi universitarie.

Con riferimento al modello di ripartizione modale, il modello discreto di scelta modale utilizzato è di tipo Logit multinomiale, buon compromesso fra le capacità descrittive del modello, complessità dell'algoritmo di calcolo e livello di accuratezza dei dati su cui si lavora.

La forma funzionale del modello di scelta ad oggi sviluppato è stata raggiunta al termine di un processo di tipo "trial and error" per la definizione degli attributi delle utilità sistematiche e per la loro formulazione. Per la calibrazione del modello discreto di scelta modale è stato utilizzato il software Biogeme², che permette di cercare la forma delle funzioni di utilità che massimizzi la verosimiglianza del modello. La qualità dell'esplicitazione è determinabile tramite un test informale, che ne valuti prima di tutto il segno (positivo per gli attributi a cui l'utenza assegna generalmente un'utilità positiva e negativo per il contrario) e quindi la significatività tramite t-test.

Il modello di split differenzia le seguenti componenti della mobilità:

² Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models, Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland



Comune
di Firenze

- mezzo auto;
- mezzo pubblico;
- motocicli;
- biciclette;
- pedoni.

Per ciascuna delle componenti, l'esplicitazione analitica dell'utilità specifica è la seguente:

$$V_{\text{bici}} = \beta_{\text{TEMPO}} \cdot t_{\text{BICI}} + \beta_{\text{ZCS}} \cdot \text{ZTL} + \beta_{\text{BICI}}$$

$$V_{\text{auto}} = \beta_{\text{TEMPO}} \cdot t_{\text{AUTO}} + \beta_{\text{PARK}} \cdot C_{\text{PARK}} + \beta_{\text{AUTO}}$$

$$V_{\text{moto}} = \beta_{\text{TEMPO}} \cdot t_{\text{MOTO}} + \beta_{\text{MOTO}}$$

$$V_{\text{pede}} = \beta_{\text{TEMPO}} \cdot t_{\text{PIEDE}} + \beta_{\text{ZCS}} \cdot \text{ZTL}$$

$$V_{\text{pubblico}} = \beta_{\text{TEMPO}} \cdot t_{\text{PUBB}} + \beta_{\text{TRA}} \cdot \text{tra} + \beta_{\text{ZCS}} \cdot \text{ZTL}$$

dove:

- β_{TEMPO} : coefficiente specifico relativo al tempo di viaggio con ciascuna alternativa modale;
- β_{PARK} : coefficiente specifico relativo al costo del parcheggio C_{PARK} ;
- β_{ZCS} variabile dummy afferente alla destinazione in ZTL, dove la variabile ZTL vale 1 o 0 a seconda che la destinazione sia una zona ZTL;
- β_{BICI} , β_{AUTO} , β_{MOTO} : coefficiente specifico dei vari mezzi;
- β_{TRA} : coefficiente relativo al mezzo pubblico e rappresentativo della lunghezza media a bordo di ogni singolo mezzo, dato dal rapporto tra la lunghezza totale del viaggio con i mezzi pubblici ed il numero di trasbordi: il suo inserimento al posto del numero di trasbordi si basa sul fatto che l'utente che compie un viaggio lungo è maggiormente predisposto ad effettuare un trasbordo rispetto a chi ne effettua uno più corto.

La Tabella 14 riporta i valori dei coefficienti e il risultato per ciascuno del t-test di student.

Tabella 14 - Valori dei coefficienti β

Coefficiente	Valore	t-test
β_{AUTO}	0.8100	5.66
β_{BICI}	-1.5300	-8.07
β_{MOTO}	-0.8040	-4.92
β_{PARK}	-0.1800	-2.89
β_{TEMPO}	-0.0191	-6.93
β_{ZCS}	0.3680	3.86
β_{TRA}	0.0636	7.16

Le variabili inserite nel modello risultano essere tutte significative, dal momento che il t-test (test formale) è positivo, e assolutamente non correlate. Poiché la prima alternativa del campione statistico utilizzato (1085 interviste) è scelta dal 49% del campione, il valore del $\rho^2=0.184$ risulta poco significativo per valutare la qualità modello.

I tempi di percorrenza ed i costi con i vari modi per ogni Origine-Destinazione vengono calcolati in un processo iterativo che consiste nel calcolo degli attributi, l'applicazione del modello di split, la successiva assegnazione delle matrici modali e il ricalcolo degli attributi da inserire nel modello di split fino a convergenza. In particolare, le prime iterazioni dell'assegnazioni pedonale, bici e pubblica sono state effettuate utilizzando la matrice unitaria completa, dal momento che la scelta del percorso per questi modi prescinde dalla capacità e non dipende dal livello di congestione. Per quanto riguarda i modi privati, in cui la scelta del percorso dipende dal livello di congestione della rete, la prima iterazione è stata ottenuta assegnando una matrice calibrata sui valori dei rilievi comunali.

Per quanto riguarda il **modello di scelta del percorso**, l'assegnazione della domanda di trasporto all'offerta avviene in modo separato per componenti, in particolare:

1. assegnazione all'equilibrio della componente privata;

2. assegnazione mista della componente park&ride, estratta dall'assegnazione a frequenza in base al costo generalizzato del percorso tutto auto rispetto a quello auto+TPL;
3. assegnazione a frequenza della componente pubblica.

4.3 CALIBRAZIONE DELLA COMPONENTE NON SISTEMATICA

Data la natura delle interviste e dei dati ISTAT utilizzati per la calibrazione dei diversi stadi del modello, si può affermare che questo serve principalmente per riprodurre le dinamiche di mobilità metropolitane di tipo *sistematico* o comunque ricorrente. La domanda non sistematica non è però trascurabile, anche nell'ora di punta mattutina, soprattutto con riferimento al modo privato, maggiormente utilizzato per gli spostamenti occasionali. L'estrazione della domanda non sistematica è stata effettuata a valle della validazione dei modelli di domanda, utilizzando una porzione dei dati delle indagini di domanda (flussi veicolari e saliti/discesi), basandosi sull'assunto che la differenza tra matrice sistematica complessiva e matrice calibrata fosse da imputare all'utenza occasionale, ma limitando tale processo ad un rapporto di proporzionalità con il valore di residenti/addetti o con la presenza di particolari poli attrattori.

Alla domanda *non sistematica* generale si sono aggiunte delle matrici specifiche, estratte con l'ausilio di strumenti di pianificazione vigenti o di specifici progetti per ogni orizzonte temporale di analisi; in particolare:

- matrice stazione Belfiore AV, a partire dai dati del progetto preliminare della stazione Foster e aggiornati secondo i piani commerciali Trenitalia per il quinquennio 2020-2025;
- matrice area Olmi, per l'area di trasformazione adiacente al Liceo Volta-Gobetti di Bagno a Ripoli, generata a partire dalle previsioni di utilizzo della medesima in termini di destinazioni d'uso e consistenze areali, con l'ausilio del Manuale ITE 2016;
- matrice PUE Castello, generata a partire dalle previsioni di utilizzo contenute nella variante al Piano Urbanistico di giugno 2018 e dalla sua VAS;



- matrice Manifattura Tabacchi, generata a partire dalle previsioni di utilizzo contenute nella Valutazione Ambientale Strategica di ottobre 2018.

Il metodo di stima di queste matrici verrà dettagliato nel capitolo dedicato alla proiezione della domanda negli scenari futuri, trattandosi di matrici legate ad interventi di programmatici.

4.4 VALIDAZIONE DEL MODELLO

Il confronto tra i risultati dell'applicazione della catena modellistica nello scenario attuale di calibrazione e i dati del quadro di riferimento permette di validare il modello stesso per il suo utilizzo negli scenari futuri.

Il confronto tra i flussi privati simulati e quelli rilevati restituisce un $R^2=0.98$ ed un coefficiente angolare della retta pressoché pari a 1 come si evince dall'immagine, decisamente accettabile per un'assegnazione frutto di un'intera catena modellistica complessa.

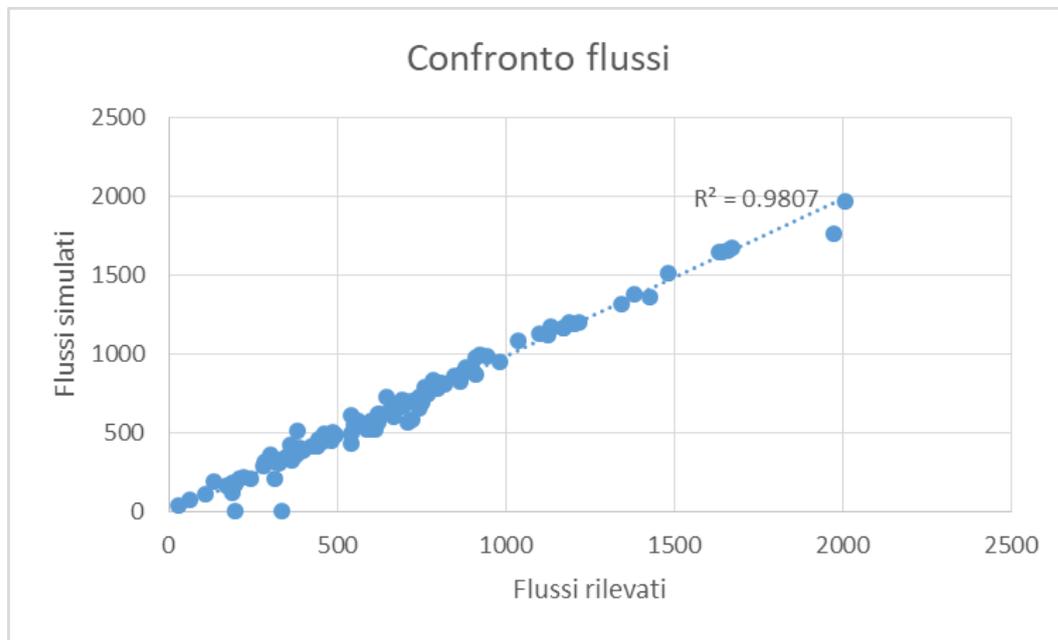


Figura 14 - Validazione del modello: confronto tra flussi privati rilevati e assegnati



Comune
di Firenze

Analogamente per le linee di TPL su gomma, il risultato della validazione dei saliti totali per linea è riportato nel grafico sottostante; l'ascissa del punto corrisponde al valore dei saliti da rilievo, l'ordinata al valore che si ottiene da modello di simulazione.

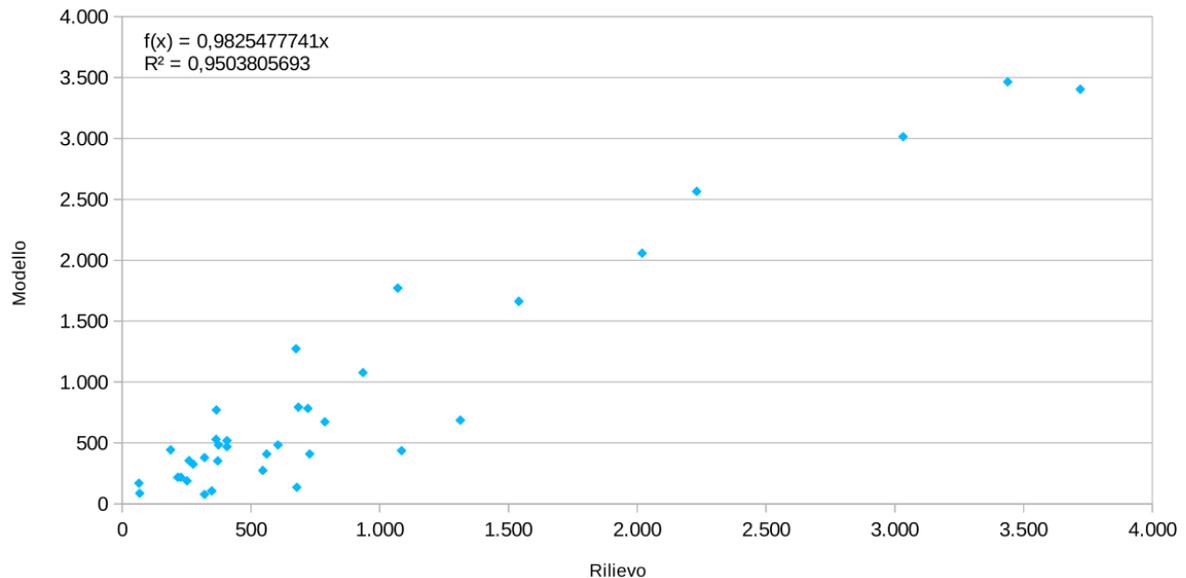


Figura 15 - Validazione del modello di assegnazione pubblico: confronto fra saliti assegnati, ascissa del punto, e rilevati, ordinata del punto, totali per linea

Per quanto riguarda il tram, i saliti simulati dell'ora di punta mattutina sulla linea T1 nel modello SC2018 sono il 98% di quelli medi rilevati da GEST nel corso del quarto trimestre del 2018.

	Saliti simulati	Saliti medi rilevati	%
Careggi-Villa	3084	3150	98 %
Villa Costanza –	5295	5287	100 %

4.5 ESPANSIONE DELLA DOMANDA E PROIEZIONE NEGLI SCENARI FUTURI

4.5.1 *Espansione dal periodo di riferimento ai valori giornalieri e annui*

I coefficienti di espansione sono necessari per la stima dei carichi annui a partire dai dati relativi all'ora di punta mattutina. Per le linee tranviarie i coefficienti di espansione alla settimana tipo sono stati ricavati sulla base di rilievi di saliti e discesi sulla linea T1 terzo trimestre del 2018, che permettono di dedurre i seguenti coefficienti:

- rapporto saliti ora di punta mattutina / saliti giorno: 8,47 %
- rapporto saliti sabato / saliti giorno feriale: 76,2 %
- rapporto saliti domenica / saliti giorno feriale: 67,8 %

L'espansione della settimana tipo all'anno può essere effettuata in 2 modi:

- sulla base della distribuzione mensile della vendita dei documenti di viaggio negli scorsi anni si ricava il coefficiente di espansione dal mese all'anno, da cui risulta che il volume di passeggeri del mese di Ottobre, di riferimento per i rilievi, risulta essere il 10,41% dell'intero anno;
- sulla base del numero di settimane tipo per anno, che secondo le serie storiche risulta essere 47,5.

L'espansione dei passeggeri dall'ora di punta al giorno viene effettuata in maniera diversa per i passeggeri che provengono dal Park & Ride rispetto agli utenti del solo servizio pubblico. Si ipotizza, infatti, che coloro i quali usufruiscono del parcheggio scambiatore effettuino due viaggi al giorno, uno di andata e uno di ritorno, non avendo a disposizione dati specifici sul tasso di ricambio dei parcheggi scambiatori.

Per quanto riguarda il TPL su gomma e il traffico privato, il rapporto tra punta simulata e giorno feriale medio è stato desunto dagli specifici rilievi di frequentazione.

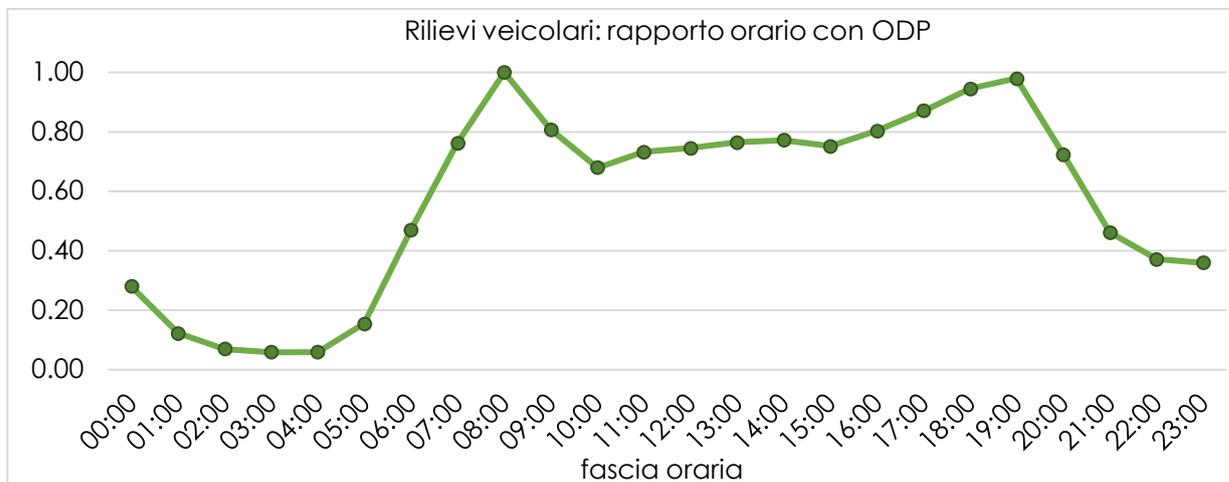


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



Modo / linea	Punta/giorno ferial	Ore equivalenti
Tram T1+T3 & T2 &T2.2a	8,47 %	11.81
Tram T3.2	10,42 %	9.59
Tram T4.1	10,42 %	9.59
Traffico privato	7%	14.29
TPL su gomma		7.28

Tabella 15- Coefficienti di espansione

Dai medesimi set di dati, si è ricavato il numero di giorni equivalenti per anno, pari a 296.

4.5.2 Proiezione della domanda negli scenari futuri

In mancanza di dati specifici, la crescita della popolazione dal 2014 al 2050 è stata ricavata dalle stime Eurostat per la Regione Toscana nello scenario mediano aggiornate nella seconda metà del 2018 e riportate nel Grafico 16.

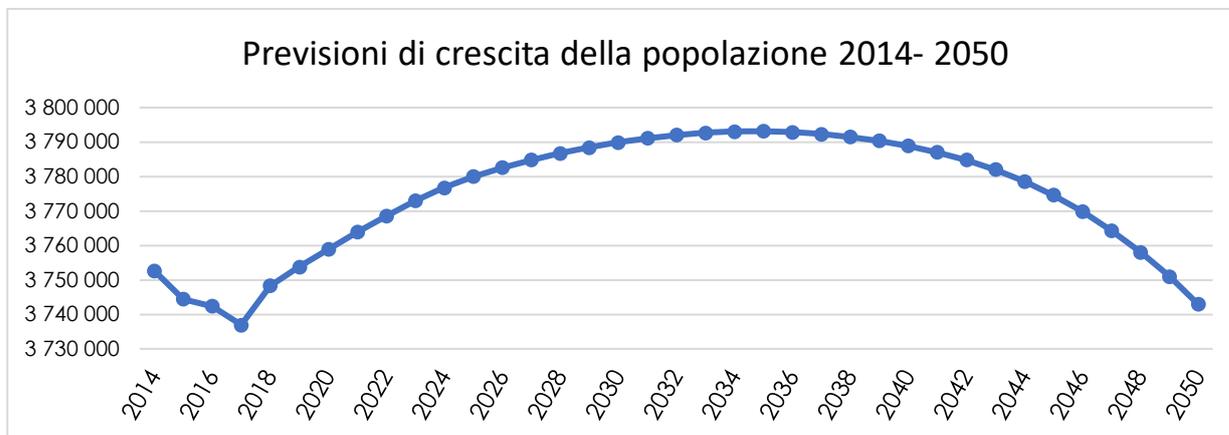


Grafico 16- Previsioni di crescita della popolazione secondo le stime Eurostat

Oltre alla crescita della popolazione, negli scenari futuri si considerano anche interventi puntuali nell'area di studio. In particolare:

- Evoluzione dell'assetto urbano del comune di Campi Bisenzio;
- Realizzazione del PUE di Castello;
- Realizzazione della Manifattura Tabacchi;
- Spostamento dell'Università di agraria dalla zona delle Cascine al Polo Scientifico di Sesto Fiorentino;
- Trasformazione di un'area adiacente all'Istituto Volta- Gobetti, Area Olmi, nel comune di Bagno a Ripoli;
- Linea ferroviaria dedicata AV.

EVOLUZIONE DELLA DOMANDA NEL COMUNE DI CAMPI BISENZIO

Il comune di Campi Bisenzio sta predisponendo il nuovo Piano Strutturale; nel dicembre 2017 ha avviato il procedimento per la formazione del nuovo Piano e nel settembre 2019 si è tenuta la Conferenza di Copianificazione relativa alle previsioni di aree di trasformazioni esterne al perimetro del territorio urbanizzato.

