

## AUTOSTRADA (A11) : FIRENZE-PISA NORD

### AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA DEL TRATTO FIRENZE - PISTOIA

## PROGETTO DEFINITIVO

SO - ADEGUAMENTO NODO URBANO DI PERETOLA

STUDIO DI TRAFFICO

**IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE  
SPECIALISTICA**

Ing. Massimiliano Giacobbi  
Ord. Ingg. MILANO N. 20746

RESPONSABILE UFFICIO STD

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Andrea Tanzi  
Ord. Ingg. Parma N. 1154

RESPONSABILE AREA DI PROGETTO FIRENZE

**IL DIRETTORE TECNICO**

Ing. Maurizio Torresi  
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE FUNZIONE STP

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO						DATA: MAGGIO 2011	REVISIONE			
	DIRETTORIO			FILE				n.	data		
-	codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo						
-	1	1	1	0	7	0	2	STD	2057	-	-

 <b>ingegneria europea</b>	<b>COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO</b> Ing. Luca Scarafia	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	-
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	-
CONSULENZA A CURA DI :	-	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	-

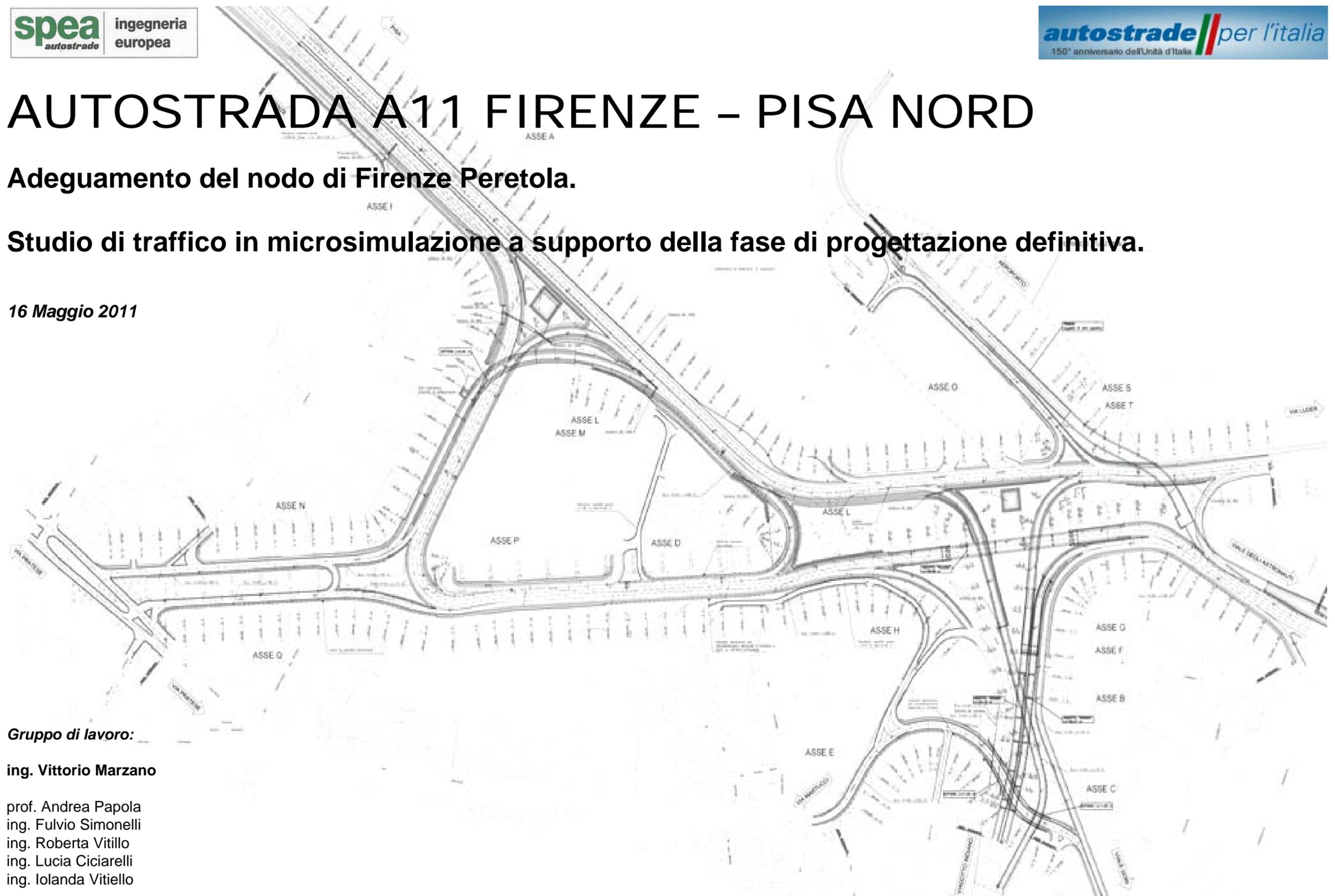
<b>VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA</b>  DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI  Ing. Alberto Selleri	<b>VISTO DEL COMMITTENTE</b>  	<b>VISTO DEL CONCEDENTE</b>  
---	---	--

# AUTOSTRADA A11 FIRENZE – PISA NORD

**Adeguamento del nodo di Firenze Peretola.**

**Studio di traffico in microsimulazione a supporto della fase di progettazione definitiva.**

*16 Maggio 2011*



**Gruppo di lavoro:**

**ing. Vittorio Marzano**

prof. Andrea Papola  
ing. Fulvio Simonelli  
ing. Roberta Vitillo  
ing. Lucia Ciciarelli  
ing. Iolanda Vitiello

# Sommario

1	Intervento di progetto e metodologia di analisi.....	3
2	Stima della domanda di mobilità e banche dati utilizzate.....	6
2.1	Il macromodello di simulazione della rete autostradale della Toscana.....	6
2.1.1	Il modello di simulazione dell'offerta di trasporto.....	6
2.1.2	Il modello di simulazione della domanda di trasporto.....	6
2.1.3	Il modello di interazione tra domanda e offerta.....	7
2.2	Conteggi di traffico a livello regionale.....	7
2.3	Conteggi di traffico nel nodo di Peretola.....	8
2.4	Correzione e validazione del modello di traffico sui dati rilevati.....	14
2.5	Evoluzione della domanda negli scenari di progetto.....	15
2.6	Input per il modello di microsimulazione.....	16
3	Modello di microsimulazione del nodo di Peretola.....	17
3.1	Modello di offerta.....	17
3.1.1	Modello topologico.....	17
3.1.2	Modello analitico di offerta.....	19
3.1.3	Validazione del modello di offerta.....	20
3.2	Modello di domanda.....	21
3.3	Modello di interazione domanda-offerta.....	21
3.4	Output della simulazione.....	21
4	Performance di servizio del nodo di Peretola.....	22
4.1	Metodologia di calcolo delle prestazioni del nodo di Peretola.....	22
4.2	Risultati.....	22
5	Conclusioni.....	35
6	Appendice: matrici o-d.....	38

# 1 Intervento di progetto e metodologia di analisi

Il presente studio di traffico si inquadra nella fase propedeutica alla progettazione definitiva dell'intervento di adeguamento del nodo di Firenze Peretola (nel seguito Peretola). Obiettivo dello studio è, in particolare, procedere ad una verifica della funzionalità della proposta di adeguamento del nodo di Peretola attraverso un modello microsimulativo, così da simulare in modo realistico e più efficace il deflusso veicolare su ciascuno dei tratti elementari della complessa geometria del nodo. La finalità è evidenziare la rispondenza dell'ipotesi di riassetto del nodo alle necessità di miglioramento del livello di servizio attuale, in termini sia di tempi di percorrenza sia di interazione tra le correnti veicolari.

L'assetto attuale del nodo di Peretola è riportato in Figura 1. In senso orario a partire da nord, i principali assi di ingresso nel nodo sono viale Guidoni, viale Gori (su cui si innestano i flussi provenienti dal viadotto Ponte all'Indiano), via Basili (su cui si innesta via Pratese) e l'innesto dell'autostrada A11 Firenze-Mare; nello stesso verso, in uscita si incontrano via Guidoni, il viadotto Ponte all'Indiano, via Palagio degli Spini e l'innesto dell'autostrada A11 Firenze-Mare. La geometria del nodo è completata da numerosi ingressi/uscite a servizio di attività locali (stazioni di servizio, parcheggi, aree industriali) nonché dell'aeroporto di Firenze Peretola. Sono anche presenti nell'area tre impianti semaforici: i primi due regolano, rispettivamente, l'intersezione tra viadotto Ponte all'Indiano e via Gori e quella tra via Luder, via Zoroastro da Peretola e la A11; il terzo, più distante, si trova lungo via Pratese all'altezza del deposito ATAF.

Le condizioni attuali di deflusso risentono sia degli elevati flussi di attraversamento nel nodo sia dell'inadeguatezza geometrico-funzionale di alcune immissioni e tratti di scambio. A tal proposito, la Figura 2 riporta il flussogramma della simulazione macroscopica del nodo con riferimento all'ora di punta del mattino del giorno feriale invernale medio, dal quale si evidenzia come già nello scenario attuale vi siano archi, come via Guidoni e la direttrice di Ponte all'Indiano, interessate da notevoli flussi orari cui corrispondono gradi di saturazione sostanzialmente non accettabili.

La scelta di effettuare la microsimulazione è dovuta al fatto che, **nell'analisi funzionale di un nodo viabilistico il grado di saturazione (principale indicatore di output del macromodello) non consente di evidenziare la qualità del regime di circolazione:** a livelli

di saturazione che su alcuni archi possono restare elevati nel progettuale, possono infatti corrispondere dei livelli di servizio fortemente migliorativi.

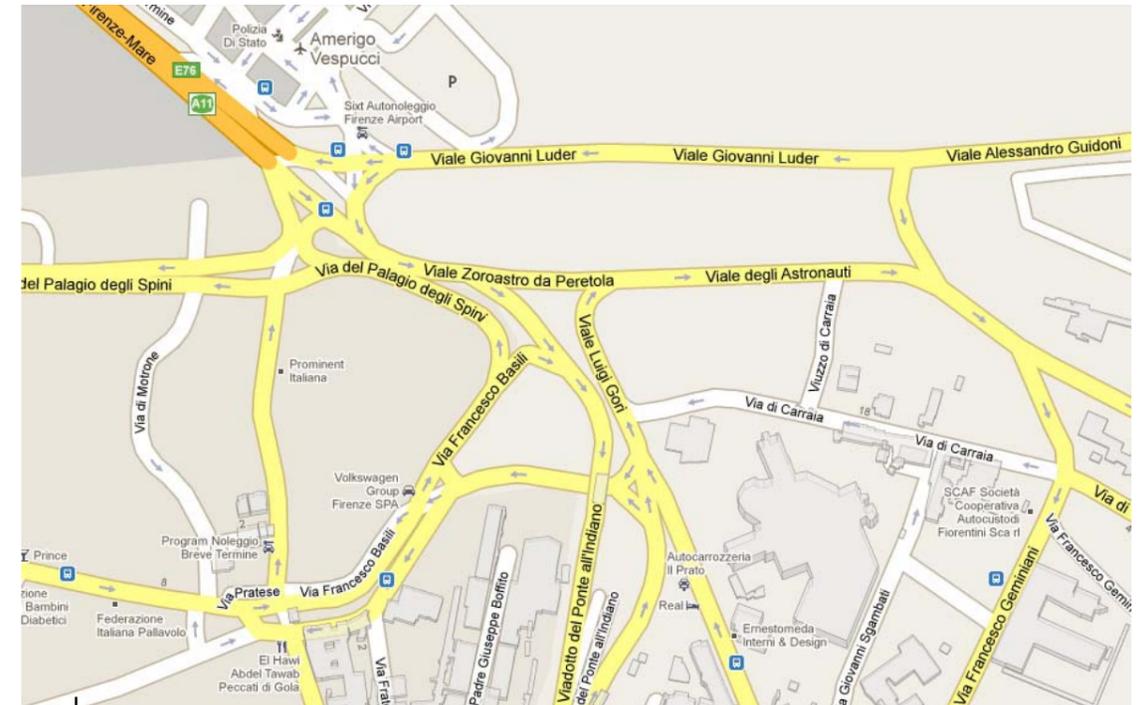


Figura 1 – Assetto attuale del nodo di Peretola (fonte: Google Maps)

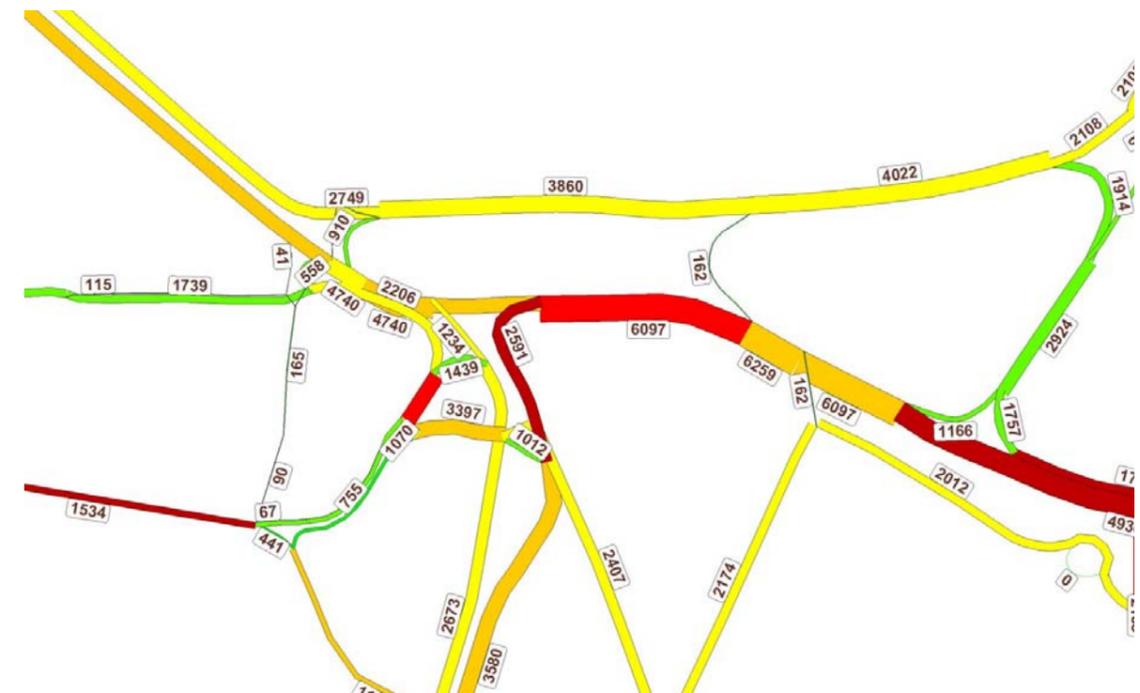


Figura 2 – Simulazione del nodo di Peretola: scenario attuale, ora di punta del mattino (8:00-9:00) del giorno feriale invernale medio

A fronte delle carenze prestazionali attuali, è stata elaborata la proposta di riassetto funzionale

riportata in Figura 3, nella versione relativa alla progettazione definitiva. Le principali modifiche geometriche si riferiscono:

- alla creazione di un nuovo anello di circolazione in senso orario tra la A11 Firenze-Mare e via Palagio degli Spini, il cui senso di marcia viene invertito rispetto alla situazione attuale;
- al completamento della direttrice del viadotto Ponte all'Indiano con la realizzazione di rampe dirette di immissione nelle correnti principali di attraversamento del nodo;
- alla realizzazione di una nuova viabilità di accesso/egresso a servizio dell'aeroporto, eliminando l'intersezione semaforizzata attualmente presente su via Luder.

Tali modifiche conducono alla creazione di itinerari preferenziali:

- dal viadotto Ponte all'Indiano verso viale degli Astronauti e verso la A11;
- da via Palagio degli Spini e da via Luder verso il viadotto Ponte all'Indiano;
- da via Gori verso il viadotto Ponte all'Indiano;
- da via Palagio degli Spini verso la A11.

La rifunzionalizzazione elimina altresì buona parte dei conflitti tra correnti veicolari nelle aree di scambio, in particolare quella su viale degli Astronauti tra la svolta proveniente da viale Guidoni e quella verso via Geminiani, che viene inibita. Sono inoltre eliminati gli impianti semaforici attualmente presenti, ovvero quelli tra viadotto Ponte all'Indiano e via Gori e su via Luder all'altezza dell'accesso per l'aeroporto, mentre è istituito un attraversamento pedonale regolato da semaforo a chiamata nella rampa a doppio senso di collegamento tra via Martucci e via Gori. Infine, si ipotizza completato l'ampliamento alla terza corsia dell'autostrada A11 nella tratta Firenze-Pistoia.

La metodologia seguita per lo studio di traffico è basata sull'implementazione di un modello di microsimulazione del predetto assetto di progetto del nodo di Peretola nell'ambiente di simulazione AIMSUN 6.1 della TSS. L'analisi è riferita ai periodi di punta del mattino e del pomeriggio nel breve periodo (anno 2015) e nel lungo periodo (anno 2035), per complessivi quattro scenari. In particolare, l'ora di punta del mattino ricade nell'intervallo 8:00-9:00, in base ai riscontri dello studio di traffico in macrosimulazione a supporto della progettazione definitiva dell'ampliamento alla terza corsia della Autostrada A11 Firenze-Mare nella tratta Peretola-Pistoia; l'ora di punta del pomeriggio è stata invece simulata trasponendo la corrispondente matrice della punta del mattino.

