



MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI



E.N.A.C
ENTE NAZIONALE per L'AVIAZIONE
CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO VESPUCCI

Opera

PROJECT REVIEW – PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento

RELAZIONI GENERALI
Studio Trasportistico

Livello di Progetto

PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE - MASTERPLAN

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE
PSA	00	MARZO 2024	N/A	FLR-MPL-PSA-GEN1-009-GE-RT_Studio Trasp
				TITOLO RIDOTTO
				Studio Trasp

00	03/2024	EMISSIONE PER APPROVAZIONE IN LINEA TECNICA DI ENAC	ALEPH	C.NALDI	L. TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>COMMITTENTE PRINCIPALE</p>  <p>ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti</p>	<p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</p>  <p>DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p>	<p>SUPPORTI SPECIALISTICI</p> <p>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</p>  <p>Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p> <p>SUPPORTO SPECIALISTICO</p>  <p>Ing. Luigi Costalli Ordine degli Ingegneri di Firenze Sez. A n° 6827</p>
<p>POST HOLDER PROGETTAZIONE Ing. Lorenzo Tenerani</p> <p>POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito</p> <p>POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini</p>	<p>RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p>	

Indice

1	INTRODUZIONE	3
2	QUADRO PIANIFICATORIO E PROGRAMMATICO DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI.....	5
2.1	QUADRO PIANIFICATORIO	5
2.2	QUADRO PROGRAMMATICO DEGLI INTERVENTI STRADALI	6
2.2.1	<i>Descrizione degli interventi inclusi nel quadro programmatico.....</i>	<i>8</i>
3	QUADRO TRASPORTISTICO: BANCA DATI	12
3.1	DATABASE DEI DATI DI TRAFFICO.....	12
3.1.1	<i>Dati autostradali.....</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Dati regione toscana.....</i>	<i>13</i>
3.1.3	<i>Dati viabilità ordinaria</i>	<i>15</i>
3.1.4	<i>Dati aeroportuali.....</i>	<i>17</i>
4	MODELLO MACRO E IPOTESI DI BASE	19
4.1	PERIODO DI SIMULAZIONE E ANNO BASE.....	19
4.2	AREA DI STUDIO E ZONIZZAZIONE	19
4.3	OFFERTA DI TRASPORTO	21
4.4	DOMANDA DI TRASPORTO.....	23
4.5	L'INTERAZIONE TRA DOMANDA ED OFFERTA.....	25
4.5.1	<i>Algoritmo di assegnazione.....</i>	<i>25</i>
4.5.2	<i>Valore del tempo e costi operative</i>	<i>26</i>
4.5.3	<i>Validazione del modello.....</i>	<i>27</i>
5	SCENARI DI SIMULAZIONE	33
5.1	GLI SCENARI DI SIMULAZIONE.....	33
5.2	EVOLUZIONE DEL QUADRO INFRASTRUTTURALE GENERALE	33
6	RISULTATI DELLA MACROSIMULAZIONE	35
6.1	STIMA DEI VOLUMI DI TRAFFICO NEL GIORNO MEDIO ANNUO.....	36
7	SINTESI E CONCLUSIONI	44

1 Introduzione

Il presente studio di traffico è relativo alla riqualificazione dello scalo aeroportuale di Firenze Amerigo Vespucci prevista dalla Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035 (in seguito indicato come Masterplan 2035) ed ha come scopo principale l'analisi dei flussi di traffico sulla viabilità principale nell'area di intervento, incluso l'asse autostradale prospiciente l'area aeroportuale, con le seguenti finalità specifiche:

- inquadramento generale dell'opera rispetto al quadro programmatico infrastrutturale e pianificatorio di settore;
- previsione della domanda di traffico attratta sulla rete autostradale e ordinaria nello scenario senza intervento (scenario programmatico) e con l'espansione dell'aeroporto (scenario progettuale);
- analisi delle prestazioni del sistema tramite un modello di simulazione del traffico di tipo macro;
- valutazione dell'efficacia e dell'efficienza (performance) del progetto.

In particolare, lo studio di traffico si basa sul confronto di due scenari di analisi: quello programmatico tendenziale, senza intervento, e quello di progetto; la simulazione è possibile tramite l'evoluzione dello scenario attuale di calibrazione, che recepisce i dati di traffico autostradale dell'asse Firenze-Pistoia dell'A11 e delle tratte fiorentine dell'A1 e i dati relativi alla rete ordinaria forniti dal sistema di monitoraggio della Regione Toscana e da Enti territoriali presenti sul territorio. Lo studio implementa quindi il modello di simulazione del traffico privato, suddiviso per categorie veicolari, e restituisce i risultati all'orizzonte temporale di medio periodo (2035), utilizzando la domanda incrementale relativa all'area aeroportuale e allo sviluppo della sua attrattività.

La presente relazione illustra sinteticamente i dati di traffico utilizzati, l'approccio metodologico adottato e i principali risultati, con riferimento allo stato attuale e alle configurazioni programmatica e progettuale all'orizzonte temporale di valutazione.

Il periodo temporale di analisi scelto è l'ora di punta di un giorno feriale scolastico: infatti, anche se tale momento non coincide con la punta aeroportuale, il valore del traffico cittadino e autostradale in questa fascia oraria è tale da determinare stati di congestione tali da poter risentire anche di minime variazioni; al contrario, invece, i picchi aeroportuali festivi, in particolare quelli estivi, cadono in momenti di morbida per la rete stradale urbana e per l'A11 tali da non poter raggiungere in ogni caso livelli di congestione considerevoli per il traffico aeroportuale differenziale, soprattutto in una realtà come quella fiorentina dove lo split modale a favore del mezzo pubblico è rilevante per l'utenza aeroportuale.

L'aeroporto Amerigo Vespucci è situato a nord-ovest di Firenze, per lo più nel territorio del comune stesso e, in minima parte, nel Comune di Sesto Fiorentino. L'area di intervento si sviluppa lungo il tratto autostradale A11 Firenze – Mare, ed è direttamente accessibile dalla rete autostradale e dalla viabilità ordinaria, quali Viale XI Agosto, Viale Luder e Via dell'Osmannoro. Il collegamento con la città di Firenze avviene inoltre attraverso la linea tranviaria T2, che unisce la zona aeroportuale con la stazione ferroviaria di Santa Maria Novella.

2 Quadro pianificatorio e programmatico delle infrastrutture stradali

2.1 Quadro pianificatorio

Nel presente paragrafo si descrive il quadro pianificatorio trasportistico di riferimento del progetto. Considerata la valenza territoriale dell'intervento progettuale, i principali strumenti pianificatori che vengono presi a riferimento sono ad ogni livello, non solo regionale, ma anche provinciale e comunale.

REGIONE TOSCANA

La Regione Toscana è dotata di Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità (PRIIM), istituito con L.R. 55/2011 ed approvato dal Consiglio Regionale il 12 febbraio 2014, che costituisce lo strumento di programmazione unitaria attraverso il quale la Regione definisce in maniera integrata le politiche in materia di mobilità, infrastrutture e trasporti.

PROVINCIA DI FIRENZE

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) è lo strumento di pianificazione che definisce l'assetto del territorio. Approvato dalla Provincia nel 1998, ai sensi della L.R. 5/95 "Norme per il governo del territorio" come atto di programmazione con il quale la Provincia esercita, nel governo del territorio, un ruolo di coordinamento programmatico e di raccordo tra le politiche territoriali della Regione e la pianificazione urbanistica comunale.

Con Deliberazione del Consiglio Provinciale n. 1 del 10 gennaio 2013 è stata approvata la variante di adeguamento del PTCP, ai sensi dell'art.17 della L.R. 1/05. L'avviso relativo all'approvazione è stato pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n°11 del 13 marzo 2013 e lo strumento di pianificazione in oggetto ha acquistato efficacia dalla data di tale pubblicazione.

Il Piano descrive la Provincia di Firenze come un territorio fortemente interconnesso, in cui le relazioni di scala sovracomunale assumono un'importanza crescente. Si rende pressante, quindi, l'esigenza di rafforzare le connessioni tra i sistemi territoriali e, al loro interno, tra i luoghi della residenza, della produzione e dell'erogazione di servizi.

COMUNE DI FIRENZE

Il Piano Strutturale del Comune di Firenze è stato adottato con delibera del Consiglio Comunale n. 2010/C/00057 del 13 dicembre 2010.

Il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Metropolitan n. 24 del 21 aprile 2021. Il Piano costituisce uno strumento di pianificazione urbanistica a medio-lungo termine, il quale propone obiettivi legati alla sostenibilità dal punto di vista ambientale, economico e sociale attraverso lo sviluppo di strategie attuate sui sistemi di mobilità.

COMUNE DI SESTO FIORENTINO

Il secondo Regolamento Urbanistico del Comune di Sesto Fiorentino, adottato con Deliberazione Consiliare n. 35 del 18 aprile 2013, e approvato con Deliberazione Consiliare n. 6 del 28 gennaio 2014, è divenuto efficace in data 26 marzo 2014 con la pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana del relativo avviso. È attualmente in corso di aggiornamento il Piano Urbano del Traffico comunale, insieme al Piano Operativo Comunale: entrambi gli strumenti prevedono il completamento della Mezzana-Perfetti Ricasoli all'interno del territorio comunale, con un tracciato in parte interrato parallelo all'esistente viale P.P. Pasolini.

2.2 Quadro programmatico degli interventi stradali

In questo paragrafo si descrive il quadro programmatico infrastrutturale di riferimento per il progetto: questa attività riguarda l'identificazione degli interventi inclusi nella programmazione degli enti competenti da considerare negli scenari di traffico, quale evoluzione del sistema di offerta di trasporto rispetto al modello attuale di traffico implementato.

L'identificazione delle opere incluse nel quadro programmatico si basa sull'analisi dei documenti descritti nel paragrafo precedente. L'elenco delle opere derivate da questi documenti, presentato nella tabella successiva, è corredato dalle seguenti informazioni:

- orizzonte temporale di realizzazione: indicazione, per ogni specifico progetto, dell'orizzonte temporale di simulazione di medio termine (2035), nel quale si è inserita l'opera nel modello (l'entrata in esercizio si stima avvenire nell'arco temporale che precede l'orizzonte temporale di simulazione considerato);
- documentazione di riferimento: riferimento ai documenti del quadro pianificatorio.

La tabella definisce così il quadro programmatico infrastrutturale di riferimento per il progetto. Le opere relative al PUMS della Città Metropolitana di Firenze non costituiscono l'interesse degli interventi previsti, quanto più i principali in riferimento al quadrante Nord - Ovest della città.

Si rimanda ai paragrafi successivi per la descrizione delle opere citate.

Tabella 2.1 - Interventi previsti nel quadro programmatico

Progetti e interventi del quadro programmatico	Provincia	Comune	Fonte					
			2035	PRIIM 2014 Regione Toscana	PTCP FI	PUMS Firenze	Secondo Regolamento Urbanistico Sesto Fiorentino	Altro
Completamento Mezzana Perfetti-Ricasoli								
Lotto 5B	Firenze	Sesto Fiorentino	X		X		X	
Lotto 6	Firenze	Sesto Fiorentino	X					Accordo Enti Territoriali
Nuova Lucchese	Firenze	Sesto Fiorentino/Campi Bisenzio	X					Accordo per finanziamento e realizzazione tra Regione Toscana e Comune Campi Bisenzio
Prolungamento "circonvallazione sud" Campi Bisenzio	Firenze	Campi Bisenzio	X	X				
Organizzazione della viabilità del Sottovia del Sodo	Firenze	Firenze	X			X		
Realizzazione del coppia di immissione della Rosselli – Pistoiese su Viale Rosselli	Firenze	Firenze	X			X		
Realizzazione della nuova via delle Piagge	Firenze	Firenze	X			X		
Modifica della viabilità su Rosselli Pistoiese	Firenze	Firenze	X			X		
Bretella Lastra a Signa - Indicatore (SR66-SR325)	Firenze	Lastra a Signa/Signa	X					
Circonvallazione centro abitato Signa	Firenze	Signa	X					
Prolungamento della via Aldo Moro (Asse delle Industrie) verso Campi Bisenzio attestandosi sulla rotatoria di via Barberinese/SP8/via dei Confini	Prato	Prato	X					

2.2.1 Descrizione degli interventi inclusi nel quadro programmatico

Gli interventi considerati nel quadro programmatico sono le opere che verranno realizzate a prescindere dalla dall'ampliamento dell'aeroporto Amerigo Vespucci, individuati nelle figure seguenti. Dal momento che lo scenario di analisi è il 2035 e che l'orizzonte temporale 2025 è molto vicino, tutti gli interventi programmati in questi 10 anni sono inseriti nell'orizzonte di analisi:

- circonvallazione centro abitato Signa;
- modifica della viabilità di collegamento tra lo svincolo A11 "Sesto Fiorentino" e l'Aeroporto A. Vespucci secondo il Masterplan vigente;
- organizzazione della viabilità del Sottovia del Sodo;
- modifica della viabilità Pistoiese- Rosselli (in fase di progettazione definitiva);
- realizzazione del cappio di immissione della Rosselli – Pistoiese su Viale Rosselli;
- realizzazione della nuova via delle Piagge;
- bretella Lastra a Signa - Indicatore (SR66-SR325);
- la cosiddetta Nuova Lucchese nel comune di Sesto Fiorentino e Campi Bisenzio;
- prolungamento "circonvallazione sud" Campi Bisenzio;
- prolungamento della via Aldo Moro (Asse delle Industrie) verso Campi Bisenzio attestandosi sulla rotonda di via Barberinese/SP8/via dei Confini.