Per la stima della domanda di trasporto sono stati considerati due scenari temporali distinti:



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

-
- 2025 in cui sono state inserite le previsioni relative agli interventi convenzionati in corso, in quanto questi sono già stati approvati e già in via di realizzazione o comunque risulta plausibile che saranno realizzati entro questo limite temporale;
 - 2035 anno in cui si ipotizzano realizzate le previsioni relative all'aggiornamento del Piano Strutturale.

I dati forniti dal Comune di Campi Bisenzio per gli interventi Convenzionati in corso sono riportati nella tabella seguente.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE,
CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Tabella 16 - Piani Convenzionati in corso

Sigla intervento	UTOE		Tipo 1	previsti	unità	Tipo 2	previsti	unità	al 31/12/18	dopo il 31/12/2018
Bc Il Rosi (residuo)	1 Nord	residenziale		166	abitanti		9000	mc	61	105
PMU 3.2	2 Centro	industriale-artigianale		6511.46	m ²	commerciale-direzionale-turistico	13800	mc	0	0
PMU 4.7	2 Centro	residenziale		350	abitanti	commerciale-direzionale-turistico	20000	mc	35	315
PMU 4.12	2 Centro	industriale-artigianale		20440	m ²				0	0
PMU 5.8	2 Centro	commerciale-direzionale-turistico		10000	m ²				0	0
Pdr Falcini	2 Centro	residenziale		70	abitanti				0	70
Bc via Barberinese (residuo)	2 Centro	commerciale-direzionale-turistico		6300	mc				0	0
PMU 7.2 (residuo)	3 Sud	residenziale		39	abitanti	commerciale-direzionale-turistico	330	mc	0	39
Peep via della Repubblica	3 Sud	residenziale		90	abitanti				0	90

Per il 2035 in prima battuta sono stati forniti i valori massimi realizzabili nelle UTOE del territorio delle varie categorie funzionali (residenziale, Industriale, commercio, turistico, direzionale) e il numero di abitanti previsti al 2035 per le 3 UTOE.

Tabella 17 - Variazione della popolazione al 2035

	Abitanti al 31/12/2018	Abitanti previsti 2035	incremento
UTOE 1	1 535	1 983	448
UTOE 2	30 535	34 691	4 156
UTOE 3	15 313	17 213	1 900
TOTALE	47 383	53 887	6 504

In seguito ad interazione con l'Ufficio di Urbanistica, sono state fornite delle ipotesi di Superfici Utili Lorde realizzabili effettivamente all'interno delle UTOE; poiché non è ancora presente un Piano Operativo Aggiornato rispetto alle nuove Previsioni del Piano Strutturale, le quantità ipotizzate si basano sulla conoscenza del territorio e sui dimensionamenti effettuati nei precedenti strumenti di pianificazione del Territorio. Inoltre è stata fornita una disaggregazione di tali valori sulle zone del modello di trasporto.

Tabella 18 – Distribuzione delle destinazioni sulle zone del modello al 2035

zona	UTOE	SUL produttivo [mq]	SUL residenziale [mq]	SUL altro [mq]
367	1	29000.00	0.00	150.00
369	1	0.00	0.00	0.00
370	1	0.00	2556.00	0.00
371	1	39000.00	2556.00	16000.00
372	1	0.00	0.00	0.00
349	2	0.00	835.00	10835.00
354	2	0.00	0.00	0.00
355	2	0.00	10000.00	10000.00
356	2	0.00	19736.20	29604.00
357	2	0.00	17006.20	15904.00
358	2	0.00	0.00	0.00

zona	UTOE	SUL produttivo [mq]	SUL residenziale [mq]	SUL altro [mq]
359	2	0.00	0.00	0.00
360	2	0.00	2800.00	1000.00
361	2	0.00	0.00	0.00
362	2	0.00	0.00	0.00
363	2	0.00	0.00	0.00
364	2	0.00	937.20	937.20
365	2	0.00	0.00	0.00
366	2	0.00	0.00	0.00
368	2	0.00	0.00	21000.00
373	2	30250.00	0.00	10250.00
374	2	187807.00	10626.00	23597.00
375	2	0.00	0.00	0.00
376	2	69304.00	14127.92	16848.92
377	2	0.00	840.00	4000.00
378	2	0.00	3220.00	2800.00
379	2	0.00	5338.31	5338.31
380	2	0.00	27136.00	34778.00
381	2	0.00	21551.36	27367.36
340	3	5000.00	6413.38	5649.38
341	3	0.00	0.00	0.00
342	3	0.00	14871.84	15871.84
343	3	0.00	6446.12	6446.12
344	3	0.00	0.00	2500.00
345	3	0.00	0.00	0.00
346	3	0.00	0.00	0.00
347	3	0.00	9397.80	8633.80
348	3	0.00	2340.16	2340.16
350	3	0.00	4500.00	0.00
351	3	0.00	6691.37	1038.37
352	3	0.00	0.00	0.00
353	3	0.00	6546.10	7246.10
382	3	0.00	0.00	0.00
383	3	0.00	1870.25	1870.25

zona	UTOE	SUL produttivo [mq]	SUL residenziale [mq]	SUL altro [mq]
384	3	0.00	1870.25	1870.25
385	3	0.00	6672.36	7640.36

La voce "SUL altro" comprende le funzioni commerciale, turistico, direzionale; per le ripartizioni sono state assunte le seguenti proporzioni sulla base delle previsioni del Piano Strutturale:

Tabella 19 - Ripartizione della voce SUL_altro fra commerciale, direzionale, turistico

UTOE	commerciale	turistico	direzionale
1	66%	13%	21%
2	46%	13%	41%
3	54%	17%	29%

Si riporta nella tabella seguente i valori espressi in mq delle superfici realizzate al 2035 aggregati per UTOE.

Tabella 20 - Sintesi delle SUL al 2035 per UTOE

UTOE	produttivo	residenziale	commerciale	turistico	direzionale	totale
1	68000	5112	10659	2100	3392	89262
2	287361	134154	98560	27854	87847	635775
3	5000	67620	32998	10388	17721	133726
totale	360361	206886	142216	40341	108959	858763

Sulla base delle informazioni fornite si è proceduto ad aggiornare la domanda per lo scenario 2025 e a creare un ulteriore scenario di progetto al 2035. Nel 2025 sono state inserite le previsioni relative agli interventi convenzionati in corso, in quanto questi sono già stati approvati e già in via di realizzazione o comunque risulta plausibile che saranno realizzati entro il 2025. Tutte le previsioni che riguardano l'aggiornamento del Piano Strutturale sono invece inserite nello scenario 2035.

Per l'aggiornamento della domanda è necessario trasformare le superfici sopra fornite in emessi ed attratti dalle zone del modello. A tal proposito la metodologia seguita è quella proposta dal manuale "Trip Generation Handbook, 3rd edition" sviluppato dal Institute of Transportation Engineers (ITE). Il manuale permette di stimare la domanda disaggregata per emessi ed attratti per la tipologia di funzione dell'intervento studiato, sulla base di parametri dipendenti dal tipo stesso di realizzazione. Per esempio nel caso di un'attività commerciale la variabile da fornire per la stima della domanda sarà la superficie lorda "affittabile", mentre nel caso di una struttura come un hotel, il numero di camere. Ogni tipologia generale, commerciale, produttiva, turistica, residenziale viene disaggregata poi in sotto categorie specifiche. Il dato di emessi e attratti viene calcolato da algoritmi che si differenziano anche per l'intervallo temporale di riferimento; è infatti possibile stimare il valore giornaliero, oppure il valore dell'ora di picco per la struttura stessa o il valore di emessi/attratti nell'ora di picco della rete stradale. Per alcune tipologie di intervento gli algoritmi forniscono il numero di veicoli, per altre la stima può essere fatta sia in termini di veicoli che di persone. Gli algoritmi utilizzati sono stati sviluppati attraverso l'osservazione e la raccolta dati relativi agli spostamenti generati ed attratti da varie attività negli Stati Uniti.

In questo caso si è deciso di stimare tutto in termini di veicoli e convertire successivamente in persone tramite un coefficiente di riempimento del veicolo pari a 1.34; la fonte di questo valore è il 16° Rapporto sulla mobilità degli Italiani redatto da Audimob.

Coefficiente medio di riempimento dell'auto (numero passeggeri per veicolo)

	2001	2008	2017	2018
Nord-Ovest	1,13	1,34	1,40	1,37
Nord-Est	1,11	1,33	1,38	1,32
Centro	1,14	1,36	1,40	1,34
Sud e Isole	1,17	1,44	1,44	1,40
Totale	1,14	1,38	1,41	1,36

Figura – Coefficienti medi di riempimento auto da 16° Rapporto sulla mobilità degli Italiani , Audimob

Per quanto riguarda l'aggiornamento dell'emissione delle zone del modello sulla base dei residenti si è applicato invece il modello di generazione.

Scenario 2025

Nello scenario 2025 le zone interessate dalle modifiche dei Piani convenzionati sono quelle evidenziate in giallo nella figura seguente.

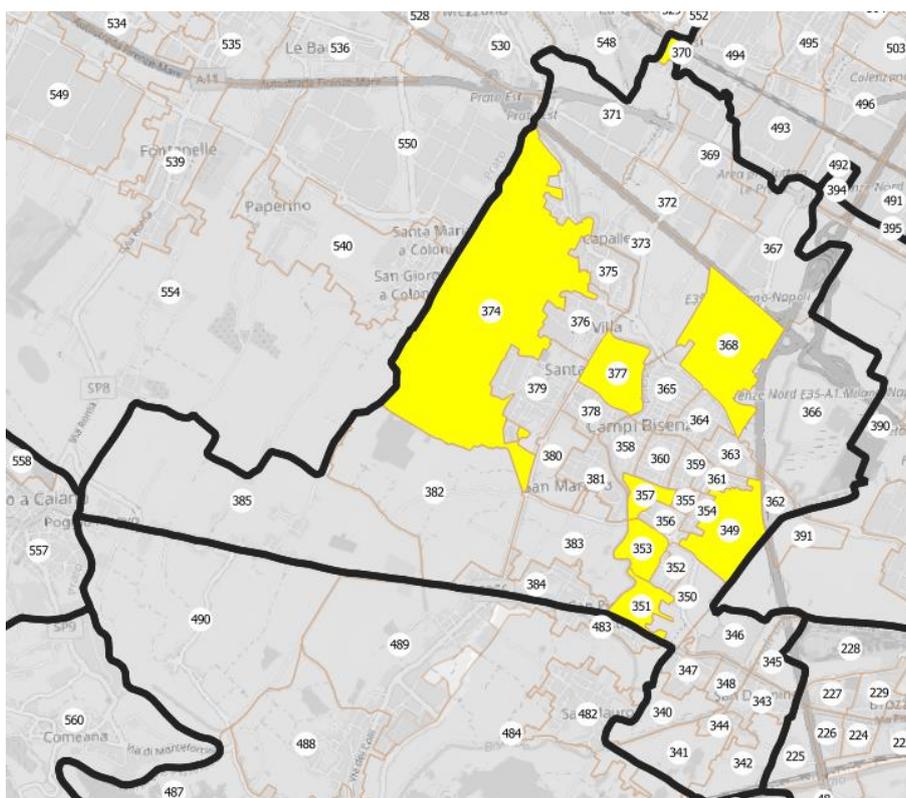


Figura 16 – Zone del modello interessate dai Piani convenzionati in corso

Si riporta l'associazione fra zone ed interventi convenzionati:

Tabella 21 – Associazione fra le zone del modello e gli interventi convenzionati in corso

Sigla intervento	Zona
Bc Il Rosi (residuo)	370
PMU 3.2	368
PMU 4.7	374
PMU 4.12	374
PMU 5.8	349
Pdr Falcini	357
Bc via Barberinese (residuo)	377
PMU 7.2 (residuo)	353
Peep via della Repubblica	351

Per quanto riguarda la componente residenziale sono stati forniti i dati di residenti aggiuntivi; questi comporteranno una maggiore emissione delle zone di residenza rispetto allo scenario attuale; nella tabella seguente si riporta l'incremento di residenti rispetto al 2018 e la stima del conseguente numero di emessi nell'ora di punta mattutina, associabili principalmente a pendolari, sulla base del modello di generazione:

Tabella 22 - Incremento degli emessi legati alla componente residenziale al 2025

zona orig	Residenti aggiuntivi	Incremento emessi
370	105	17
374	315	50
357	70	11
353	39	6
351	90	14
TOT	619	99

Per quanto riguarda le altre destinazioni delle zone interessate dai Piani Attuativi sono state associate alle tipologie fornite dall'ITE. La stima degli emessi e degli attratti è relativa all'ora di punta della rete stradale (1 ora fra le 7.00 e le 9.00 come da manuale). Si riportano di seguito i valori stimati.

Tabella 23 - Incremento della domanda in termini di attratti/generati legati ai Piani convenzionati in corso

Zona	Intervento	Tipologia	mq	sqm/1000	Categoria ITE	tot	attratti	generati
368	PMU 3.2	industriale-artigianale	6511.46	70.09	Industrial Park(130)	29	25	4
368	PMU 3.2	commerciale-direzionale-turistico	4600	49.51	Hotel (310)	87	51	36
374	PMU 4.7	commerciale-direzionale-turistico	4816	51.84	Shopping Center (820)	178	110	68
374	PMU 4.12	industriale-artigianale	20440	220.02	Industrial Park(130)	90	78	12
349	PMU 5.8	commerciale-direzionale-turistico	10000	107.64	Shopping Center (820)	206	127	79
377	Bc via Barberinese (residuo)	commerciale-direzionale-turistico	3600	38.75	Shopping Center (820)	171	106	65
353	PMU 7.2 (residuo)	commerciale-direzionale-turistico	110	1.18	Small Office building (712)	4	2	2

Ipotizzando che un certo numero di spostamenti si generi e si esaurisca all'interno della stessa zona e quindi non interessi le simulazioni modellistiche si ottengono i seguenti valori espressi in termini di persone.

Tabella 24 - Sintesi aggiornamento domanda al 2025

zona	Emessi comm_dir_tur	Attratti comm_dir_tur	Emessi residenziale	Emessi tot	Attratti tot
349	106	170	0	106	136
351	0	0	14	14	0
353	3	3	6	9	2
357	0	0	11	11	0
368	52	102	0	52	81
370	0	0	17	17	0
374	107	252	50	157	202
377	87	142	0	87	114
TOTALE	355	669	99	454	535

Scenario 2035

La stima degli emessi/attratti viene eseguita sulla base delle informazioni riportate in Tabella 18. Le ipotesi su cui si è basato il calcolo sono le seguenti:

- Per la tipologia produttiva si è scelto di utilizzare la categoria ITE "Industrial Park". Questo tipo di area contiene molteplici attività produttive ed i servizi ad esse connessi ed è caratterizzata da una composizione variabile di tipologie di attività.
- Per la tipologia commerciale si è scelta la categoria "Shopping center", che teoricamente è definita come un insieme di attività commerciali gestite come un'unità; nel piano strutturale si parla di attività commerciali a carattere generico. Le superfici previste potrebbero svilupparsi sia come grandi superfici di vendita sia come singole attività commerciali individuali. Non avendo però a disposizione ulteriori dati si assimila la realizzazione di questi interventi alla categoria Shopping Center che

include ad ogni modo i “neighborhood centers” assimilabili ai centri commerciali naturali;

- A livello cautelativo si è scelto di non inserire la categoria Turistica che prevede di fornire come variabile indipendente per la stima della domanda generata/attratta il numero di camere o di impiegati nella struttura alberghiera.
- Alla tipologia “Direzionale” è stata associata la categoria “Office Park” corrispondente ad un’area urbana contenente edifici di uffici e servizi di supporto come banche, ristoranti, stazioni di servizio.

Per quanto riguarda le superfici residenziali queste sono state utilizzate per distribuire gli incrementi residenti già stimati dall’Amministrazione Comunale al 2035. La stima degli emessi viene eseguita non tramite ITE ma modello di generazione.

Si riportano nella tabella seguente i dati di input e quelli stimati per l’aggiornamento della domanda al 2035.

Tabella 25 - Sintesi dei dati di input al 2035 e conseguente stima degli attratti/generati dalle zone del modello

Zona	UTOE	SUL produttiva					SUL commerciale					SUL turistica					SUL direzionale					SUL residenziale			
		mq	sqrf/1000	tot	attratti	generati	mq	sqrf/1000	tot	attratti	generati	mq	sqrf/1000	tot	attratti	generati	mq	sqrf/1000	tot	attratti	generati	mq	%	incremento residenti	incremento emessi
340	3	5000	53.82	51	44	7	3 051	32.84	31	19	12	960.3946				1638.32	17.63	26	23	3	6413.38	0.0652	123.88	20	
341	3	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
342	3	0	0.00				8 571	92.26	97	54	33	2 698				4602.834	49.54	74	66	8	14871.84	0.151191	287.26	46	
343	3	0	0.00				3 481	37.47	35	22	13	1 096				1869.375	20.12	30	27	3	6446.12	0.065533	124.51	20	
344	3	0	0.00				1 350	14.53	14	8	6	425				725	7.80	12	10	2	0	0	-	-	
345	3	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
346	3	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
347	3	0	0.00				4 662	50.18	47	29	18	1 468				2503.802	26.95	40	36	4	9397.8	0.095541	181.53	29	
348	3	0	0.00				1263.686	13.60	13	8	5	397.8272				678.6464	7.30				2340.16	0.023791	45.20	7	
349	2	0	0.00				4984.1	53.65	50	31	19	1408.55				4442.35	47.82	71	63	8	835	0.010335	42.95	7	
350	3	0	0.00				0	0.00				0				0	0.00				4500	0.045748	86.92	14	
351	3	0	0.00				560.7198	6.04	6	4	2	176.5229				301.1273	3.24	11	10	1	6691.37	0.068026	129.25	21	
352	3	0	0.00				-	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
353	3	0	0.00				3 913	42.12	40	25	15	1231.837				2101.369	22.62	34	30	4	6546.1	0.066549	126.44	20	
354	2	0	0.00				-	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
355	2	0	0.00				4 600	49.51	47	29	18	1300				4100	44.13	66	59	7	10000	0.123778	514.42	82	
356	2	0	0.00				13 618	146.58	138	85	53	3848.52				12137.64	130.65	195	173	22	19736.2	0.24429	1 015.27	162	
357	2	0	0.00				7 316	78.75	74	46	28	2067.52				6520.64	70.19	105	93	12	17006.2	0.210499	874.83	140	
358	2	0	0.00				-	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
359	2	0	0.00				-	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
360	2	0	0.00				460	4.95	5	3	2	130				410	4.41	7	6	1	2800	0.034658	144.04	23	
361	2	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
362	2	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
363	2	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
364	2	0	0.00				431	4.64	4	2	2	122				384.252	4.14	6	5	1	937.2	0.0116	48.21	8	
365	2	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
366	2	0	0.00				-	0.00				-				0	0.00				0	0	-	-	
367	1	29 000	312.16	128	111	17	99	1.07	1	1	-	19.5	0.21			31.5	0.34	1	0	1	0	0	-	-	
368	2	0	0.00				9 660	103.98	98	61	37	2 730				8610	92.68	138	123	15	0	0	-	-	
369	1	-	0.00				-	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
370	1	-	0.00				-	0.00				0				0	0.00				2556	0.119899	41	7	
371	1	39 000	419.80	172	150	22	10 560	113.67	107	66	41	2080				3360	36.17	54	48	6	2556	0.119899	41	7	

Zona	UTOE	SUL produttiva					SUL commerciale					SUL turistica					SUL direzionale					SUL residenziale			
		mq	sqrfi/1000	tot	attratti	generati	mq	sqrfi/1000	tot	attratti	generati	mq	sqrfi/1000	tot	attratti	generati	mq	sqrfi/1000	tot	attratti	generati	mq	%	incremento residenti	incremento emessi
372	1	0	0.00				0	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
373	2	30250	325.61	134	116	18	4715	50.75	48	30	18	1332.5				4202.5	45.24	67	60	7	0	0	-	-	
374	2	187807	2021.55	829	721	108	10854.62	116.84	110	68	42	3067.61				9674.77	104.14	155	138	17	10626	0.131526	546.62	87	
375	2	0	0.00				0	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
376	2	69304	745.99	306	266	40	7751	83.43	78	48	30	2190.36				6908.057	74.36	111	99	12	14127.92	0.174872	726.77	116	
377	2	0	0.00				1840	19.81	19	12	7	520				1640	17.65	26	23	3	840	0.010397	43.21	7	
378	2	0	0.00				1288	13.86	13	8	5	364				1148	12.36	18	16	2	3220	0.039856	165.64	26	
379	2	0	0.00				2456	26.43	25	15	10	693.9803				2188.707	23.56	35	31	4	5338.31	0.066076	274.61	44	
380	2	0	0.00				15998	172.20	162	100	62	4521.14				14258.98	153.48	229	204	25	27136	0.335883	1395.93	223	
381	2	0	0.00				12589	135.51	238	147	91	3557.757				11220.62	120.78	180	160	20	21551.36	0.266758	1108.64	177	
382	3	0	0.00				-	0.00				0				0	0.00				0	0	-	-	
383	3	0	0.00				1010	10.87	10	6	4	317.9425				542.3725	5.84	9	8	1	1870.25	0.019013	36.13	6	
384	3	0	0.00				1010	10.87	10	6	4	317.9425				542.3725	5.84	9	8	1	1870.25	0.019013	36.13	6	
385	3	0	0.00				4126	44.41				1298.861				2215.704	23.85	36	32	4	6672.36	0.067833	128.88	21	
TOTALE		360361		1620	1408	212	142216		1520	933	577	40341				108959		1745	1551	194			8290	1322	



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO

Nell'immagine seguente le zone del modello caratterizzate per incremento percentuale di domanda (attratti+emessi) dello scenario 2035 rispetto al 2025.