Per l'implementazione del modello di microsimulazione, si è provveduto innanzitutto a costruire il modello di offerta di trasporto. In particolare, il modello topologico è stato disegnato direttamente a partire dall'ipotesi di progetto riportata in Figura 3, opportunamente integrato da un sopralluogo nell'area finalizzato ad individuare eventuali elementi puntuali rilevanti per la microsimulazione. Per il modello analitico sono state adottate tre classi di veicoli (auto, veicoli commerciali leggeri e veicoli commerciali pesanti) e modelli per la simulazione della cinematica del singolo veicolo con forme funzionali e parametri desunti dalla letteratura tecnica di settore.

Per quanto riguarda la stima della domanda, si è assunto come base di partenza il sistema di modelli matematici implementati per il già citato studio di traffico in macrosimulazione della Autostrada A11 Firenze-Mare nella tratta Peretola-Pistoia. Tale modello rappresenta in maniera molto dettagliata sia il nodo di Peretola sia tutta la rete urbana e autostradale di contesto rilevante per l'analisi. Relativamente a tale modello, è stata innanzitutto effettuata una procedura di correzione delle

matrici o-d di tipo GLS sulla base di un insieme di conteggi di traffico rilevati specificamente per lo studio nel mese di marzo 2011. Successivamente, attraverso una procedura di *cordón matrix*, sono state estratte le sottomatrici relative al solo nodo di Peretola.

A partire dalle matrici attuali corrette, si sono quindi ricavate in pivoting le matrici per la punta del mattino per ciascuna tipologia di veicolo negli scenari di progetto al 2015 e al 2035, assumendo specifiche ipotesi di crescita economica e della domanda di trasporto. Assegnando tali matrici ai corrispondenti modelli macroscopici di offerta di progetto, ed applicando la predetta procedura di *cordón matrix*, si sono determinate le sottomatrici di progetto in corrispondenza del cordone dell'area di studio del modello di microsimulazione.

Al fine di condurre le analisi di livello di servizio del nodo di Peretola, per ciascuno dei quattro scenari progettuali microsimulati – combinazione di fascia oraria (mattina/pomeriggio) e anno (2015/2035) – si sono calcolati indicatori di prestazione a livello di intera rete, di coppie o-d e di singolo arco. Inoltre, nelle zone rivelatesi più critiche a valle della microsimulazione si è effettuata una valutazione di dettaglio del livello di servizio in accordo con le prescrizioni del manuale HCM 2000.

La struttura della relazione è la seguente. Il capitolo 2 illustra le procedure di stima della domanda di mobilità e le banche dati utilizzate per l'implementazione dei modelli macroscopico e microscopico e per la correzione della matrice o-d all'attualità. Il capitolo 3 descrive in dettaglio il modello di microsimulazione utilizzato nello studio e gli indicatori di prestazione calcolati per ciascuno scenario progettuale. Il capitolo 4 riporta infine i risultati delle microsimulazioni e della valutazione del livello di servizio di ciascun elemento della configurazione di progetto del nodo di Peretola.

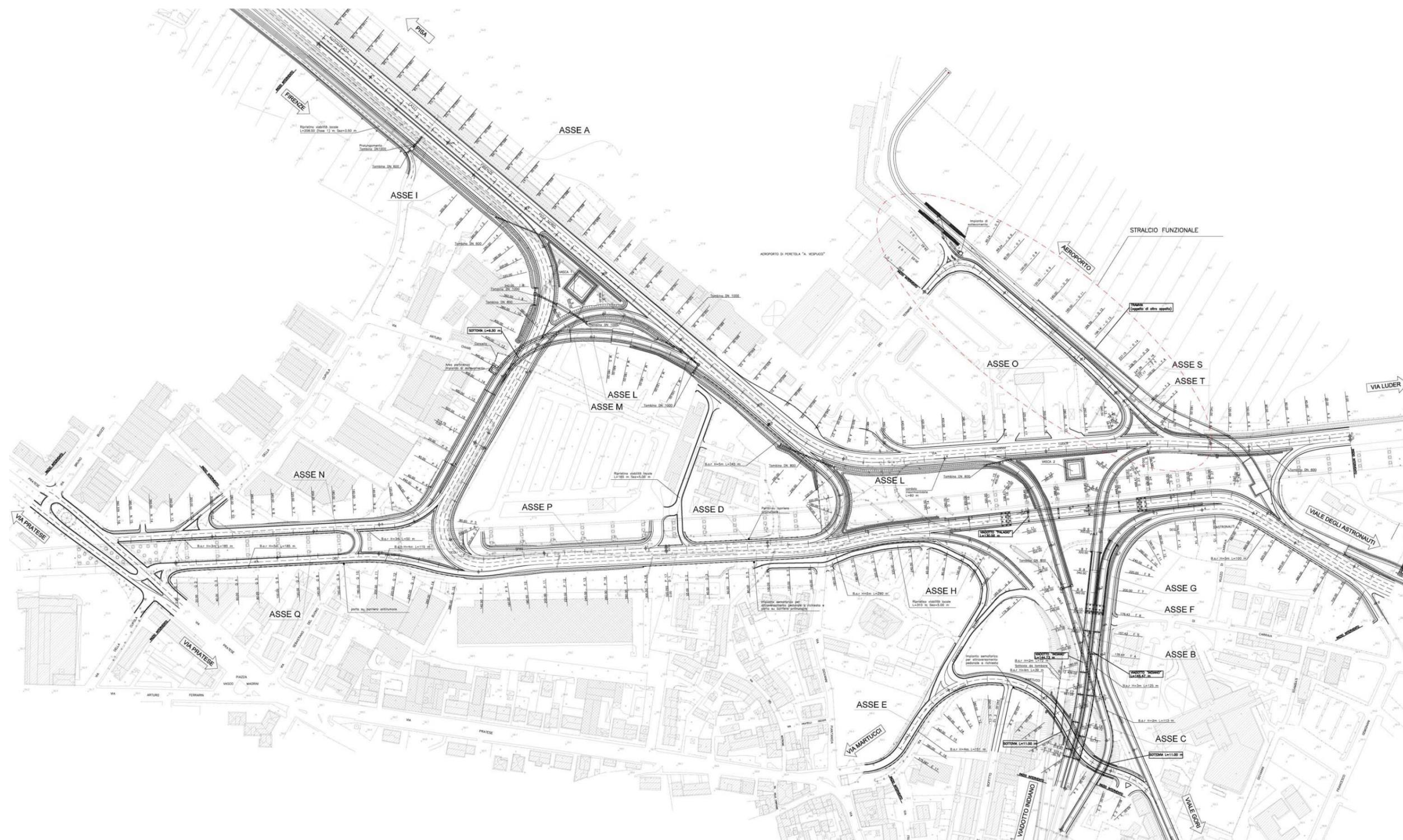


Figura 3 – Rifunionalizzazione del nodo di Peretola: assetto previsto dalla progettazione definitiva

## 2 Stima della domanda di mobilità e banche dati utilizzate

Il presente capitolo illustra il sistema di modelli matematici con approccio macroscopico utilizzato per la stima delle matrici origine-destinazione a supporto della progettazione definitiva dell'adeguamento del nodo di Firenze Peretola. In particolare, si è fatto ricorso al macromodello della rete autostradale della regione Toscana, implementato per la progettazione definitiva dell'intervento di ampliamento alla terza corsia della tratta Firenze-Pistoia della A11 Firenze-Pisa Nord; le matrici ottenute sono state quindi corrette sulla base di una campagna di conteggi di traffico appositamente condotta nel mese di marzo 2011.

Coerentemente, il paragrafo 2.1 riporta una breve descrizione del macromodello. I paragrafi 2.2 e 2.3 descrivono le basi dati disponibili a livello regionale e a livello di nodo rispettivamente, illustrando anche la campagna di conteggi effettuata, mentre il paragrafo 2.4 riporta infine la procedura di correzione delle matrici o-d all'attualità. Il paragrafo 2.5 illustra la metodologia di stima della domanda negli scenari futuri al 2015 e 2035 rispettivamente. Infine, il paragrafo 2.6 descrive gli input che il modello macro fornisce al modello di microsimulazione.

### 2.1 Il macromodello di simulazione della rete autostradale della Toscana

Il presente paragrafo riporta una breve descrizione del macromodello della rete autostradale della Toscana sviluppato nella fase propedeutica alla progettazione definitiva dell'intervento di ampliamento alla terza corsia della tratta Firenze-Pistoia della Autostrada A11 Firenze-Pisa Nord e dell'adeguamento del nodo di Firenze Peretola. In accordo con la metodologia descritta nel capitolo 1, tale modello è stato utilizzato per la stima delle matrici o-d da utilizzarsi nella microsimulazione del nodo di Peretola.

#### 2.1.1 Il modello di simulazione dell'offerta di trasporto

L'area di studio del modello è l'intero territorio nazionale, zonizzato a livello provinciale all'esterno della Toscana e a livello comunale al suo interno, con una zonizzazione più che comunale per le città di Firenze, Prato, Pistoia e Lucca. Complessivamente si hanno 506 zone, di cui 97 province al di fuori della regione Toscana, 283 comuni della regione Toscana e 126 zone di traffico interne alle predette città. Le infrastrutture rilevanti, ovvero quelle più significative per rappresentare la mobilità in coerenza con il livello di dettaglio della zonizzazione, sono le autostrade e le superstrade per il

territorio nazionale esterno alla regione Toscana, mentre all'interno della regione Toscana sono state considerate tutte le infrastrutture necessarie per i collegamenti tra le zone di traffico ed escluse le sole infrastrutture a servizio di spostamenti di tipo intrazonale.

Le infrastrutture rilevanti sono state rappresentate attraverso il modello topologico, costituito da un grafo orientato con più di 37.000 archi e 25.000 nodi; con riferimento agli obiettivi dello studio di traffico è opportuno sottolineare esplicitamente che tutte le rampe di accesso/egresso alla viabilità autostradale e alle strade a carreggiate separate sono rappresentate in maniera esplosa, per una corretta rappresentazione delle svolte e l'immediata ricostruzione dei flussi su ciascuna manovra nei nodi.

A ciascun elemento del modello topologico è associato un costo generalizzato di trasporto, espresso come combinazione lineare del tempo di percorrenza dell'arco e del costo monetario eventualmente presente:

$$c_a(f_a) = \beta_1 tr_a(f_a) + \beta_2 mc_a$$

dove  $tr_a(f_a)$  è la funzione che lega il tempo di percorrenza sull'arco  $a$  al vettore dei flussi e  $mc_a$  il costo monetario dell'arco. In generale il tempo di percorrenza è stato calcolato con una classica funzione BPR:

$$tr_a(f_a) = \frac{L_a}{V_a^0} \cdot \left[ 1 + \alpha \left( \frac{f_a}{Cap_a} \right)^\beta \right]$$

dove:

- $L_a$  è la lunghezza del ramo  $a$  in chilometri;
- $V_a^0$  è la velocità di percorrenza a flusso nullo del ramo  $a$  funzione del tipo di veicolo e del tipo di strada, posta uguale, per le autovetture, a 130 km/h per le autostrade, 110 km/h per le superstrade, 90 km/h per le strade extraurbane, 50 km/h per le strade urbane e 40 km/h per le rampe monocorsia;
- $f_a$  è il flusso sul ramo  $a$ ;
- $Cap_a$  è la capacità del ramo  $a$  calcolata come 525 veic/h per la larghezza utile della carreggiata, ovvero desunta direttamente dal preliminare laddove disponibile;
- $\beta_1$  e  $\beta_2$  sono coefficienti posti rispettivamente pari a 0.5 e 4, tenendo conto del contesto suburbano dell'area di intervento progettuale.

I costi di carburante sono stati calcolati in funzione di consumi medi/km e della lunghezza dell'arco, utilizzando un costo chilometrico di 0,10 €/km per le autostrade ed i raccordi autostradali e di 0,15 €/km per le strade urbane. Per il calcolo dei pedaggi autostradali è stato necessario considerare, a seconda del tipo di autostrada, il costo per km di strada percorsa (autostrada con ticket prelevato in ingresso e pagamento in uscita) oppure il costo fisso (per le autostrade con pagamento alla barriera). Per il pedaggio chilometrico sono state utilizzate le tariffe praticate da Autostrade per l'Italia nel 2010.

#### 2.1.2 Il modello di simulazione della domanda di trasporto

La domanda di trasporto nell'area di studio è stata stimata utilizzando modelli e procedure separate

per le componenti passeggeri e merci.

Per la stima della domanda di mobilità passeggeri attuale si sono utilizzati, per la componente interna alla regione Toscana, le matrici origine-destinazione ISTAT 2001 per la mobilità sistematica e un modello matematico su base regionale per la mobilità non sistematica, mentre per la componente di scambio e attraversamento si è utilizzata una matrice o-d provinciale a livello nazionale ricavata da studi precedenti. In particolare, le matrici della mobilità sistematica fornite dall'ISTAT sono state omogeneizzate con la zonizzazione del modello di offerta, disaggregandole a livello sub-comunale per i comuni di Firenze, Prato, Pistoia e Lucca con un modello gravitazionale, che utilizza come variabili di massa la popolazione residente all'interno di ciascuna zona per gli spostamenti emessi e gli addetti che lavorano in ciascuna zona per gli spostamenti attratti. Il modello utilizzato per la mobilità non sistematica interna alla regione Toscana è ad aliquote parziali, nel quale il flusso di domanda da simulare può essere formalmente indicato con  $d_{od}^i[s, h, m]$  essendo  $s$  il motivo dello spostamento,  $h$  la fascia oraria di riferimento,  $o$  l'origine dello spostamento,  $d$  la destinazione,  $m$  il modo di trasporto e  $i$  la categoria di utenti:

$$d_{od}^i[s, h, m] = d_{o.}^i[s, h](SE, T) \cdot p^i[d/osh](SE, T) \cdot p^i[m/oshd](SE, T)$$

dove:

- $d_{o.}^i[s, h](SE, T)$ , modello di emissione (o generazione), fornisce il numero medio di individui di categoria  $i$  che si spostano da  $o$  per il motivo  $s$  nell'intervallo temporale  $h$ ;
- $p^i[d/osh](SE, T)$ , modello di distribuzione degli spostamenti, fornisce la percentuale di utenti di categoria  $i$  che, spostandosi da  $o$  per il motivo  $s$  nell'intervallo temporale  $h$ , si recano nella zona di destinazione  $d$ ;
- $p^i[m/oshd](SE, T)$ , modello di scelta del modo (o di ripartizione modale), fornisce la percentuale di utenti di categoria  $i$  che, spostandosi fra  $o$  e  $d$  per il motivo  $s$  nell'intervallo temporale  $h$ , utilizzano il modo di trasporto  $m$ .

I vettori **SE** e **T** definiscono rispettivamente un insieme di variabili esplicative socioeconomiche e trasportistiche, che rappresentano i dati di input del modello. Tale modello è in grado di fornire una stima della mobilità relativa sia alla fascia di punta che all'intera giornata cambiando opportunamente il periodo di riferimento  $h$  e il corrispondente coefficiente di emissione nel modello di generazione. Infine, la matrice o-d provinciale a livello nazionale già in possesso del gruppo di lavoro, utilizzata per la stima della domanda di scambio e attraversamento della regione Toscana con il resto del territorio nazionale, è stata disaggregata lato regione Toscana coerentemente con la zonizzazione effettuata, con un modello gravitazionale identico a quello appena descritto per la disaggregazione della mobilità interna ISTAT.

La matrice complessiva così ottenuta, espressa in numero di spostamenti per la fascia di punta del mattino, è stata poi convertita in autovetture assumendo un coefficiente di riempimento medio pari a 1.3.

Per la stima della domanda di trasporto merci attuale si è utilizzata una matrice origine-destinazione nazionale a livello provinciale, disaggregata per tipologia di veicoli merci (fino a 3.5 t, tra 3.5 e 16 t, più di 16 t), stimata dal gruppo di lavoro attraverso un sistema di modelli matematici di tipo input-output multi-regionale (MRIO). La matrice è espressa in veicoli/giorno per il giorno feriale medio

invernale e tiene esplicitamente conto della presenza di veicoli vuoti circolanti; la trasformazione dal giorno all'ora di punta è stata eseguita utilizzando le basi dati di conteggi di traffico in varie aree italiane a disposizione del gruppo di lavoro. Infine, seguendo la stessa procedura appena descritta per il calcolo della domanda di scambio e attraversamento passeggeri, la matrice nazionale in veicoli per la fascia di punta del mattino è stata disaggregata a livello comunale e sub-comunale solo per le relazioni od in cui l'origine e/o la destinazione coincidessero con una zona interna alla regione Toscana, utilizzando un modello gravitazionale concettualmente analogo a quello descritto per i passeggeri.