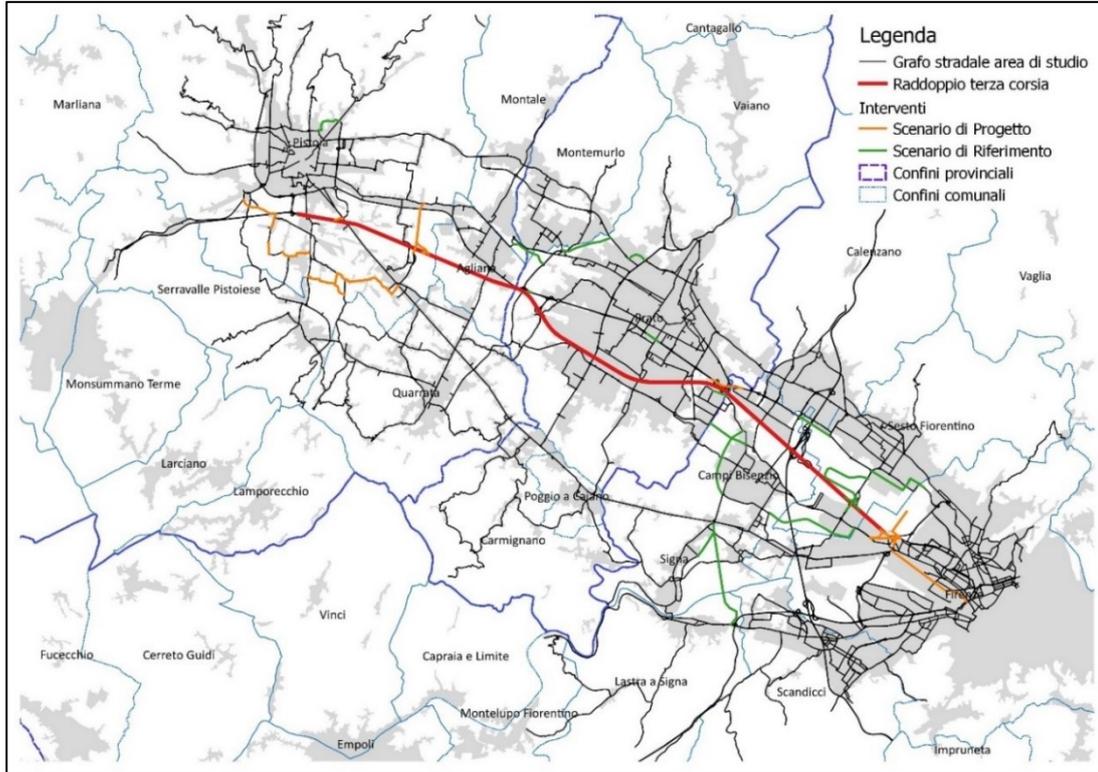


Figura 2.1 - Inquadramento interventi

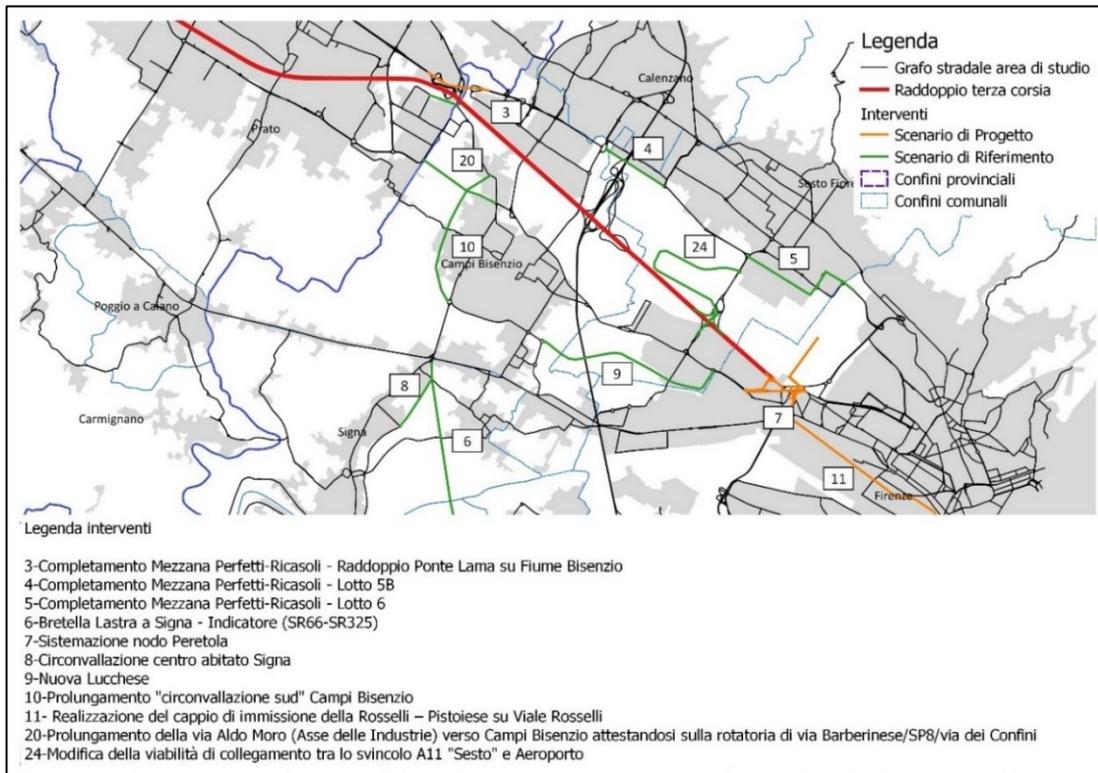


Figura 2.2 - Interventi nella Provincia di Firenze

2.2.1.1 Sistemazione nodo Peretola

Il progetto di sistemazione del nodo di Peretola è definito all'interno del Progetto Definitivo dell'allargamento della 3° corsia dell'Autostrada A11 tratta "Firenze-Pistoia". L'intervento consiste nell'adeguamento e nel potenziamento funzionale dell'esistente innesto autostradale di Peretola ed è stato sviluppato prendendo a riferimento il DM 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali". Obiettivo del nuovo layout dello svincolo è quello di interconnettere in modo fluido e senza interferenze i principali flussi di traffico in esso confluenti, con il duplice obiettivo di aumentare la capacità del nodo e di ricevere e smistare i flussi consistenti che si muovono tra il centro di Firenze, l'Autostrada A11 e il Viadotto dell'Indiano assorbendo correttamente i traffici primari, che oggi sono impropriamente indirizzati su viabilità secondarie, o addirittura locali. Il progetto prevede quindi la realizzazione di nuovi assi viari e la razionalizzazione dei percorsi esistenti, limitando al massimo il consumo di territorio ed utilizzando, ove possibile, porzioni di viabilità esistenti con gli adeguamenti necessari: il nodo si trova infatti in una zona fortemente urbanizzata.

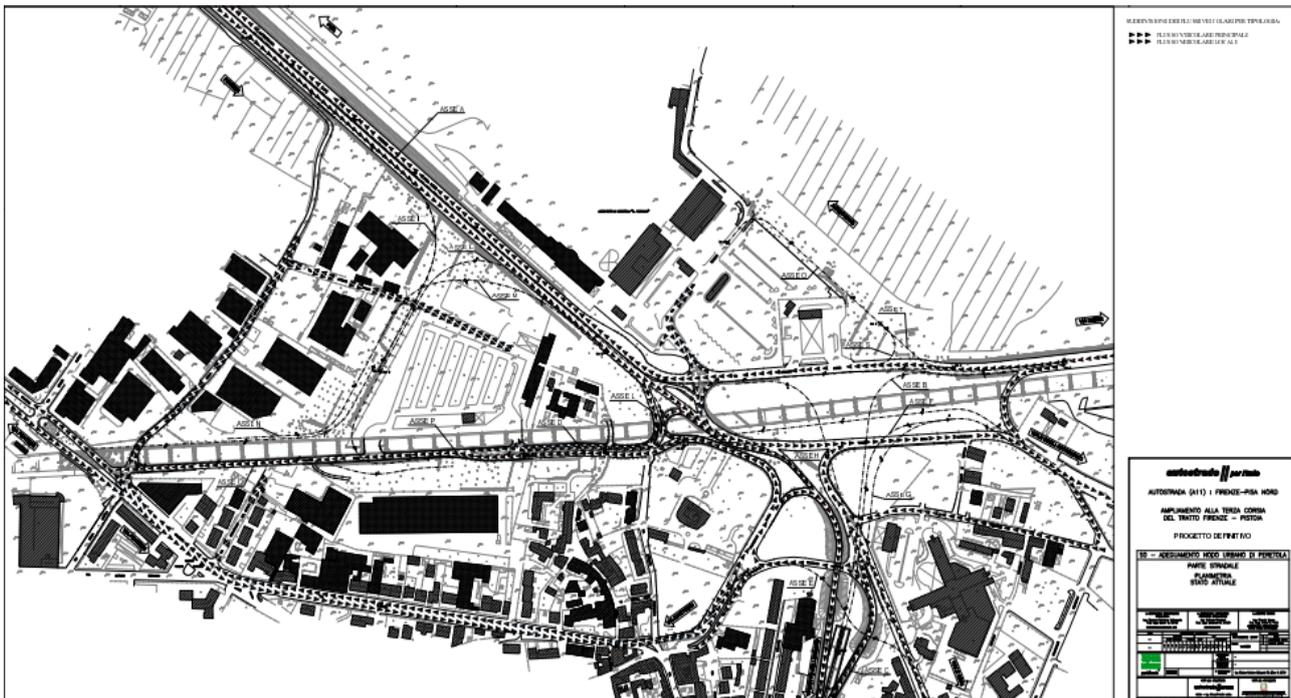


Figura 2.3 - Sistemazione nodo di Peretola – scenario attuale (fonte: Progetto definitivo "Ampliamento alla terza corsia del tratto Firenze – Pistoia")

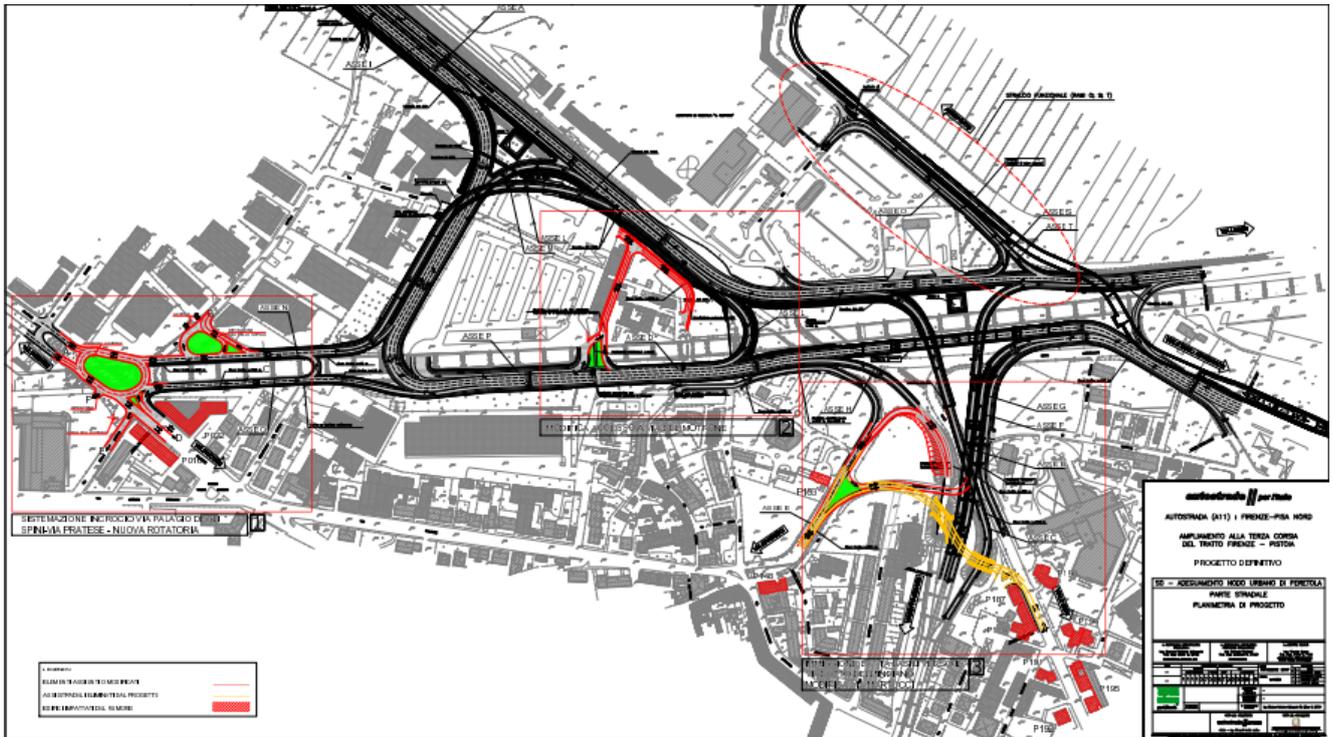


Figura 2.4 - Sistemazione nodo di Peretola – scenario di Progetto (fonte: Progetto definitivo “Ampliamento alla terza corsia del tratto Firenze – Pistoia”)

3 Quadro trasportistico: banca dati

Lo studio di traffico recepisce i dati di traffico autostradale relativi all'anno 2016 e i dati relativi alla rete ordinaria di diretto interesse per l'area di progetto derivanti da varie fonti di tipo pubblico. In questo paragrafo sono illustrati i dati di diversa provenienza, che hanno permesso la ricostruzione della matrice di base pre-covid e quelli utilizzati per la simulazione all'anno 2035 attraverso i dati che riguardano in modo specifico l'area dell'aeroporto Amerigo Vespucci e del suo ampliamento.

3.1 Database dei dati di traffico

Le analisi ed il modello di trasporto utilizzato nel presente studio sono stati elaborati a partire da una base di dati di traffico relativi all'intera area di studio. Le fonti di questi dati sono rappresentate dal concessionario autostradale, dalla Regione Toscana, dai diversi Enti territoriali presenti sul territorio.

Il database ISTAT sulle abitudini di pendolarismo della popolazione italiana relativo all'indagine censuaria 2011 costituisce l'embrione di elaborazione della matrice di traffico: questo dato è pubblicato da ISTAT sotto forma di matrice Origine-Destinazione su base comunale ed è relativo al viaggio di andata effettuato sistematicamente per studio o lavoro in un giorno ferialo scolastico, che rappresenta quindi il periodo temporale di analisi. Il dato è classificato in base all'orario di uscita dal luogo di residenza, alla durata del viaggio, al mezzo utilizzato ed al motivo dello spostamento.

3.1.1 Dati autostradali

Per quanto riguarda la rete autostradale sono stati analizzati i seguenti dati:

- Svincoli autostradali ricadenti nel tratto Firenze - Pistoia della rete Autostrade per l'Italia A11:
 - Firenze Ovest

in termini di flusso orario disaggregato per classi di pedaggio per tutto l'anno 2016.

- Tratte autostradali della rete Autostrade per l'Italia (A11):
 - Firenze Ovest – Allacciamento A1/A11

in termini di flusso orario disaggregato per classi di pedaggio per tutto l'anno 2016.

3.1.2 *Dati regione toscana*

La Regione Toscana ha sviluppato un sistema regionale di monitoraggio automatizzato dei flussi di traffico delle strade regionali, operativo dal 1° agosto 2009, che comprende 30 postazioni dislocate nei tratti di maggior traffico di tutte le strade di competenza regionale, ad eccezione della Strada di grande comunicazione Firenze-Pisa-Livorno (Sgc Fi-Pi-Li), lungo la quale è in funzione un sistema integrato di rilevamento del traffico, video sorveglianza e informazione all'utenza, non gestito dalla Regione.

Le postazioni registrano i passaggi per ciascuna corsia di marcia, secondo uno schema di classificazione in nove categorie di veicoli. In particolare, il record contiene:

- il passaggio di ogni veicolo;
- la velocità del veicolo;
- la categoria del veicolo.

I dati forniti dal sistema di monitoraggio sono:

- traffico medio orario diurno veicoli leggeri;
- traffico medio orario diurno veicoli pesanti;
- volume giornaliero veicoli leggeri;
- volume giornaliero veicoli pesanti;
- traffico orario di picco.

La tecnologia si basa su "spire ad induzione magnetica", vale a dire sensori collocati sotto la pavimentazione stradale che rilevano la variazione indotta dalla massa metallica del veicolo in transito in un campo magnetico di riferimento e collegati ad una apparecchiatura di rilevamento, o su telecamere installate a bordo strada, dotate anche di sensori bluetooth. L'apparecchiatura di rilevamento gestisce i sensori, elabora i segnali e memorizza i dati; i dati registrati dalla postazione sono poi trasmessi, con modalità di trasmissione GSM (Global system for mobile communication), ad una stazione di monitoraggio centrale ubicata negli uffici del settore "Viabilità di interesse regionale" della Regione Toscana.

Funzione delle postazioni è il conteggio e la classificazione dei flussi di traffico in tempo reale. L'elaborazione dei dati statistici avviene in base ai dati aggregati dei transiti ogni 15 minuti, distinti per ogni postazione e corsia.