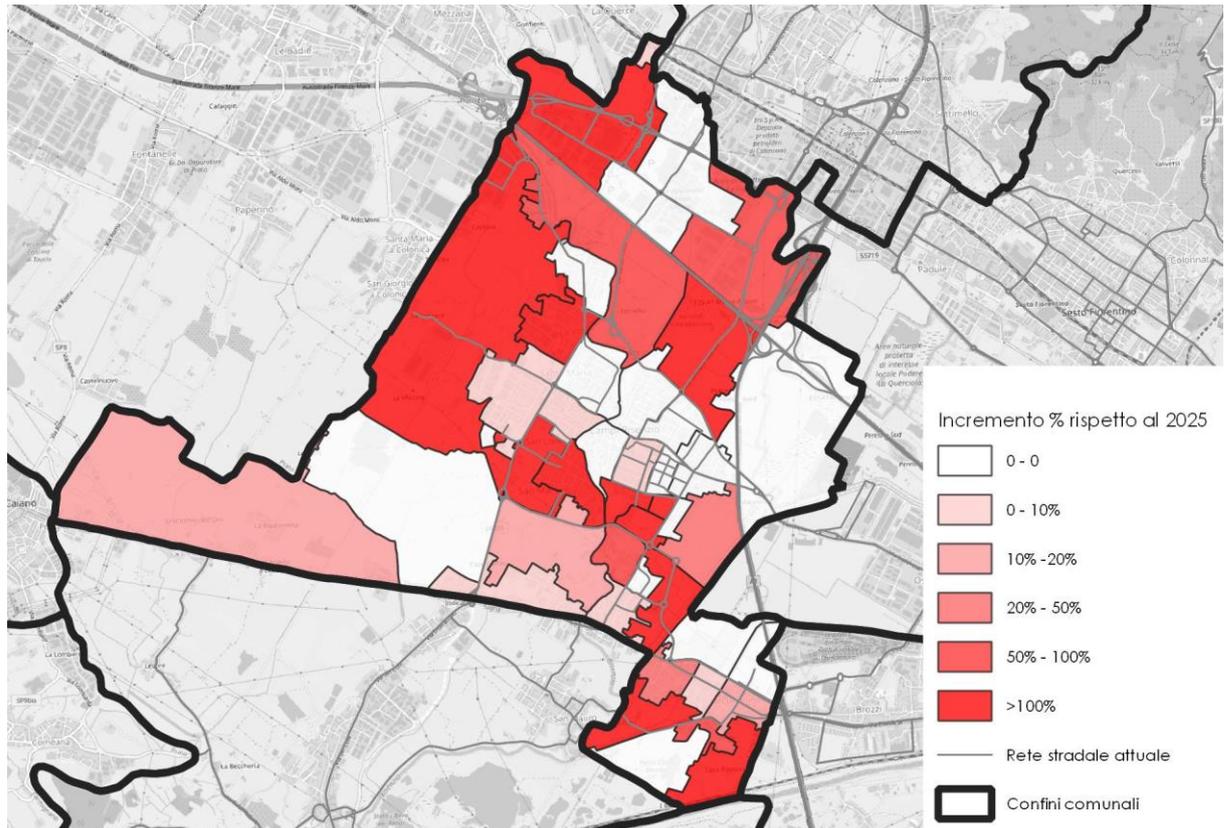


Figura 17 – Incremento emessi /attratti al 2035 rispetto al 2025

Il risultato in termini numerici è riportato nella tabella seguente.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Tabella 26 - Sintesi di emessi e attratti per zona negli scenari trasportistici

Zona	SR2019		SR2025		SR2035	
	emessi	attratti	emessi_2025	attratti_2025	emessi_2035	attratti_2035
340	43	1	45	2	89	94
341	75	12	80	12	80	12
342	51	3	54	3	144	132
343	270	85	287	89	324	142
344	27	20	29	21	37	40
345	13	24	13	25	13	25
346	0	0	0	0	0	0
347	289	11	317	11	369	81
348	227	10	249	11	262	19
349	62	3	171	156	207	257
350	0	6	0	6	14	6
351	292	33	341	34	365	49
352	74	10	81	10	81	10
353	135	11	156	13	197	72
354	119	6	133	6	133	6
355	0	2	0	2	109	96
356	48	2	53	2	295	279
357	64	11	83	12	265	161
358	382	117	414	124	414	124
359	186	56	200	59	200	59
360	187	107	201	113	227	123
361	202	28	222	32	222	32
362	8	10	8	10	8	10
363	253	59	274	63	274	63
364	284	118	307	124	318	132
365	449	119	494	128	494	128
366	5	1	5	1	5	1
367	16	187	17	193	36	313
368	22	46	73	133	129	331
369	60	452	68	474	68	474
370	96	2	119	2	125	2
371	0	212	0	224	81	507
372	19	194	21	204	21	204
373	173	57	198	60	244	280
374	125	401	290	642	556	1636

Zona	SR2019		SR2025		SR2035	
	emessi	attratti	emessi_2025	attratti_2025	emessi_2035	attratti_2035
375	249	160	300	173	300	173
376	357	153	411	161	615	603
377	449	386	596	536	614	573
378	358	94	399	100	433	126
379	389	293	438	308	497	357
380	9	58	10	64	326	390
381	302	201	333	220	629	549
382	55	84	59	86	59	86
383	53	74	57	77	68	92
384	391	50	424	52	435	67
385	319	28	349	31	374	65
TOTALE	7186	3997	8380	4810	10757	8982

Per quanto riguarda invece la componente di domanda legata alle attività commerciali, ricettive, direzionali l'utilizzo dell'algoritmo ITE porta ad un incremento molto consistente degli attratti nelle zone interessate dai nuovi insediamenti, pari a un 87% in più rispetto agli attratti al 2025. Questo fenomeno è legato al fatto che ogni funzione (produttiva, commerciale, direzionale) prevista dal piano all'interno di ciascuna zona genera ed in particolare attrae la sua utenza indipendentemente dalle sinergie che si possono avere fra i vari tipi di funzione previsti; in realtà è molto probabile che per esempio l'utenza della componente direzionale che si deve recare in quella zona proprio per usufruire degli uffici molto probabilmente diventerà utenza anche della componente commerciale della stessa zona in cui si trovano gli uffici ma questo aspetto non può essere tenuto in considerazione dall'ITE che stima la domanda per singole funzioni. Pertanto si è ritenuto opportuno in via cautelativa utilizzare un coefficiente di abbattimento degli attratti pari ad un 33%, ipotizzando quindi che 1 spostamento su 3 sia comune a più funzioni della stessa zona.

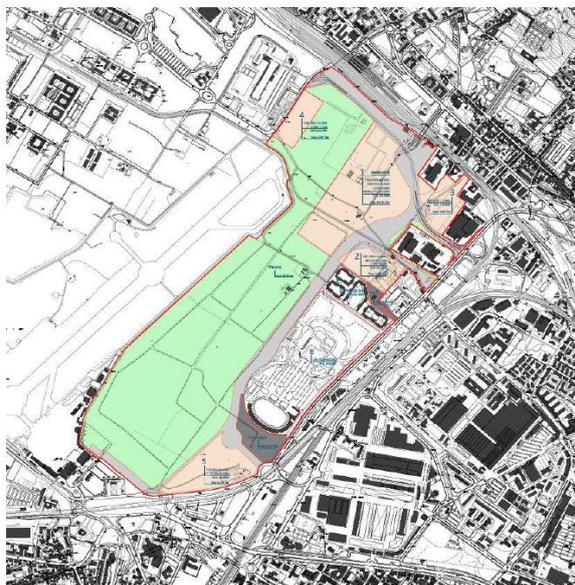
In definitiva al 2035 si ha un incremento totale degli emessi pari a 2376 persone e degli attratti pari a 2781 persone nella sola ora di punta mattutina.

AGGIORNAMENTO DELLA DOMANDA LEGATO ALLA REALIZZAZIONE DEL PUE DI CASTELLO

Nel 2018 il comune di Firenze ha presentato una variante al Piano Urbanistico esecutivo della zona di Castello.

Comune di Firenze | Variante al Piano Urbanistico Esecutivo Castello

PUE di Castello | tavola
V2018_6 Planimetria Generale



	SUL	Dir Pub	Ind Art	Dir Priv	Res Priv	Res Pub	Tur Ric	Com	Merca- to
1	65.500		28.500	4.000				3.000	30.000
B	69.500	69.500							
C	18.500	18.500							
2	50.544				42.000	5.544		3.000	
3	17.000		17.000						
4	25.700			24.000				1.700	
5	30.000						10.000	20.000	
tot	276.744								
tot - (B+C)	188.744								

Figura 18 - Tabella dei parametri di impianto PUE Castello, variante 2018, estratto da "V2018_19 Rapporto Ambientale VAS"



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO

Contestualmente è stato realizzato il Rapporto Ambientale elaborato sulla base del Documento Preliminare che ha consentito l'avvio della procedura per la fase preliminare di Valutazione Ambientale Strategica. Sulla base dei dati riportati in questo studio sono stati stimati gli spostamenti attratti e generati dal nuovo complesso.

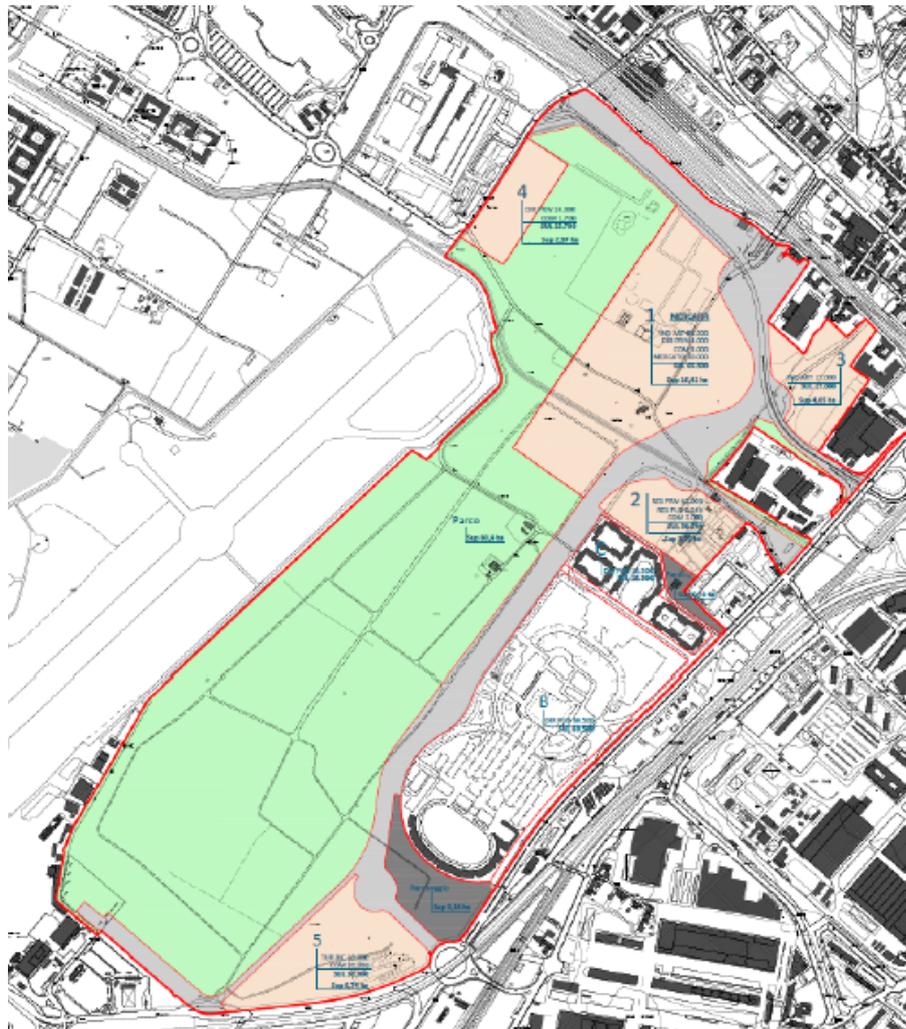


Figura 19 – Localizzazione degli interventi

Avendo a disposizione, oltre alla superficie, direttamente anche il numero di utenti e addetti per ogni destinazione di uso, si è preferito all'utilizzo dell'ITE una stima tramite percentuale del numero di spostamenti generati ed attratti nell'ora di punta.

Tabella 27 -Stima del numero di persone attratte e generate nell'ora di punta dal nuovo insediamento

Funzione	Superficie [mq]	Numero	Tipo	% Generati	% Attratti	Generati	Attratti
Turistico ricettivo	10000	100	addetti	50	50	50	50
		250	utenti	10	0	25	0
Direzionale	24000	480	addetti	0	80	0	384
		480	utenti	0	20	0	96
Ind. Artigianale	17000	213	addetti	0	80	0	170
Commerciale	24700	617.5	addetti		80	0	494
		14820	utenti	2	2	296	296
Residenziale	47544	806	occupati per lavoro	80	0	645	0
			occupati per altri motivi	0	0	0	0
		639	non occupati	20	0	128	0
		138	studenti abituali	100	0	138	0
		138	studenti occasionali	50	0	69	0
TOTALE						1213	1491

I generati e gli attratti così stimati modificano la domanda a partire dall'anno **2025** ed entrano nel processo del modello a quattro stadi ed in particolare dello split modale.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO



Figura 20 – Inquadramento dell'area d'intervento del PUE all'interno del modello di trasporto

La scuola Marescialli e Brigadieri Carabinieri è già presente nello scenario attuale 2019. Allo stato attuale la scuola conta una presenza di circa 3000 persone fra allievi, personale del quadro permanente, docenti e lavoratori civili. Di questi circa 150 sono lavoratori civili. Risiedono negli alloggi insieme alle famiglie circa 400 persone.

Per quanto riguarda l'area Mercafir, il Rapporto Ambientale riporta che nel giorno medio del 2015 gli ingressi di veicoli per l'attuale area è pari a 1923, di cui un 12% di mezzi leggeri e un 88% di mezzi pesanti. Inoltre lo studio ipotizza una crescita dei traffici giornalieri del 10% che si traduce in 238 veicoli giorno, di cui 29 leggeri e 209 pesanti per un totale di 2162 mezzi nello scenario della nuova area Mercafir.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H1112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Dovendo simulare l'ora di punta della rete si è ipotizzato che questa costituisca un 10% di tutta la giornata.

*AGGIORNAMENTO DELLA MATRICE LEGATO ALLA TRASFORMAZIONE DELL'AREA EX
MANIFATTURA TABACCHI*

L'altro intervento previsto nel Comune di Firenze è il recupero del complesso Ex Manifattura Tabacchi dismesso nel 2001; si tratta di un'area di 6 ettari compresa fra via Tartini, Via delle Cascine e la linea ferroviaria che verrà sostituita dalla linea tram 4.1 Leopolda-Piagge.

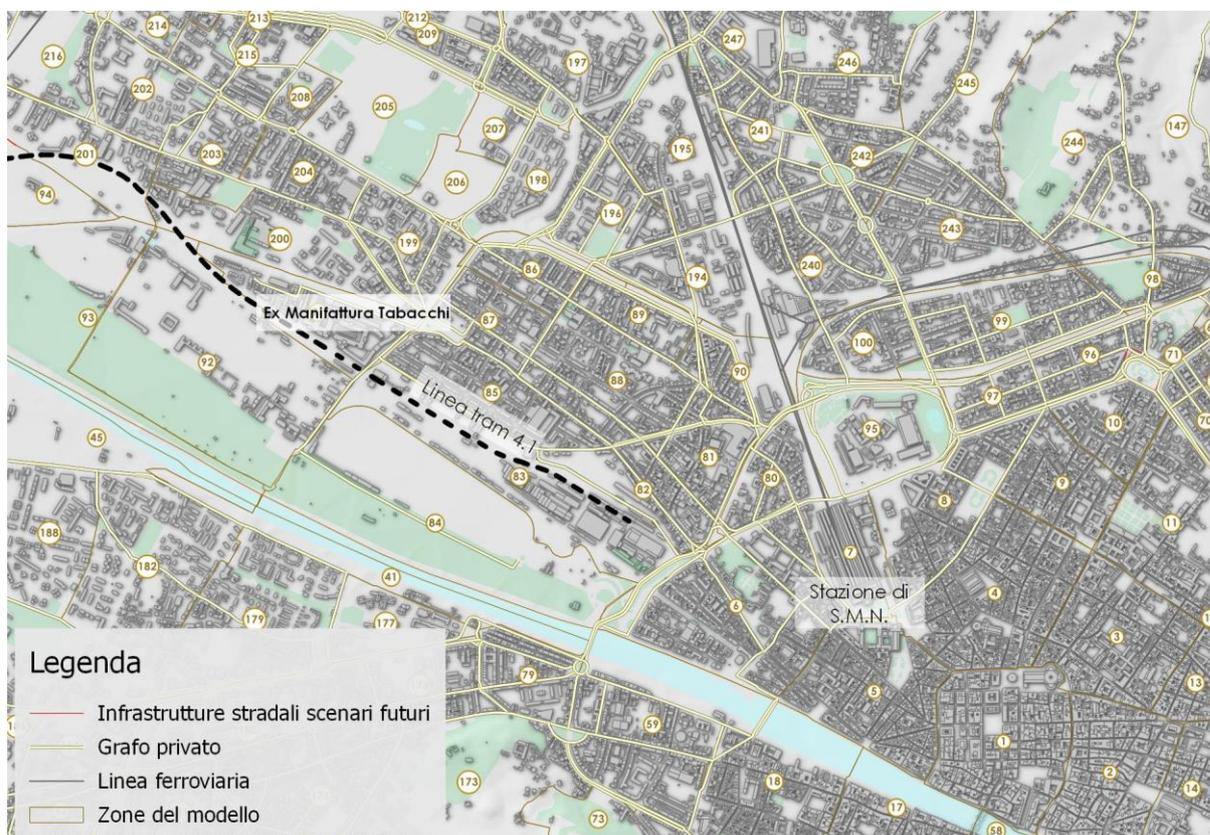


Figura 21 - Inquadramento area di intervento

L'intervento di recupero prevede la realizzazione di molteplici funzioni all'interno dell'area; anche in questo caso essendo necessaria una variante al Regolamento Urbanistico è stata

avviata la Valutazione Ambientale Strategica e relativo studio degli impatti sul sistema della mobilità. Da quest'ultimo sono stati estratti i dati del numero di addetti e visitatori previsti rispetto alle varie funzioni; in base a questi sono stati stimati gli attratti e generati nell'ora di punta del modello come da tabella seguente.