### 2.1.3 Il modello di interazione tra domanda e offerta

Le matrici origine-destinazione, per fascia oraria di punta e/o per l'intera giornata, stimate come descritto nei paragrafi precedenti, sono assegnate al modello di offerta in modo da calcolare i flussi su ciascun elemento infrastrutturale, fornendo una rappresentazione dettagliata delle prestazioni del sistema di trasporto. Nel presente studio sono stati utilizzati, per le autovetture, modelli di assegnazione di equilibrio deterministico multi-classe, in modo da tener esplicitamente conto degli effetti della congestione veicolare, mentre per i veicoli commerciali leggeri e pesanti si è effettuato un caricamento stocastico della rete con tempi di percorrenza pari al minimo tra il tempo a flusso nullo dei veicoli commerciali e quello a carico delle autovetture. Le assegnazioni restituiscono come output i flussi sugli archi della rete, distinti tra leggeri e pesanti, i tempi di percorrenza a carico e il grado di congestione di ciascun arco.

## 2.2 Conteggi di traffico a livello regionale

La seguente Figura 4 illustra il posizionamento delle sezioni a ridosso della rete autostradale della Toscana nelle quali sono già disponibili conteggi di traffico relativi ai giorni di martedì, mercoledì e giovedì, così da rappresentare correttamente il giorno feriale invernale medio. Tali conteggi sono stati utilizzati – insieme a quelli appositamente rilevati nel nodo di Peretola nel corso del presente studio – per la correzione delle matrici o-d e per la validazione del sistema di modelli all'attualità (paragrafo 2.4).

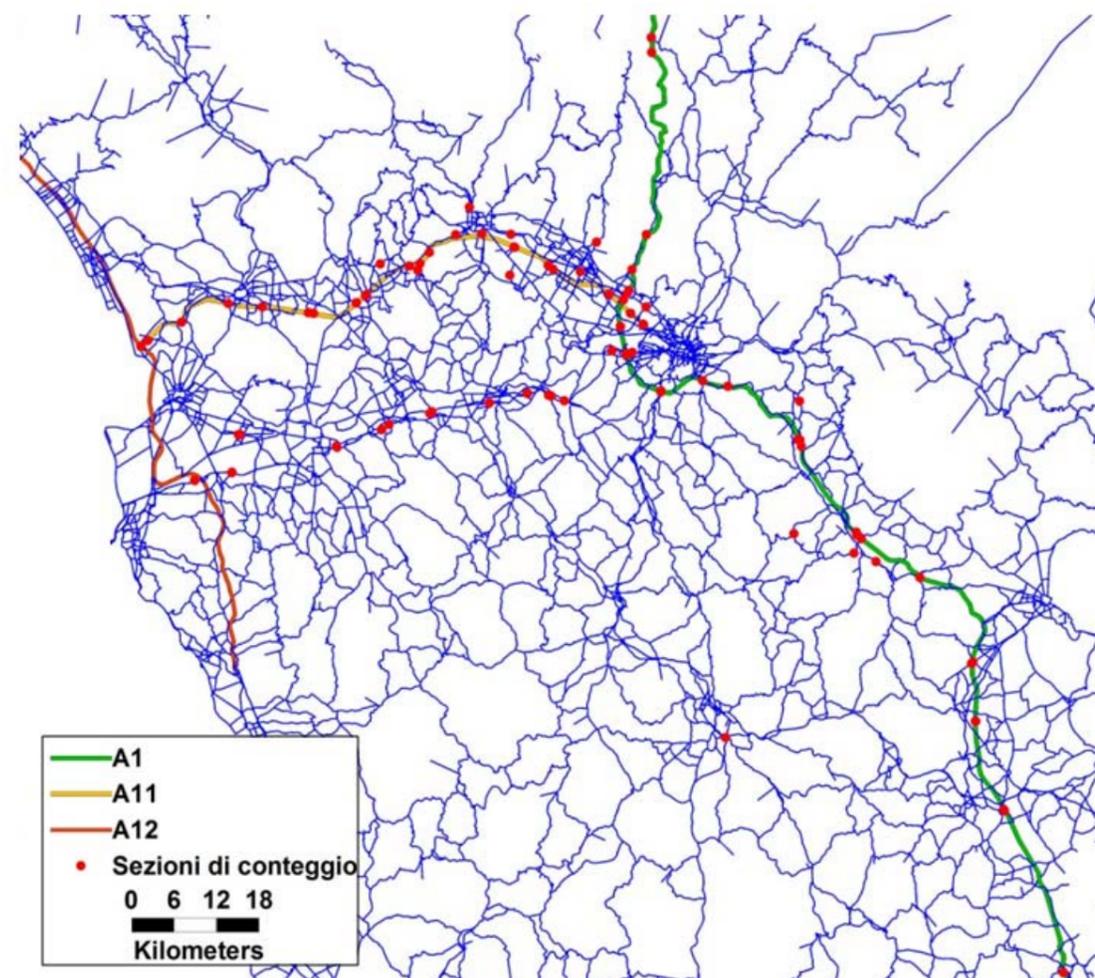


Figura 4 – Posizionamento delle sezioni di conteggio per la correzione delle matrici o-d leggeri e pesanti

### 2.3 Conteggi di traffico nel nodo di Peretola

Le basi dati di flussi di traffico nell'area del nodo di Peretola già a disposizione del presente studio sono costituite dai conteggi effettuati:

- da ATAF per conto del comune di Firenze nei giorni dal 13 al 15 maggio 2008 (da martedì a giovedì), nella fascia del mattino dalle 7:00 alle 9:00. Per ciascun giorno e per ciascuna sezione è disponibile il solo dato di conteggio aggregato nelle due ore, suddiviso tra leggeri e pesanti. Per la sezione di via Pratese è altresì stata rilevata tramite intervista l'incidenza di ciascuna coppia o-d sul flusso;
- nell'ambito dello studio di traffico a supporto della progettazione preliminare in un giorno feriale del mese di luglio 2008, nella fascia del pomeriggio dalle 17:00 alle 19:00. Per ciascuna sezione è disponibile il solo dato aggregato relativo alla fascia oraria di punta 17:30-18:30, suddiviso tra leggeri e pesanti.
- campagna di conteggi e rilevazione di velocità dalle 0:00 del 23 novembre 2010 alle 24:00 del 24 novembre 2010 (martedì e mercoledì). Per ciascuna sezione i dati di flusso e di velocità media sono disponibili per ogni ora disaggregati in auto, veicoli commerciali leggeri e veicoli commerciali pesanti.

Tali conteggi sono stati integrati con una ulteriore rilevazione effettuata da SPEA il 16 marzo 2011 (mercoledì) nella fascia oraria dalle 7:30 alle 9:30 del mattino, specificamente finalizzata a supportare il presente studio di traffico. In particolare, per ciascuna sezione è disponibile il dato di conteggio disaggregato per intervalli di 10 minuti e per tipologia di veicolo (auto, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti).

Utilizzando la numerazione riportata in Figura 5, la Tabella 1 riporta una sintesi delle sezioni di conteggio investigate da ciascuna campagna di rilevazione.

Tabella 1 – Sezioni di conteggio per campagna di rilevazione

n°	sezione	campagna di rilevazione			
		ATAF 2008	Preliminare 2008	SPEA 2010	SPEA 2011
1	via Pratese (altezza incrocio via Buozzi)			⓪	
2	svolta da via Palagio degli Spini a via Pratese (direzione Firenze)			⓪	
3	via della Cupola			⓪	
4	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Cupola)			⓪	
5	via Pratese (altezza incrocio via di Motrone)	⓪	⓪		
6	via Piantanida				⓪
7	svolta dalla uscita A11 verso via Palagio degli Spini	⓪	⓪		⓪
8	ingresso A11	⓪	⓪		⓪
9	svolta dalla uscita A11 verso via Zoroastro	⓪	⓪		⓪
10	svolta da via Palagio degli Spini a via Zoroastro		⓪		⓪
11	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Piantanida)		⓪		⓪
12	svolta da Aeroporto verso A11				⓪
13	svolta da Aeroporto verso via Zoroastro				⓪
14	svolta da via Luder verso Aeroporto				⓪
15	flusso da via Luder verso A11				⓪
16	svolta da via Luder verso via Zoroastro	⓪	⓪		⓪
17	via Zoroastro	⓪			⓪
18	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Basili)				⓪
19	svolta da via Zoroastro verso viadotto Ponte all'Indiano	⓪	⓪		⓪
20	flusso da via Zoroastro verso via Astronauti				⓪
21	svolta da via Gori verso via Astronauti		⓪		⓪
22	via Luder				⓪
23	via Astronauti (dopo immissione da via Gori)		⓪		⓪
24	svolta da via Guidoni a via Astronauti		⓪		⓪
25	via Guidoni				⓪
26	via Astronauti (dopo immissione da via Guidoni)				⓪
27	via Geminiani				⓪
28	via Guidoni (dopo svolta su via Geminiani)				⓪
29	svolta da via Basili verso viadotto Ponte all'Indiano		⓪		⓪



In particolare, la campagna di rilievi condotta nel mese di marzo 2011 ha investigato la totalità dei flussi nel nodo di Peretola, conteggiati contemporaneamente dalle ore 8:00 alle 9:00, riconosciuta come fascia di punta del mattino sulla base delle precedenti indagini; su alcune sezioni, per una più accurata implementazione successiva del modello di microsimulazione, la rilevazione è stata estesa al periodo 7:40-9:40. Il conteggio è stato effettuato da sette rilevatori più una telecamera, distribuiti tra le varie sezioni come indicato nella seguente Tabella 2.

**Tabella 2 – Organizzazione campagna di conteggi al nodo di Peretola (16 marzo 2011)**

n°	sezione	rilevatore							telecamera	calcolato per differenza
		1	2*	3	4	5	6**	7**		
6	via Piantanida		①							
7	svolta dalla uscita A11 verso via Palagio degli Spini		①							
8	ingresso A11									☒
9	svolta dalla uscita A11 verso viale Zoroastro	☒								
10	svolta da via Palagio degli Spini a viale Zoroastro		①							
11	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Piantanida)		①							
12	svolta da Aeroporto verso A11								☒	
13	svolta da Aeroporto verso viale Zoroastro								☒	
14	svolta da viale Luder verso Aeroporto								☒	
15	flusso da viale Luder verso A11								☒	
16	svolta da viale Luder verso viale Zoroastro									☒
17	viale Zoroastro									☒
18	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Basili)									☒
19	svolta da viale Zoroastro verso viadotto Ponte all'Indiano			☒						
20	flusso da viale Zoroastro verso viale Astronauti									☒
21	svolta da viale Gori verso viale Astronauti									☒
22	via Luder					①				
23	viale Astronauti (dopo immissione da viale Gori)				☒			①		
24	svolta da viale Guidoni a viale Astronauti					①	①			
25	viale Guidoni									☒
26	viale Astronauti (dopo immissione da viale Guidoni)									☒
27	via Geminiani					①	①			
28	viale Guidoni (dopo svolta su via Geminiani)					①	①			
29	svolta da via Basili verso viadotto Ponte all'Indiano			☒						

① dalle 7:30 alle 9:30

☒ dalle 8:00 alle 9:00

Note:

\* rilevazione alternata delle manovre 7-10 e 6-11 a intervalli di 30 minuti

\*\* rilevati i flussi di percorso tra le manovre 23, 24, 27 e 28 (zona di scambio)

A fronte dei riscontri dello studio di traffico a supporto della progettazione preliminare, sono stati rilevati anche i flussi di percorso nella zona di scambio in viale degli Astronauti (sezione n. 26 in Figura 4) tra i flussi provenienti da viale degli Astronauti e viale Guidoni e diretti rispettivamente in viale Guidoni e in via Geminiani, nella quale il progetto preliminare evidenziava una criticità puntuale con livelli di servizio non accettabili.

Il conteggio è stato effettuato per intervalli di 10 minuti nel periodo di rilevazione, con disaggregazione del flusso nelle seguenti componenti veicolari: auto, veicoli commerciali leggeri (lunghezza inferiore a 5 metri), veicoli commerciali pesanti (lunghezza superiore a 5 metri). Tale classificazione è stata eseguita in post-processo nelle sezioni rilevate con telecamera e manualmente, durante la rilevazione, per le rimanenti sezioni; in particolare, per le sezioni in linea si è fornita una ulteriore disaggregazione conteggiando anche i veicoli a due ruote e gli autobus in servizio urbano e turistico, mentre per le sezioni nei tratti di scambio in cui sono stati rilevati i flussi di percorso ci si è limitati a suddividere auto e veicoli commerciali, utilizzando in post-processo i valori medi sul nodo per la loro ulteriore disaggregazione in leggeri e pesanti.

Le condizioni meteo durante la rilevazione, con pioggia dalle 8:30, hanno prodotto una ridotta incidenza della componente veicolare a due ruote, determinando una condizione di giorno feriale invernale medio a vantaggio di sicurezza nelle analisi dello studio di traffico.

I risultati delle rilevazioni sono sintetizzati rispettivamente in Tabella 3 per le auto, Tabella 4 per i veicoli commerciali leggeri e Tabella 5 per i veicoli commerciali pesanti.

**Tabella 3 – Rilevazione del 16 marzo 2011: flussi di auto per intervalli di 10 minuti nella fascia oraria 8-9**

n°	sezione	categoria di veicoli: AUTO						
		08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	Totale
		08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	09:00	8:00 - 9:00
6	via Piantanida	9	10	11	12	11	10	62
7	svolta dalla uscita A11 verso via Palagio degli Spini	4	4	3	4	5	5	26
8	ingresso A11	343	350	378	411	391	343	2216
9	svolta dalla uscita A11 verso viale Zoroastro	445	401	357	383	399	413	2398
10	svolta da via Palagio degli Spini a viale Zoroastro	70	63	56	84	71	46	389
11	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Piantanida)	254	274	268	305	291	255	1647
12	svolta da Aeroporto verso A11	3	4	4	2	4	5	22
13	svolta da Aeroporto verso viale Zoroastro	7	5	14	14	13	8	61
14	svolta da viale Luder verso Aeroporto	23	25	31	38	33	31	181
15	flusso da viale Luder verso A11	340	346	374	409	387	338	2194
16	svolta da viale Luder verso viale Zoroastro	168	136	133	138	67	140	782
17	viale Zoroastro	690	605	560	619	550	607	3630
18	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Basili)	324	337	324	389	362	301	2036
19	svolta da viale Zoroastro verso viadotto Ponte all'Indiano	86	86	87	68	68	68	463
20	flusso da viale Zoroastro verso viale Astronauti	604	519	473	551	482	539	3167
21	svolta da viale Gori verso viale Astronauti	279	361	413	347	390	341	2132
22	via Luder	531	507	538	585	487	509	3157
23	viale Astronauti (dopo immissione da viale Gori)	883	880	886	898	872	880	5299
24	svolta da viale Guidoni a viale Astronauti	47	40	50	59	41	52	289
25	viale Guidoni	578	547	588	644	528	561	3446
26	viale Astronauti (dopo immissione da viale Guidoni)	930	920	936	957	913	932	5588
27	via Geminiani	16	15	21	16	9	9	86
28	viale Guidoni (dopo svolta su via Geminiani)	914	905	915	941	904	923	5502
29	svolta da via Basili verso viadotto Ponte all'Indiano	180	181	181	161	161	161	1025

**Tabella 4 – Rilevazione del 16 marzo 2011: flussi di veicoli commerciali leggeri per intervalli di 10 minuti nella fascia oraria 8-9**

n°	sezione	categoria di veicoli: COMMERCIALI LEGGERI						
		08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	Totale
		08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	09:00	8:00 - 9:00
6	via Piantanida	0	0	0	0	0	0	0
7	svolta dalla uscita A11 verso via Palagio degli Spini	0	0	0	1	1	3	5
8	ingresso A11	28	6	33	20	24	16	127
9	svolta dalla uscita A11 verso viale Zoroastro	21	27	34	32	33	33	180
10	svolta da via Palagio degli Spini a viale Zoroastro	2	3	3	2	3	2	15
11	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Piantanida)	3	6	5	4	5	3	27
12	svolta da Aeroporto verso A11	0	1	0	0	0	0	1
13	svolta da Aeroporto verso viale Zoroastro	0	0	0	0	1	1	2
14	svolta da viale Luder verso Aeroporto	1	1	0	1	0	0	3
15	flusso da viale Luder verso A11	28	5	33	20	24	16	126
16	svolta da viale Luder verso viale Zoroastro	8	16	3	11	9	8	55
17	viale Zoroastro	31	46	40	45	46	44	252
18	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Basili)	5	9	8	6	8	5	41
19	svolta da viale Zoroastro verso viadotto Ponte all'Indiano	8	8	8	7	7	6	44
20	flusso da viale Zoroastro verso viale Astronauti	23	38	32	38	39	38	208
21	svolta da viale Gori verso viale Astronauti	16	2	7	2	0	1	28
22	via Luder	37	22	36	32	33	24	184
23	viale Astronauti (dopo immissione da viale Gori)	39	40	39	40	39	39	236
24	svolta da viale Guidoni a viale Astronauti	2	1	2	0	2	4	11
25	viale Guidoni	39	23	38	32	35	28	195
26	viale Astronauti (dopo immissione da viale Guidoni)	41	41	41	40	41	43	247
27	via Geminiani	2	0	1	4	1	1	9
28	viale Guidoni (dopo svolta su via Geminiani)	39	41	40	36	40	42	238
29	svolta da via Basili verso viadotto Ponte all'Indiano	17	17	17	17	16	17	101