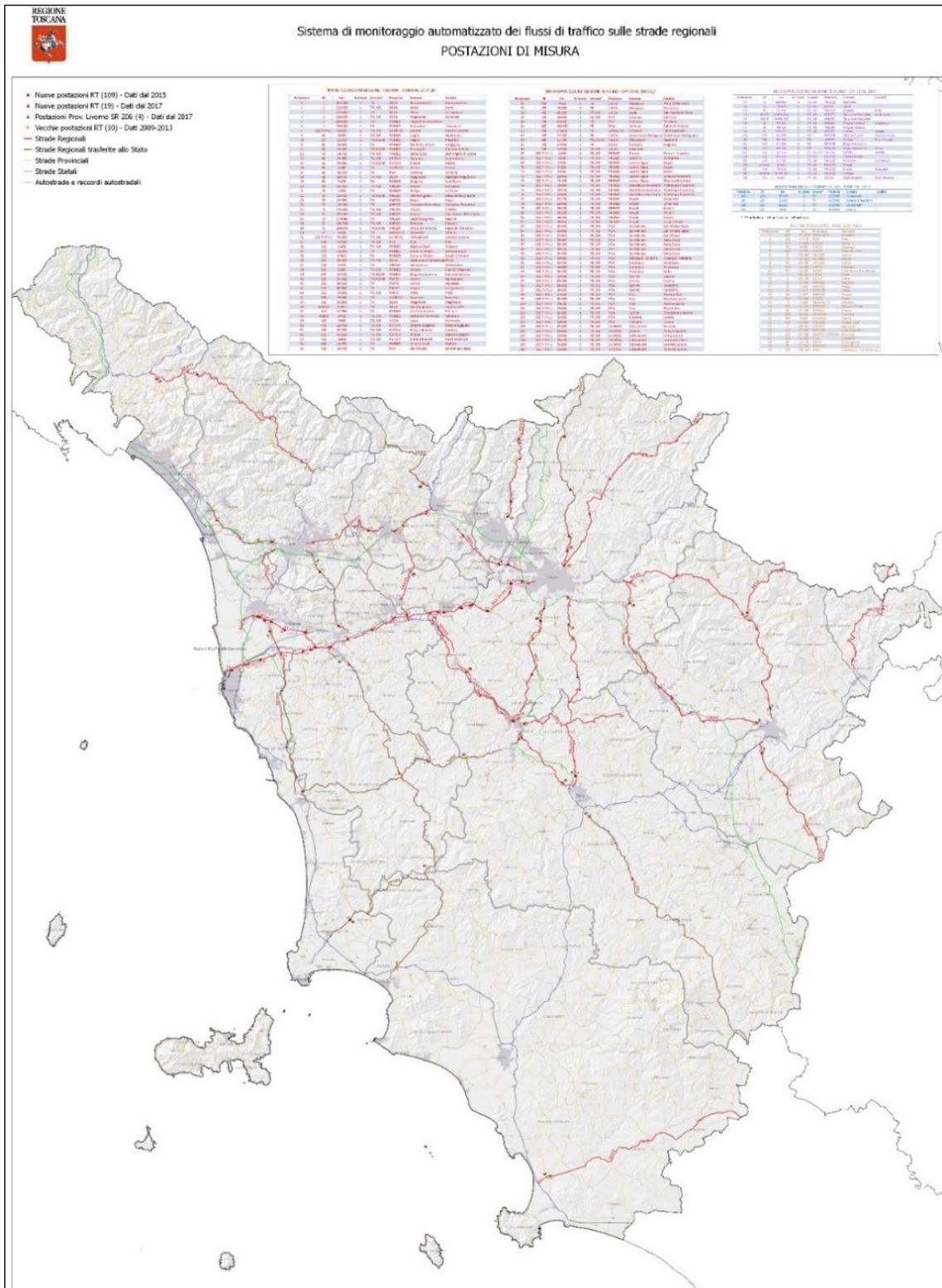


Tabella 3.1 - Posizione postazione di rilievo traffico della viabilità ordinaria (Fonte: <http://dati.toscana.it/dataset/sistmontraf-centraline>)

Identificazione postazione di rilievo	Strada Regionale	Punto della postazione sulla SR	Comune	Territorio provinciale
post. P013	SR 66	Km 14 + 750	Campi Bisenzio	Firenze

Per questa postazione è stato fornito dalla Regione Toscana il dettaglio orario del flusso veicolare per il giorno di riferimento.

3.1.3 Dati viabilità ordinaria

Ai fini della calibrazione del modello sono, inoltre, stati utilizzati i rilievi di traffico in parte forniti da Enti territoriali presenti sul territorio. Di seguito si individuano graficamente i tratti stradali oggetto di rilevazioni di traffico e si elencano le fonti dei singoli rilievi.

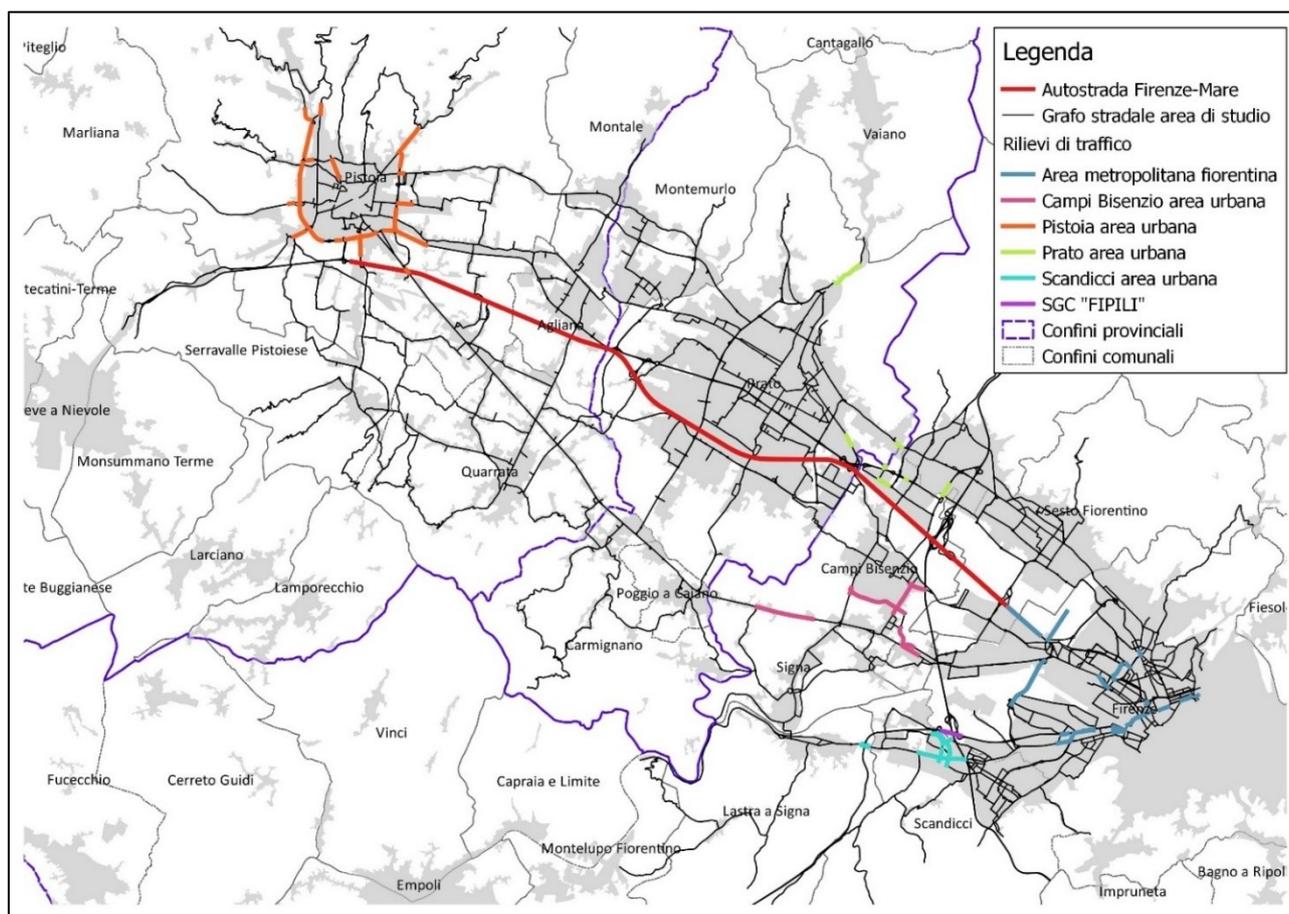


Figura 3.2 - Ubicazione delle postazioni di rilievo del traffico

AREA METROPOLITANA FIORENTINA

Sono stati impiegati i dati di rilievo già utilizzati nel modello di trasporto multimodale dell'area fiorentina. I rilievi utilizzati sono localizzati in alcune sezioni dei viali di scorrimento, su un'area che si estende da Piazza della Libertà fino ad arrivare a Porta al Prato. Sono presenti anche rilievi sulle arterie in direzione Scandicci, nonché in zona "Firenze Nova".

AREA URBANA DI CAMPI BISENZIO

I dati di traffico relativi all'area urbana di Campi Bisenzio derivano da uno studio per la valutazione dell'impatto sul funzionamento delle infrastrutture viarie derivante da un nuovo complesso commerciale.

In questo contesto, per la calibrazione del modello di trasporto veicolare sono stati realizzati i seguenti rilievi:

- intersezione a rotatoria tra la SR66 e Via Libero Roti;
- intersezione a rotatoria tra Via Palagetta e Circonvallazione Sud;
- incrocio di Via Palagetta – Via Buozzi – Via Cetino;
- intersezione a rotatoria tra Circonvallazione Sud e Via Barberinese;
- intersezione a rotatoria tra la SR66 e Via Barberinese;
- intersezione a rotatoria tra Via Barberinese Via Tosca Fiesoli;
- intersezione a rotatoria tra Viale Primaldo Paolieri, Via Saliscendi, Via Salvator Allende.

S.G.C. FIPILI

Per la S.G.C. "FIPILI" sono stati utilizzati dei dati di rilievo raccolti nell'ambito dell'analisi di funzionalità e di sistemazione del nodo di Scandicci (Firenze), ovvero dell'interconnessione tra la A1, la S.G.C. FIPILI e la viabilità locale di adduzione e scorrimento sita nel comune di Scandicci, svolta dallo stesso estensore di questo studio nel luglio del 2017. Per la calibrazione del modello, sono stati utilizzati i rilievi veicolari eseguiti lungo la tratta compresa tra lo svincolo di Scandicci e l'interconnessione dell'A1.

AREA URBANA DI SCANDICCI

I dati di traffico relativi all'area urbana di Scandicci corrispondono ai rilievi veicolari eseguiti in funzione del modello di trasporto veicolare sviluppato nell'ambito dello studio volto a valutare i carichi di traffico veicolare con riferimento all'area adiacente l'attuale sede di Unicoop, individuata dalle località di Casellina, Mantignano, Badia a Settimo, San Colombano, Lastra a Signa.

3.1.4 Dati aeroportuali

I dati relativi al traffico passeggeri su auto privata relativo allo scalo aeroportuale Amerigo Vespucci in caso di riqualificazione dello scalo stesso sono fondamentali per costruire la matrice di progetto. Questi dati sono stati forniti sotto forma di veicoli privati in ingresso e uscita dall'area all'ora e derivano dalle analisi specifiche condotte per la progettazione della viabilità e dei servizi di trasporto pubblico landside. In Figura 3.3 è riportata la mappa dei percorsi previsti per lo scenario di progetto, che rappresentano anche i generatori/attrattori di traffico per l'analisi della rete viaria esterna. I dati di domanda sono riferiti all'ora di punta e sono riportati in Tabella 3.2 suddivisi per ingressi e uscite e per destinazione in termini di arrivi e partenze dall'aeroporto in esame.

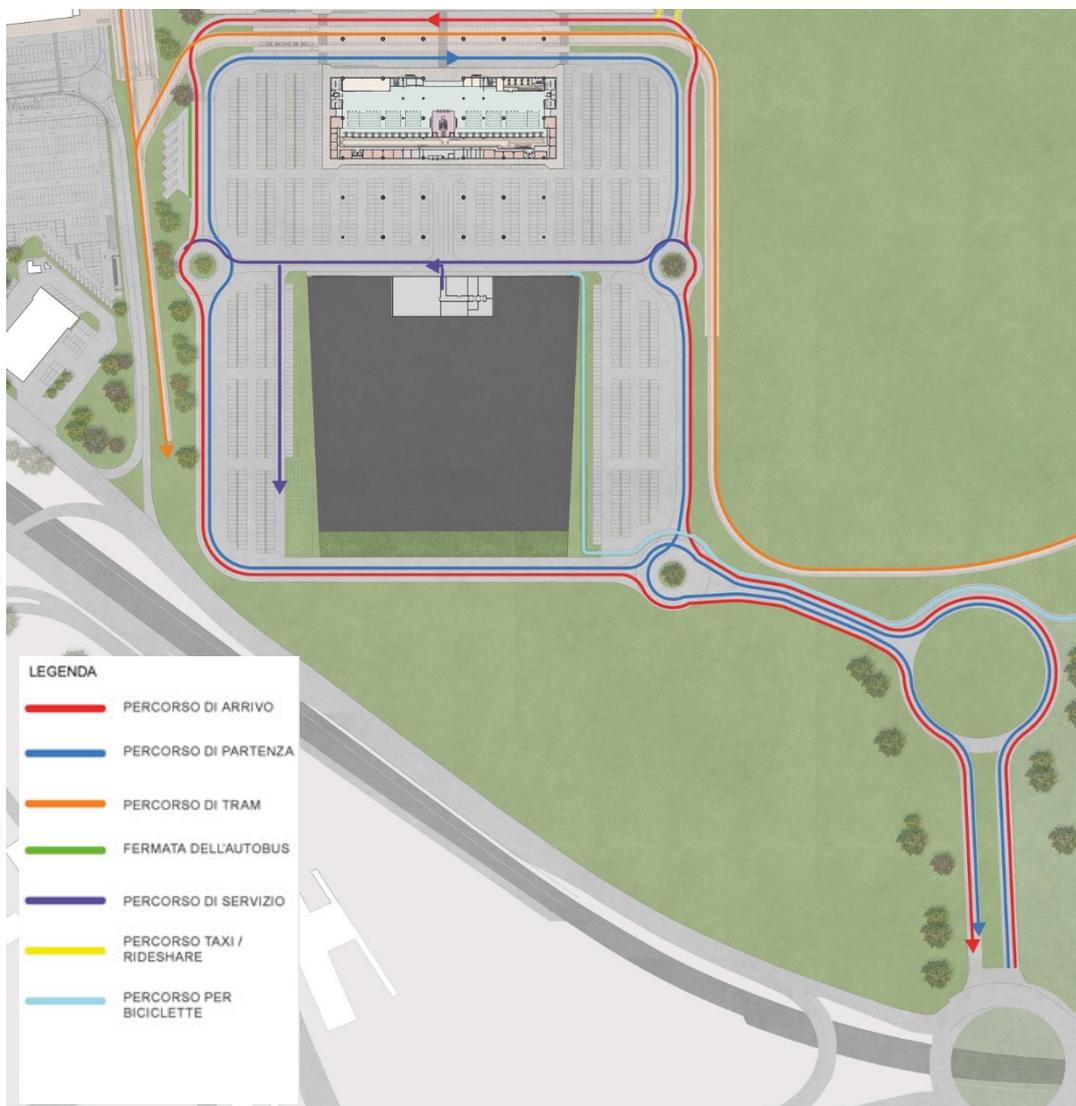


Figura 3.3 - Mappa dei percorsi in ingresso e uscita dall'area aeroportuale

Tabella 3.2 - Domanda relativa all'area aeroportuale - simulazione progettuale 2035

	IN	OUT
Arrivals	580	594
Departures	547	517

4 Modello macro e ipotesi di base

Il presente modello, di tipo cosiddetto macroscopico, ha l'obiettivo di valutare la scelta del percorso degli utenti del trasporto privato, intesi come mezzi privati e, in particolare, veicoli leggeri e commerciali, suddivisi a loro volta tra commerciali leggeri e commerciali pesanti. Si è scelto di applicare un modello di domanda semplificato per la ricostruzione della matrice di traffico, che utilizza matrici di trasporto aggregate ottenute a partire dai dati di rilevazione, ripartendole in base ai dati socioeconomici e demografici aggiornati. Tale scelta è giustificata dalla finalità dello studio (mono-modale) e dalla copertura di dati di traffico dell'area oggetto di studio.

4.1 Periodo di simulazione e anno base

Il modello di trasporto implementato simula le condizioni di traffico rappresentative dell'ora di punta mattutina (8:00 – 9:00) del giorno feriale medio del periodo scolastico neutro (cioè esclusi gennaio, luglio ed agosto). L'anno utilizzato come anno base delle simulazioni rappresentative della situazione attualmente presente nell'area di studio è stato identificato nel 2016.

4.2 Area di studio e zonizzazione

La domanda di trasporto è l'espressione delle esigenze di mobilità e del comportamento degli utenti che effettuano a vario titolo degli spostamenti: essa è quantificata dal numero di spostamenti effettuati da ciascuna zona di origine ad ogni zona di destinazione in un determinato intervallo di tempo con un determinato modo di trasporto. All'interno del modello di simulazione, la domanda di trasporto è contenuta in matrici Origine/Destinazione, costruite sulla base della zonizzazione territoriale adottata.