Tabella 28 – Stima di generati e Attratti nell'ora di punta del modello

funzione	categoria	numero	% Generati	% Attratti	Generati	Attratti
residenziale	occupati	215	80	0	172	0
	inattivi	117	20	0	23.4	0
	studenti	59	100	0	59	0
	visitatori	39	0	20	0	7.8
serviced apartments	addetti	84	50	50	42	42
	ospiti	251	10	0	25.1	0
hotel	addetti	88	50	50	44	44
	ospiti	265	10	0	26.5	0
uffici	addetti	1051	0	80	0	840.8
	visitatori	53	0	20	0	10.6
commerciale	addetti	125	0	80	0	100
	visitatori	1255	0	2	0	25.1
medie strutture	addetti	379	0	80	0	303.2
	visitatori	3791	0	2	0	75.82
studentato	studenti	431	30	0	129.3	0
	visitatori	86	2	2	1.72	1.72
produttivo	addetti	46	0	80	0	36.8
	visitatori	230	2	2	4.6	4.6
asilo	addetti	15	100	0	15	0
	studenti	100	0	0	0	0
TOTALE					354.32	1492.44

Anche questi dati sono stati utilizzati per l'aggiornamento della matrice 2025.



Comune
di Firenze

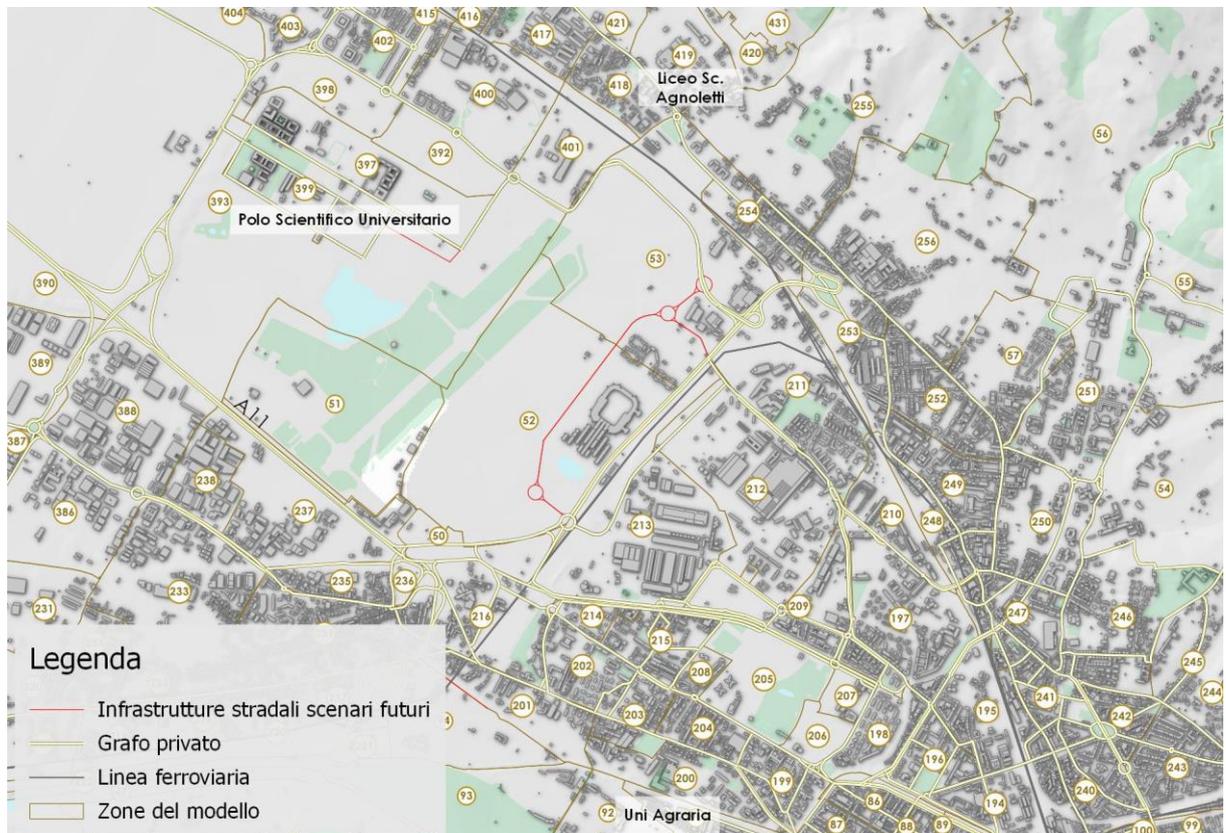
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

ALTRI ELEMENTI DI MODIFICA DELLA MATRICE NEGLI SCENARI FUTURI

Al 2025 si ipotizza il completamento del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino con il conseguente spostamento della facoltà di Agraria dalla zona delle Cascine al Polo e del Liceo Agnoletti dall'attuale sede sempre nel comune di Sesto Fiorentino; queste variazioni comportano lo spostamento della domanda attratta da questi poli dalla zona del modello nello scenario attuale a quella di futura destinazione.



Per quanto riguarda il Liceo Scientifico Agnoletti, da fonte ufficiale, nel complesso scolastico di Sesto Fiorentino, il numero di studenti dell'Anno Scolastico 2019/2020 era pari a 838 per un totale di addetti fra docenti e personale ATA di 129 unità.



Comune
di Firenze

**Tabella 29- Numero di studenti ed addetti per il Liceo Scientifico Agnoletti nei plessi di Sesto Fiorentino e
Campi Bisenzio**

Sede	studenti	addetti (docenti e ata)	totali
SESTO F.NO	838	91	929
CAMPI BISENZIO	215	38	253
Totale complessivo	1053	129	1182

Altre modifiche introdotte nella domanda degli scenari futuri sono:

- la realizzazione della trasformazione dell'area Olmi nel Comune di Bagno a Ripoli;
- la modifica alla domanda legata alla realizzazione della linea ferroviaria Alta velocità interrata.



Comune
di Firenze

4.6 SCUDO VERDE

Negli scenari futuri un'ulteriore modifica è legata alla realizzazione dello “Scudo Verde” da parte del Comune di Firenze: si tratta di una nuova e più estesa zona a traffico limitato il cui accesso da parte di alcuni veicoli privati è subordinato al pagamento di una tariffa mentre è totalmente interdetto per i veicoli provenienti da altri Comuni appartenenti alle classi tecnologiche EURO 0,1,2,3 nello scenario di base e EURO 0,1,2,3,4 nello scenario evolutivo, come descritto nel PUMS della Città Metropolitana fiorentina.

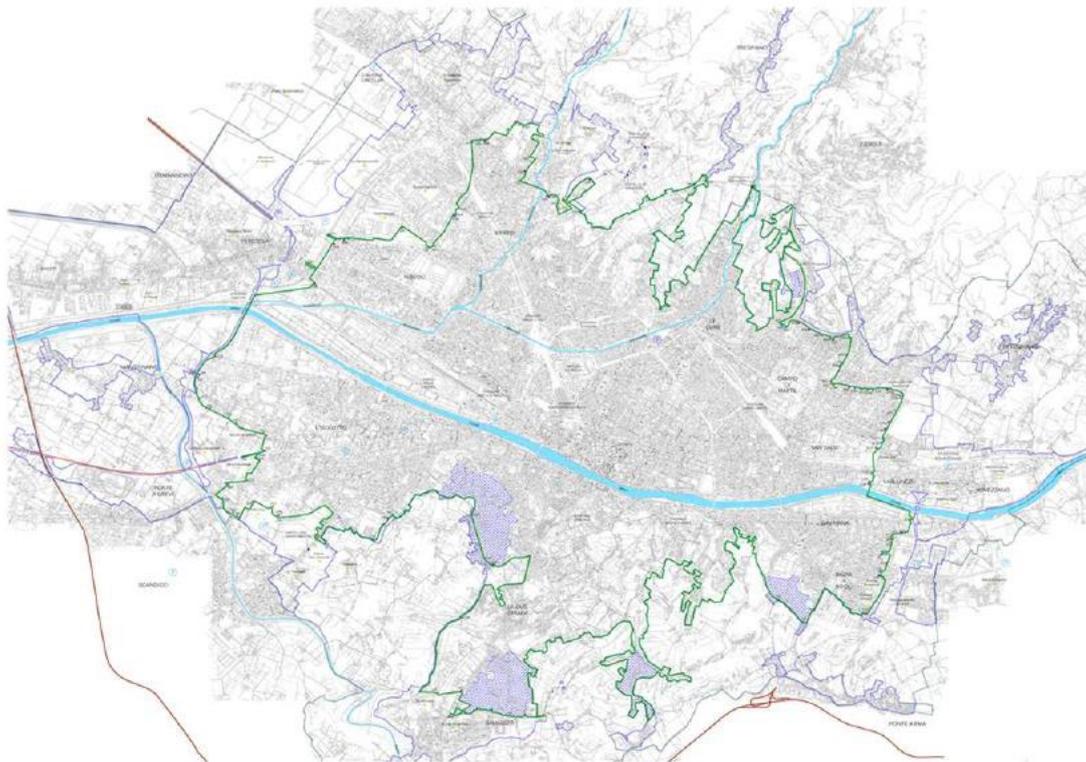


Figura 22 -Estratto da PUMS, individuazione dello Scudo Verde

Nella relazione di progetto completa del PUMS viene quantificato il numero di veicoli a cui sarà interdetto l'accesso alla nuova area a traffico limitato nei due scenari, base ed evolutivo, sulla base anche dell'evoluzione tecnologica del parco veicolare; si parla di 4518 veicoli nell'ora

di punta per lo scenario base e di 9834 veicoli nell'ipotesi di regolamentazione evolutiva, come riportato nella tabella seguente estratta dal PUMS.

Ipotesi di regolamentazione	Classi di emissione sottoposte a divieto di accesso	Numero spostamenti per cui è previsto il divieto di accesso all'area dello Scudo Verde	
		Ora di punta	Giorno
«Base»	E0, E1, E2, E3	4'518	56'851
«Evolutiva»	E0, E1, E2, E3, E4	9'834	123'760

Figura 23 - Estratto dal PUMS, della Città Metropolitana fiorentina pagina 668

Gli spostamenti sottratti alla componente privata vengono trasferiti alla componente pubblica come da tabella a pagina 702 della Relazione di Progetto del PUMS.

Scenari	Totale Spostamenti ora di punta del mattino Trasporto Pubblico					Domanda Totale
	Domanda attuale	Domanda aggiuntiva			totale	
		P&R	Scope	Scope SV		
Stato Attuale	57'075					57'075
Scenario di Riferimento	57'075	7'259	8'272		15'531	72'606
Scenario di Progetto	57'075	9'571	11'408		20'980	78'055
Progetto + Scudo Verde (divieto E0,1,2,3)	57'075	9'571	11'408	4'518	25'497	82'572
Progetto + Scudo Verde (divieto E0,1,2,3,4)	57'075	9'571	11'408	9'834	30'814	87'889

Figura 24 - Estratto dal PUMS, pagina 702, riepilogo della domanda di trasporto Pubblico

Nel modello oggetto della presente relazione sono stati acquisiti questi dati, attivando l'ipotesi base negli scenari dell'anno 2025 (riferimento e progetto) e l'ipotesi evolutiva al 2035. Gli spostamenti interdetti riguardano le coppie OD con origine in comuni differenti da Firenze e destinazione nelle zone del modello contenute nel perimetro dello Scudo Verde proporzionalmente al peso in termini di spostamenti della specifica coppia rispetto alle altre appartenenti a questo insieme.

5. RISULTATI

5.1 RISULTATI GENERALI DI PREVISIONE SULLE LINEE

L'utilizzo del modello multimodale a 4 stadi permette di valutare i livelli di utilizzo delle linee oggetto di progettazione all'interno del sistema di trasporto dell'area metropolitana fiorentina.

Codifica sigle:

- SR2019: stato di fatto;
- SR2025 scenario di riferimento al 2025;
- CBa2025 scenario di progetto al 2025;
- SR2035 scenario di riferimento al 2035;
- CBa2035 scenario di progetto al 2035.

La differenza tra gli scenari di riferimento al 2025 e al 2035 consiste solamente nella domanda, mentre i grafi privati e pubblici coincidono nei due scenari; analogamente per gli scenari di progetto al 2025 e 2035.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11112000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Tabella 30 - Prospetto dei saliti nell'ora di punta e nel giorno feriale medio per scenario e linea tranviaria

	SR2019		SR2025		CBa_2025		SR2035		CBa_2035	
	hp	feriale								
T1 Careggi-Villa Costanza	2996	34 199	3482	39 754	3561	40 653	3792	43 292	3894	44 451
T1 Villa Costanza-Careggi	5619	64 146	6530	74 538	6866	78 382	7311	83 456	7763	88 618
Totale con park&ride	9 815	100 744	11 312	116 893	11 697	121 575	11 814	128 171	12 345	134 445
T2 Aeroporto-Cavour	1444	16 487	3019	34 461	2837	32 387	3566	40 704	3269	37 317
T2 LaPira-Aeroporto	2053	23 431	4146	47 330	4175	47 659	4480	51 138	4512	51 506
Totale con park&ride	4 077	41 079	9 392	86 246	9 162	84 345	9 335	94 422	8 969	91 199
T3.2 Bagno a Ripoli-Libertà	0	0	3298	31 377	3305	31 446	3775	35 922	3790	36 063
T3.2 Libertà-Bagno a Ripoli	0	0	1344	12 786	1342	12 766	1428	13 586	1428	13 586
Totale con park&ride	0	0	5 645	46 170	5 637	46 193	5 591	50 284	5 608	50 428
T4.1 Leopolda - Piagge	0	0	1271	12 093	1376	13 095	1417	13 485	1554	14 783
T4.1 Piagge - Leopolda	0	0	1327	12 629	745	7 089	1568	14 916	779	7 411
Totale con park&ride	0	0	2 790	25 105	2 255	20 451	3 107	28 646	2 442	22 412
T4.2 Piagge - Ruccellai.	0	0			147	1 398	0	0	184	1 748
T4.2 Ruccellai - Piagge	0	0			1421	13 524	0	0	2009	19 112
Totale con park&ride	0	0	0	0	1 884	15 554	0	0	2 304	21 083
rete completa	13 892	141 823	26 350	274 414	30 635	288 118	29 848	301 523	31 667	319 567
linee esistenti	13 892	141 823	20 705	203 138	20 859	205 920	21 150	222 593	21 313	225 643

La linea di progetto risulta essere un'estensione in continuità di esercizio con la linea 4.1 Leopolda-Piagge. Considerando i saliti alle fermate della sola estensione oggetto dell'istanza di finanziamento si ha un totale nell'ora di punta pari a circa 1890 persone nello scenario di progetto 2025. La linea deve essere però valutata nel suo tracciato complessivo Leopolda – Ruccellai; rispetto allo scenario di riferimento dove la linea T4 conta circa 2790 saliti nell'ora di punta, nello scenario di progetto vede invece circa 4140 saliti con un incremento intorno al 48%. Questo aspetto risulta evidente dall'analisi dei presenti medi per corsa nell'ora di punta, riportati nel Grafico 17 e nel Grafico 18; il progetto all'anno 2025, in blu, maggiore sempre lo scenario di riferimento, in celeste chiaro. Andamento analogo si registra anche al 2035.



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

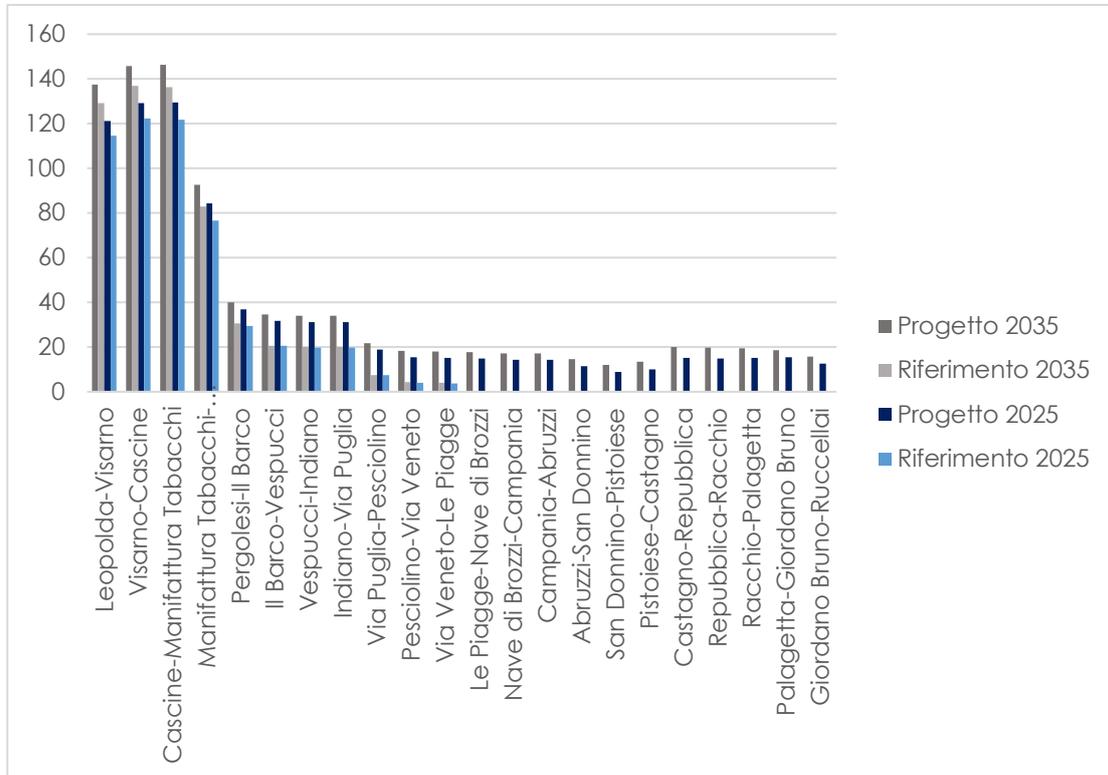


Grafico 17 - Presenti medi per corsa nell'ora di punta, Leopolda – Ruccellai



Comune
di Firenze

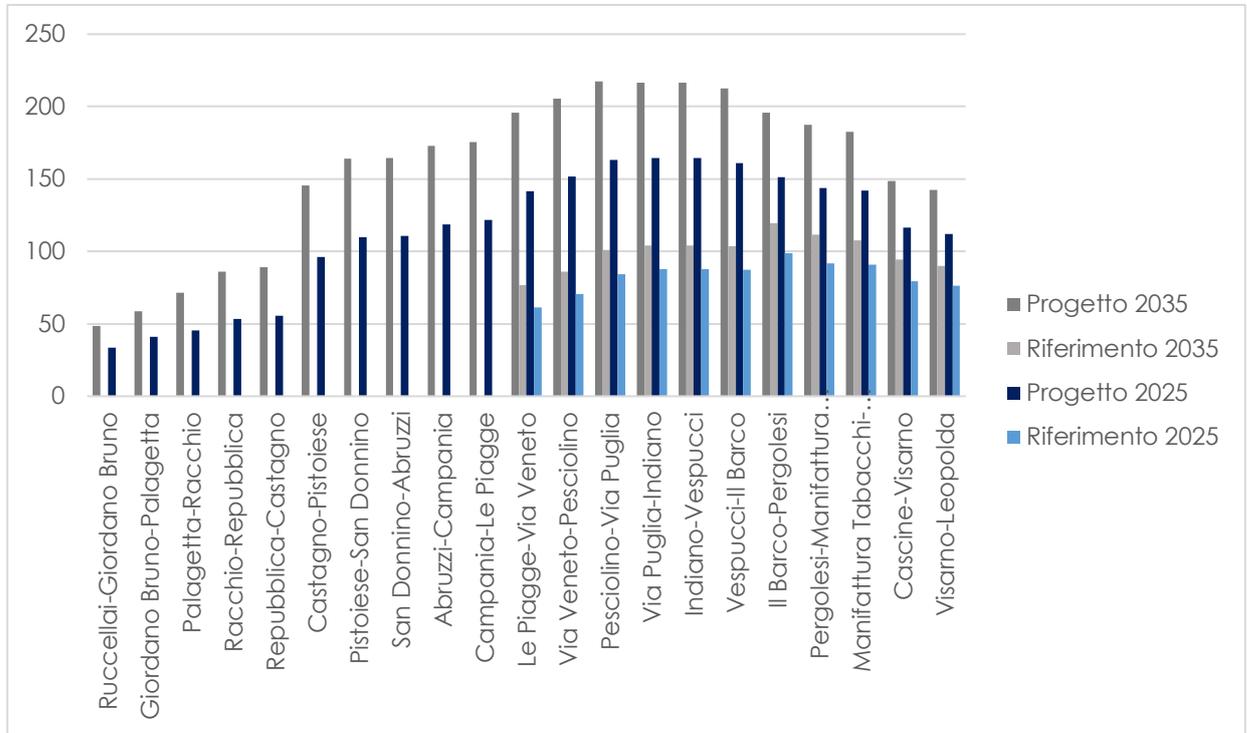


Grafico 18 - Presenti medi per corsa nell'ora di punta, Ruccellai – Leopolda

Nell'ora di punta del mattino la linea presenta un andamento sbilanciato fra le due direzioni; l'estensione tranviaria oggetto di studio intercetta solo marginalmente le zone in cui sono presenti più addetti e che quindi ragionevolmente hanno maggiore attrazione rispetto agli spostamenti. Per quanto riguarda gli spostamenti interni a Campi Bisenzio che costituiscono la maggioranza sul totale degli spostamenti destinati nella stessa Campi, le zone con numero maggiore di residenti, ad eccezione di San Donnino, non ha necessità di utilizzare la tranvia per raggiungere le zone con maggior numero di addetti, come mette in evidenza la Figura 25 in cui si vede come le zone con maggior numero di residenti siano oltre il capolinea di Ruccellai. La seconda origine in termini di spostamenti destinati a Campi, in linea con i dati ufficiali dell'indagine sul pendolarismo ISTAT 2011, è Prato e questi non sono quindi intercettabili con la nuova estensione. Rimangono gli spostamenti da Firenze che costituiscono circa un 11% del



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO

totale. Sempre da pendolarismo ISTAT 2011, dal comune di Firenze nella fascia oraria 7.15 e 8.14, corrispondente a quella simulata da modello, sono destinati a Campi Bisenzio con auto e mezzo pubblico, in circa 900.