**Tabella 5 – Rilevazione del 16 marzo 2011: flussi di veicoli commerciali pesanti per intervalli di 10 minuti nella fascia oraria 8-9**

n°	sezione	categoria di veicoli: COMMERCIALI PESANTI						
		08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	Totale
		08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	09:00	8:00 - 9:00
6	via Piantanida	0	0	0	0	0	0	0
7	svolta dalla uscita A11 verso via Palagio degli Spini	1	0	0	1	0	0	2
8	ingresso A11	17	31	4	11	14	13	90
9	svolta dalla uscita A11 verso viale Zoroastro	27	19	11	8	9	11	85
10	svolta da via Palagio degli Spini a viale Zoroastro	1	1	1	0	1	1	4
11	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Piantanida)	1	2	3	1	2	2	10
12	svolta da Aeroporto verso A11	0	0	0	0	0	0	0
13	svolta da Aeroporto verso viale Zoroastro	1	1	0	1	0	0	3
14	svolta da viale Luder verso Aeroporto	0	1	1	0	0	2	4
15	flusso da viale Luder verso A11	17	31	4	11	14	13	90
16	svolta da viale Luder verso viale Zoroastro	1	0	5	9	1	4	20
17	viale Zoroastro	30	21	17	18	11	16	112
18	via Palagio degli Spini (altezza incrocio via Basili)	2	3	4	1	3	3	15
19	svolta da viale Zoroastro verso viadotto Ponte all'Indiano	4	4	4	3	3	3	21
20	flusso da viale Zoroastro verso viale Astronauti	26	17	13	15	8	13	91
21	svolta da viale Gori verso viale Astronauti	4	3	4	12	9	4	37
22	via Luder	18	32	10	20	15	19	114
23	viale Astronauti (dopo immissione da viale Gori)	30	20	17	27	17	17	128
24	svolta da viale Guidoni a viale Astronauti	2	1	0	2	4	7	16
25	viale Guidoni	20	33	10	22	19	26	130
26	viale Astronauti (dopo immissione da viale Guidoni)	32	21	17	29	21	24	144
27	via Geminiani	0	0	0	0	0	0	0
28	viale Guidoni (dopo svolta su via Geminiani)	32	21	17	29	21	24	144
29	svolta da via Basili verso viadotto Ponte all'Indiano	12	11	11	11	11	12	68

Si osserva innanzitutto una netta prevalenza dei flussi di auto, che pesano in media per il 92% del totale in modo abbastanza omogeneo in tutte le sezioni, con una punta del 97% in corrispondenza della direttrice di via Palagio degli Spini. L'incidenza relativa dei veicoli commerciali leggeri e pesanti è invece eterogenea, con un valor medio del 65% di componente leggera, che però ad esempio

scende al 43% nella svolta da via Gori verso via Astronauti e sale al 74% in via Palagio degli Spini. La componente veicolare a due ruote ha un'incidenza significativa: se si guarda ad esempio ai dati disaggregati della sezione n° 11 in via Palagio degli Spini (non riportati in tabella per brevità), la percentuale di moto circolanti sul totale è del 16% nel periodo 8:00-8:30 – prima cioè dell'inizio della pioggia – e del 7.8% tra le 9:00 e le 9:30 in presenza di pioggia.

La rilevazione ha poi confermato la presenza di una punta del mattino per i flussi di autovetture nella fascia oraria dalle 8:00 alle 9:00, come mostrato a titolo di esempio dalla distribuzione dei flussi per intervalli di 10 minuti dalle 7:40 alle 9:40 nella sezione di viale Astronauti dopo l'immissione da via Guidoni (n. 26 in Figura 5), riportata nella seguente Figura 6. Per i veicoli commerciali, invece, la distribuzione è più omogenea nell'intervallo di rilevazione, senza una punta ben individuabile.

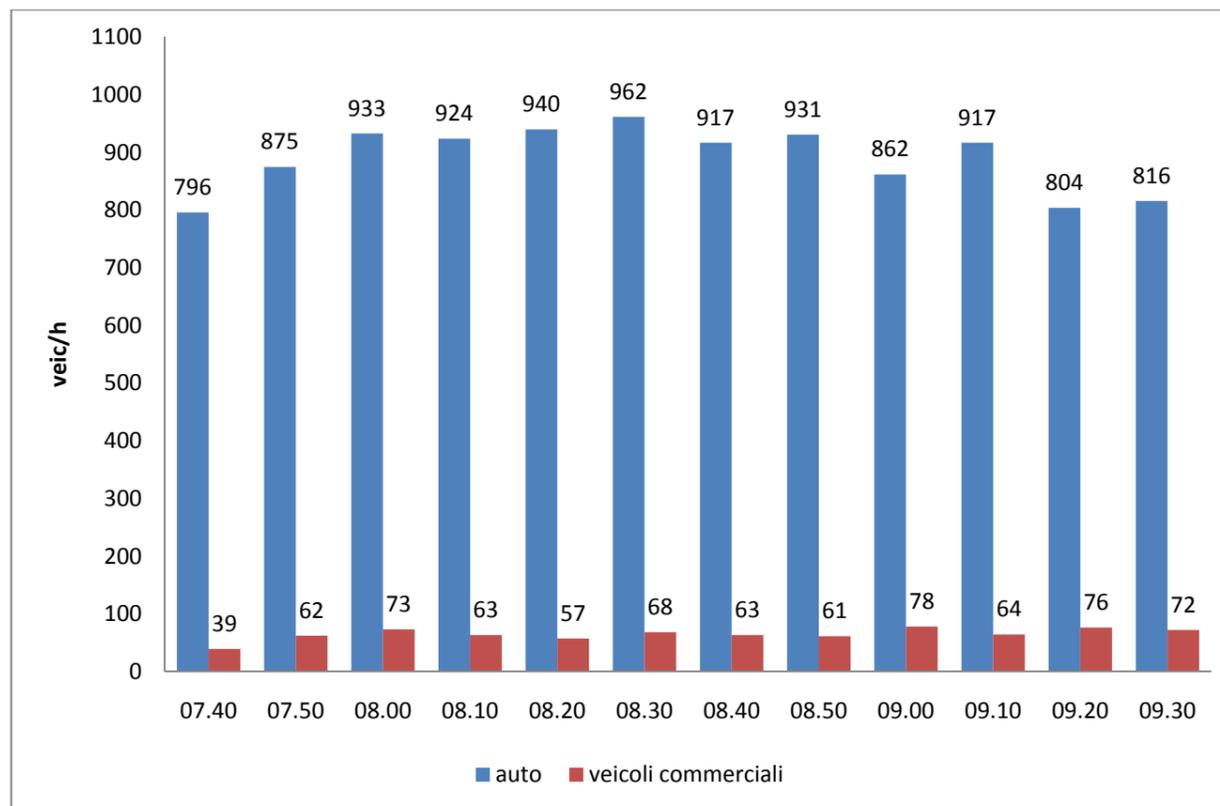


Figura 6 – Distribuzione dei flussi per intervallo, sezione di viale Astronauti

Poiché il modello macroscopico descritto nel paragrafo precedente fornisce matrici o-d relative alla fascia oraria 8:00 – 9:00, ai fini della predisposizione delle matrici o-d per la microsimulazione è necessario stimare, per ciascuna categoria di veicoli, dei coefficienti di trasformazione per ricavare le matrici per ciascun intervallo di 10 minuti a partire da quella oraria di punta. Tali coefficienti sono stati espressi come media tra le sezioni di conteggio del peso percentuale del flusso di arco di una data categoria di veicoli, relativo ad una sezione e ad un intervallo di 10 minuti, rispetto al flusso di arco sulla stessa sezione per la fascia oraria 8:00 – 9:00: i risultati sono riportati nella seguente Tabella 6.

Per completezza di analisi si riporta inoltre in Figura 7, per la sola categoria veicolare auto, un'analisi della dispersione tra le sezioni di conteggio del rapporto tra flusso nell'intervallo di 10 minuti e flusso dell'ora di punta 8:00 – 9:00: come si può notare, gli andamenti sono stabili, con alcuni outliers determinati da sezioni con valori di flusso estremamente ridotti.

Per quanto attiene infine all'analisi dell'area di scambio in via Astronauti, rappresentata schematicamente con la relativa denominazione dei centroidi in Figura 8, si riportano i risultati dei conteggi nella seguente Tabella 7. Il principale risultato meritevole di attenzione è l'esiguità della manovra di attraversamento dalla svolta proveniente da via Guidoni verso via Geminiani, con appena 21 autovetture contate nell'ora di punta. Dunque, la soluzione progettuale di impedire fisicamente tale manovra (Figura 3) impatta su un numero estremamente limitato di utenti e non ha alcuna rilevanza trasportistica ai fini dello studio del comportamento del nodo, risolvendo le perplessità sollevate in sede di progettazione preliminare.

Infine, sempre ai fini della microsimulazione, è da sottolineare che durante l'intero periodo di conteggio non sono stati rilevati fenomeni di sovrassaturazione nel nodo.

Tabella 6 – Coefficienti di passaggio dalla matrice oraria della fascia di punta 8:00 – 9:00 alle matrici per intervallo di 10 minuti e per tipologia di veicolo

fascia oraria		tipologia veicolo		
		auto	veicoli commerciali leggeri	veicoli commerciali pesanti
07:40	07:50	16.69%	25.45%	11.72%
07:50	08:00	17.04%	18.18%	14.84%
08:00	08:10	16.45%	16.82%	19.84%
08:10	08:20	16.05%	17.84%	18.76%
08:20	08:30	17.25%	15.05%	12.63%
08:30	08:40	17.74%	15.99%	18.51%
08:40	08:50	16.37%	16.73%	12.97%
08:50	09:00	16.13%	17.57%	17.28%
09:00	09:10	14.38%	25.00%	20.31%
09:10	09:20	14.86%	18.18%	15.63%
09:20	09:30	13.49%	20.45%	17.19%

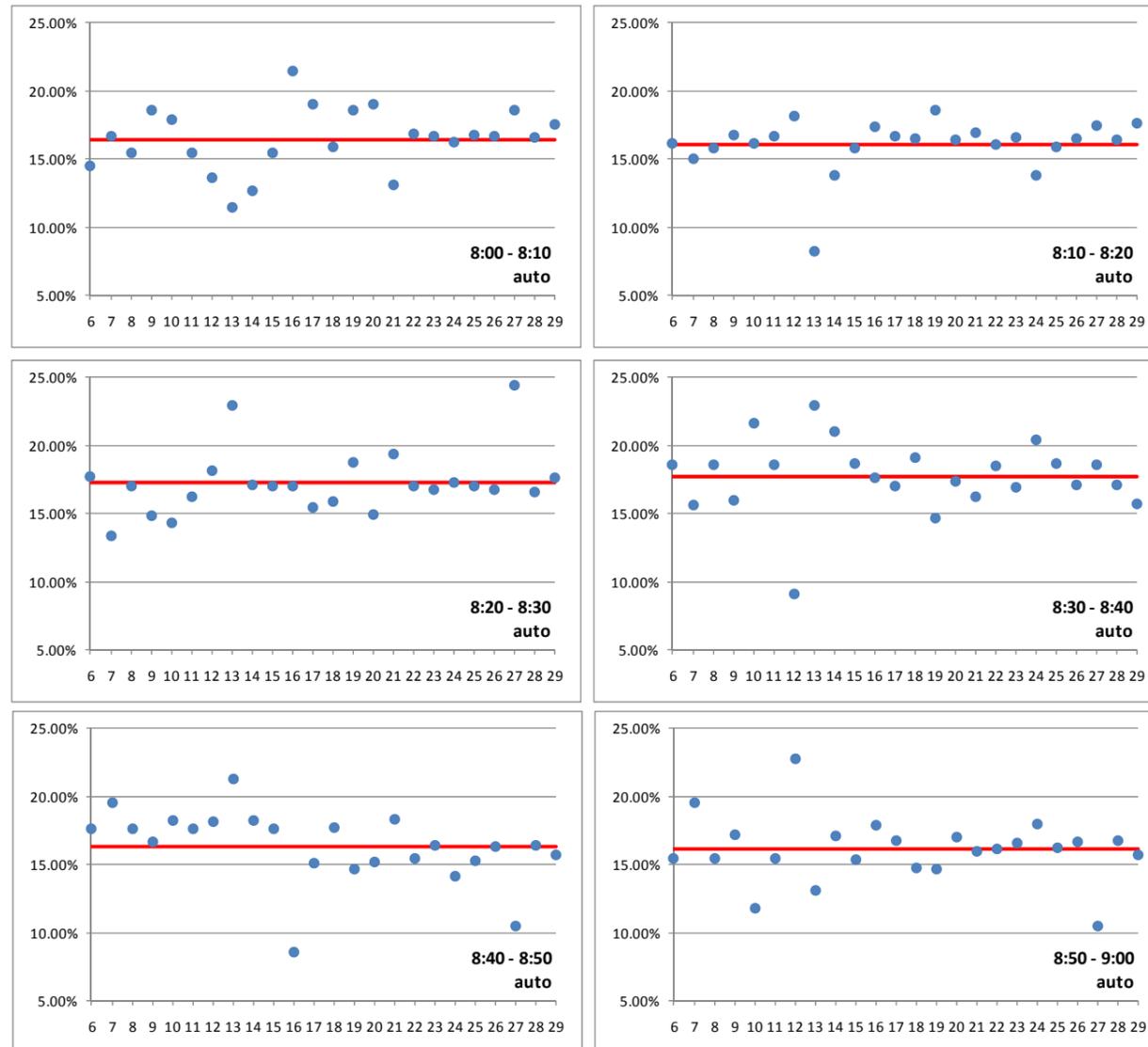


Figura 7 – Dispersione tra le sezioni di conteggio del rapporto tra flusso nell'intervallo di 10 minuti e flusso dell'ora di punta 8:00 – 9:00: analisi per tutti gli intervalli della fascia 8:00 – 9:00 per la categoria auto

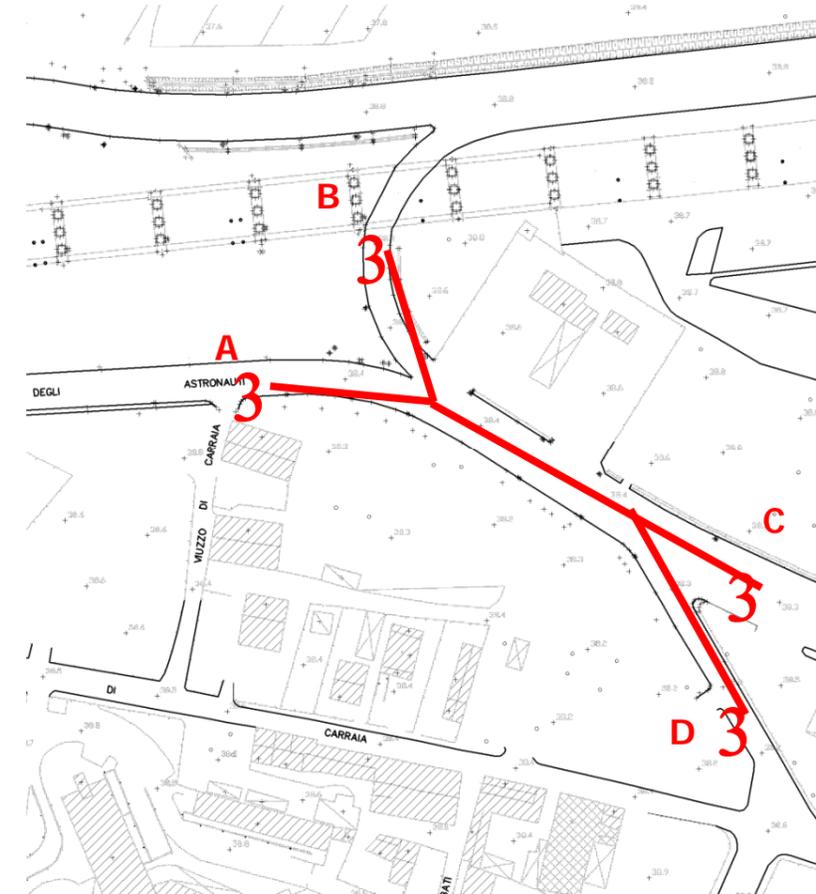


Figura 8 – Zona di scambio di viale Astronauti

Tabella 7 – Conteggi nella zona di scambio di viale Astronauti, fascia di punta 8:00 – 9:00

auto	C	D
A	5223	76
B	298	21

veicoli commerciali	C	D
A	355	9
B	10	0

## 2.4 Correzione e validazione del modello di traffico sui dati rilevati

Il sistema di modelli macroscopico messo a punto così come descritto nel capitolo precedente è stato validato utilizzando i conteggi di traffico di veicoli leggeri e pesanti descritti nel paragrafo 2.4. In altri termini, si è verificata la capacità del sistema di modelli nel suo complesso (cioè modello di domanda, di offerta e di interazione domanda offerta) di riprodurre i flussi di arco di veicoli leggeri e pesanti conteggiati mediante rilevazione diretta sulle seguenti sezioni stradali. La valutazione della qualità del modello di riprodurre lo scenario attuale a monte della correzione delle matrici o-d, attraverso diagrammi che relazionano i flussi conteggiati con quelli riprodotti da modello, è riportata rispettivamente in Figura 9 per le autovetture e in Figura 10 per i veicoli merci leggeri e pesanti nel complesso.