Il primo passo per la ricostruzione della domanda di trasporto è individuare l'area di studio, come quella in cui si sviluppano le relazioni più rilevanti alla valutazione del sistema di trasporto oggetto di analisi. Una volta che l'area di studio è stata identificata, questa viene discretizzata in zone di traffico. Ad ogni zona viene associato un nodo chiamato "centroide", assumendo che i movimenti avvengano solo tra centroidi corrispondenti a zone diverse. Le zone devono essere quanto più omogenee tra loro dal punto di vista dimensionale, socioeconomico e territoriale, secondo criteri legati al tipo di analisi da effettuare, alla grandezza dell'area di studio ed alla reperibilità dei dati. In particolare, è necessario mantenere in zone distinte aree amministrative da enti territoriali diversi e distinguere le zone produttive, direzionali e residenziali. La zonizzazione del modello di studio si organizza in:

- zonizzazione interna (293 zone): è l'area che partecipa in maniera consistente alla domanda di trasporto e subisce direttamente le scelte effettuate sull'offerta; al suo interno è ricostruito il grafo stradale dell'offerta di trasporto. Appartengono a quest'area i comuni della Piana Fiorentina (lato ovest) dove è realistico che sia collocata l'utenza aeroportuale, al netto di quella che accede all'area da aree più lontane, che utilizzano quindi nel loro percorso di avvicinamento l'autostrada A1. Dato il livello di traffico dell'A1, è possibile accettare che tale utenza non concorra in modo sostanziale al peggioramento delle condizioni dell'autostrada nella tratta fiorentina a 3 corsie, per cui questa infrastruttura rappresenta un confine dell'area di studio;
- zonizzazione esterna (45 zone): zone relative al territorio che interagisce con il sistema pur non essendo oggetto di studio.

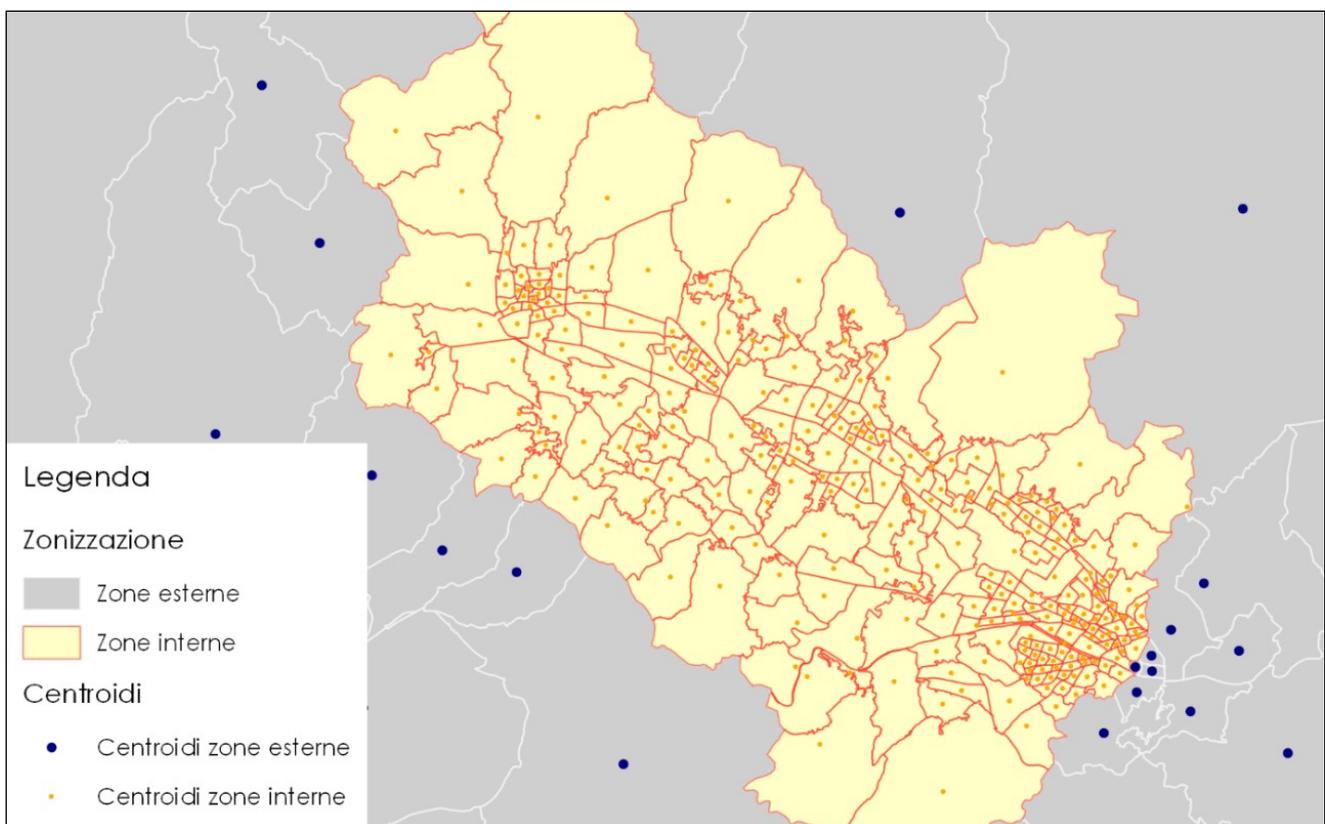


Figura 4.1 - Zonizzazione interna

La zonizzazione interna ha come unità minima le sezioni censuarie 2011 ISTAT e la dimensione delle zone è direttamente dipendente dal livello di dettaglio della rete che insiste su di esse: nelle aree più lontane dall'infrastruttura di studio, in cui si arriva ad avere una rete costituita dalle sole direttrici principali, anche le zone hanno dimensioni maggiori. Grazie all'unità di base censuaria è possibile associare ad ogni zona:

- numero di residenti;

- numero di addetti;
- numero e tipo di unità produttive.

Tali attributi permettono di definire la domanda di trasporto originata e destinata in queste zone.

Le zone esterne all'area di studio hanno invece come unità minima la dimensione comunale fino ad arrivare a zone composte da più regioni. Fanno eccezione le zone esterne ancora appartenenti al comune di Firenze, che si presentano come aggregazione di sezioni censuarie.

La scelta di non includere nelle zone interne tutto il comune di Firenze è legata alle dinamiche di spostamento interne alla città, suddivisa in 5 quartieri che gravitano diversamente sul sistema autostradale. In particolare, i quartieri 2 e 3, rispettivamente collocati a est e sud-est della città, raggiungono l'aeroporto o dai viali di circonvallazione o dall'A1, tramite l'entrata di Firenze Sud.

4.3 Offerta di trasporto

Il sistema dell'offerta di trasporto è costituito da quelle componenti fisiche (infrastrutture, veicoli e tecnologie), organizzative e normative (gestione della circolazione e strutture tariffarie) che determinano la produzione del servizio di trasporto e le sue caratteristiche. Nel caso di modelli mono-modal di tipo privato, questo sistema include le infrastrutture stradali classificate funzionalmente ed eventualmente corredate dalle relative strutture tariffarie di accesso all'infrastruttura.

La rete stradale è schematizzata nel grafo del modello di simulazione come una successione di archi ed un insieme di nodi. Ogni arco rappresenta un tronco stradale (o un'aggregazione di tronchi stradali). Gli archi sono stati descritti su base georeferenziata secondo le caratteristiche fisico-geometriche della strada, specificando la classe funzionale, il numero di corsie, la lunghezza, la capacità di trasporto e la velocità di deflusso a rete scarica. Per capacità dell'arco si intende il flusso massimo che può circolare sulla tratta dell'infrastruttura durante un intervallo di tempo fissato, tenendo conto delle caratteristiche geometriche della strada e delle "condizioni" di circolazione richieste (livello di servizio).

Il modello di offerta è costituito dalla rete così definita e dalle relazioni matematiche che legano i costi ed i flussi sulla rete, vale a dire le funzioni di costo e le curve di deflusso.

La rete implementata nel modello ricostruisce il sistema della viabilità extraurbana ed urbana all'interno dell'area di piano. Tale rappresentazione risulta molto dettagliata all'interno dell'area di studio, dove è stata modellizzata la viabilità extraurbana ed urbana, principale e secondaria, e sempre meno dettagliata man mano che ci si allontana dall'intorno dell'area di studio.

L'offerta è stata costruita sulla base della classificazione degli archi riportata nella tabella seguente. Si precisa che i valori di capacità per corsia non corrispondono a quelli indicati dal DM 5/11/2001 per la progettazione delle nuove infrastrutture, che garantiscono infatti buone condizioni di deflusso, ma sono stati calibrati sulla base di dati disponibili relativi a condizioni di deflusso ai limiti della saturazione per diverse arterie stradali appartenenti alle varie classi funzionali.

Tabella 4.1 - Classificazione degli archi stradali

Classe	Capacità per direzione per corsia [veq/h]	Velocità a flusso libero [km/h]
Autostrade	2000	130
Strade extraurbane principali	1000-1700	70-90
Strade extraurbane secondarie	500-1200	40-70
Strade extraurbane locali	500-900	40-50
Strade urbane principali	600-1.000	50-70
Strade urbane locali	400 - 900	30-50

Tali valori di velocità a flusso libero e capacità sono indicativi degli intervalli di classe, dal momento che, ai fini della costruzione e calibrazione del modello, ad alcune infrastrutture sono state associate caratteristiche specifiche. Il grafo è stato costruito a partire dalla rete georeferenziata OpenStreetMap, modificata in seguito ad operazioni di verifica della classificazione, delle caratteristiche geometriche e della continuità degli archi.

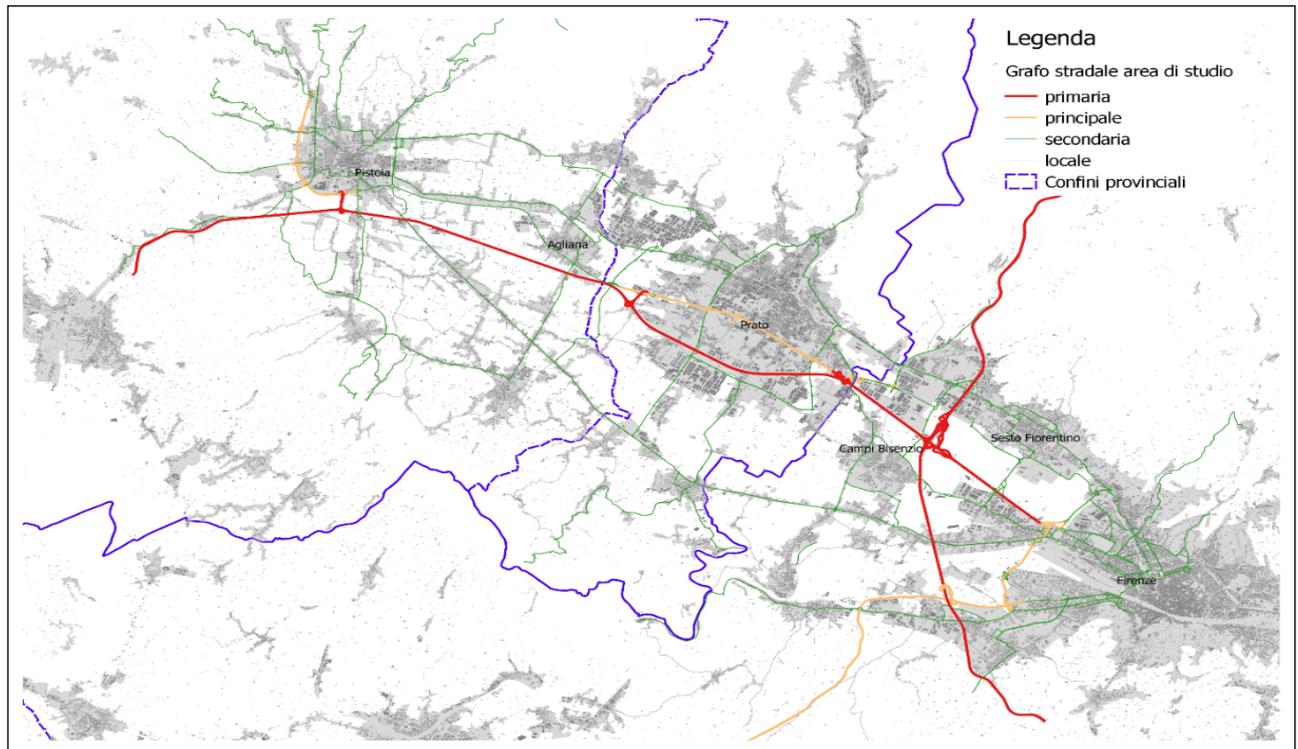


Figura 4.2 - Modello di traffico: grafo di rete all'anno base

4.4 Domanda di trasporto

La domanda di trasporto è stata calibrata ed aggiornata separatamente per classi veicolari, con un processo iterativo a cascata: il processo si basa infatti sul confronto tra dati osservati e volumi assegnati in iterazioni successive e il suo risultato è strettamente correlato alla condizione di deflusso della rete. Questo assunto è particolarmente rilevante per la classe veicolare delle auto (mezzi leggeri), mentre per i mezzi commerciali pesanti le condizioni di deflusso condizionano solo in minima parte la scelta del percorso, che dipende più che altro dal costo operativo di ogni itinerario. In definitiva, il processo di estrazione della domanda di trasporto è stato strutturato in modo da calibrare ed aggiornare prima la matrice dei mezzi commerciali pesanti, quindi dei mezzi commerciali leggeri e solo in fondo dei mezzi leggeri.

Per il modello di domanda dei **veicoli leggeri** (auto) la base utilizzata per l'estrazione delle matrici è rappresentata dall'elaborazione della matrice Origine-Destinazione degli spostamenti sistematici dell'analisi sul pendolarismo associata al Censimento ISTAT 2011. Tali matrici rappresentano l'universo degli spostamenti effettuati su autoveicoli ad uso personale come conducente per raggiungere il luogo abituale di studio o di lavoro con un livello di disaggregazione territoriale comunale. Per poter utilizzare tali matrici come

input del modello di assegnazione è stato necessario anche in questo caso costruire una corrispondenza tra il livello territoriale comunale e la zonizzazione del modello, aggregando quindi i dati dell'ISTAT laddove le zone del modello fossero su base sovracomunale e disaggregandole laddove il dettaglio fosse sotto-comunale. La disaggregazione è stata effettuata con un approccio modellistico di tipo gravitazionale: gli spostamenti a livello comunale sono stati suddivisi tra le zone sulla base della distribuzione della popolazione aggiornata al 2016 (spostamenti originati) e degli addetti (spostamenti destinati), da Censimento della popolazione e dell'industria e servizi del 2011 (dato disponibile a livello di ciascuna zona censuaria). Tale processo restituisce la matrice di base dell'utenza sistematica, che è stata confrontata con dei cicli di coerenza con i risultati ottenuti dall'applicazione del modello di trasporto a 4 stadi dell'area metropolitana fiorentina, calibrato sulla base di un'indagine CATI effettuata nel corso del 2013.

Le matrici di domanda così ottenute sono state successivamente aggiornate con un processo di tipo Bi-Level, tenendo conto dei dati disponibili suddivisi per classi veicolari in merito alla struttura della domanda, in particolare:

- gli spostamenti in attraversamento della tratta autostradale considerata;
- i rilievi di traffico effettuati dalla rete di monitoraggio della Regione Toscana;
- altri rilievi specifici sulla rete locale e urbana.