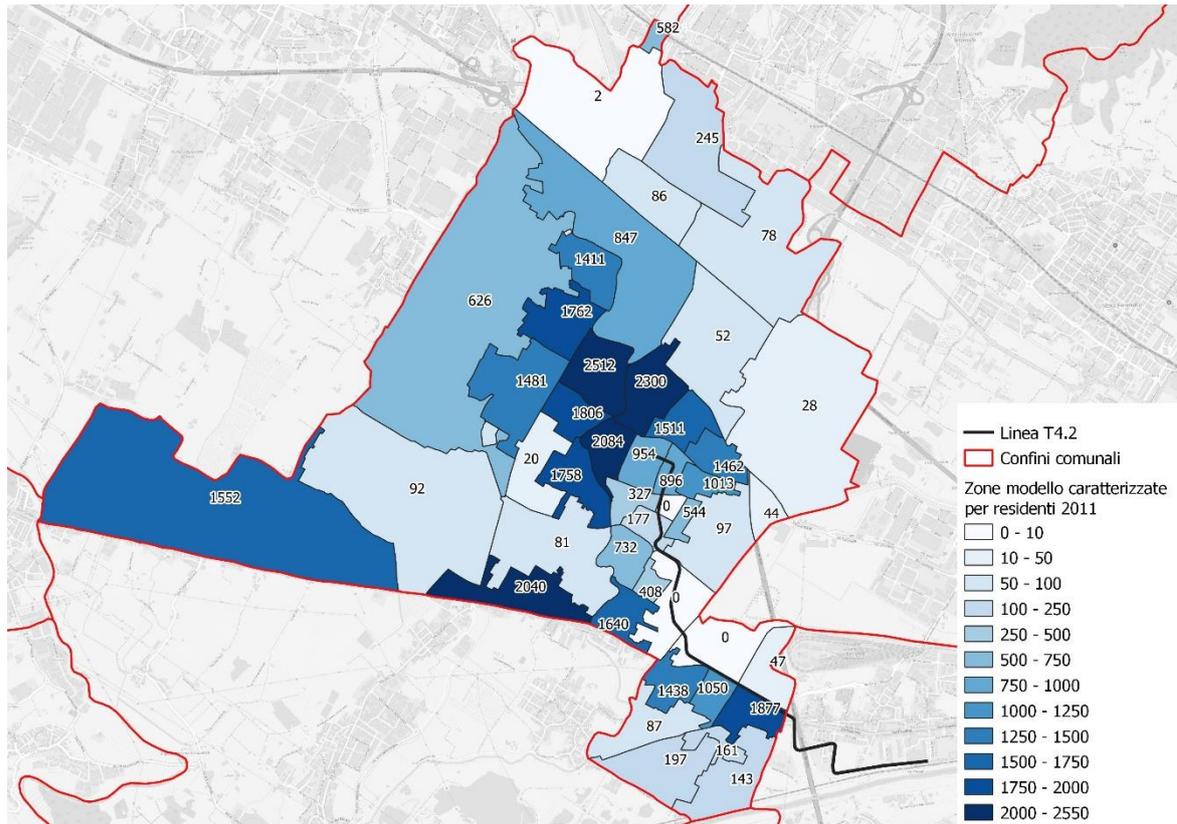


Figura 25 - Popolazione mobile, età superiore 15 anni, ISTAT 2011

Considerando il centinaio di passeggeri che si ha sul tram prima delle Piagge e che proseguono per Campi, si intercetta con l'estensione tranviaria una buona quota dei provenienti da Firenze, tenuto conto anche che non tutti gli originati da Firenze e destinati a Campi si muovono lungo l'asse Piagge-centro di Campi proprio in ragione della loro stessa origine.



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BIENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BIENZIO

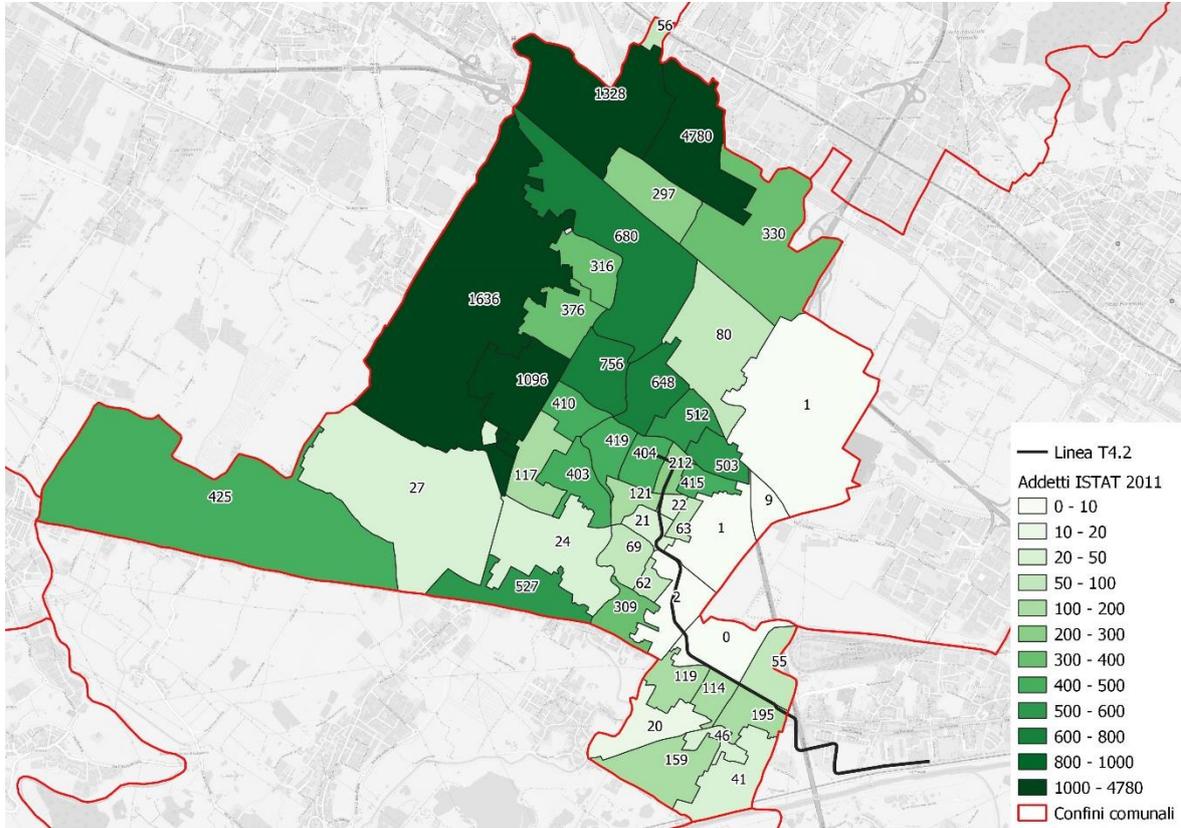


Figura 26 - Addetti 2011 ISTAT

I nuovi interventi previsti dal Piano Strutturale incrementano il numero di emessi e attratti delle zone toccate dalla tranvia ma rinforzano principalmente le zone che già oggi presentano la maggiore densità di addetti e residenti come si può vedere dalla Figura 17. L'andamento fra le due direzioni si bilancia però sul totale della giornata con i viaggi di ritorno dei pendolari e di questo si tiene conto attraverso l'espansione da ora di punta a giorno dei saliti.



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Per quanto riguarda il totale per annuo per linea si definisce un intervallo di confidenza dei valori sulla base delle due differenti espansioni.

Tabella 31 - Intervallo di confidenza dei saliti discesi annui

	ANNO	SR2019	SR2025	CBa_2025	SR2035	CBa_2035
Soglia inferiore	T1	27 588 081	32 010 327	33 292 513	35 098 675	36 446 017
	T2	11 249 145	23 617 808	23 097 359	25 856 960	24 974 157
	T3.2	0	12 643 290	12 649 596	13 770 035	13 809 430
	T4.1	0	6 874 948	5 600 430	7 884 533	6 137 473
	T4.2	0	0	4 259 262	0	5 773 464
	rete completa	38 837 227	75 146 373	78 899 161	82 570 202	87 140 541
	linee esistenti	38 837 227	55 628 134	56 389 872	60 955 635	61 420 174
Soglia superiore	T1	30 812 369	35 751 454	37 183 493	39 200 745	41 119 727
	T2	12 563 861	26 378 080	25 796 805	28 878 927	27 892 949
	T3.2	0	14 120 943	14 127 986	15 379 373	15 423 373
	T4.1	0	7 678 441	6 254 966	8 761 343	6 854 775
	T4.2	0	0	4 757 053	0	6 448 223
	rete completa	43 376 230	83 928 918	88 120 303	92 220 388	97 739 048
	linee esistenti	43 376 230	62 129 534	62 980 298	68 079 672	69 012 676

La riduzione di saliti annui di linea 4.1 che si nota nella Tabella 31 è soltanto apparente e legata al fatto che l'estensione intercetta l'utenza prima delle fermate di 4.1; si tratta in definitiva di un'unica linea tram.



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

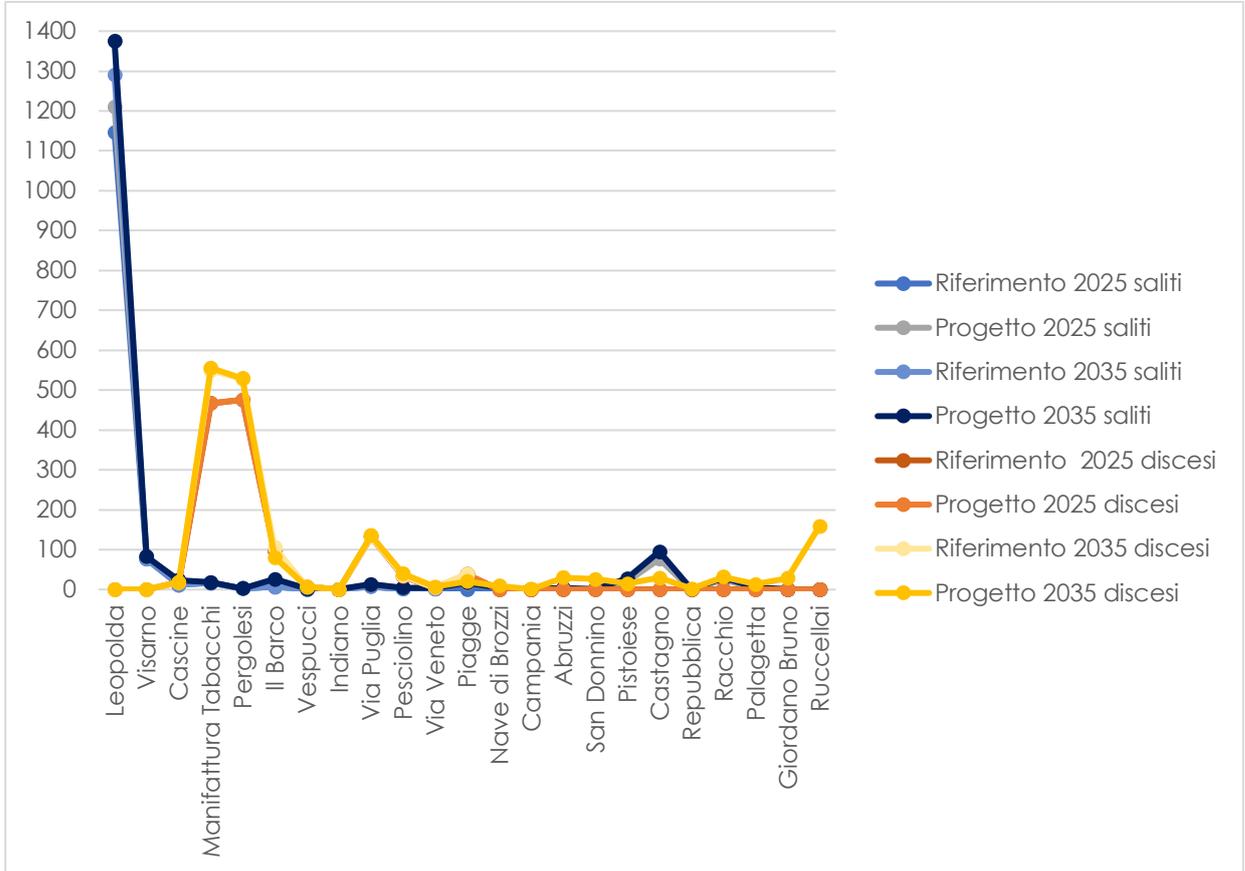


Grafico 19 – Saliti/discesi linea T4.1+T4.2, Leopolda -Ruccellai



Comune di Firenze

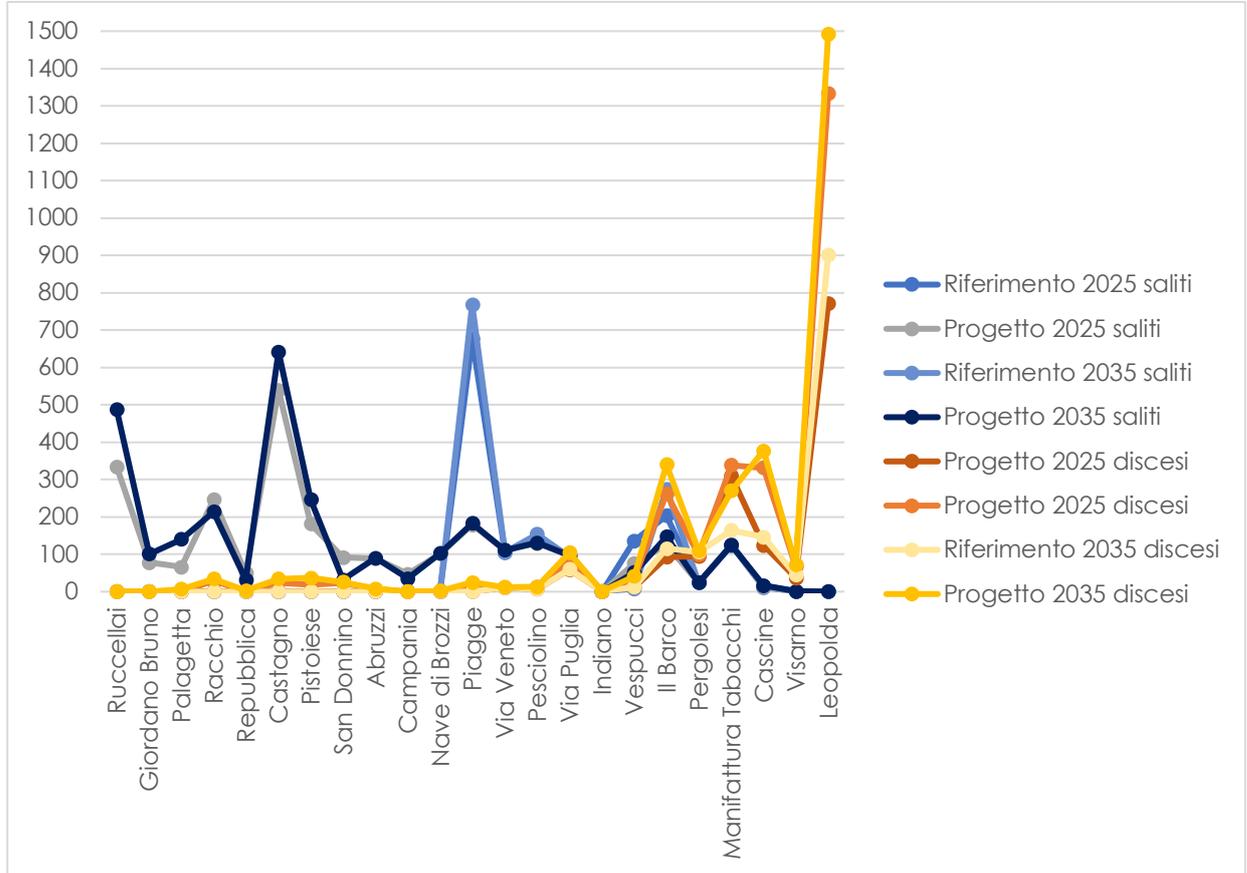


Grafico 20 – Saliti/discesi linea T4.1+T4.2, Ruccellai - Leopolda

Si nota invece un decremento di circa 200 unità nell'ora di punta dei saliti sulla linea T2 in direzione San Marco; questo fenomeno si lega alla riduzione degli utenti della linea 30 proveniente da Campi che nel modello interscambia con T2 sia alla fermata Guidoni che Montegrappa. Contemporaneamente si ha la limitazione della linea 35 alla fermata Castagno della linea T4.2; anche questa linea aveva funzione di adduzione alla linea T2. Una parte degli utenti della T2 viene quindi assorbito dalla linea T4.2.



Comune di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

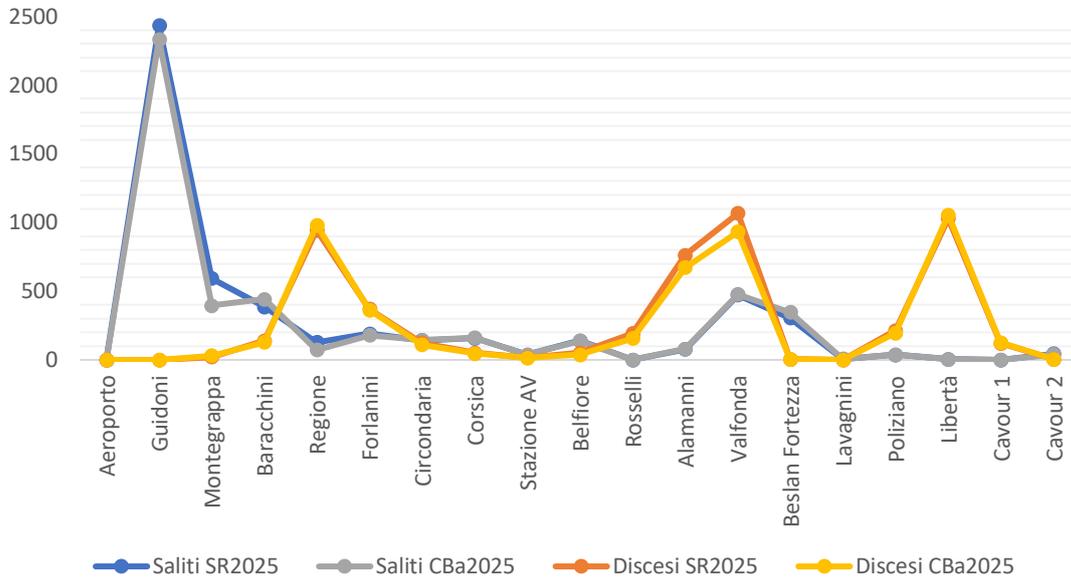


Grafico 21 - Distribuzione dei saliti/descesi lungo la linea T2, direzione San Marco

Sono invece impercettibili le differenze nella direzione San Marco-Aeroporto fra scenario di Riferimento e scenario di progetto come da Grafico 22.