A valle dei risultati di validazione forniti dal modello di simulazione in termini di capacità di riprodurre i flussi di arco a disposizione, si è comunque proceduto, come è prassi consolidata nell'ingegneria dei trasporti, alla correzione della matrice o-d sia passeggeri che merci sulla base dei conteggi di traffico disponibili, utilizzando una procedura di tipo GLS (*generalized least squares*) data dalla seguente relazione:

$$d^{GLS} = \underset{x \in S}{\operatorname{argmin}} \left[ (\hat{\mathbf{d}} - \mathbf{x})^T \mathbf{Z}^{-1} (\hat{\mathbf{d}} - \mathbf{x}) + (\hat{\mathbf{f}} - \hat{\mathbf{M}}\mathbf{x})^T \mathbf{W}^{-1} (\hat{\mathbf{f}} - \hat{\mathbf{M}}\mathbf{x}) \right]$$

nella quale  $\hat{\mathbf{d}}$  è la stima iniziale della domanda,  $\hat{\mathbf{f}}$  il vettore di conteggi di traffico disponibili,  $\hat{\mathbf{M}}$  la matrice di assegnazione e  $\mathbf{Z}$  e  $\mathbf{W}$  matrici di covarianze degli errori di domanda e di misura/assegnazione rispettivamente. In altri termini, con la procedura GLS si cerca una nuova matrice di domanda che sia il più possibile vicina alla stima iniziale e che, assegnata alla rete di trasporto, fornisca risultati i più vicini possibile ai flussi conteggiati.

La stima iniziale all'attualità della matrici origine-destinazione sia passeggeri che merci, determinata con le procedure descritte nel capitolo precedente, è stata corretta utilizzando tale procedura GLS sulla base dei conteggi di traffico nelle sezioni stradali riportate nel paragrafo 2.4. I diagrammi di confronto tra flussi conteggiati e flussi assegnati a valle della correzione sono riportati nelle seguenti Figure 11 (veicoli leggeri) e Figura 12 (veicoli pesanti). Come si può notare, i risultati della correzione sono pienamente soddisfacenti.

Ai fini della microsimulazione, non esistendo allo stato attuale modelli microsimulativi in grado di riprodurre correttamente il deflusso contemporaneo di auto e moto, si è dovuto ricostruire un flusso di veicoli leggeri "equivalenti" che tenesse conto anche dell'incidenza della componente motoveicolare. A tale scopo, tenendo conto che la base dati di correzione ha fatto riferimento a conteggi rilevati in condizioni di pioggia e che in tali condizioni l'incidenza (tipicamente ridotta) della componente motoveicolare è stata rilevata intorno al 10%, si è ritenuto di decrementare la matrice delle autovetture del 10% circa in modo da tenere conto, contestualmente, sia di una incidenza media della componente motoveicolare presumibilmente superiore (intorno al 15%), sia di un coefficiente di equivalenza della moto di 0.3.

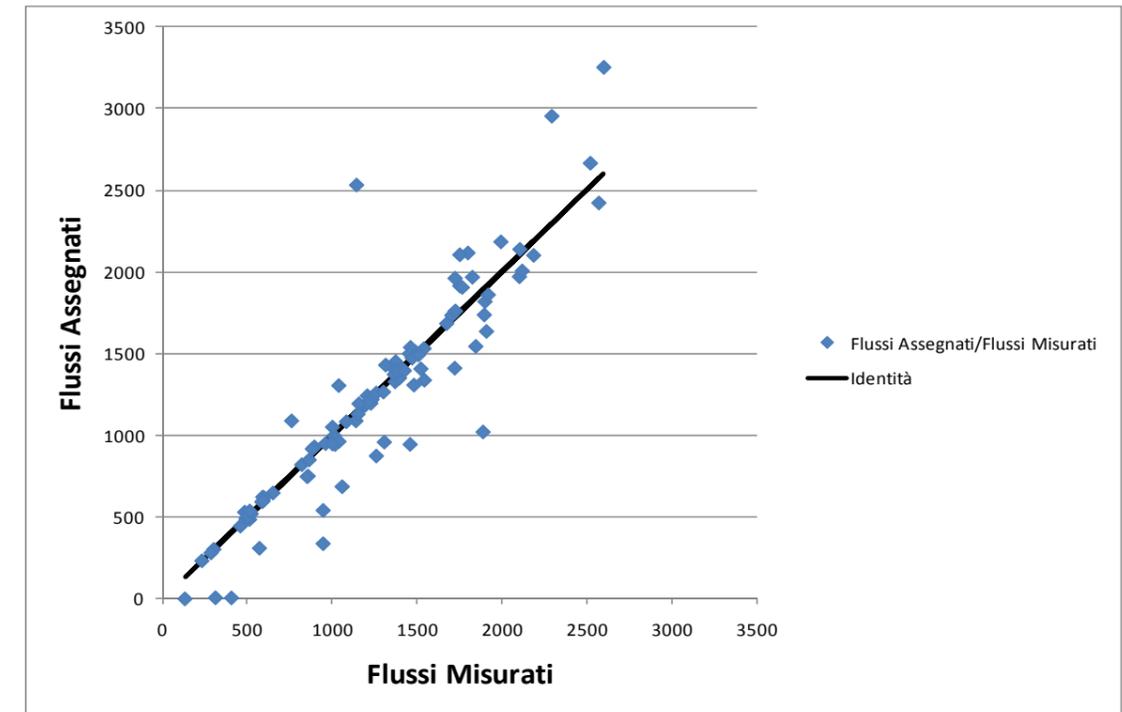


Figura 9 – Confronto tra flussi osservati e flussi simulati a monte della correzione della matrice o-d (leggeri)

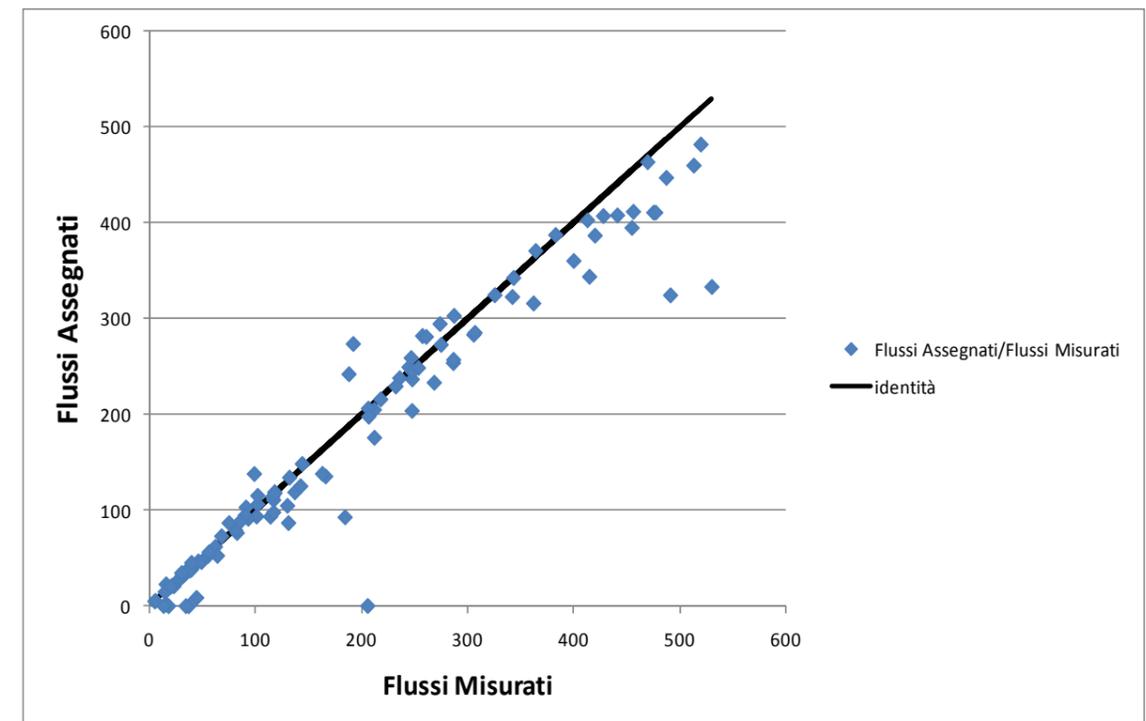


Figura 10 – Confronto tra flussi osservati e flussi simulati a monte della correzione della matrice o-d (pesanti)

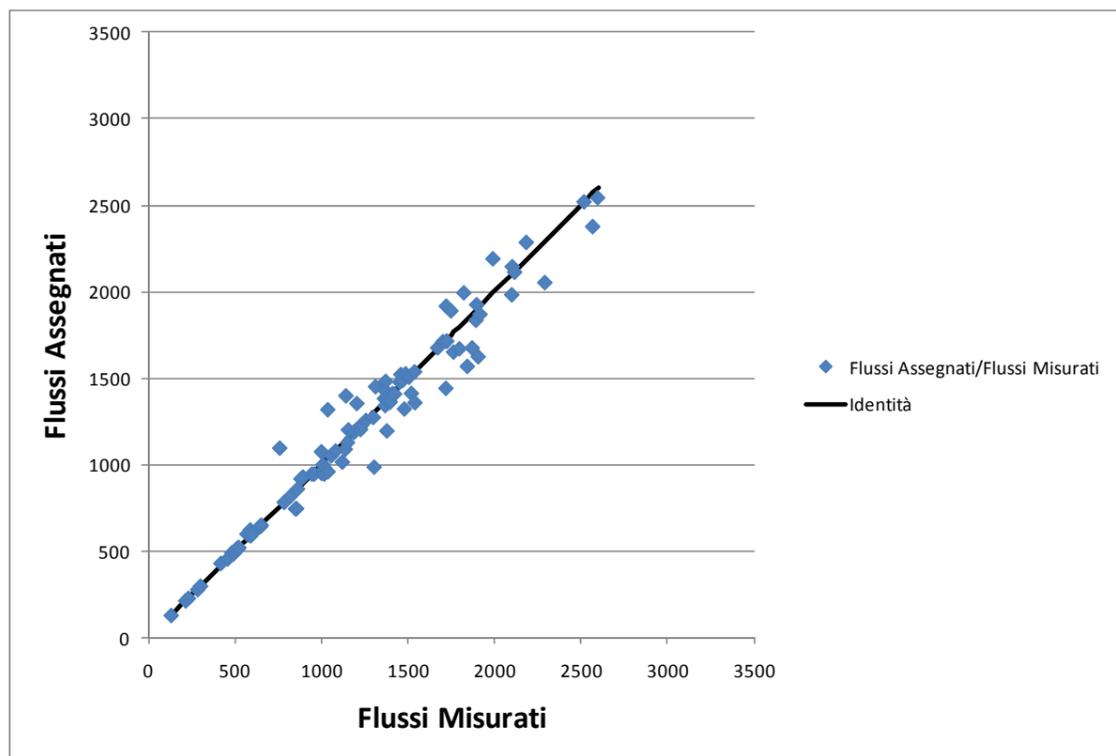


Figura 11 – Confronto tra flussi osservati e flussi simulati a valle della correzione della matrice o-d (leggeri)

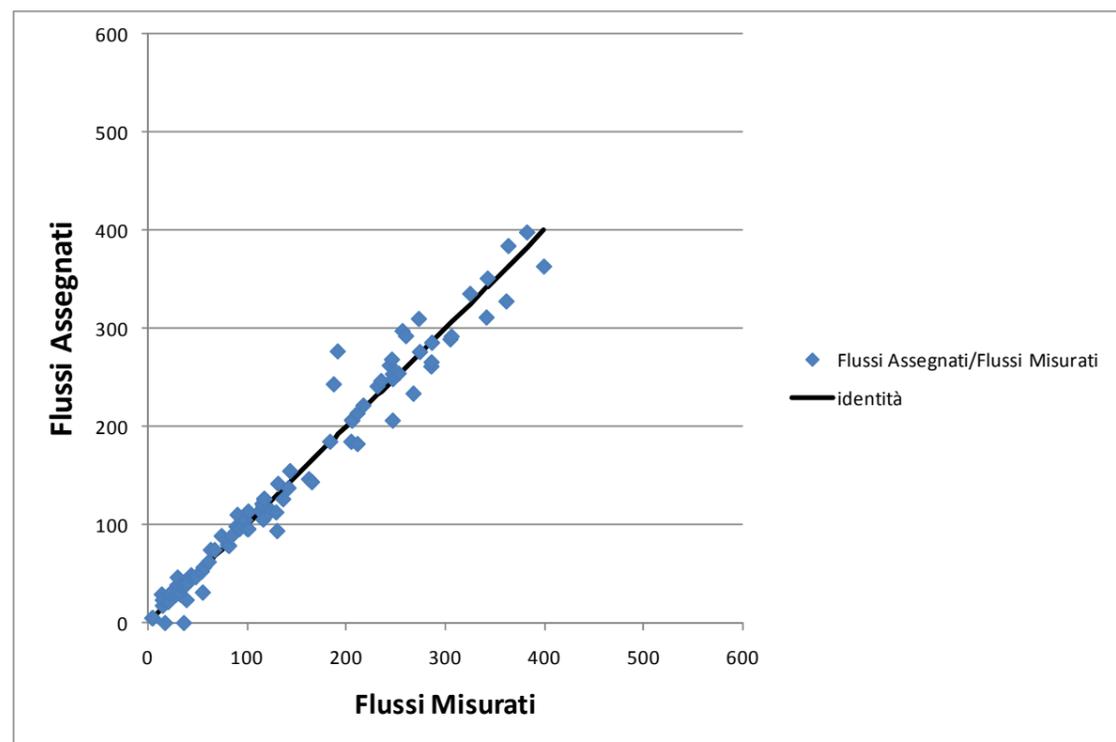


Figura 12 – Confronto tra flussi osservati e flussi simulati a valle della correzione della matrice o-d (pesanti)

## 2.5 Evoluzione della domanda negli scenari di progetto

La proiezione della domanda di mobilità agli scenari di progetto relativi agli orizzonti temporali 2015

(breve termine) e 2035 (lungo termine) è stata effettuata tenendo conto delle difficoltà previsionali derivanti dalla crisi economica che ha interessato l'Italia dai primi mesi del 2008. Gli effetti della crisi sono infatti particolarmente evidenti se si guarda all'evoluzione del TGM annuo nel periodo 1998-2009 (Figura 13), che mostra come il trend di crescita più o meno costante osservato fino al 2007 abbia subito una significativa inversione di tendenza negli ultimi due anni.