In ambito autostradale l'utenza non sistematica rappresenta sicuramente una quota parte importante della domanda, prevalente in alcuni casi. La quota non sistematica è stata stimata con un processo iterativo, basato sull'incremento della matrice di base con quote aggiuntive di domanda e sul successivo aggiornamento della stessa con un processo di tipo Bi-Level per ottenere un confronto accettabile tra i risultati dell'assegnazione ed i flussi osservati sulla rete stradale dell'area di studio. Si precisa che tale processo è stato applicato in cascata alla calibrazione delle matrici pesanti e che per l'aggiornamento delle matrici leggere è stata utilizzata la rete di offerta precaricata con il risultato dell'assegnazione dei mezzi commerciali pesanti e leggeri. Si precisa che per tener conto dell'effettivo utilizzo della capacità stradale di ciascuna classe veicolare, le matrici di domanda sono state espresse in veicoli equivalenti, considerando l'ingombro di ciascun veicolo commerciale leggero pari a 1,5 volte quello di un veicolo leggero, e l'ingombro di un veicolo pesante pari a 2 volte quello di un veicolo leggero.

4.5 L'interazione tra domanda ed offerta

4.5.1 Algoritmo di assegnazione

Il modello di simulazione della scelta del percorso utilizza specifici algoritmi per calcolare i percorsi degli utenti sul grafo di offerta, e quindi i volumi sui singoli archi della rete stradale.

L'algoritmo di assegnazione permette di simulare il comportamento degli automobilisti, che sono portati a scegliere l'itinerario del viaggio minimizzando il costo generalizzato del trasporto, cioè la lunghezza dell'itinerario, il tempo di viaggio e gli eventuali costi monetari. La lunghezza ed i costi monetari dipendono esclusivamente dalle caratteristiche della rete stradale, il tempo di viaggio è invece influenzato dalle condizioni di deflusso della rete nel momento in cui l'automobilista si trova ad effettuare lo spostamento.

La procedura di assegnazione è basata sull'Equilibrio dell'Utente. I valori di domanda, tra ogni origine ed ogni destinazione, sono caricati sulla rete per ricercare i percorsi con impedenza inferiore e quindi risolve il problema di ottimizzazione per bilanciare i flussi sui nuovi itinerari, tramite l'utilizzo dell'algoritmo GP per la ricerca del punto di minimo della funzione, per definizione convessa, soggetta a vincoli lineari. Questa procedura di risoluzione sottintende l'ipotesi che gli utenti conoscano perfettamente lo stato del traffico sulla rete e decidano di conseguenza l'itinerario migliore: all'equilibrio, tutti i cammini utilizzati hanno lo stesso costo.

Per ogni percorso disponibile su ciascuna relazione Origine-Destinazione viene calcolato il valore della funzione di costo generalizzato, che è sinteticamente espressa da:

$$C_g = T \cdot VoT + D \cdot VOC + C_t$$

dove:

- C_g -> rappresenta il costo generalizzato;
- T -> rappresenta il tempo di percorrenza;
- VoT -> rappresenta il valore monetario del tempo;
- D -> rappresenta la distanza di viaggio;
- VOC -> rappresenta il costo operativo;
- C_t -> rappresenta l'eventuale pedaggio.

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

Nel modello costruito, il costo generalizzato di viaggio è stato calcolato considerando il costo del tempo di viaggio, i costi operativi e l'eventuale pedaggio.

Il tempo necessario a percorrere il singolo arco nelle condizioni di carico veicolare viene determinato utilizzando una funzione di capacity-restraint (funzione CR), che descrive la relazione tra flusso e capacità di una strada; in particolare in questo modello sono state utilizzate le formule del Bureau of Public Roads (note come funzioni BPR), la cui formulazione è riportata di seguito:

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

dove q_i rappresenta il flusso di ogni segmento i di domanda.

Il tempo di percorrenza viene calcolato per ogni arco con la formula seguente:

$$t_{corr} = t_0 \cdot \left(1 + \alpha \left(\frac{q}{q_{max}} \right)^\beta \right)$$

dove:

- t_{corr} rappresenta il tempo di percorrenza a rete carica calcolato durante la simulazione (all'iterazione corrente);
- t_0 rappresenta il tempo di percorrenza con la rete scarica;
- q_{max} rappresenta la capacità dell'arco stradale;
- α , β sono i parametri caratteristici che variano con la tipologia degli archi. Ad ogni classe funzionale degli archi del grafo sono stati associati valori specifici dei coefficienti α , β .

4.5.2 Valore del tempo e costi operative

Per la determinazione del Valore del Tempo (VoT) relativo ai veicoli leggeri (L), ci si è avvalsi dell'esperienza acquisita in numerosi studi effettuati in Italia. Inoltre, l'affinamento del valore del tempo utilizzato nel modello è stato determinato in sede di calibrazione, anche sulla base dei flussi osservati sulla rete autostradale e sulle alternative stradali non a pedaggio.

I costi unitari chilometrici per i veicoli L sono stati definiti sulla base dei costi operativi pubblicati nella banca dati Aci, utilizzando la media di modelli di autovetture considerate rappresentative della flotta circolante. Per i veicoli commerciali (CL+CP), si è invece fatto riferimento alla pubblicazione del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti in merito ai costi dell'autotrasporto. I costi percepiti includono il solo carburante per i veicoli L ed

anche manutenzione e pneumatici per i veicoli CL+CP. I costi per i veicoli CL+CP (inclusi i pedaggi autostradali) sono considerati al netto dell'IVA.

Tabella 4.2 - Valore del tempo e Costi Operativi percepiti per le diverse classi di veicoli

Classe veicolare	Valore del Tempo [€/h]	Costo Operativo Percepito [€/km]
Leggeri (Cl. A)	11	0,08
Commerciali Leggeri (Cl. B)	13	0,12
Commerciali Pesanti (Cl. 3, 4, 5)	20	0,24

Il Valore del Tempo è adeguato con dei coefficienti di crescita per tutti gli orizzonti temporali di simulazione, in base al PIL pro-capite con elasticità variabile, al fine di rappresentare l'aumento dei redditi e della propensione alla spesa. La variabilità dell'elasticità e la previsione di crescita del PIL pro-capite sono forniti dalla committenza e riportati nella tabella seguente. I costi operativi sono invece considerati costanti in tutti gli orizzonti temporali.

Tabella 4.3 - Variazione del VOT nei vari scenari di simulazione

Orizzonte temporale	GDPpc trend	Elasticità (GDP.pc)	VOT
Anno di riferimento	100		
2025	107	0.50	3.5%
2035	115	0.40	6.3%
2040	118	0.30	7.1%

4.5.3 Validazione del modello

Il modello si ritiene validato quando – in seguito al processo di calibrazione, ovvero di iterativa modifica dei dati di input – i risultati delle simulazioni dello stato di fatto ricostruiscono con buona approssimazione i dati di traffico rilevati. Nel caso in esame, sono stati utilizzati nel processo di calibrazione i dati di traffico relativi alle sezioni di rilievo rappresentate nelle figure seguenti. Essi rappresentano un'opportuna selezione dell'ampia base dati descritta al capitolo precedente.

La validazione dei flussi veicolari simulati rispetto a quelli osservati è effettuata utilizzando quali parametri statistici il coefficiente di correlazione R2, che fornisce una misura della dipendenza tra le due variabili, e l'indice GEH:

$$GEH = \sqrt{\frac{(\text{flusso_simulato} - \text{flusso_osservato})^2}{(\text{flusso_simulato} + \text{flusso_osservato}) * 0.5}}$$

Per quanto riguarda l'indice R2, la letteratura e la prassi di settore indica come soddisfacenti valori superiori a 0.85, mentre per quanto riguarda l'indice GEH, ai fini della validazione del modello, si richiede che la quasi totalità dei flussi presentino un valore di GEH inferiore a 9, e che almeno l'80% dei flussi abbia un valore inferiore a 5.

In ragione della complessità dell'ambito territoriale e della rete stradale di studio, la validazione del modello è stata effettuata su più livelli, focalizzandosi non solo sul rispetto generale dei parametri statistici per l'insieme dei conteggi a disposizione, ma anche a livello di sottogruppo di conteggi (per tipologia funzionale di rete stradale e classe veicolare).

La prima fase di validazione ha riguardato quindi i dati su scala globale, ovvero quelli relativi ai rilievi effettuati su tutto il territorio interessato dagli interventi precedentemente descritti nella provincia di Firenze.

La fase successiva di validazione ha invece interessato i dati delle aree limitrofe all'aeroporto, fornendo risultati di maggior dettaglio. In Figura 4.3 sono riportati evidenziati i tratti autostradali e della viabilità ordinaria sottoposti a rilievo di traffico. L'area interessata dall'ampliamento dell'aeroporto Amerigo Vespucci è evidenziata in bianco per una maggiore chiarezza dell'area e dei rilievi presenti nelle zone limitrofe.

Si è resa necessaria una doppia validazione dal momento che anche la correzione della matrice è stata effettuata in fasi successive: l'utilizzo di dati di epoche temporali successive, ma con un diverso livello di copertura spaziale dell'area di analisi, non permette infatti un processo di correzione (matrix estimation) rigoroso.

La tabella seguente illustra, separatamente per ciascuna classe veicolare stradale, la quota di conteggi e la percentuale degli stessi per cui il GEH risulta inferiore a 5. In questo caso, premettendo che tutte le postazioni registrano GEH<9, si ritiene accettabile anche un insieme minore dell'80% avente un valore di GEH<5, data la variabilità dei valori di calibrazione in origine.

Tabella 4.4 - Validazione del modello sui flussi di traffico (% GEH<5)

Classe strada	Numero conteggi	% Dati validati (GEH < 5)			
		Auto	Leggeri	Pesanti	Totale
Rete secondaria - auto	31	70.97%	-	-	70.97%
Rete secondaria – commerciali leggeri/pesanti	29	-	96.6%	96.6%	96.6%

Di seguito per ogni arco stradale oggetto di rilievo si riporta il GEH totale e disaggregato per tipologia veicolare.

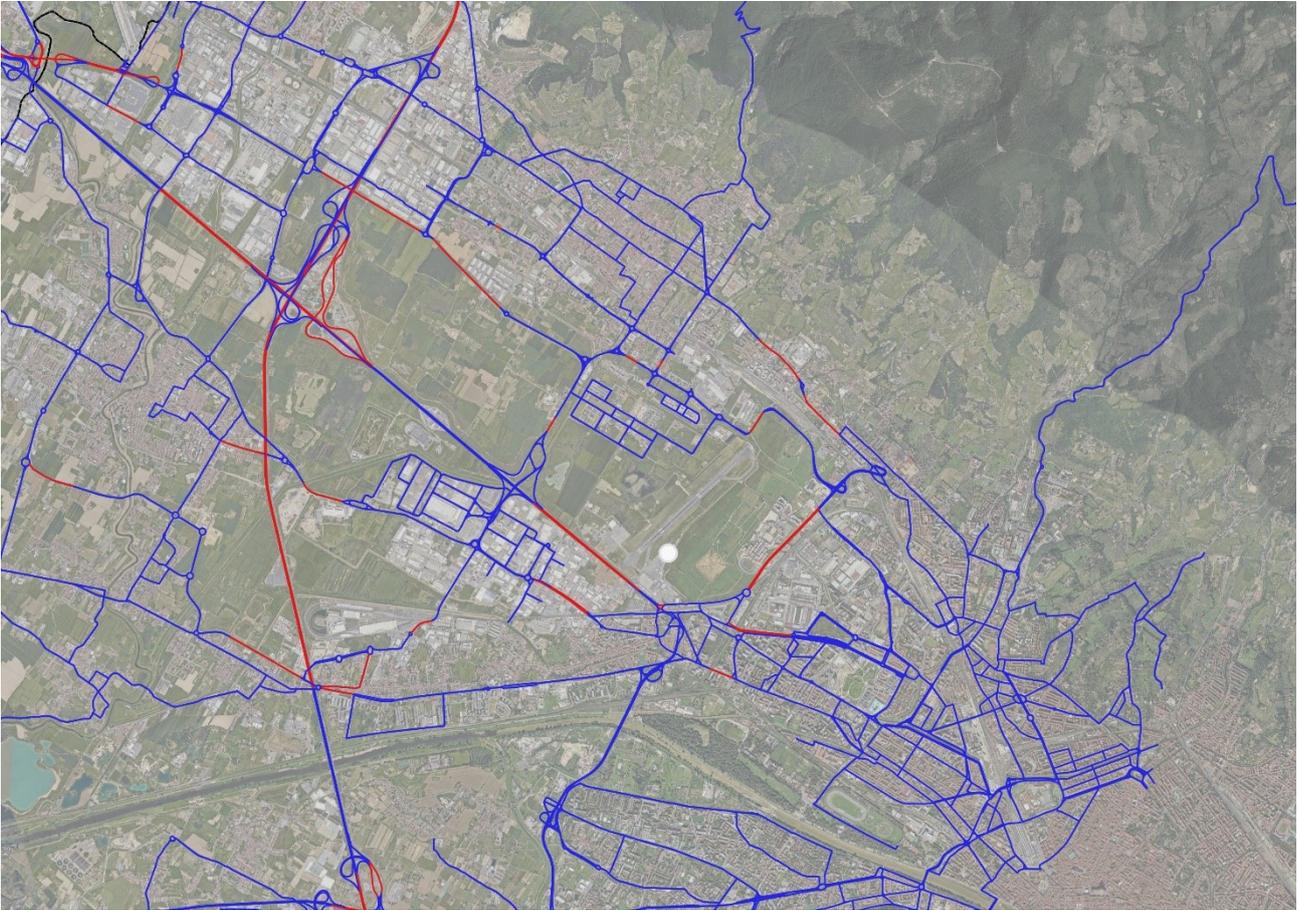


Figura 4.3 - Mappa dei rilievi effettuati nell'area interessata

Tabella 4.5 - Validazione del modello sui flussi di traffico (% GEH<5)

id	Rete	OBS_Auto	OBS_C Leg	OBS_C Pes	OBS_Tot	MOD_Auto	MOD_C Leg	MOD_C Pes	MOD_Tot	GEH_Auto	GEH_C Leg	GEH_C Pes	GEH_TOT
1760	Rete ordinaria	943	214	159	1316	836.86	207.36	152.53	1196.76	3.56	0.46	0.52	4.53
1761	Rete ordinaria	1564	178	74	1816	1540.73	161.33	71.82	1773.88	0.59	1.28	0.26	2.13
600320	Rete ordinaria	1447	246	63	1756	1665.03	271.29	66.15	2002.47	5.53	1.57	0.39	7.49
600481	Rete ordinaria	828	102	30	960	801.52	109.03	29.38	939.94	0.93	0.68	0.11	1.73
600482	Rete ordinaria	536	109	22	667	681.25	115.66	44.16	841.07	5.89	0.63	3.85	10.37
600541	Rete ordinaria	112	22	5	139	131.82	3.40	2.27	137.49	1.80	5.22	1.43	8.45
600542	Rete ordinaria	179	16	2	197	175.97	14.78	5.94	196.69	0.23	0.31	1.98	2.52
601123	Rete ordinaria	1043	221	175	1439	1283.62	228.60	169.76	1681.98	7.05	0.51	0.40	7.96
601165	Rete ordinaria	1646	263	78	1987	1846.81	264.98	102.43	2214.21	4.81	0.12	2.57	7.50
601548	Rete ordinaria	1754	156	79	1989	1491.27	155.93	56.49	1703.69	6.52	0.01	2.74	9.26
601602	Rete ordinaria	836	44	21	901	835.75	59.45	42.56	937.76	0.01	2.15	3.82	5.98
601645	Rete ordinaria	1345	180	95	1620	1532.07	176.36	100.68	1809.10	4.93	0.27	0.57	5.78
601656	Rete ordinaria	758	67	27	852	752.04	68.53	24.26	844.83	0.22	0.19	0.54	0.94
601744	Rete ordinaria	539	69	48	656	437.72	64.99	42.55	545.26	4.58	0.49	0.81	5.88
601757	Rete ordinaria	479	63	26	568	365.77	42.36	11.32	419.45	5.51	2.84	3.40	11.75
601758	Rete ordinaria	351	52	47	450	325.27	55.66	36.33	417.26	1.40	0.50	1.65	3.55
601759	Rete ordinaria	251	45	31	327	184.17	52.99	29.68	266.84	4.53	1.14	0.24	5.91
601915	Rete ordinaria	1303	239	89	1631	1061.05	214.49	89.28	1364.82	7.04	1.63	0.03	8.70
602510	Rete ordinaria	386	32	22	440	500.60	46.62	39.41	586.63	5.44	2.33	3.14	10.92
602512	Rete ordinaria	590	54	7	651	559.82	52.52	7.82	620.16	1.26	0.20	0.30	1.76
602636	Rete ordinaria	207	12	15	234	255.01	0.97	0.71	256.69	3.16	4.33	5.10	12.59
602637	Rete ordinaria	39	36	14	89	69.65	15.92	5.05	90.63	4.16	3.94	2.90	11.00
602644	Rete ordinaria	327	83	65	475	388.85	93.40	83.37	565.62	3.27	1.11	2.13	6.51
602712	Rete ordinaria	170			170	87.71			87.71	7.25			7.25
602713	Rete ordinaria	267	34	27	328	371.51	41.87	29.71	443.09	5.85	1.28	2.42	9.55
602765	Rete ordinaria	443	57	6	506	454.07	60.16	6.13	520.36	0.52	0.41	0.16	1.10
602766	Rete ordinaria	540	68	6	614	539.61	69.04	3.91	612.56	0.02	0.13	0.41	0.55
1500043	Rete ordinaria	1078			1078	1083.82			1083.82	0.18			0.18
1500045	Rete ordinaria	1138	245	189	1572	1101.16	237.72	183.34	1522.21	1.10	0.47	0.41	1.98
1500048	Rete ordinaria	1691	185	108	1984	1717.31	191.68	102.63	2011.63	0.64	0.49	0.52	1.65
1500050	Rete ordinaria	1523	209	107	1839	1531.96	206.63	106.97	1845.56	0.23	0.16	0.00	0.40

I grafici che seguono mostrano la correlazione tra flussi simulati ed osservati sull'insieme dei 31 conteggi distinti in auto, commerciali leggeri e commerciali pesanti: il coefficiente di correlazione è superiore all'85% definito quale target di validazione del modello.