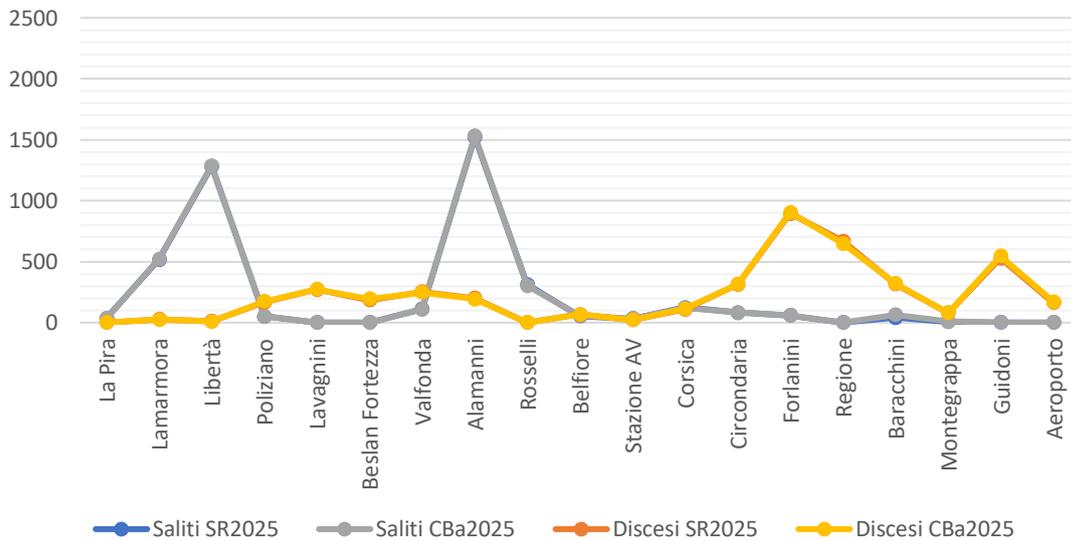


Grafico 22 - Distribuzione dei saliti/descesi lungo la linea T2, direzione Aeroporto



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

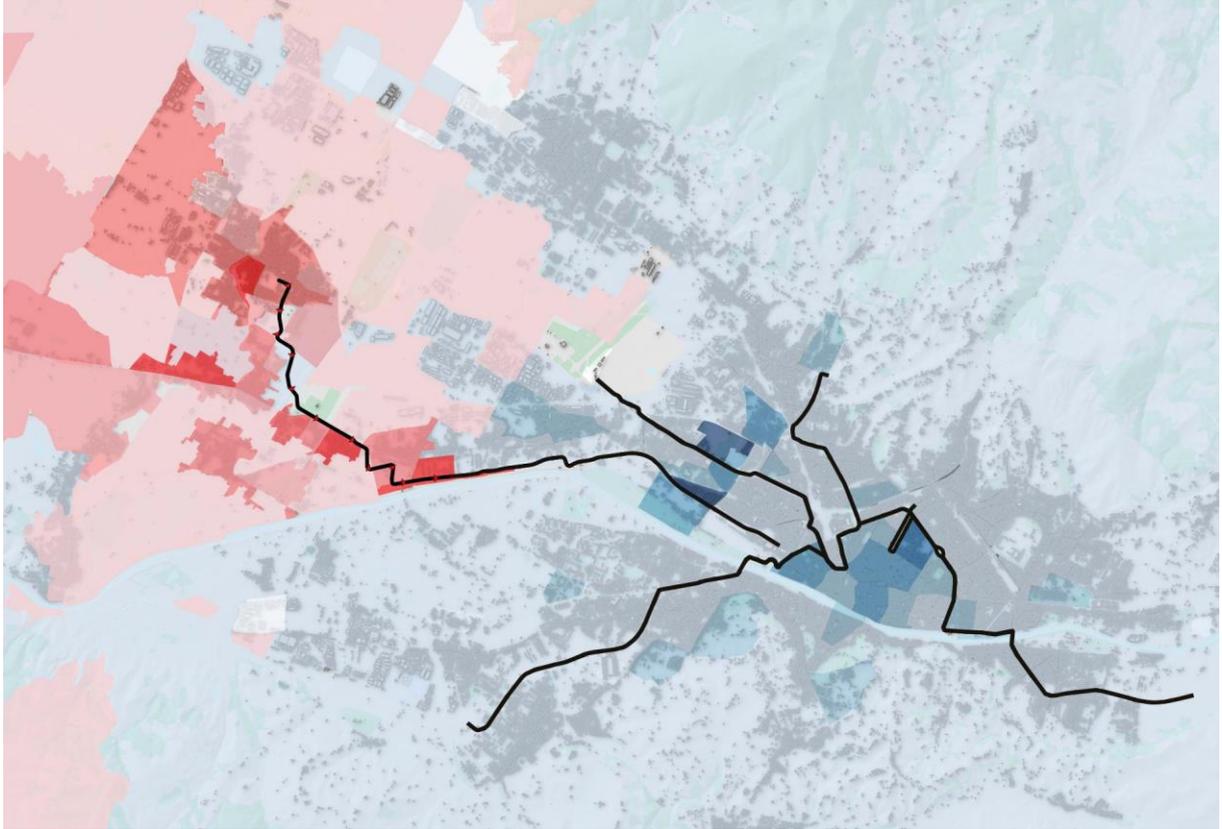


Figura 27 – Zone tematizzate per volume di passeggeri linea T4.2 direzione Leopolda (emessi rosso e destinati in blu)

LEGENDA

Sistema tranviario

— T4.2 Ruccellai -Piagge

— Linee tram

Numero destinati per zona di destinazione

0 - 0

0 - 10

10 - 20

20 - 40

40 - 60

60 - 100

Numero di originati per zona origine

0 - 0

0 - 10

10 - 25

25 - 50

50 - 75

75 - 105



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

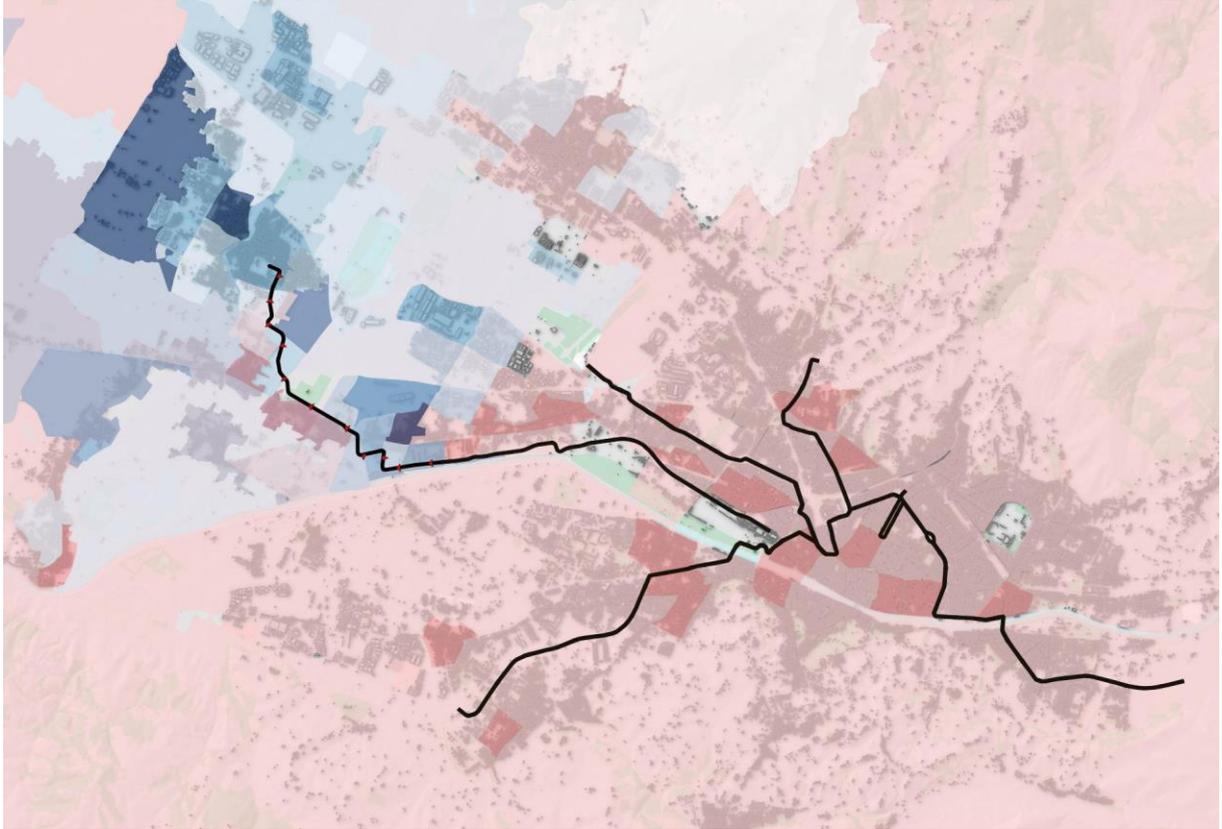


Figura 28 – Zone tematizzate per volume di passeggeri linea T4.2° direzione Ruccellai (emessi rosso e destinati in blu)

LEGENDA

Sistema tranviario

— Linee tram

— T4.2a Andata

Zone origine e destinazione della linea T4.2 Piagge-Ruccellai

Numero di originati per zona origine

- 0 - 0
- 0 - 1
- 1 - 5
- 10 - 15
- 15 - 25

Numero spostamenti per zona di destinazione

- 0 - 0
- 0 - 1
- 1 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 20 - 30

Di seguito i flussogrammi relativi al trasporto pubblico.