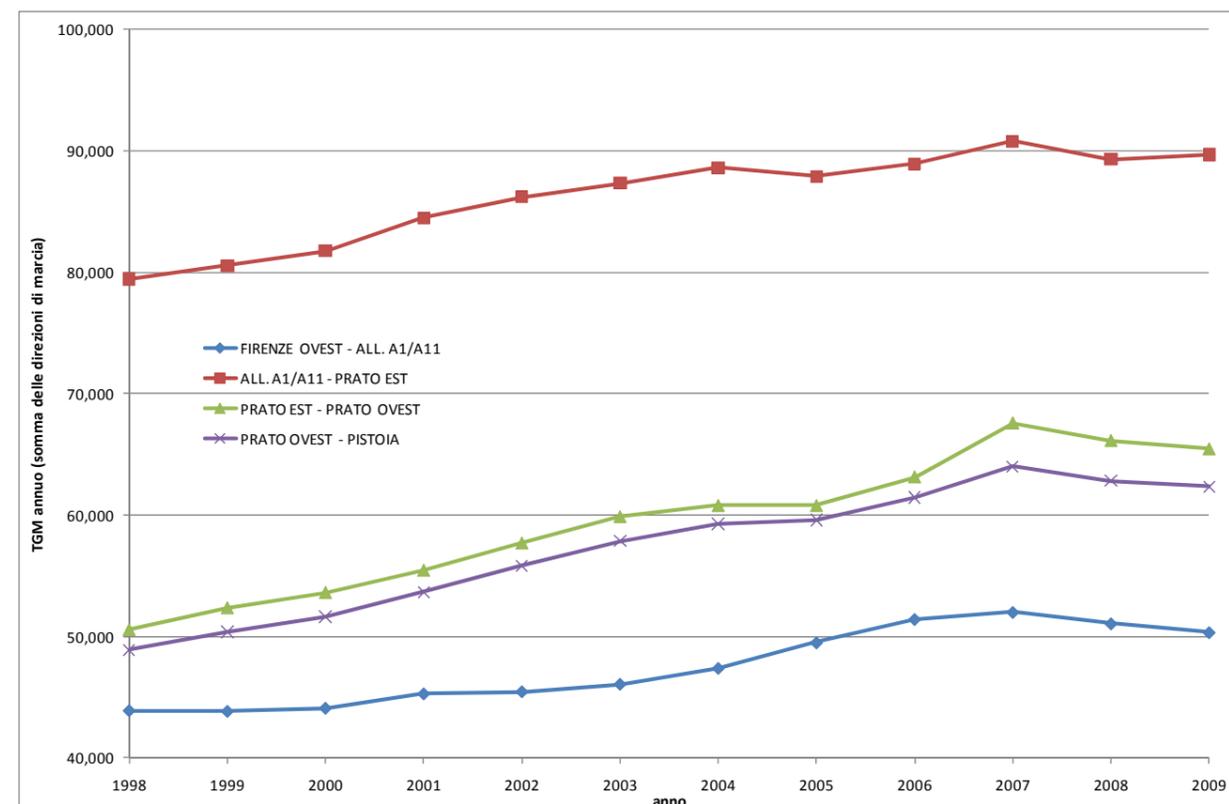


Figura 13 – Evoluzione del TGM annuo (somma delle direzioni) nelle tratte da Firenze Ovest a Pistoia nel periodo 1998-2009 (fonte: Autostrade per l'Italia)

In particolare, si è ipotizzato che la variazione di domanda sia prevalentemente ascrivibile ad una variazione di PIL e si sono stimate le matrici future di domanda passeggeri e merci sulla base delle proiezioni del PIL e di un modello di domanda gravitazionale di tipo log-lineare. Formalmente, tale modello può essere espresso nel seguente modo:

$$d_{od} = k \cdot PIL_o^{\beta_1} \cdot PIL_d^{\beta_2} \cdot ct_{od}^{\beta_3} \cdot \dots \rightarrow \ln d_{od} = \ln k + \beta_1 \ln PIL_o + \beta_2 \ln PIL_d + \beta_3 \ln ct_{od} + \dots$$

dove  $d_{od}$  è la domanda di trasporto relativa alla coppia  $o-d$ ,  $PIL_o$  e  $PIL_d$  rappresentano il prodotto interno lordo della zona di origine e di destinazione rispettivamente e  $ct_{od}$  è una misura di impedenza (ad es. il costo generalizzato di trasporto) per la relazione  $o-d$ ; nella forma funzionale del modello compaiono inoltre di norma altre variabili esplicative (ad es. masse in origine/destinazione, altre misure di impedenza, variabili dummy). Dette  $d_{od}^t$  e  $d_{od}^{t+1}$  la domanda di trasporto negli scenari temporali  $t$  e  $t+1$  rispettivamente, si ottiene la seguente relazione:

$$\frac{d_{od}^{t+1}}{d_{od}^t} = \left( \frac{PIL_o^{t+1}}{PIL_o^t} \right)^{\beta_1} \cdot \left( \frac{PIL_d^{t+1}}{PIL_d^t} \right)^{\beta_2} \cdot \left( \frac{ct_{od}^{t+1}}{ct_{od}^t} \right)^{\beta_3} \cdot \dots$$

che può essere utilizzata per effettuare proiezioni future della domanda di mobilità sia passeggeri che merci in funzione di variazioni di PIL. A tale scopo, infatti, basta ipotizzare invarianti tra lo scenario attuale e futuro tutte le altre variabili che compaiono nel modello per ottenere:

$$\left(\frac{d_{od}^{t+1}}{d_{od}^t}\right) = \left(\frac{PIL^{t+1}_o}{PIL^t_o}\right)^{\beta_1} \cdot \left(\frac{PIL^{t+1}_d}{PIL^t_d}\right)^{\beta_2} \rightarrow d_{od}^{t+1} = d_{od}^t \cdot \left(\frac{PIL^{t+1}_o}{PIL^t_o}\right)^{\beta_1} \cdot \left(\frac{PIL^{t+1}_d}{PIL^t_d}\right)^{\beta_2}$$

In altri termini, le proiezioni future della domanda di mobilità passeggeri e merci si possono ottenere a partire dalle variazioni di PIL in origine e in destinazione e dai valori dei coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , indipendentemente dalle altre variabili che figurano nella specificazione del modello.

Riprendendo le analisi di domanda dello studio di traffico in macrosimulazione a supporto della progettazione definitiva, si sono assunti come anni di riferimento il 2015 e il 2035 rispettivamente, per ciascuno dei quali si è stimato un valore del PIL per ogni regione italiana. A tal fine, si sono presi in considerazione i tassi medi di crescita annui osservati nel triennio antecedente la crisi nonché le previsioni di crescita a livello italiano formulati per il quinquennio 2011-2015 dal Fondo Monetario Internazionale, che hanno condotto a ipotizzare un tasso di crescita del PIL pari all'85% del tasso medio di crescita antecedente la crisi. Complessivamente, le percentuali di incremento del PIL per ciascuna regione sono riportati nella seguente Tabella 8.

**Tabella 8 – Ipotesi di incremento percentuale del PIL negli scenari di progetto e programmatici**

regione	tasso medio di crescita annuo 2004 - 2007	variazione % osservata 2009 - 2007	2015		2025		2035	
			alto	basso	alto	basso	alto	basso
Piemonte	1.382%	-7.734%	7.1%	5.3%	21.3%	15.9%	33.3%	25.2%
Valle d'Aosta / Vallée d'Aoste	0.873%	-3.244%	4.4%	3.3%	13.3%	10.0%	21.3%	16.1%
Lombardia	1.347%	-8.033%	6.9%	5.2%	20.8%	15.5%	32.5%	24.6%
Liguria	1.217%	-4.024%	6.2%	4.6%	18.7%	14.0%	29.4%	22.3%
Trentino Alto Adige	1.659%	-2.159%	8.6%	6.4%	25.8%	19.2%	39.8%	30.1%
Veneto	1.945%	-6.786%	10.1%	7.5%	30.4%	22.6%	46.3%	35.1%
Friuli-Venezia Giulia	1.892%	-7.374%	9.8%	7.3%	29.6%	21.9%	45.1%	34.2%
Emilia-Romagna	1.926%	-7.580%	10.0%	7.4%	30.1%	22.3%	45.9%	34.8%
Toscana	1.242%	-5.031%	6.4%	4.7%	19.1%	14.2%	30.0%	22.7%
Umbria	1.583%	-7.272%	8.2%	6.1%	24.6%	18.3%	38.0%	28.8%
Marche	1.839%	-5.525%	9.5%	7.1%	28.7%	21.3%	43.9%	33.3%
Lazio	2.222%	-3.963%	11.6%	8.6%	35.0%	25.9%	52.7%	39.9%
Abruzzo	1.004%	-8.092%	5.1%	3.8%	15.4%	11.5%	24.4%	18.4%
Molise	1.765%	-3.505%	9.1%	6.8%	27.5%	20.4%	42.2%	31.9%
Campania	0.574%	-7.644%	2.9%	2.2%	8.7%	6.5%	14.1%	10.6%
Puglia	0.912%	-6.322%	4.6%	3.5%	13.9%	10.4%	22.2%	16.8%
Basilicata	1.180%	-5.373%	6.0%	4.5%	18.1%	13.5%	28.6%	21.6%
Calabria	0.553%	-5.053%	2.8%	2.1%	8.4%	6.3%	13.6%	10.2%
Sicilia	0.956%	-4.248%	4.9%	3.6%	14.6%	10.9%	23.3%	17.6%
Sardegna	0.700%	-3.885%	3.5%	2.7%	10.6%	8.0%	17.2%	12.9%

A partire da queste variazioni di PIL, si è applicato il predetto modello gravitazionale a livello regionale assumendo, sulla base di modelli già calibrati dal gruppo di lavoro, i seguenti coefficienti:

- domanda passeggeri:  $\beta_1 = 0.670$  e  $\beta_2 = 0.450$
- domanda merci:  $\beta_1 = 0.876$  e  $\beta_2 = 0.604$

Per ciascuno scenario temporale, quindi, si sono calcolati degli incrementi percentuali di domanda a livello regionale che sono stati applicati ciascuno a tutte le corrispondenti relazioni od previste nella zonizzazione (metodo del *pivoting*). Infine, a partire dalle matrici complessive relative agli scenari futuri del 2015 e 2035 si sono determinate le sottomatrici di progetto relative al nodo di Peretola con la stessa procedura descritta per lo scenario attuale.

## 2.6 Input per il modello di microsimulazione

Tenendo conto della disponibilità dei modelli e delle basi dati descritte nei paragrafi precedenti, le matrici o-d input delle analisi in microsimulazione della configurazione di progetto del nodo di Peretola sono state ricavate nel seguente modo:

- stima della matrice o-d complessiva nello scenario di breve periodo (anno 2015) e di lungo periodo (anno 2035) attraverso l'applicazione dei coefficienti di crescita della domanda (paragrafo 2.5) alla matrice o-d della fascia di punta del mattino 8:00-9:00 corretta all'attualità (paragrafo 2.4) per ciascuna tipologia di veicolo;
- calcolo delle corrispondenti matrici per l'ora di punta del pomeriggio come trasposizione delle matrici di punta del mattino;
- implementazione del modello di offerta di progetto, comprendente il nodo di Peretola nell'assetto di Figura 3, il completamento dell'ampliamento alla terza corsia della A11 nella tratta Firenze-Pistoia nonché tutti gli interventi programmatici individuati nello studio di traffico in macrosimulazione a supporto della progettazione definitiva dell'ampliamento alla terza corsia della A11;
- assegnazione delle matrici o-d 2015 e 2035 rispettivamente al modello di offerta di progetto, ed estrazione delle corrispondenti sottomatrici relative al solo nodo di Peretola, sia per la punta del mattino sia per quella del pomeriggio;
- disaggregazione delle matrici relative al nodo di Peretola ottenute al punto precedente – segmentate per fascia oraria (punta del mattino, punta del pomeriggio) e per tipologia di veicolo (auto, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti) – in matrici per intervalli di 10 minuti attraverso i coefficienti di trasformazione determinati da indagine (paragrafo 2.3).



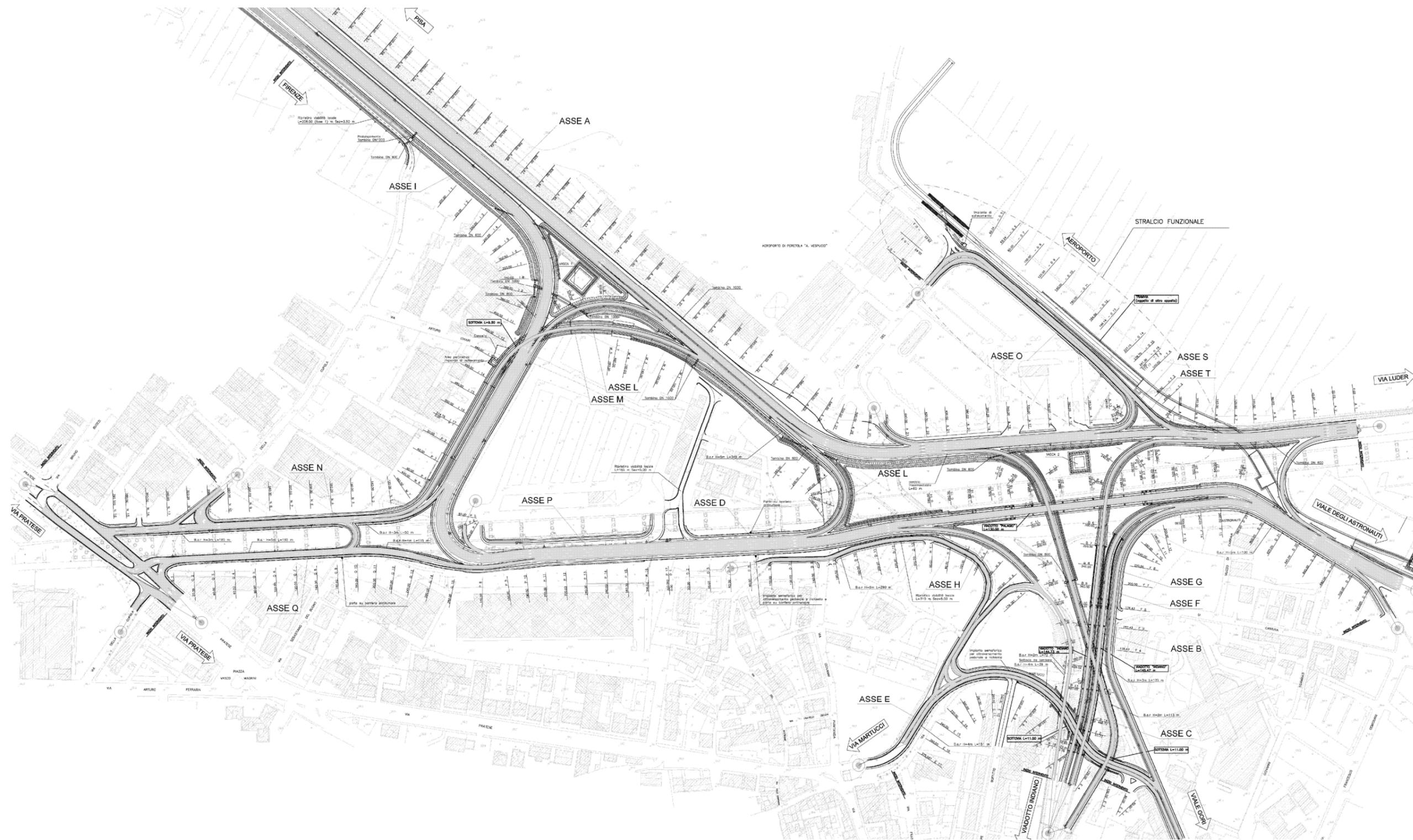


Figura 16 – Modello topologico di offerta in microsimulazione dell'assetto di progetto del nodo di Peretola

Va infine sottolineato che in AIMSUN il grafo utilizzato per la microsimulazione (Figura 16) non è lo stesso sul quale viene modellata la scelta del percorso; a tal fine, il software genera in automatico un grafo "virtuale" in cui ogni singolo arco rappresenta congiuntamente sia un tratto di infrastruttura stradale di linea sia una svolta (Figura 17).

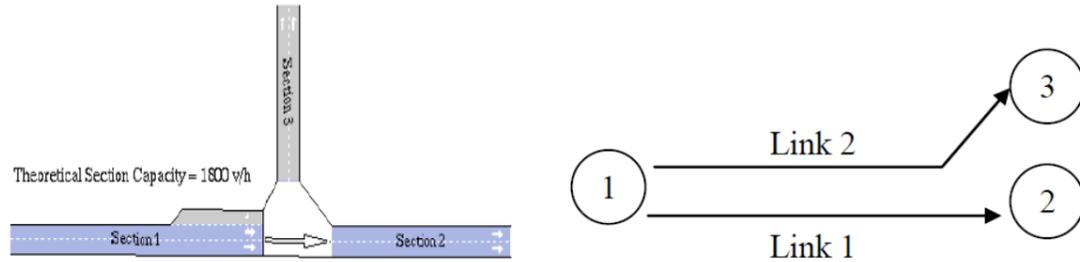


Figura 17 – Grafo virtuale per la modellazione della scelta del percorso: rete reale (a sinistra) e rappresentazione della sezione 1 (a destra) (fonte: manuale AIMSUN)

In tal senso, è stata svolta un'accurata fase di tuning in modo da verificare la correttezza delle scelte di percorso effettuate su tale grafo virtuale.

### 3.1.2 Modello analitico di offerta

Il modello analitico di offerta microscopico comprende innanzitutto le funzioni e le procedure per il calcolo dei costi di arco, necessari nell'ambito della modellazione della scelta del percorso: in accordo con quanto detto nel paragrafo precedente, tali costi sono associati agli archi del grafo virtuale. In termini generali, si definisce in primo luogo il tempo di viaggio a flusso nullo  $tff_{jv}$  per la tipologia di veicolo  $v$  sull'arco virtuale  $j$  in condizioni di deflusso ininterrotto:

$$tff_{jv} = \frac{l_j}{\min\{v_j^{\max} \cdot \theta_v; v_v^{\max}\}}$$

nella quale  $v_j^{\max}$  è la velocità massima consentita sull'arco  $j$ ,  $v_v^{\max}$  è la velocità massima per la tipologia di veicolo  $v$  e  $\theta_v$  un parametro di sensibilità al rispetto dei limiti di velocità, che vale 1 nel caso di pieno rispetto dei limiti e maggiore di uno in caso contrario. E' possibile inoltre definire un costo monetario di arco specifico e, a partire da questo, un costo generalizzato di trasporto sull'arco monetizzando il valore del tempo; nell'applicazione al nodo di Peretola la simulazione è stata condotta considerando i soli tempi come impedenze. Durante il procedere della microsimulazione, i tempi di arco sono aggiornati come media dei tempi di percorrenza dei veicoli che lo hanno attraversato in un intervallo di tempo definito a priori. Può accadere che nessun veicolo attraversi l'arco in tale intervallo: ciò si verifica se l'arco è vuoto, e allora il tempo di percorrenza coincide con quello a flusso nullo, oppure vi è una coda di veicoli rimasti fermi nell'intervallo, e allora il tempo di percorrenza coincide con il tempo medio di attesa del veicolo in testa alla coda.