Nelle figure sottostanti si riportano i confronti dei volumi di traffico assegnati sugli archi per ogni classe veicolare con i valori rilevati nelle stesse sezioni; i punti di rilievo sulla rete sono 31 per le auto, e 29 per i commerciali leggeri e commerciali pesanti.

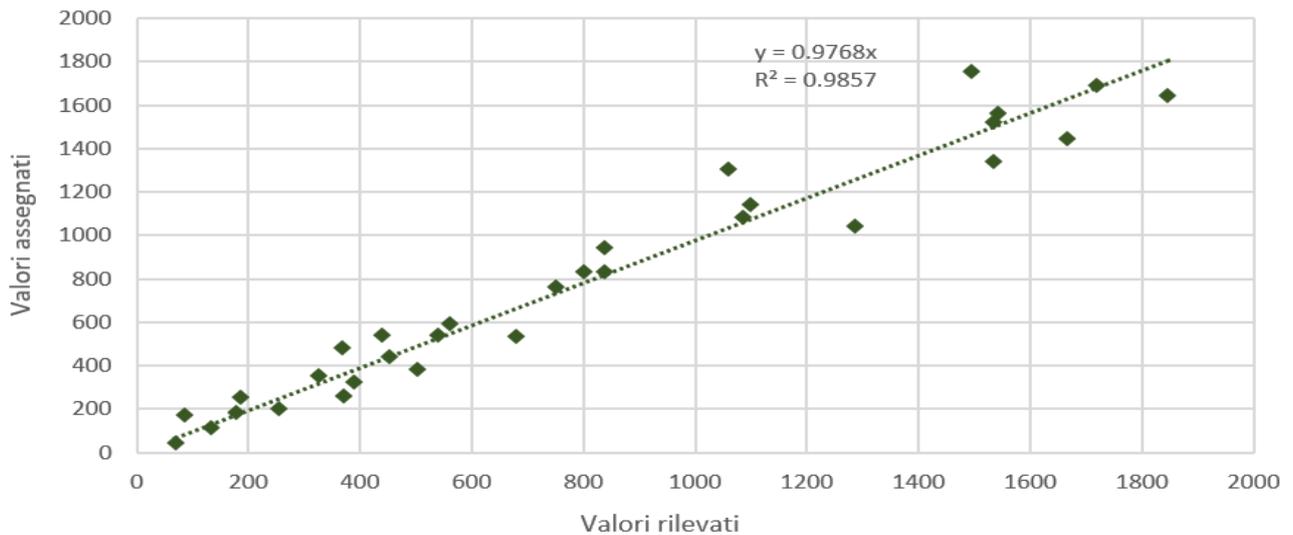


Figura 4.4 - Grafico di correlazione tra flussi simulati e misurati, veicoli auto

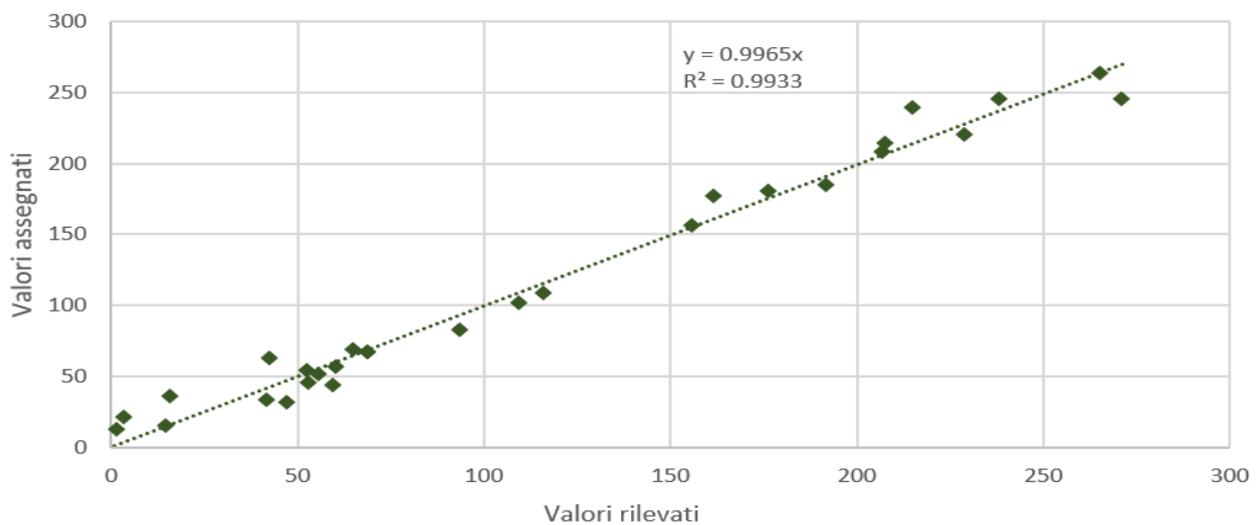


Figura 4.5 - Grafico di correlazione tra flussi simulati e misurati, commerciali leggeri

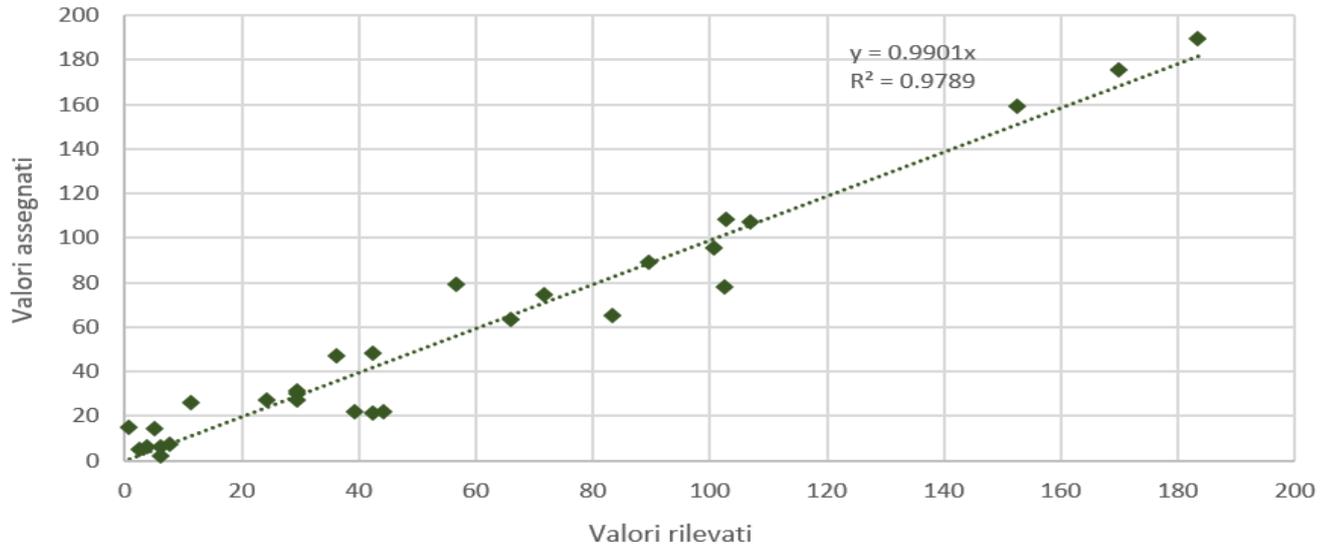


Figura 4.6 - Grafico di correlazione tra flussi simulati e misurati, commerciali pesanti

5 Scenari di simulazione

5.1 Gli scenari di simulazione

Lo scenario di calibrazione è rappresentato dall'anno base 2016, mentre gli scenari futuri si riferiscono all'orizzonte temporale 2035.

Gli scenari futuri analizzati risultano dalla diversa combinazione dell'assetto della rete infrastrutturale (quadro programmatico) e dell'evoluzione della domanda di trasporto su strada.

Gli scenari simulati sono quindi tre:

- lo scenario di calibrazione al 2016 implementato con la domanda di mobilità attuale (2016) e la rete stradale attuale (2016);
- lo scenario programmatico o di riferimento (2035) implementato con la domanda di mobilità prevista per gli anni futuri (2035) e la rete stradale programmatica;
- lo scenario progettuale (2035) implementato con la domanda di mobilità prevista per gli anni futuri (2035) e la rete stradale programmatica potenziata dagli interventi inclusi nello scenario di progetto.

Nell'elaborazione delle simulazioni presentate è stato ipotizzato che le relazioni origine-destinazione attivate non subiscano variazioni tra scenario programmatico e progettuale.

In sintesi, si ha:

- Attuale 2016
- Programmatico 2035
- Progettuale 2035

5.2 Evoluzione del quadro infrastrutturale generale

Gli interventi infrastrutturali previsti negli scenari di simulazione sono elencati e descritti nel paragrafo 2.2, con l'indicazione dell'orizzonte temporale del 2035 rispetto al quale si può ipotizzarne la presenza in esercizio.

La tabella seguente riassume gli interventi considerati.

Tabella 5.1 - Interventi del quadro programmatico – scenario di riferimento

Progetti e interventi del quadro programmatico	2035
Completamento Mezzana Perfetti-Ricasoli	
Lotto 5B	X
Lotto 6	X
Bretella Lastra a Signa - Indicatore (SR66-SR325)	X
Circonvallazione centro abitato Signa	X
Nuova Lucchese	X
Prolungamento "circonvallazione sud" Campi Bisenzio	X
Prolungamento della via Aldo Moro (Asse delle Industrie) verso Campi Bisenzio attestandosi sulla rotonda di via Barberinese/SP8/via dei Confini	X
Modifica della viabilità di collegamento tra lo svincolo A11 "Sesto" e Aeroporto	X
Organizzazione della viabilità del Sottovia del Sodo	X
Realizzazione del cappio di immissione della Rosselli – Pistoiese su Viale Rosselli	X
Realizzazione della nuova via delle Piagge	X
Modifica della viabilità su Rosselli Pistoiese	X

6 Risultati della macrosimulazione

La rete di offerta è stata modellizzata attraverso la definizione di tre grafi, composti da un insieme di archi e nodi opportunamente estratti della rete stradale e corrispondenti agli scenari analizzati:

- a) il grafo dello scenario attuale 2016;
- b) il grafo dello scenario programmatico 2035 il quale include tutti gli interventi programmatici indicati in Tabella 2.1.;
- c) il grafo dello scenario progettuale 2035 che include sia gli interventi programmatici che quelli relativi all'espansione dell'aeroporto Amerigo Vespucci.

Nelle figure seguenti sono quindi riportati i flussogrammi relativi alle zone limitrofe all'area di intervento, risultanti dall'assegnazione della domanda nel modello macro negli scenari analizzati, l'area oggetto dell'espansione aeroportuale è evidenziata attraverso un centroide azzurro. I flussi veicolari totali sono rappresentati da barre il cui spessore è proporzionale al numero di veicoli che occupano la sezione nel periodo di simulazione di un'ora, presentando una panoramica dei vari scenari simulati. I colori sono invece rappresentativi dello stato di deflusso della strada, definiti come rapporto tra flusso simulato e capacità dell'arco.

Il risultato, pur non considerando gli effetti dovuti alle interazioni tra i veicoli tipici - ad esempio- dei tronchi di scambio, né le impedenze dovute alla presenza di intersezioni semaforizzate o comunque regolate tramite precedenza, evidenzia chiaramente come allo stato attuale la capacità disponibile non sempre soddisfa la domanda. Nello scenario progettuale e in quello di riferimento, l'aumento di capacità della tratta autostradale permette ad un maggior volume di veicoli di raggiungere l'area, ottenendo comunque livelli di saturazione inferiori allo scenario attuale. Tali osservazioni permangono anche in considerazione dell'incremento della domanda nello scenario di progetto dovuta all'espansione aeroportuale, fornendo adeguate condizioni di deflusso nei tratti principalmente collegati con l'area di interesse.

In Figura 6.7 è riportata una panoramica delle variazioni percentuali dei flussi simulati tra scenario di riferimento e scenario di progetto. I risultati ottenuti sono riportati in un diagramma rosso-verde, dove gli archi hanno spessore proporzionale alla differenza assoluta tra i due scenari oggetto di confronto e la colorazione è rossa in caso di aumento di traffico o verde in caso di diminuzione. In bianco sono inoltre rappresentati gli archi per i quali la differenza tra la domanda allo stato di progetto e allo stato attuale rimane pressoché invariata. Oscillazioni comprese tra il $\pm 5\%$ rientrano nei margini delle normali variazioni quotidiane e sono ritenute trascurabili. Si osservano incrementi del volume veicolare superiori al 20 % tra scenario di

riferimento e scenario di progetto; a fronte di questo incremento, non si prevede però il verificarsi di fenomeni di congestione sulla rete stradale autostradale e ordinaria direttamente collegata all'area di progetto, poiché la capacità risulta non impiegata completamente dalla domanda di traffico.

6.1 Stima dei volumi di traffico nel giorno medio annuo

Il modello di traffico consente di stimare i volumi di traffico sugli archi della rete stradale nell'ora di punta del periodo di simulazione. Tuttavia, per la valutazione degli effetti del progetto, tanto ai fini dell'analisi costi-benefici quanto per gli effetti ambientali, è rilevante stimare i volumi sulla rete anche con riferimento al giorno medio annuo.

La stima del traffico del giorno medio annuo, a partire dai flussi in ora di punta, è stata effettuata analizzando innanzitutto l'incidenza dell'ora di punta sul traffico giornaliero medio annuo sulla rete di studio.

Sono stati stimati specifici coefficienti di espansione temporale (CET), con riferimento alle categorie veicolari e distinguendo fra rete autostradale, e rete ordinaria:

- I CET per le tratte autostradali sono stati definiti in modo da tener conto dell'effettivo traffico annuo, a partire dai dati di traffico disponibili per tutto l'anno di riferimento (2016);
- i CET per la rete ordinaria sono definiti sulla base dei flussi osservati sulle postazioni di rilievo disponibili.