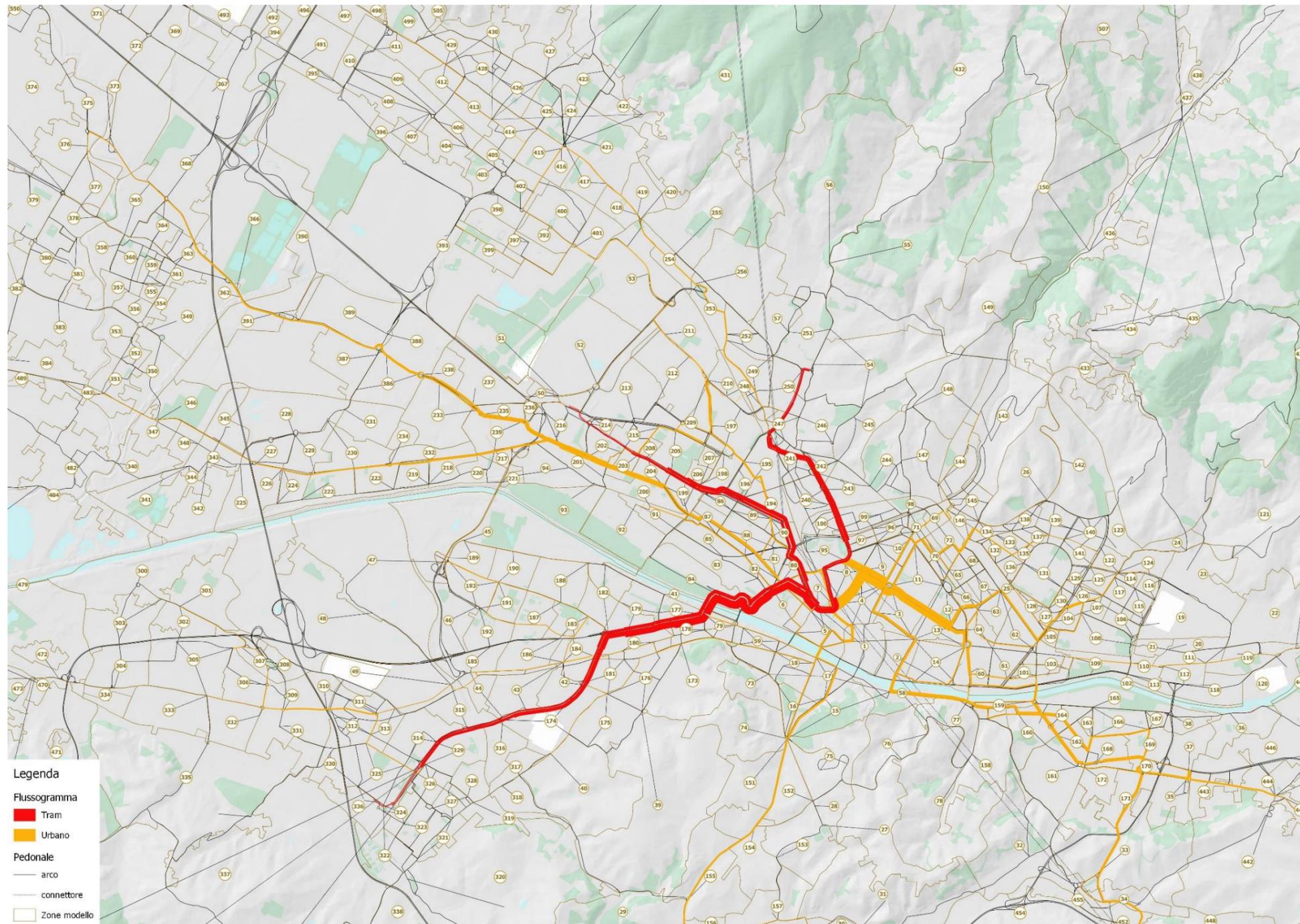


Figura 29 -Flussogramma TPL urbano, scenario 2019

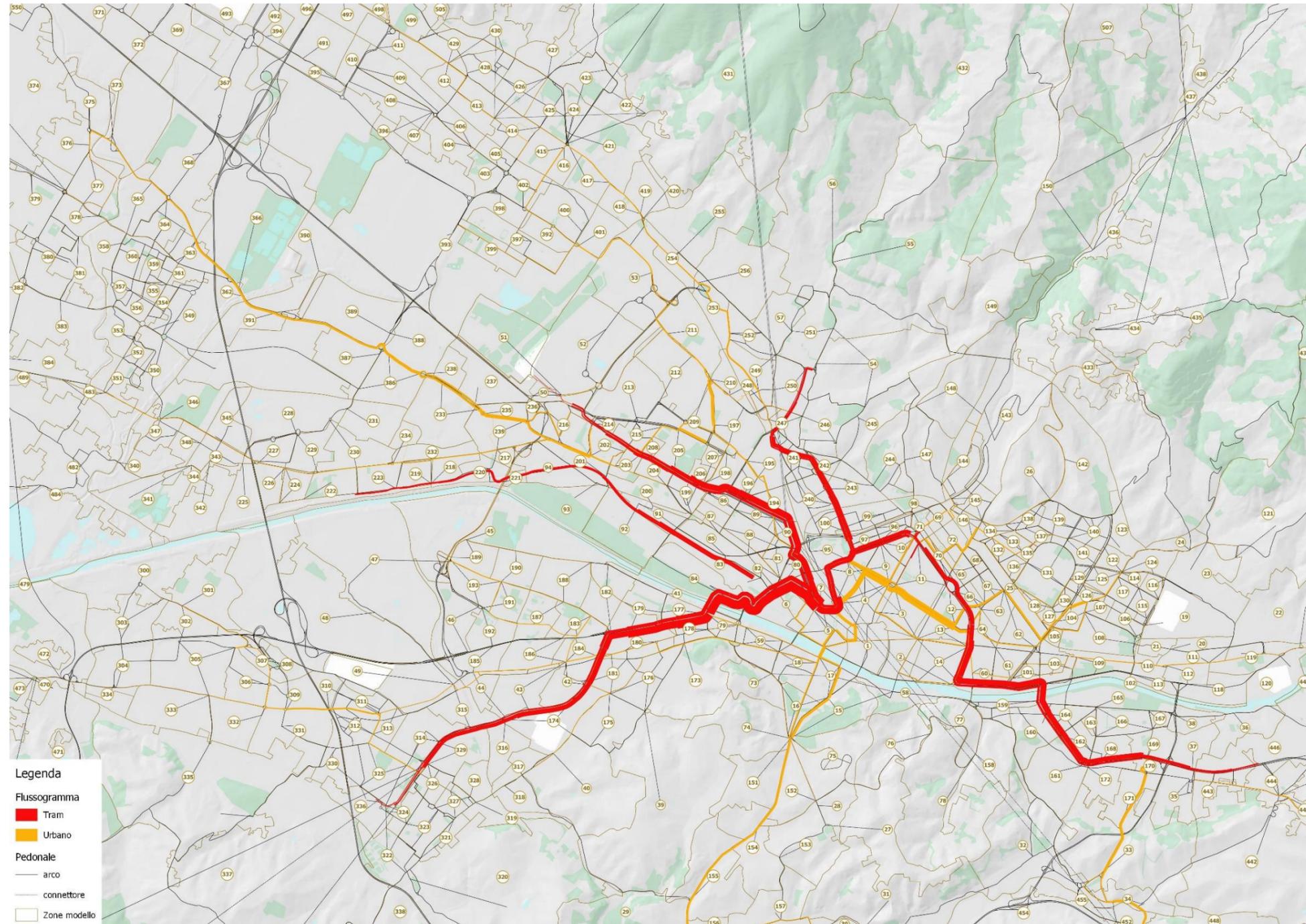


Figura 30 - Flussogramma TPL urbano, SR2025

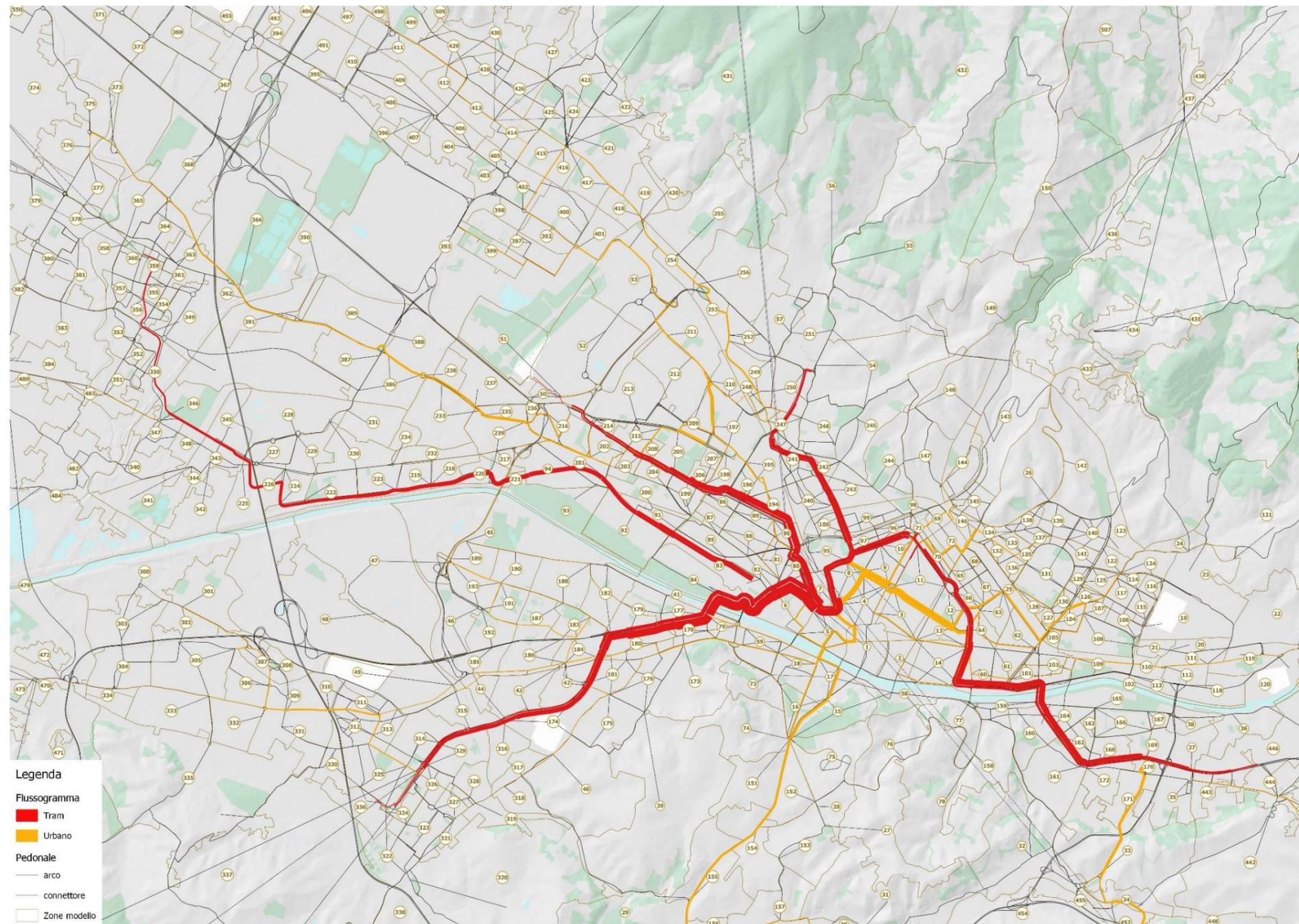


Figura 31 - Flussogramma TPL urbano, scenario di progetto CBA2025

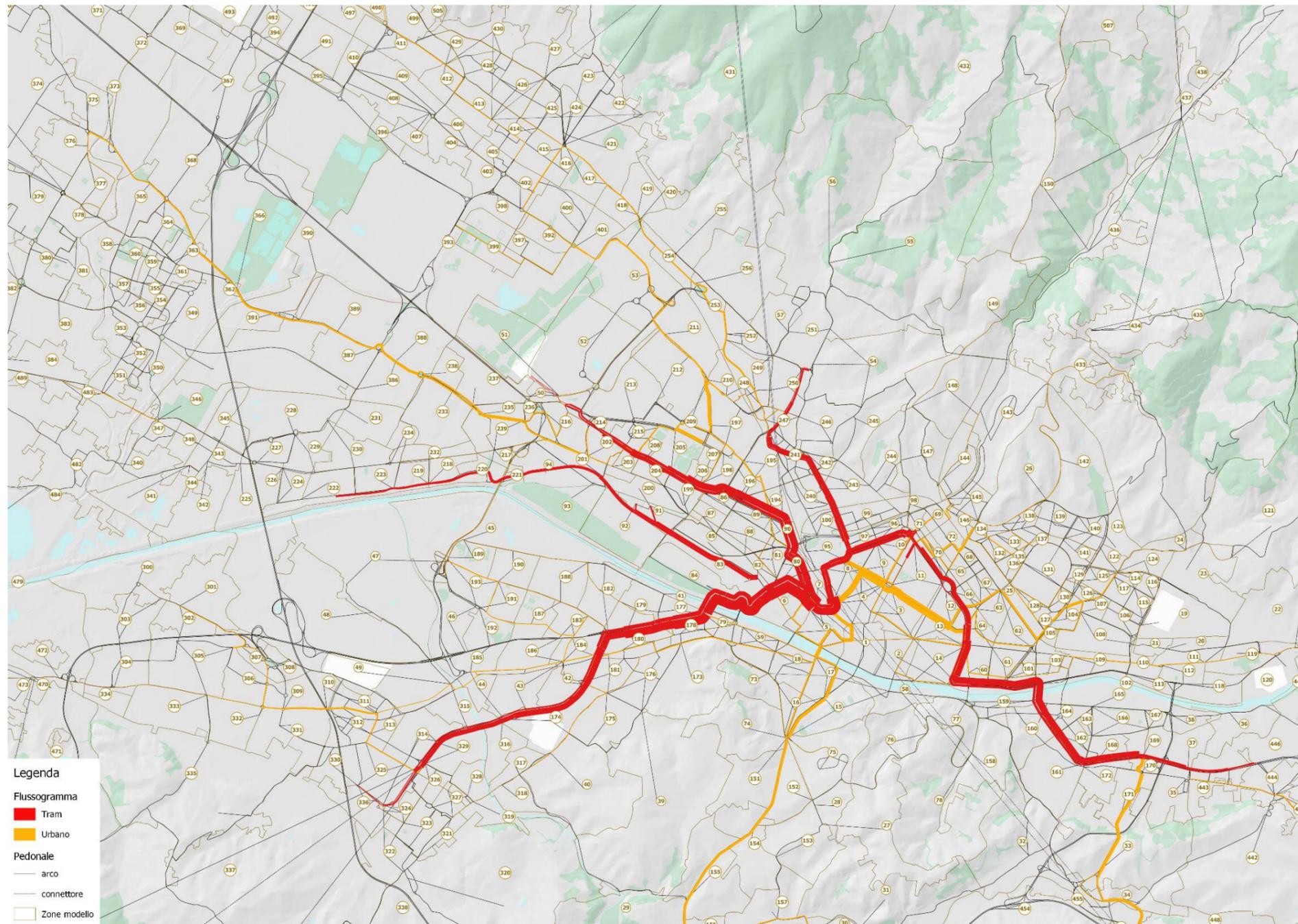


Figura 32 - Flussogramma TPL urbano, scenario di riferimento SR2035

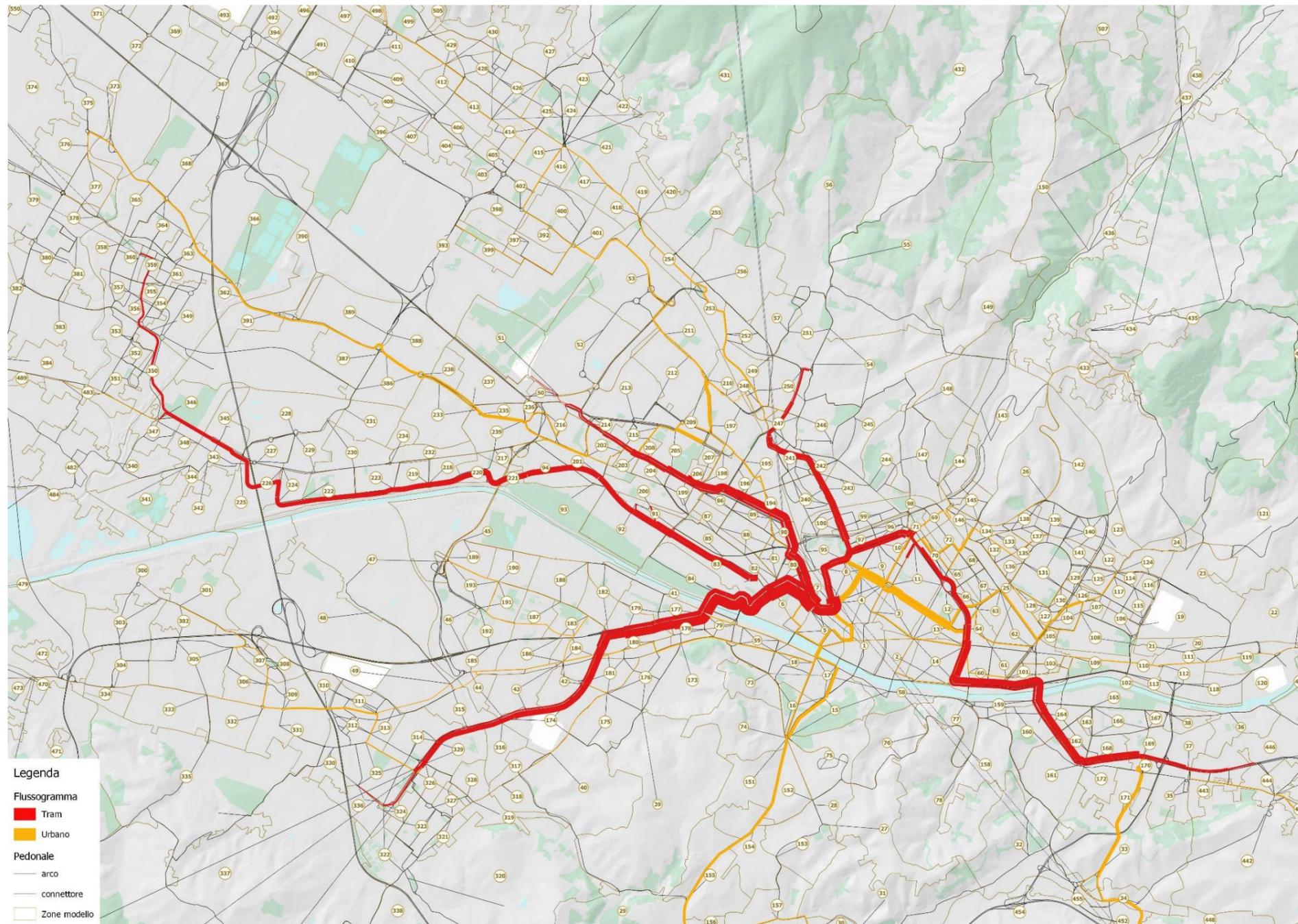


Figura 33 - Flussogramma TPL urbano, scenario di progetto CBA2035

5.2 DIVERSIONE MODALE

Da un punto di vista generale, l'effetto della nuova linea sul sistema di trasporto metropolitano può essere analizzato tramite l'osservazione delle matrici auto e pubblico nei diversi scenari di analisi.

La tabella riporta il valore complessivo delle matrici con riferimento sia all'intero modello, sia all'area di analisi (area metropolitana). Si osserva come lo share modale pubblico cresca tra i vari scenari, in accordo con gli investimenti in offerta di trasporto pubblica. La variazione del totale delle matrici da scenario attuale 2019 a 2025 e 2035 è legato in parte all'espansione su base demografica delle matrici secondo i dati EUROSTAT ma in prevalenza alle ipotesi di sviluppo del territorio, quali per esempio la realizzazione del PUE di Castello, della Manifattura Tabacchi, della trasformazione dell'area Olmi nel comune di Bagno a Ripoli. Un contributo determinante per la crescita della componente pubblica è legata agli effetti dello Scudo Verde.

Tabella 32 - Prospetto della variazione di utenza auto e pubblico nei vari scenari

	componente	S2019	SR2025	CBa2025	SR2035	CBa2035
tutto lo scenario di simulazione	auto	60 028	56 497	55 854	56 232	55 475
	pubblico	40 976	49 548	50 118	53 530	54 152
	share privato	59.4%	53.3%	52.7%	51.2%	50.6%
	share pubblico	40.6%	46.7%	47.3%	48.8%	49.4%
Zone interessate dalla T4.2	auto	2 958	2 845	2 621	3 301	3 126
	pubblico	1 228	1 770	2 008	2 257	2 249
	share privato	70.7%	61.6%	56.6%	59.4%	56.1%
	share pubblico	29.3%	38.4%	43.4%	40.6%	43.9%

5.3 EFFETTI SULLA CONGESTIONE STRADALE

La realizzazione dell'estensione tranviaria comporta il passaggio di una quota dell'utenza privata al mezzo pubblico a cui si aggiungono coloro che utilizzano i parcheggi scambiatori previsti per la nuova infrastruttura. In Figura 34, evidenziata in verde, la rete stradale che beneficia di riduzioni veicolari dovute alla realizzazione della linea T4.2; si evidenzia un beneficio generalizzato per la rete stradale e solo alcuni archi registrano un lieve incremento come per esempio via Pistoiese e via dei Platani a monte del parcheggio scambiatore di Castagno che risentono appunto dell'effetto attrattore dello stesso scambiatore.

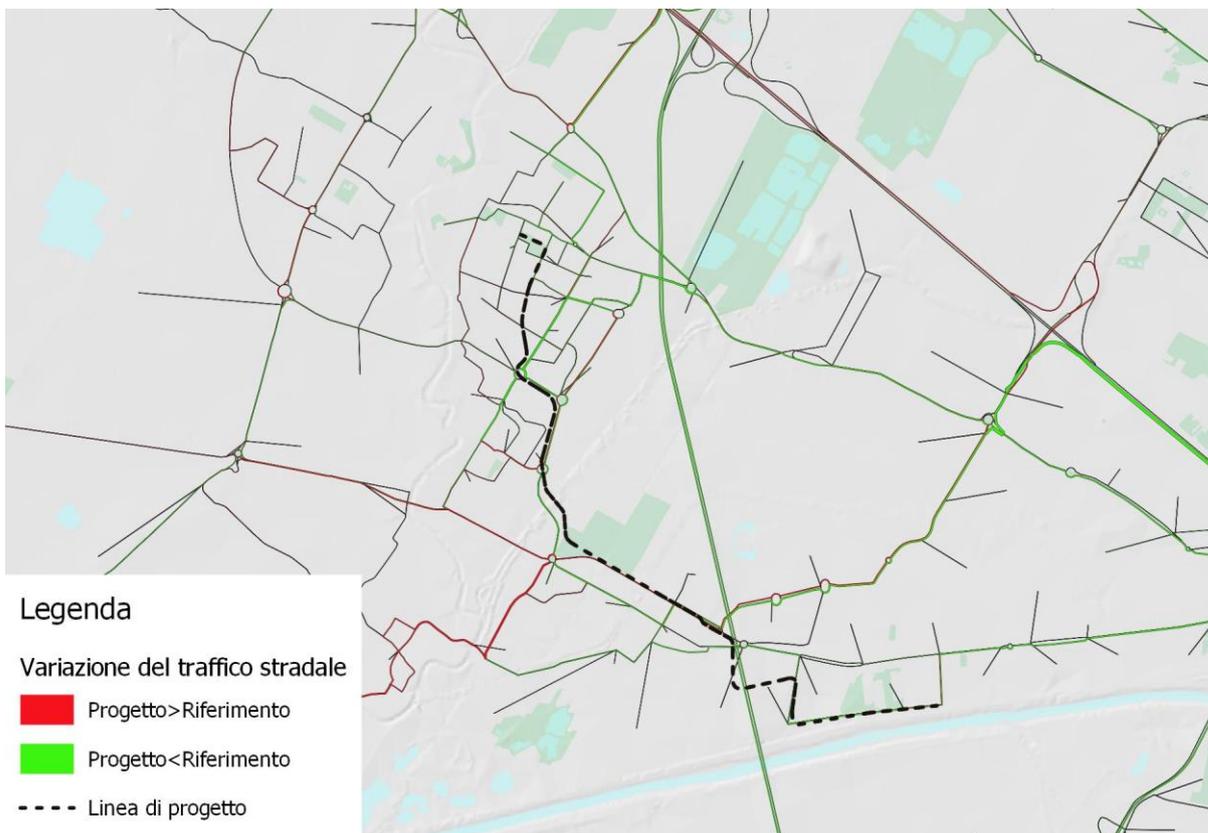


Figura 34 - Variazione dei flussi di traffico fra scenario di riferimento e di progetto, anno 2025

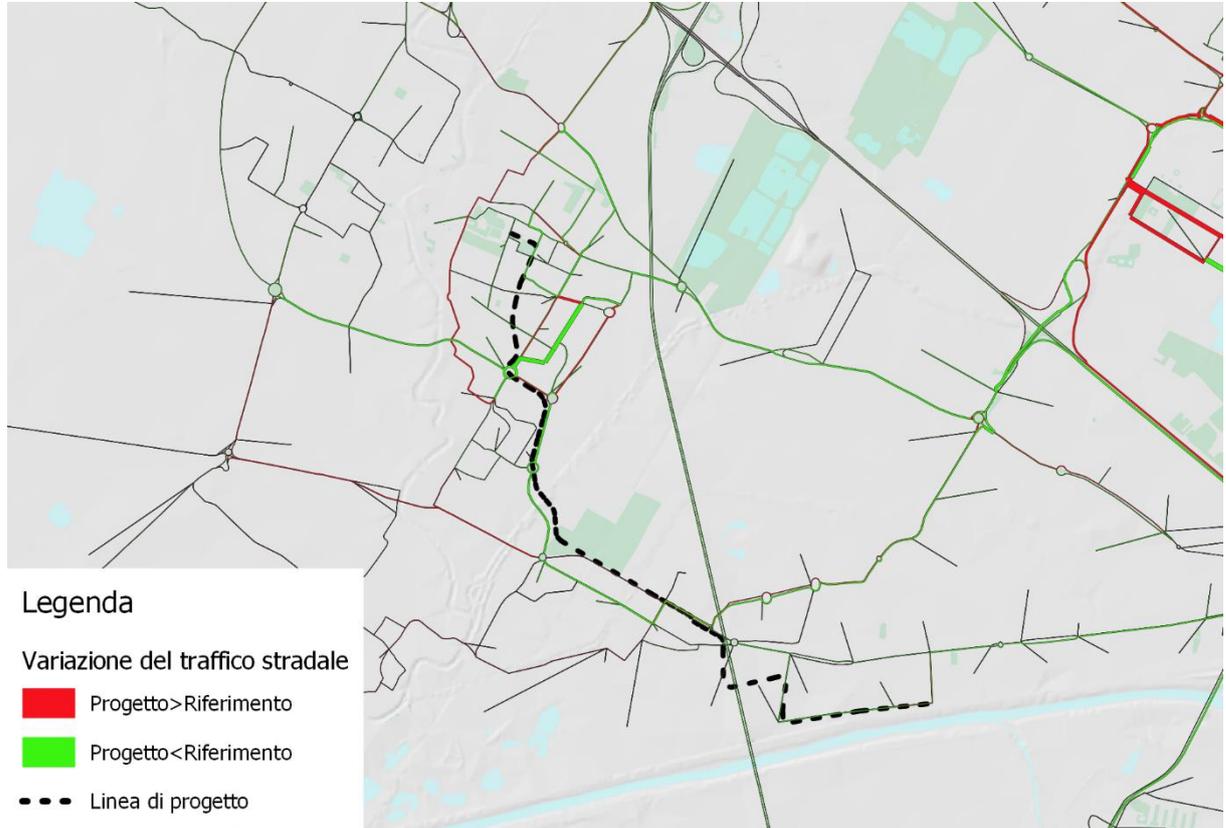


Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO



Questa riduzione si riscontra anche nella riduzione delle percorrenze della rete stradale fra scenario di riferimento e scenario di progetto come riportato in Tabella 33.

Tabella 33 - Percorrenze sulla rete stradale espresse in veicoli*km/ora di punta, 2025

	SR2025	CBa2025	Variazione
Tutto il modello di simulazione [veic*km/ora di punta]	606 998	599 374	-7 642
Per le sole coppie OD che utilizzano l'estensione oggetto di studio [veic*km/ora di punta]	33 064	29 963	-3 101



Comune
di Firenze

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA
TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO
FIORENTINO – FASE C

CIG 70209921E3 - CUP H11E16001130001 + H11I12000010002

LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

Tabella 34 – Percorrenze sulla rete stradale espresse in veicoli*km/ora di punta, 2035

	SR2035	CBa2035	Variazione
Tutto il modello di simulazione [veic*km/ora di punta]	556 391	549 616	-6 776
Per le sole coppie OD che utilizzano l'estensione oggetto di studio [veic*km/ora di punta]	35 017	32 899	-2 118

Nelle figure successive i flussogrammi dell'ora di punta per i veicoli privati in cui lo spessore rappresenta la capacità degli archi ed il colore il grado di saturazione della rete.