Il modello analitico di offerta microscopico comprende poi modelli matematici atti a descrivere e rappresentare il deflusso di ciascun singolo veicolo, in termini di comportamento di accodamento al veicolo precedente (*car following*), di cambio corsia (*lane changing*) e di conflitto tra correnti (*merging* e intersezioni). Di seguito si riporta una breve descrizione di ciascuna delle tre tipologie di modelli utilizzata nel presente studio.

#### 3.1.2.1 Car following

Il modello di car following utilizzato è un adattamento del modello di Gipps (1981)<sup>1</sup>. La velocità per il veicolo  $n$  all'istante  $t+\Delta t$  è calcolata con la seguente relazione:

$$V(n, t + \Delta t) = \min\{V_a(n, t + \Delta t), V_b(n, t + \Delta t)\} \quad (3.1)$$

nella quale:

$$V_a(n, t + \Delta t) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)}\right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

è la massima velocità raggiungibile dal veicolo di categoria  $n$  nell'istante  $t+\Delta t$ , essendo  $V(n, t)$  la sua velocità all'istante  $t$ ,  $V^*(n)$  la sua velocità desiderata,  $a(n)$  la sua accelerazione e  $T$  il tempo di reazione, e

$$V_b(n, t + \Delta t) = d(n)T + \sqrt{(d(n)T)^2 - d(n) \left[ 2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{(V(n-1, t))^2}{d'(n-1)} \right]}$$

è la massima velocità raggiungibile tenendo conto della presenza del veicolo precedente  $n-1$  (*leader*) e delle caratteristiche del veicolo  $n$  (*follower*), essendo  $d(n)$  la sua decelerazione massima,  $x(n, t)$  e  $x(n-1, t)$  la posizione rispettivamente di  $n$  e  $n-1$  all'istante  $t$ ,  $s(n-1)$  la lunghezza del veicolo leader e  $d'(n-1)$  una stima della decelerazione del leader.

La velocità desiderata  $V^*(n)$  viene calcolata nel seguente modo:

$$V^*(n) = \min\{V_{lim}(n, s); V_{max}(n)\}$$

dove  $V_{max}(n)$  è la velocità massima del veicolo  $n$  e  $V_{lim}(n, s)$  è la velocità limite del veicolo  $n$  sulla sezione stradale  $s$  (che può essere un tratto di corsia, una rampa di svolta ecc...), calcolata come:

$$V_{lim}(n, s) = V_{lim}(s)\theta(n)$$

essendo  $V_{lim}(s)$  la velocità massima del tratto  $s$  e  $\theta(n)$  un parametro di *speed acceptance* del veicolo  $n$ .

La stima della decelerazione può essere posta uguale alla decelerazione vera  $d(n-1)$ , il che può però portare a comportamenti non realistici quando il rapporto  $d(n)/d(n-1)$  è elevato, oppure alla media tra decelerazione del leader  $d(n-1)$  e del follower  $d(n)$ , oppure definita come  $d'(n-1) = d(n-1) \cdot a$ , dove  $a$  è un parametro di sensibilità che per valori maggiori di 1 identifica comportamenti di guida prudenti e per valori minori di 1 comportamenti aggressivi.

Il tempo di reazione  $T$  può essere ipotizzato fisso e pari allo step di simulazione per tutte le categorie di veicoli, o può essere differenziato in funzione della categoria di veicolo imponendo per ciascuno un

<sup>1</sup> P. G. Gipps, (1981). A behavioural car-following model for computer simulation. Transportation Research B, 15(2), pp. 105-111.

differente multiplo dello step di simulazione; nel presente studio si è optato per la prima scelta, assumendo uno step di simulazione pari a 0.5 secondi. Il tempo di reazione allo stop è uguale per tutti i veicoli ed è fissato in 1.35 secondi.

Una volta calcolata la velocità con la (3.1) si determina quindi la nuova posizione all'istante  $t+\Delta t$ :

$$x(n, t + \Delta t) = x(n, t) + \Delta t V(n, t + \Delta t)$$

Essa va confrontata col minimo distanziamento ammissibile  $\min HW(n)$  tra leader e follower, per cui se accade che la distanza calcolata con la velocità (3.1) è inferiore a tale minimo:

$$[x(n-1, t + \Delta t) - s(n-1)] - x(n, t) + \Delta t V(n, t + \Delta t) \leq \min HW(n) V(n, t + \Delta t)$$

allora la velocità all'istante  $t+\Delta t$  va aggiornata nel seguente modo:

$$V(n, t + \Delta t) = \frac{x(n-1, t + \Delta t) - s(n-1) - x(n, t)}{\min HW(n) + \Delta t}$$

### 3.1.2.2 Lane changing

Anche il modello di lane changing risulta da un adattamento di un modello di Gipps (1986)<sup>2</sup>. In particolare, ciascun arco del grafo di microsimulazione è diviso in tre tratte, numerate per distanza decrescente dal successivo punto di svolta (nodo finale dell'arco nel grafo macroscopico). Nella tratta più lontana dal punto di svolta (tratta 1) il comportamento di cambio corsia è influenzato solo dalle condizioni di deflusso della sezione (*discretionary lane changing*), in quella centrale (tratta 2) si comincia ad essere influenzati dalla corsia/e da prendere per poter effettuare correttamente la svolta, in quella finale (tratta 3) il cambiamento di corsia è obbligatorio per la successiva svolta (*mandatory lane changing*). Le tratte sono definite non in termini di lunghezza ma di secondi dal punto di svolta, determinando quindi tratte di lunghezza diversa per classi di veicoli con velocità diverse.

In presenza di sezioni di lunghezza relativamente corta tra numerose zone di immissione e diversione, come è nel caso del nodo di Peretola, potrebbe accadere che la lunghezza della tratta di ciascun arco più vicina alla svolta successiva (tratta 3) sia maggiore della lunghezza dell'arco stesso: ciò potrebbe quindi determinare l'impossibilità di effettuare la svolta, generando nella simulazione veicoli non processati correttamente. Per questo motivo AIMSUN adotta un approccio di tipo *look ahead*, secondo il quale ciascun veicolo che si trova nella seconda tratta di ciascun arco ha contezza di un certo numero di svolte successive a valle del punto in cui si trova; in altri termini, pur mantenendo coerenza con la corsia scelta per la prima svolta, inizia a valutare già altre possibili scelte di cambio corsia da effettuare per le svolte successive. Nel presente studio il numero di svolte da considerare nella logica look ahead è posto uguale a 3.

Ciò premesso, la logica del modello di lane changing è la seguente. Nella fase di discretionary lane changing si prendono in considerazione i due veicoli della corsia adiacente tra i quali ci si vuole

immettere: se la distanza tra di essi (*target gap*) è maggiore del gap soglia di accettazione, utilizzando le equazioni del modello di car following si calcolano le velocità imposte dal veicolo a valle sul veicolo che si immette e da quest'ultimo sul veicolo a monte. Se tutte le velocità ottenute sono ammissibili il cambiamento di corsia è allora possibile. Il gap soglia di accettazione può essere fissato al minimo fino alla lunghezza del veicolo, e può essere fissato anche un parametro di sovrastima delle decelerazioni del veicolo a monte, che se posto maggiore di uno tende a far accettare anche gap più bassi in modo da riprodurre un comportamento di guida più aggressivo. Nelle prime due tratte di ciascun arco – ad esclusione quindi di quella prossima alla svolta – è possibile anche effettuare il sorpasso, governato da parametri che definiscono le velocità limite inferiore e superiore (in percentuale sulla velocità massima del veicolo) per iniziare il sorpasso e rientrare nella corsia di marcia rispettivamente. Nella fase di mandatory lane changing, infine, il veicolo attende necessariamente un gap accettabile per immettersi nella corsia di svolta, e ciò può portare anche ad un suo arresto completo; è possibile in tal senso fissare dei parametri comportamentali atti a forzare l'accettazione di gap molto bassi.

### 3.1.2.3 Immissioni/diversioni e intersezioni

Per quanto riguarda immissioni e diversioni, le zone di ingresso da rampa sul flusso principale (*on ramp*) e di uscita dal flusso principale su rampa (*off ramp*) sono modellate con un approccio comportamentale analogo a quello di mandatory lane changing. Per quanto riguarda le intersezioni, a partire dalla geometria delle manovre di svolta e di attraversamento vengono innanzitutto individuati tutti i possibili punti di conflitto a carico di ciascuna manovra. Coerentemente, il comportamento di un veicolo di una data manovra che si approssima all'intersezione è valutato in relazione a tutti i veicoli rilevanti delle altre manovre incidenti che si trovino entro una certa distanza dall'intersezione, di norma 100 metri dal punto di conflitto. Per ciascuno di questi veicoli si calcola il gap corrispondente in caso di conflitto e lo si confronta con il gap acceptance del veicolo considerato, definendo di conseguenza, con le regole già esposte in precedenza, se abilitare o no l'attraversamento dell'intersezione. Inoltre, tra i veicoli può essere definita una regola di priorità, dipendente sia dalle caratteristiche intrinseche del veicolo sia dalla disciplina di segnaletica dell'intersezione, che può influenzare la scelta di gap acceptance.

### 3.1.3 Validazione del modello di offerta

Il modello di offerta microsimulativo è stato validato effettuando una microsimulazione con domanda di mobilità crescente a gradino fino a valori superiori alla capacità teorica delle direttrici di attraversamento del nodo, in modo da valutare l'effetto della scelta dei parametri del modello di offerta sul valore di capacità riprodotto a posteriori della simulazione. Il risultato riportato nella seguente Figura 18 mostra che i valori dei parametri scelti per le componenti analitiche del modello di offerta portano a riprodurre una capacità oraria di circa 2100 veicoli equivalenti/ora per corsia, ampiamente accettabile per il contesto da simulare.

<sup>2</sup> P. G. Gipps (1986). A model for the structure of lane-changing decisions. Transportation Research B, 20(5), pp. 403-414.

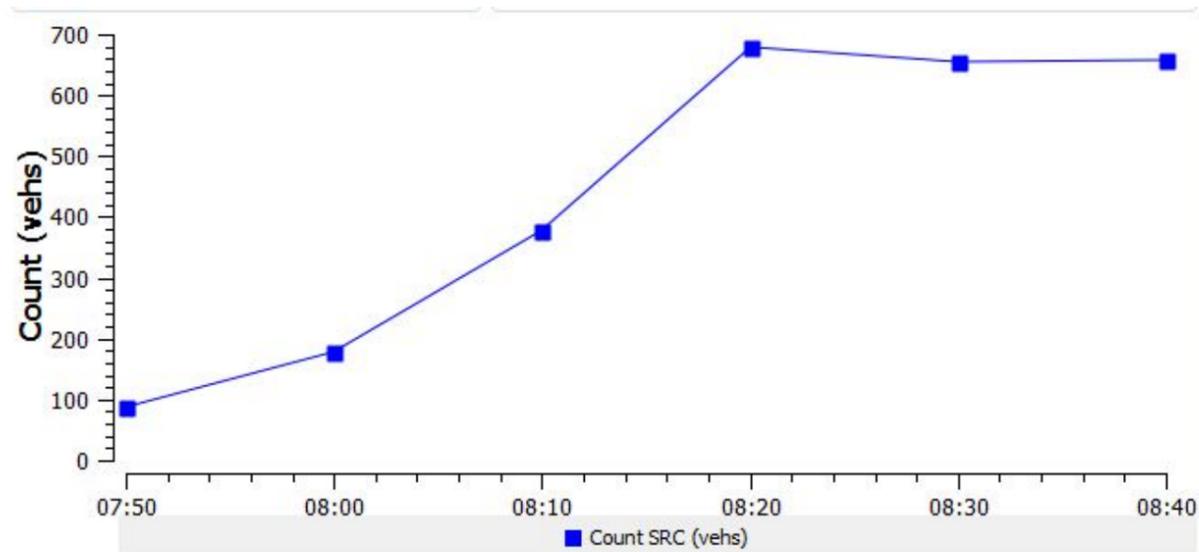


Figura 18 – Flusso nell'intervallo di 10 minuti su una sezione del nodo di Peretola a due corsie per un tempo di reazione  $T=0.5$  sec nel modello di car following

### 3.2 Modello di domanda

La matrice o-d utilizzata per la simulazione di ciascuno scenario progettuale è dedotta direttamente dalla matrice stimata con il modello macroscopico, secondo la procedura descritta nel paragrafo 2.6. Con riferimento alla fascia oraria di punta del mattino, per ciascuno degli scenari di progetto (2015 e 2035) sono quindi disponibili le matrici per ciascuna categoria di veicolo (auto, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti) e per ogni intervallo di 10 minuti a partire dalle 7:40 alle 9:20. Ciò consente di simulare il periodo di riferimento (8:00 – 9:00) e, per una più corretta analisi, sia un periodo di warm up (7:40 – 8:00) per ottenere valori corretti di costi per i veicoli che entrano nel sistema alle 8:00 sia un periodo successivo (9:00 – 9:20) per consentire il clearing della rete dei veicoli entrati alle 9:00 e per quantificare eventuali fenomeni di scarico delle code di sovrassaturazione. Analogamente, per la fascia di punta del pomeriggio le matrici trasposte per ciascun intervallo consentono di simulare il periodo di warm up, la fascia di punta e il periodo di clearing.

All'interno di ciascun intervallo di 10 minuti, i veicoli in ingresso da ciascun centroide della rete sono generati con distanziamenti temporali modellati secondo una variabile aleatoria esponenziale; nel caso di centroidi con più connettori di accesso alla rete, la ripartizione dei veicoli tra i connettori avviene in funzione delle scelte di percorso effettuate per raggiungere il centroide di destinazione.

### 3.3 Modello di interazione domanda-offerta

In AIMSUN 6.1 la scelta del percorso può essere gestita attraverso un modello deterministico o stocastico. La procedura di assegnazione base disponibile è un'euristica di caricamento dinamico della rete (DTA) in cui le scelte di percorso sono aggiornate per tutti i veicoli nella rete ogni prefissato intervallo di tempo  $\Delta t_r$  (*route choice cycle*), sulla base dei costi calcolati e/o simulati tenendo conto delle condizioni medie della rete in  $\Delta t_r$ ; si tratta quindi di un caricamento ad *instantaneous costs* aggiornati ogni  $\Delta t_r$ . E' inoltre disponibile un'euristica di assegnazione di equilibrio dinamico (DUE), nella quale a ciascuna iterazione è effettuata una simulazione con scelte di percorso effettuate a priori sulla base di una media dei costi di arco ottenuti nelle iterazioni precedenti; i flussi

di arco alla generica iterazione sono poi ottenuti con un algoritmo MSA. In entrambi i casi, sia DTA sia DUE, è necessario fissare un limite superiore al numero di percorsi generabili per coppia o-d, dovendosi necessariamente procedere per enumerazione esplicita. In ogni caso, la problematica di scelta del percorso non è rilevante nel caso del nodo di Peretola, dove per la maggior parte delle coppie di centroidi è disponibile di fatto un solo percorso.

### 3.4 Output della simulazione

I risultati della simulazione sono restituiti innanzitutto in forma grafica, in termini di video in 2D. Il software di microsimulazione fornisce inoltre alcuni indicatori di prestazione:

- *a livello di rete*
  - densità media [veic/km]
  - velocità media [km/h]
  - tempo di viaggio medio [sec/km]
  - tempo medio di ritardo rispetto alle condizioni a flusso nullo [sec/km]
  - numero di stop per veicolo [n° stop veic/km]
  - tempo totale su rete [sec]
  - distanza totale su rete [km]
- *a livello di coppia o-d*
  - velocità media [km/h]
  - tempo di viaggio medio [sec/km]
  - tempo medio di ritardo rispetto alle condizioni a flusso nullo [sec/km]
  - numero di stop per veicolo [n° stop veic/km]
- *a livello di arco*
  - flusso medio [veic/h]
  - densità media [veic/km]
  - velocità media [km/h]
  - tempo di viaggio medio [sec/km]
  - tempo medio di ritardo rispetto alle condizioni a flusso nullo [sec/km]
  - numero di stop per veicolo [n° stop veic/km]
  - lunghezza media della coda [veic]
  - lunghezza massima della coda [veic]

Tali indicatori saranno utilizzati nell'ambito delle verifiche funzionali del nodo di Peretola, di cui si tratterà nel capitolo successivo.

## 4 Performance di servizio del nodo di Peretola

### 4.2 Risultati

Il presente paragrafo riporta i risultati della microsimulazione effettuata per le fasce orarie di punta sia del mattino sia del pomeriggio, con riferimento rispettivamente all'orizzonte temporale di breve periodo e di lungo periodo.

In primo luogo si riportano i risultati a livello di indicatori di arco – flussi per tipologia di veicolo ed equivalenti, velocità media, densità, tempo di percorrenza a flusso nullo e a carico, ritardo medio, lunghezza media della coda, grado di saturazione – per gli scenari al 2015 (Tabella 9 per la punta del mattino e

### 4.1 Metodologia di calcolo delle prestazioni del nodo di Peretola

Il modello di microsimulazione descritto nel capitolo precedente è stato utilizzato per la verifica delle prestazioni del nodo di Peretola nei quattro scenari di progetto, risultanti dalla combinazione di orizzonte temporale (2015 e 2035) e di fascia oraria di simulazione (punta del mattino e punta del pomeriggio). Per ciascuno scenario le matrici di input suddivise per tipologia di veicolo sono riportate in Appendice alla presente relazione.