L'applicazione di tali coefficienti di espansione (distinti per tipologia di veicolo e tipo di strada) permette di ricavare il comportamento nella fascia diurna (06:00 – 22:00) e nella fascia notturna (22:00 – 06:00). In Tabella 6.1 sono riportati i coefficienti di espansione temporale presentati per categoria veicolare e classe di appartenenza dell'arco secondo la classificazione OSM.

Tabella 6.1 - Coefficienti di espansione temporale per classe stradale

Coefficienti di espansione temporale						
Diurno auto	Diurno leggeri	Diurno pesanti	Notturmo auto	Notturmo leggeri	Notturmo pesanti	Rete stradale
11.215	11.215	12.044	0.692	0.692	1.89	Autostradale
11.215	11.215	12.044	0.692	0.692	1.89	Principale
11.84	13.8	10.922	1.165	0.89	0.422	Primaria
11.84	13.8	10.922	1.165	0.89	0.422	Secondaria
11.84	13.8	10.922	1.165	0.89	0.422	Terziaria
11.84	13.8	10.922	1.165	0.89	0.422	Locale
11.215	11.215	12.044	0.692	0.692	1.89	Rampe

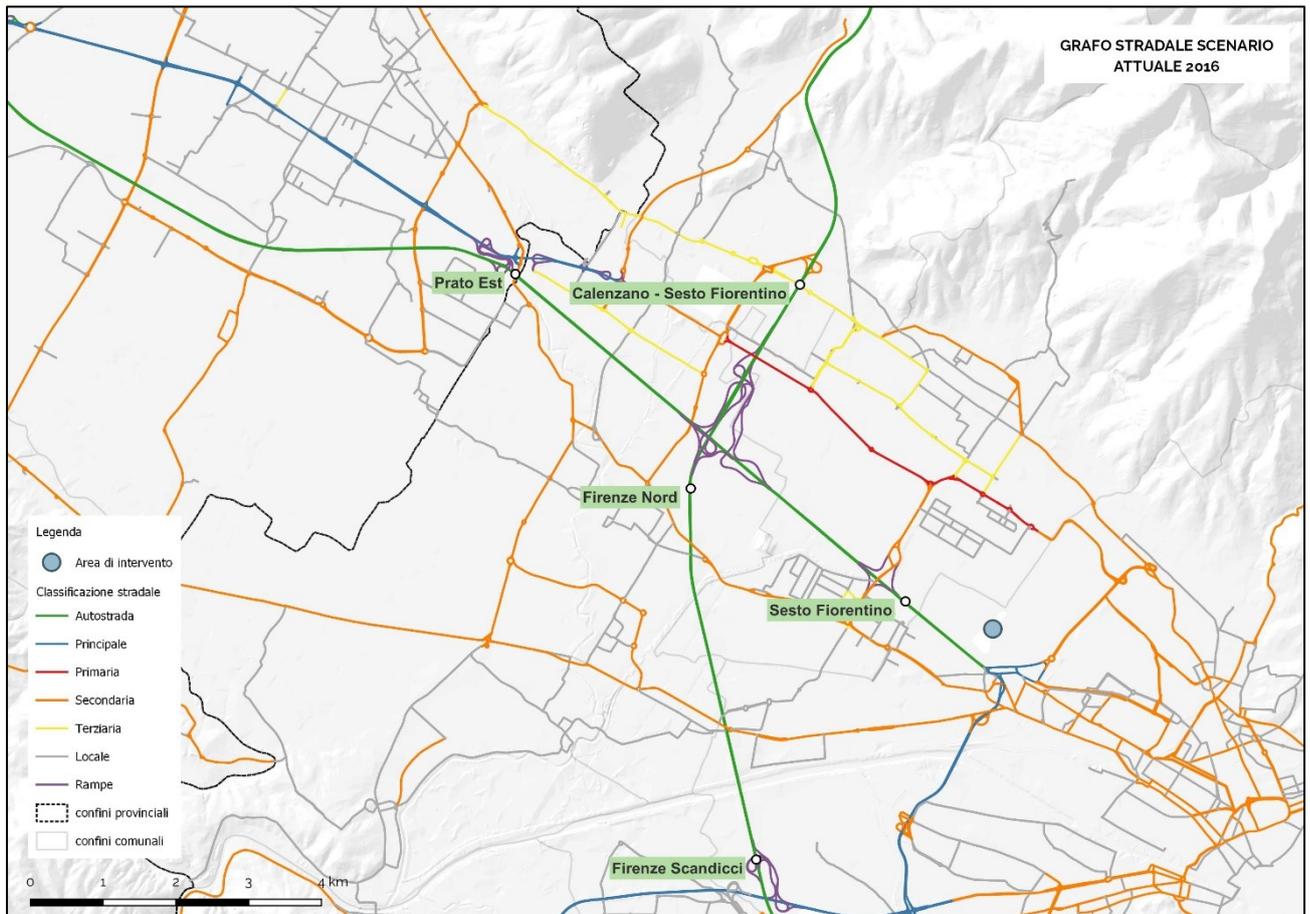


Figura 6.1 - rete di offerta: grafo stradale relativo al modello macro - scenario attuale 2016

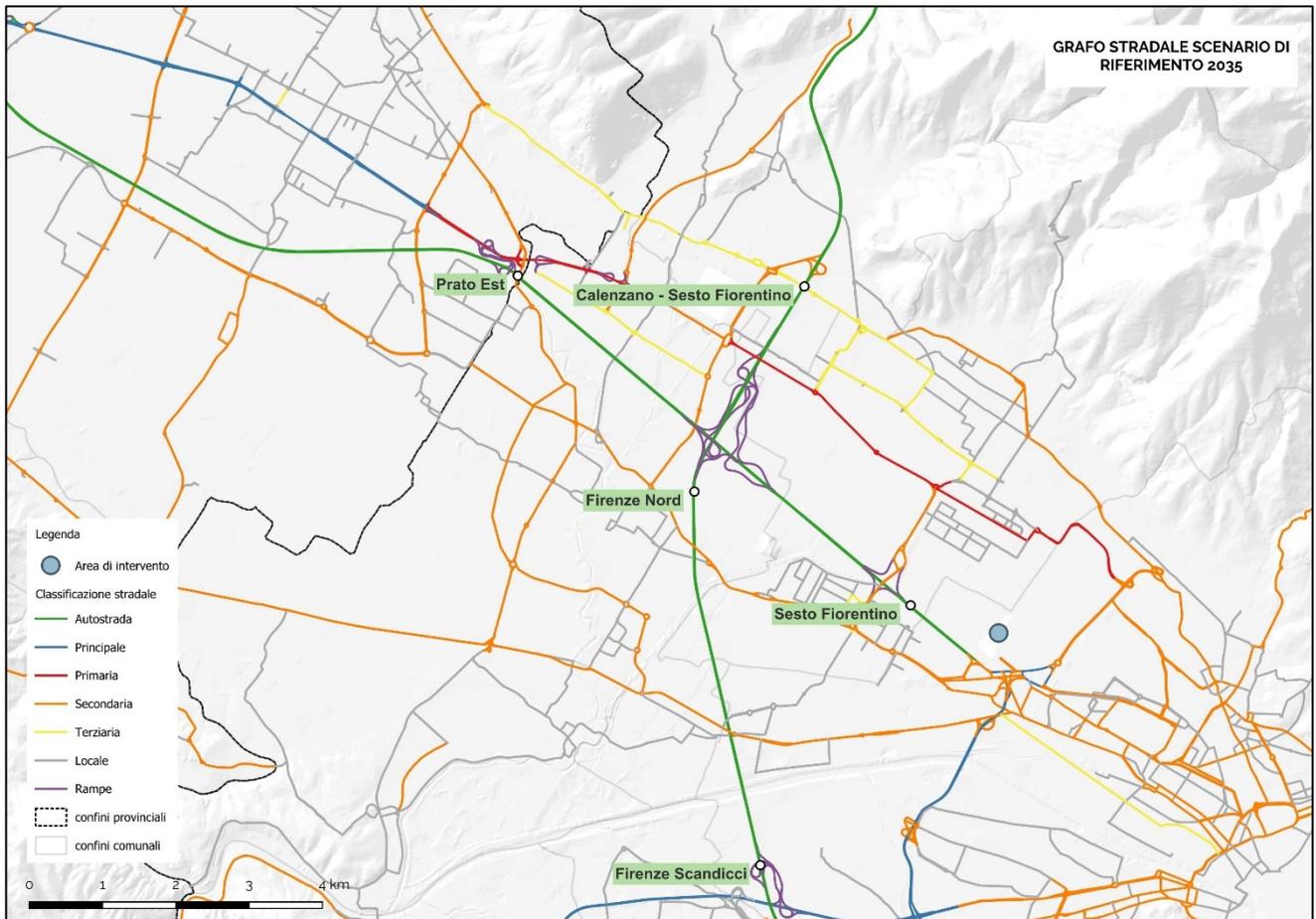


Figura 6.2 - Rete di offerta: grafo stradale relativo al modello macro - scenario di riferimento 2035

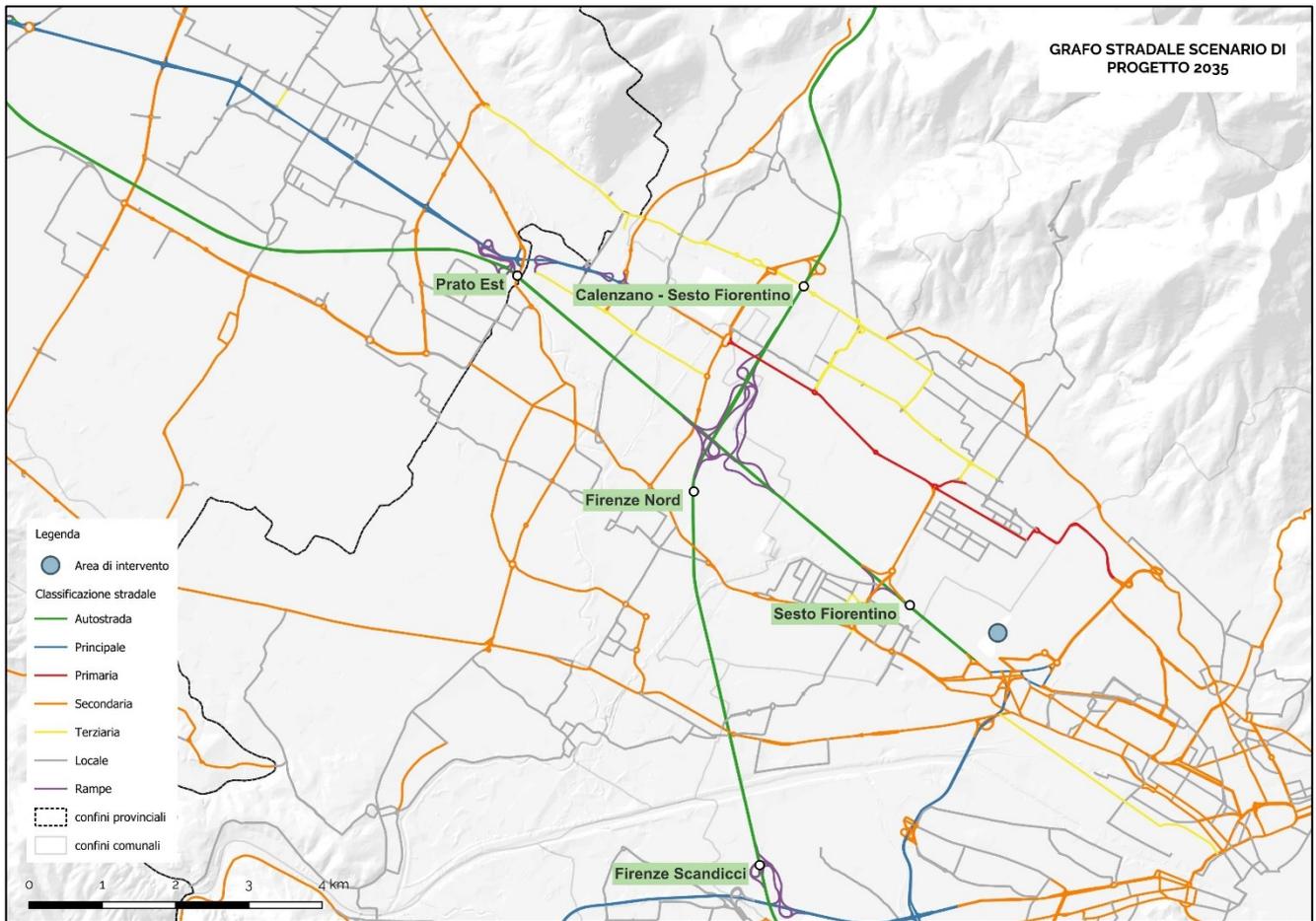


Figura 6.3 - rete di offerta: grafo stradale relativo al modello macro - scenario di progetto 2035