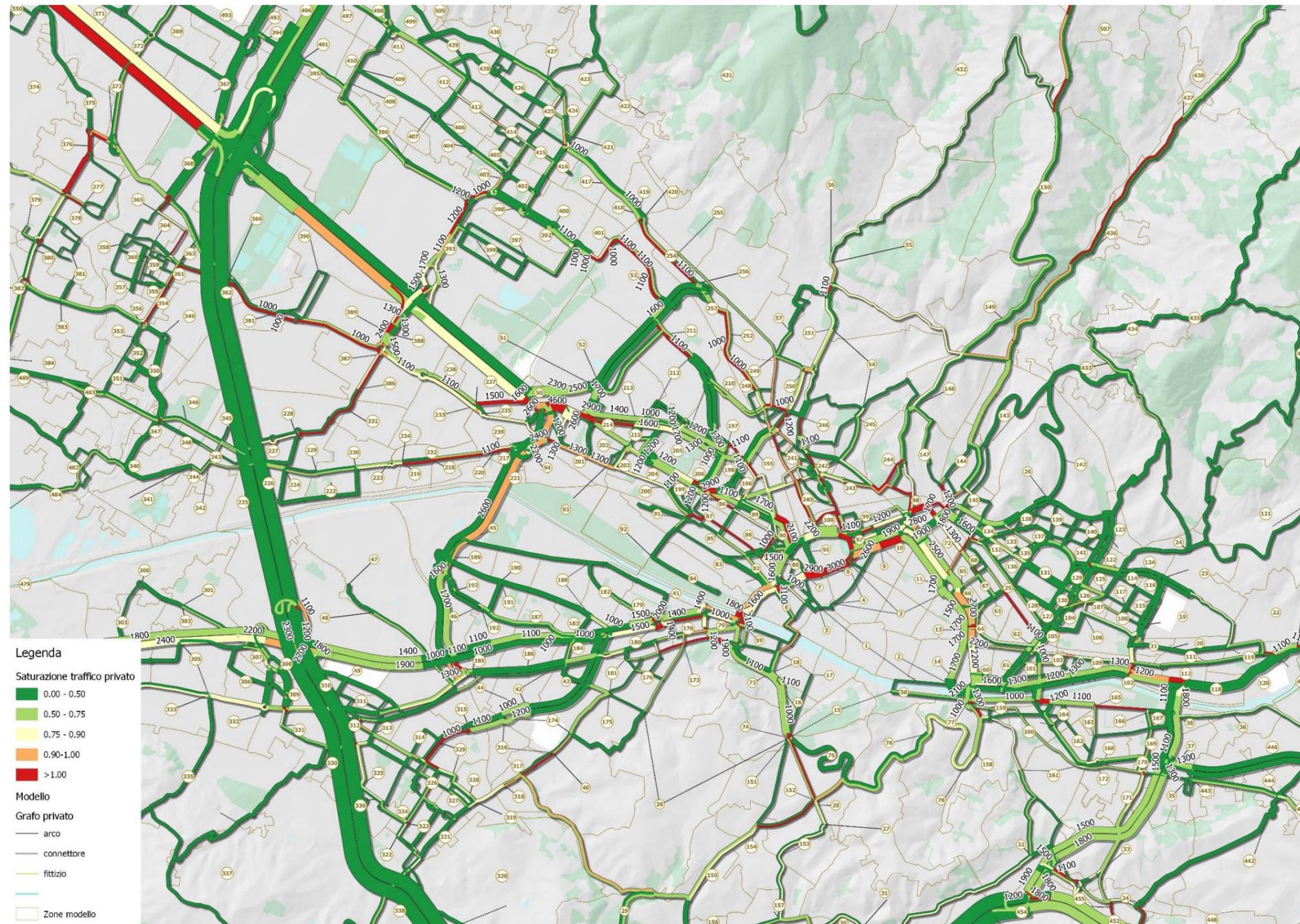


Figura 35 - Flussogramma privato con indicazione della saturazione, scenario attuale 2019

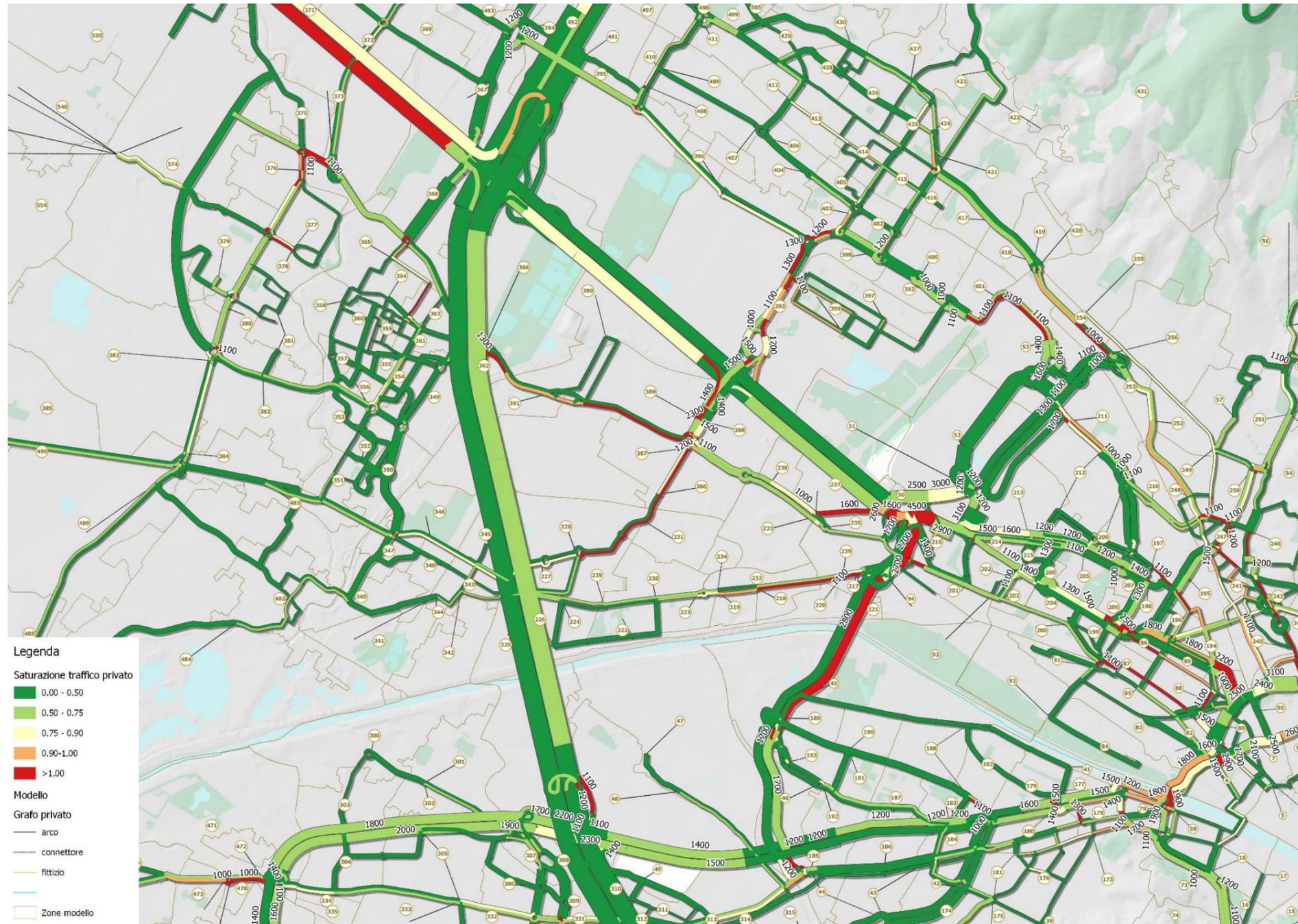


Figura 36 - Flussogramma privato con indicazione della saturazione, scenario di riferimento 2025 (SR2025)

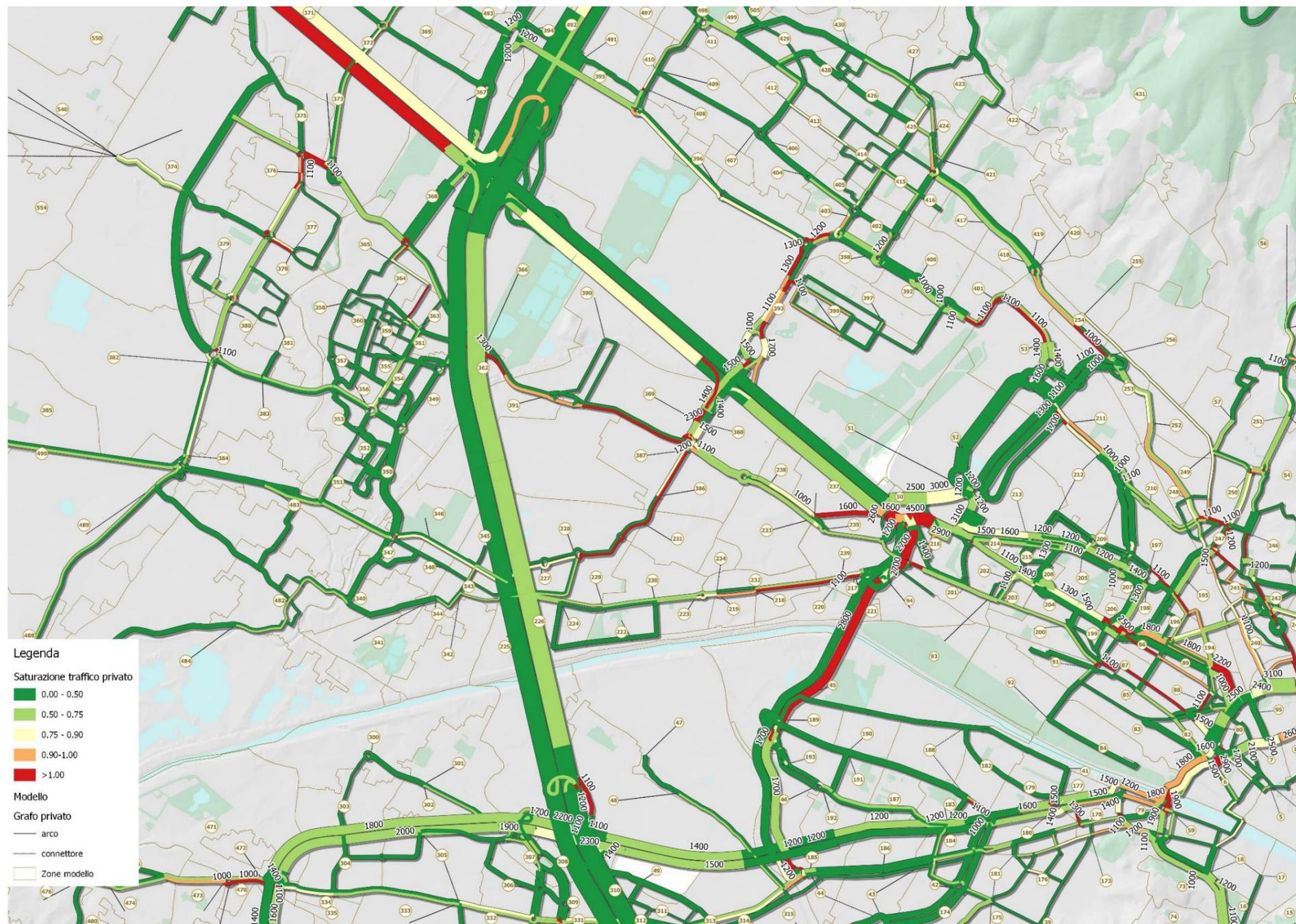


Figura 37 - Flussogramma privato con indicazione della saturazione, scenario di progetto 2025 (CBa-2025)

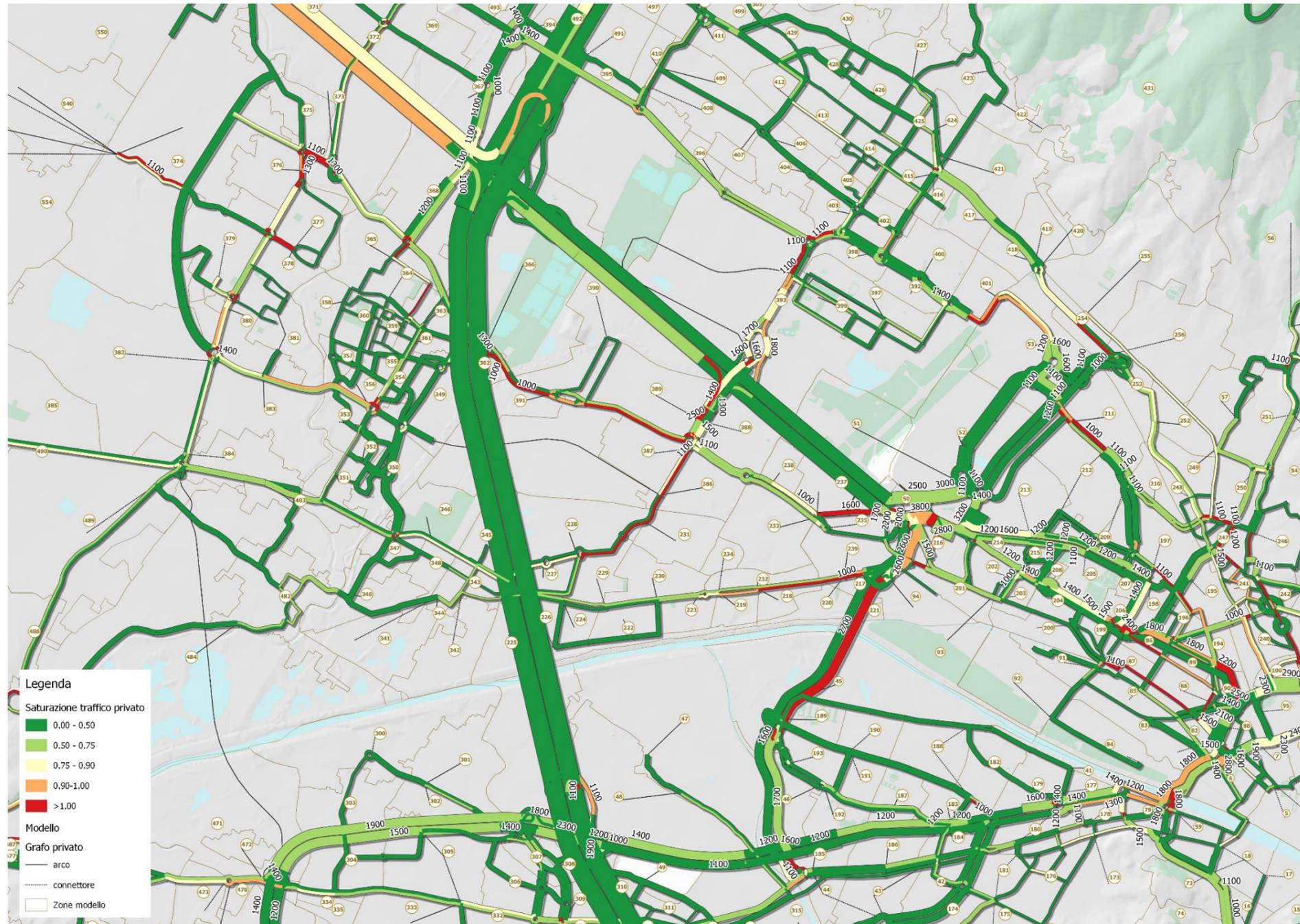


Figura 38 - Flussogramma privato con indicazione della saturazione, scenario di riferimento 2035

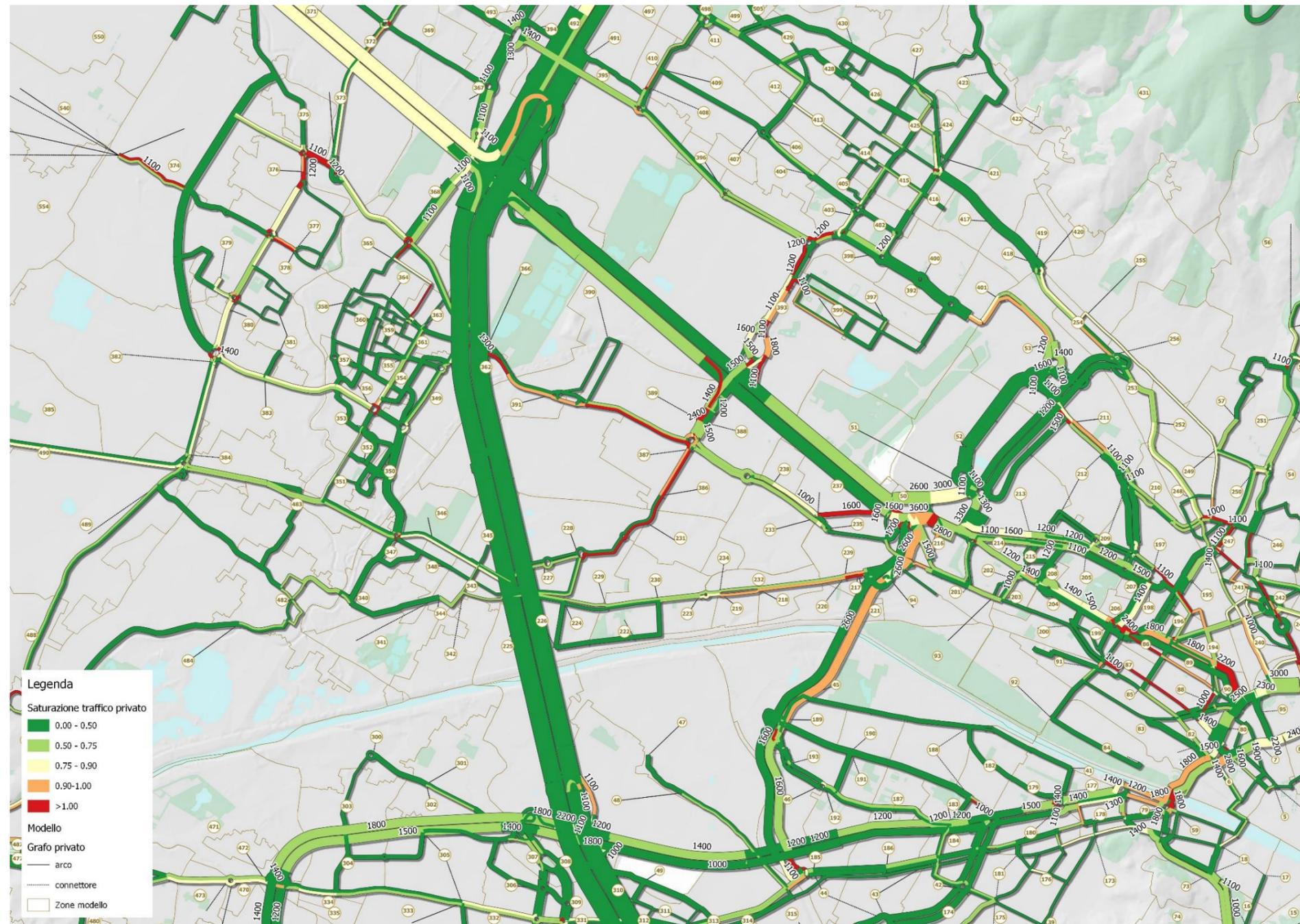


Figura 39 - Flussogramma privato con indicazione della saturazione, scenario di progetto 2035 (CBa-2035)

6. VALUTAZIONI FINALI

L'inserimento della nuova linea tranviaria risulta di fondamentale importanza per le nuove esigenze della domanda di trasporto alla luce sia delle trasformazioni del territorio su cui insiste, in particolare il Comune di Campi Bisenzio, che alle nuove politiche di gestione del traffico veicolare da parte del Comune di Firenze. Nel Comune di Campi, il Nuovo Piano Strutturale prevede un'espansione degli insediamenti residenziali e del tessuto produttivo; in tal senso la nuova estensione permetterà di assorbire una quota dell'incremento di domanda di trasporto legato ai nuovi addetti, residenti e fruitori delle nuove attività. Dall'altra parte, l'introduzione di politiche di road pricing da parte del Comune di Firenze deve essere accompagnata dallo sviluppo di un sistema pubblico integrato con i Comuni della Cintura al fine di garantire un'alternativa al mezzo privato.

L'estensione tranviaria permette un incremento dell'utilizzo del mezzo pubblico per le coppie origine/destinazione servite dalla tranvia di circa 5 punti percentuali e la riduzione delle percorrenze stradali a vantaggio della riduzione della congestione stradale e dell'inquinamento da traffico stradale.