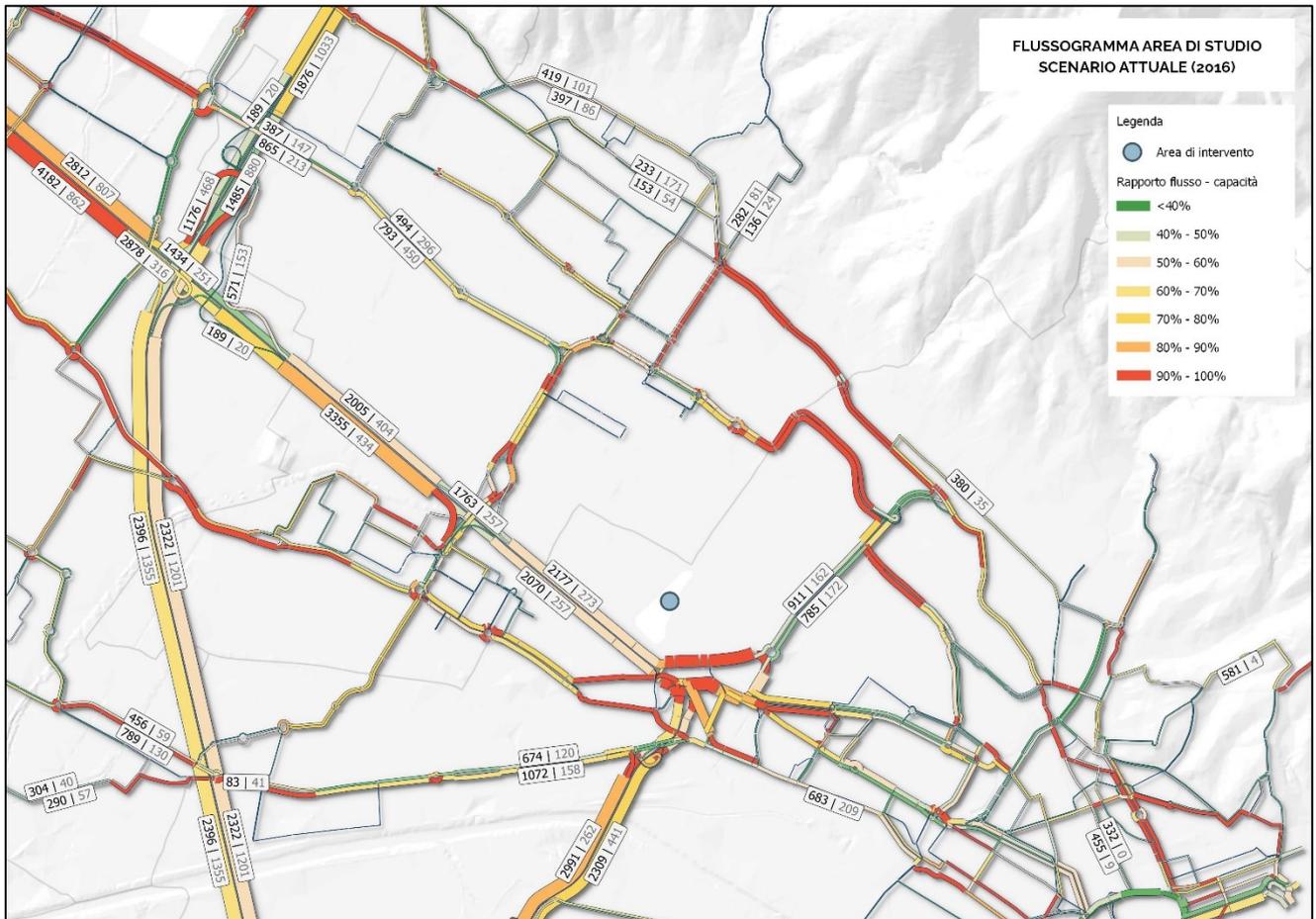


Figura 6.4 - Scenario attuale 2023: flussogramma da macro-modello

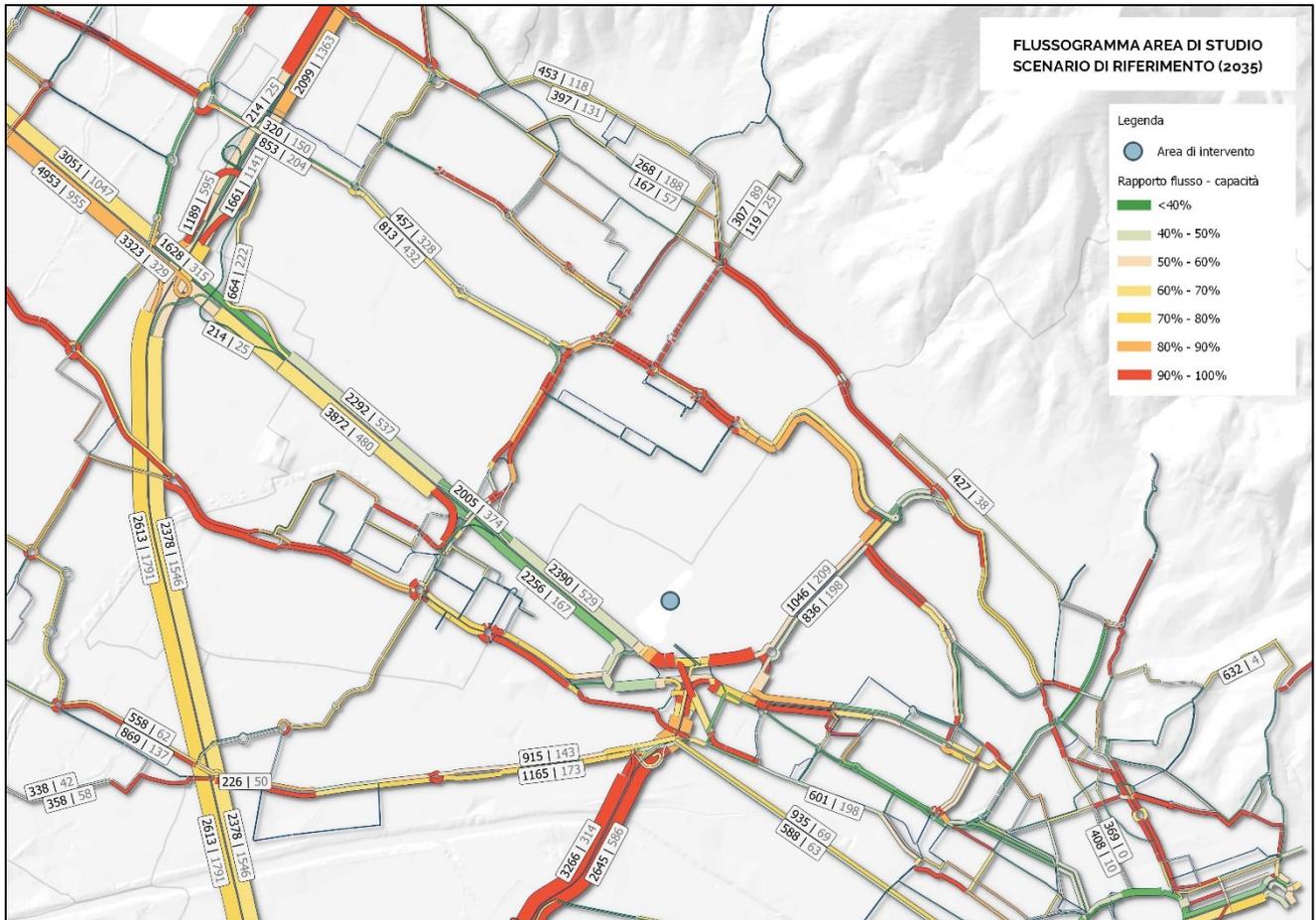


Figura 6.5 - Scenario programmatico 2035: flussogramma da macro-modello

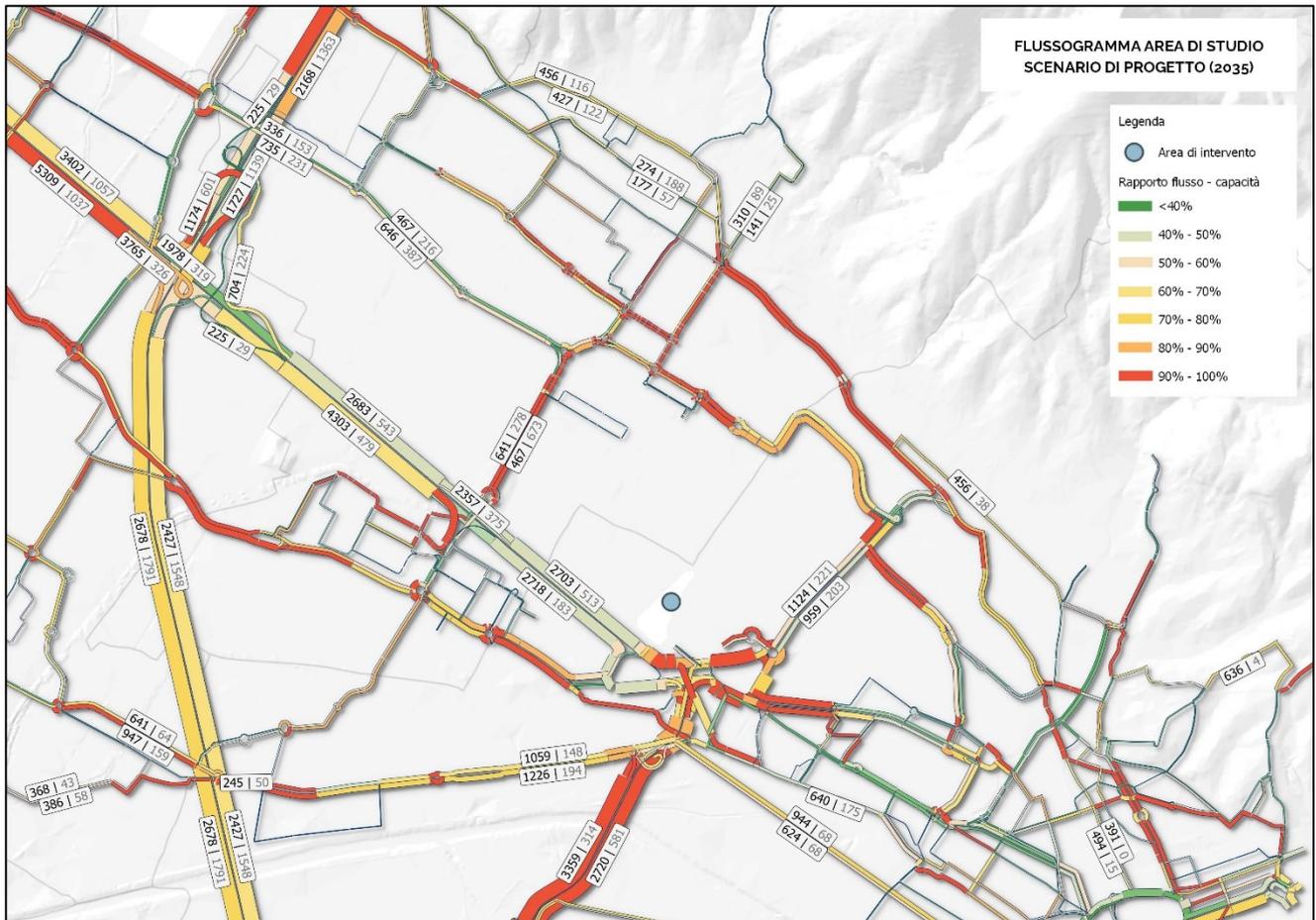


Figura 6.6 - Scenario progettuale 2035: flussogramma da macro-modello

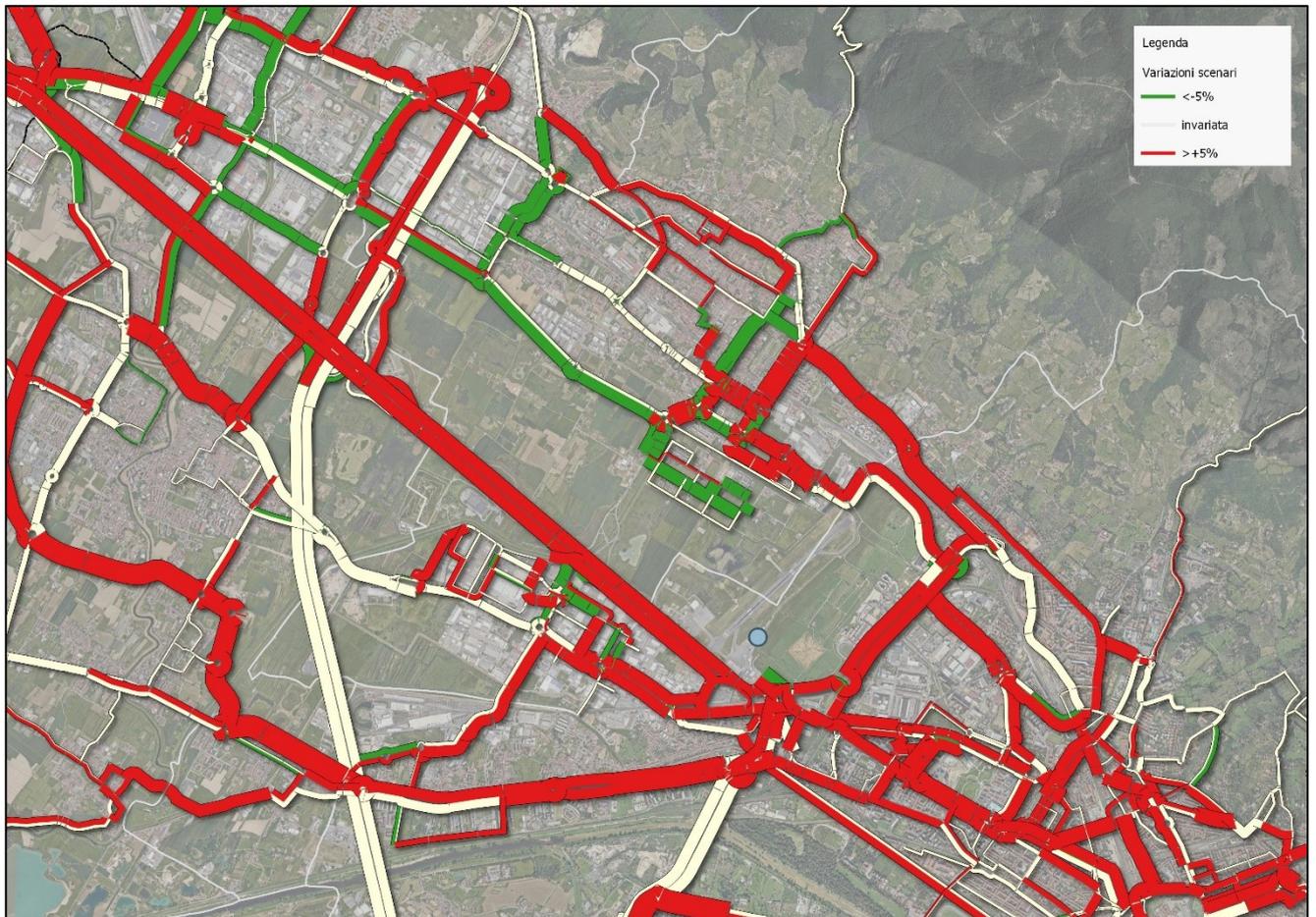


Figura 6.7 - Variazioni percentuali scenario di riferimento 2035 – scenario di progetto 2035

7 Sintesi e conclusioni

Il presente Studio di Traffico è stato redatto per valutare l'impatto trasportistico relativo alla riqualificazione dello scalo aeroportuale di Firenze Amerigo Vespucci prevista dalla Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale (Masterplan) 2035, ed ha come scopo principale l'analisi dei flussi di traffico indotti dall'aumento dell'utenza sull'asse autostradale e sulla viabilità principale nell'area di intervento.

Le analisi svolte e gli scenari simulati sono stati sviluppati a partire dal quadro pianificatorio e programmatico degli interventi stradali, sintetizzato nella seguente tabella dove, rispetto all'orizzonte temporale del 2035, sono riportati gli interventi considerati nella rete stradale programmatica.

Tabella 7.1 - Interventi del quadro programmatico

Progetti e interventi del quadro programmatico	2035
Completamento Mezzana Perfetti-Ricasoli	
Lotto 5B	X
Lotto 6	X
Bretella Lastra a Signa - Indicatore (SR66-SR325)	X
Circonvallazione centro abitato Signa	X
Nuova Lucchese	X
Prolungamento "circonvallazione sud" Campi Bisenzio	X
Prolungamento della via Aldo Moro (Asse delle Industrie) verso Campi Bisenzio attestandosi sulla rotatoria di via Barberinese/SP8/via dei Confini	X
Organizzazione della viabilità del Sottovia del Sodo	X
Realizzazione del cappio di immissione della Rosselli – Pistoiese su Viale Rosselli	X
Realizzazione della nuova via delle Piagge	X
Modifica della viabilità su Rosselli Pistoiese	X

Lo studio implementa un modello di simulazione del traffico privato, suddiviso per categorie veicolari, fornendo risultati all'orizzonte temporale di medio periodo (2035) utilizzando i dati simulati relativi all'area dell'aeroporto Amerigo Vespucci e del suo ampliamento.

Le analisi trasportistiche effettuate hanno riguardato l'ora di punta 08:00 – 09:00 di un giorno ferialo medio del periodo scolastico neutro (cioè esclusi gennaio, luglio ed agosto), come anno di base per le valutazioni è stato scelto il 2016 per la disponibilità dei dati di calibrazione.

Le analisi sono state effettuate a livello strategico tramite l'ausilio di un macromodello di simulazione del traffico veicolare, che ha permesso di ricostruire la domanda di traffico nell'area in riferimento all'ora di punta del periodo di simulazione. La stima dei coefficienti di espansione temporale (CET) ha permesso quindi la valutazione del comportamento dei flussi veicolari nelle fasce diurne (06:00 – 22:00) e notturne (22:00 – 06:00), con riferimento al giorno medio annuo, necessari per le analisi ambientali di larga scala.

Dalle simulazioni effettuate tramite l'applicazione del modello ai diversi scenari di analisi, si rileva un miglioramento localizzato delle prestazioni di rete nello scenario progettuale e programmatico rispetto a quelle ottenute per lo scenario attuale, principalmente dovute al potenziamento del tratto autostradale dell'A11 direttamente collegato all'area aeroportuale. L'aumento della capacità della tratta citata permette infatti a un maggior numero di veicoli di transitare nel tratto, mantenendo livelli di saturazione comunque inferiori a quelli ottenuti nello scenario attuale e velocità di percorrenza non critiche. La presenza di un incremento sostanziale della domanda veicolare diretta allo scalo aeroportuale, pur comportando variazioni percentuali dei flussi di entità non trascurabile, non comporta la formazione di fenomeni di congestione sui tratti stradali della rete autostradale e ordinaria direttamente collegati con l'area aeroportuale ed è quindi assorbibile da parte della rete stessa.

Si verificano inoltre alcune localizzate diminuzioni di traffico dovute principalmente ad una diversa attrattività di via dell'Osmannoro.