Al fine di procedere in continuità con le scelte metodologiche dello studio di traffico a supporto della progettazione preliminare, così da permettere il diretto confronto dei risultati, si è deciso di valutare le performance del nodo calcolando **il ritardo medio per ciascuna coppia origine-destinazione** di attraversamento, individuata attraverso la numerazione dei centroidi al cordone riportata nella seguente Figura 19. Tale indicatore è stato calcolato come differenza tra il tempo di percorrenza a carico e il tempo di percorrenza a flusso nullo.

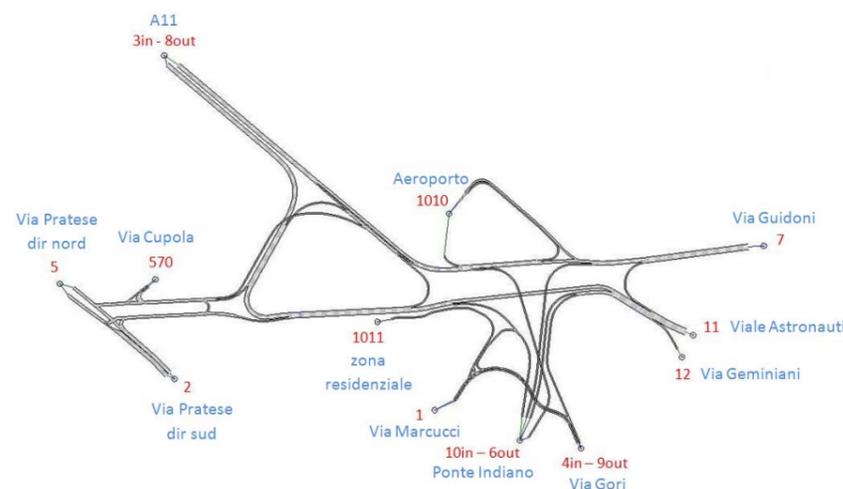


Figura 19 – Numerazione dei centroidi al cordone del nodo di Peretola

Tabella 10 per la punta del pomeriggio) e al 2035 (

Tabella 11 per la punta del mattino e

Tabella 12 per la punta del pomeriggio). Per comodità di lettura, le tabelle sono suddivise tra rampe e archi di linea, ed è adottata la numerazione identificativa degli archi riportata in Figura 20.

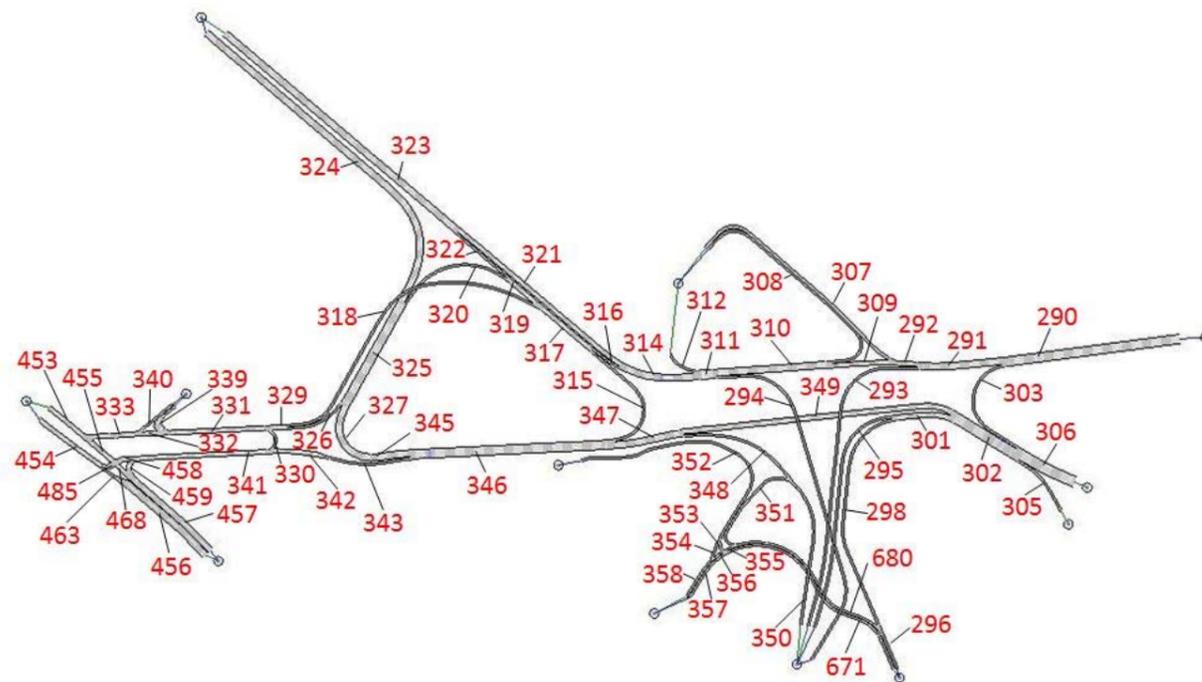


Figura 20 – Numerazione progressiva degli archi del grafo microsimulato

Tabella 9 – Analisi delle prestazioni del nodo di Peretola: scenario punta del mattino 2015

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
293	1	825	52	27	971	93.3	9.74	15.91	14.33	1.57	0	0.49
294	1	963	18	19	1038	52.0	19.19	32.71	31.30	1.41	0	0.54
295	1	1651	29	17	1737	50.9	32.93	22.69	21.26	1.43	0	0.91
296	1	1330	138	79	1735	32.8	45.15	8.08	5.33	2.75	0	0.85
297	1	392	14	24	473	41.9	10.22	4.16	3.20	0.96	0	0.24
298	1	115	22	9	171	52.5	2.73	21.33	20.68	0.65	0	0.08
305	1	93	6	4	112	51.6	1.99	6.12	5.74	0.38	0	0.06
308	1	78	0	0	78	54.8	1.41	21.54	21.38	0.16	0	0.04
312	1	165	4	4	181	50.8	3.43	2.97	2.75	0.23	0	0.09
315	1	412	24	8	468	53.2	8.09	11.66	11.33	0.33	0	0.24
316	1	1694	53	28	1844	50.2	30.90	3.44	3.15	0.28	0	0.95
318	1	1532	46	25	1664	49.6	32.24	30.39	27.65	2.74	0	0.86
320	1	148	8	4	170	53.9	2.88	10.58	10.36	0.22	0	0.09
322	1	411	23	8	466	52.7	7.00	6.54	6.04	0.50	0	0.24
326	1	517	36	22	626	45.1	12.35	6.70	5.47	1.23	0	0.31
336	1	133	0	0	133	24.0	5.60	1.16	0.49	0.67	0	0.07
337	1	133	0	0	133	26.8	4.81	0.54	0.26	0.28	0	0.07
338	1	133	0	0	133	31.1	4.24	0.78	0.43	0.35	0	0.07
339	1	133	0	0	133	42.3	3.17	1.73	1.33	0.40	0	0.07
343	1	1430	68	17	1575	50.8	30.11	8.08	7.49	0.59	0	0.81
348	1	754	35	3	814	51.8	15.41	11.46	10.57	0.89	0	0.42
350	1	1242	144	69	1631	76.3	19.26	9.17	6.75	2.41	0	0.80
351	1	490	110	66	820	49.0	13.68	10.62	9.47	1.16	0	0.38
352	1	57	0	20	107	51.9	1.48	24.35	23.19	1.16	0	0.05
353	1	57	0	20	107	37.0	2.84	2.22	1.22	1.00	0	0.05
355	1	720	7	3	738	47.9	16.28	1.13	0.91	0.22	0	0.39
356	1	719	7	3	737	50.4	14.40	1.30	1.18	0.11	0	0.39
357	1	336	14	5	370	51.9	7.14	5.69	5.33	0.36	0	0.19
358	1	719	7	3	737	52.7	13.94	3.84	3.69	0.15	0	0.39
458	1	1436	44	17	1545	48.3	22.47	1.85	1.62	0.23	0	0.80
459	1	50	24	0	86	14.4	2.26	9.56	1.56	8.00	0	0.01
463	1	674	6	5	696	48.1	9.48	3.25	2.20	1.05	0	0.36
485	1	1436	44	17	1545	38.7	41.97	0.37	0.22	0.14	0	0.80
486	1	1436	44	17	1545	39.9	42.74	0.25	0.15	0.10	0	0.80
487	1	1436	44	17	1545	43.1	17.47	1.08	0.81	0.26	0	0.80
670	1	393	14	25	477	42.5	14.61	6.51	3.55	2.96	0	0.24
671	1	392	14	24	473	47.9	9.09	14.38	13.48	0.90	0	0.24
672	1	1211	117	69	1559	44.5	27.61	3.41	2.82	0.59	0	0.77
680	1	1211	117	69	1559	37.8	45.04	21.36	12.26	9.10	2	0.77

(continua)

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
290	4	3774	215	113	4379	71.1	14.76	12.09	11.22	0.87	0	0.56
291	3	3771	214	112	4372	71.2	19.36	5.39	5.03	0.36	0	0.74
292	2	2943	162	86	3401	53.6	21.38	2.49	2.45	0.04	0	0.86
301	2	1765	51	26	1907	52.1	16.96	5.19	4.96	0.22	0	0.49
302	4	4664	228	135	5344	50.9	23.80	7.13	6.37	0.77	0	0.68
306	4	4567	222	132	5230	68.5	18.15	4.10	2.68	1.42	0	0.67
309	2	2942	162	86	3400	52.4	30.22	5.59	5.37	0.22	0	0.86
310	3	3016	160	86	3471	52.2	20.97	10.27	9.82	0.45	0	0.59
311	4	3976	178	105	4506	47.3	20.87	2.06	1.73	0.33	0	0.58
314	3	3806	174	101	4320	48.6	28.26	7.21	6.38	0.83	0	0.73
317	2	2102	76	36	2306	46.4	22.70	7.75	6.10	1.65	0	0.59
319	2	561	31	12	638	49.8	5.12	3.45	3.11	0.34	0	0.16
321	2	2106	122	73	2472	52.6	21.65	19.24	18.34	0.89	0	0.62
323	3	2512	145	81	2932	88.9	10.30	15.78	13.57	2.22	0	0.50
324	3	3043	199	125	3654	53.0	21.31	32.67	31.77	0.90	0	0.61
325	4	3186	206	128	3815	48.0	19.26	11.99	10.01	1.97	0	0.48
327	3	2664	171	106	3186	47.8	21.10	7.97	6.78	1.19	0	0.53
329	2	2048	81	46	2285	49.9	22.08	2.02	1.82	0.20	0	0.59
331	2	2045	81	46	2282	51.5	19.68	10.02	9.50	0.52	0	0.58
332	2	1913	81	46	2150	51.5	19.85	1.88	1.77	0.10	0	0.55
333	2	1912	81	46	2149	49.0	21.12	2.38	2.14	0.24	0	0.55
334	2	1911	81	46	2148	34.2	30.24	3.67	2.99	0.68	0	0.55
341	2	1433	68	17	1578	53.6	13.73	12.12	11.88	0.24	0	0.41
342	2	1433	68	17	1578	51.5	14.90	5.05	4.73	0.32	0	0.41
345	3	2663	171	106	3185	48.9	20.36	3.64	3.22	0.43	0	0.53
346	4	4081	237	122	4742	50.6	22.11	18.54	17.17	1.37	0	0.60
347	3	3664	214	113	4268	51.7	25.90	6.33	5.99	0.34	0	0.72
349	2	2902	178	110	3444	51.5	30.82	25.10	23.71	1.39	0	0.87
453	2	1908	81	46	2145	49.2	20.30	4.24	2.02	2.22	0	0.55
454	2	2110	50	21	2238	43.1	29.90	12.27	6.77	5.50	1	0.58
456	2	673	6	5	695	79.8	4.28	6.08	4.66	1.42	0	0.18
457	2	0	24	0	36	43.6	0.25	12.36	12.19	0.17	0	0.01

Tabella 10 – Analisi delle prestazioni del nodo di Peretola: scenario punta del pomeriggio 2015

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
293	1	1421	27	13	1494	87.7	16.69	16.89	14.27	2.62	0	0.78
294	1	532	9	8	566	53.2	10.31	31.99	31.24	0.75	0	0.29
295	1	964	94	56	1245	51.8	21.30	22.34	21.40	0.95	0	0.61
296	1	1938	33	21	2040	28.1	69.55	9.72	5.15	4.57	1	1.06
297	1	60	28	12	132	41.3	2.40	4.23	3.27	0.96	0	0.06
298	1	388	6	4	407	52.4	7.46	21.33	20.45	0.87	0	0.21
303	1	39	0	0	39	50.3	0.73	11.74	10.48	1.26	0	0.02
305	1	28	0	1	31	52.2	0.56	6.06	5.85	0.21	0	0.01
308	1	167	4	2	178	54.5	3.14	21.64	21.45	0.19	0	0.09
312	1	79	0	0	79	48.7	1.65	3.12	2.74	0.39	0	0.04
315	1	428	5	3	443	53.3	7.88	11.61	11.32	0.29	0	0.23
316	1	1506	61	36	1688	50.6	27.74	3.41	3.16	0.25	0	0.86
318	1	1353	57	33	1521	49.7	28.95	30.29	27.72	2.57	0	0.78
320	1	141	4	4	157	53.5	2.70	10.65	10.46	0.18	0	0.08
322	1	426	5	2	439	52.8	6.84	6.53	6.03	0.50	0	0.23
326	1	633	67	38	829	44.3	16.15	6.82	5.51	1.31	0	0.41
336	1	143	0	0	143	24.0	5.99	1.15	0.49	0.65	0	0.07
337	1	143	0	0	143	26.6	5.16	0.54	0.26	0.28	0	0.07
338	1	143	0	0	143	31.2	4.57	0.78	0.43	0.35	0	0.07
339	1	143	0	0	143	42.3	3.39	1.73	1.33	0.40	0	0.07
343	1	1217	40	26	1342	51.5	25.08	7.96	7.49	0.46	0	0.69
348	1	678	11	4	705	48.1	16.06	13.63	10.55	3.08	0	0.37
350	1	1916	27	13	1989	76.7	25.64	9.09	6.66	2.42	0	1.04
351	1	1241	16	10	1290	47.2	27.79	11.34	9.29	2.05	0	0.67
352	1	17	6	2	31	53.3	0.45	23.53	23.50	0.03	0	0.01
354	1	17	6	2	31	51.6	0.48	1.58	1.52	0.06	0	0.01
355	1	304	11	8	341	50.4	6.39	0.99	0.91	0.08	0	0.17
356	1	304	11	8	341	51.8	6.13	1.25	1.19	0.07	0	0.17
357	1	60	28	12	132	51.5	2.01	5.73	5.45	0.28	0	0.06
358	1	320	17	9	368	53.4	6.52	3.78	3.70	0.08	0	0.19
458	1	1187	37	25	1305	49.4	18.42	1.81	1.62	0.18	0	0.67
459	1	36	3	1	43	17.8	2.85	7.35	1.43	5.92	0	0.02
463	1	525	68	35	715	48.9	8.69	3.23	2.23	1.00	0	0.35
485	1	1188	37	25	1306	41.7	32.22	0.33	0.22	0.11	0	0.67
486	1	1188	37	25	1306	42.5	32.14	0.23	0.16	0.08	0	0.67
487	1	1187	37	25	1305	45.5	13.80	1.01	0.82	0.20	0	0.67
670	1	60	28	12	132	42.6	3.27	6.34	3.62	2.72	0	0.06
671	1	60	28	12	132	48.3	2.07	14.27	13.77	0.50	0	0.06
672	1	1546	27	17	1629	45.1	29.84	3.25	2.77	0.49	0	0.85
680	1	1546	27	17	1629	37.1	54.42	22.68	12.17	10.51	3	0.85

(continua)

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>r0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
290	4	5299	200	103	5857	48.0	29.96	16.59	14.53	2.06	0	0.75
291	3	5253	200	103	5811	49.3	37.89	7.80	7.01	0.79	0	1.00
292	2	3826	173	90	4311	50.1	31.99	2.67	2.45	0.22	0	1.10
301	2	1350	100	60	1650	52.1	13.90	5.20	4.98	0.22	0	0.41
302	4	4082	202	128	4705	52.2	20.19	6.89	6.36	0.53	0	0.60
306	4	4090	202	127	4711	69.7	15.97	4.01	2.69	1.33	0	0.60
309	2	3822	173	90	4307	50.4	40.63	5.80	5.38	0.43	0	1.10
310	3	3983	176	92	4477	51.1	27.99	10.50	9.83	0.67	0	0.76
311	4	4513	185	99	5038	45.5	25.15	2.20	1.74	0.46	0	0.65
314	3	4431	185	99	4956	48.2	32.92	7.27	6.38	0.89	0	0.85
317	2	1930	66	39	2127	47.9	19.60	7.27	6.12	1.16	0	0.55
319	2	569	9	6	598	50.2	4.91	3.42	3.12	0.30	0	0.16
321	2	2915	124	63	3259	51.8	29.60	19.50	18.33	1.17	0	0.84
323	3	3330	128	65	3685	88.7	13.29	15.80	13.52	2.28	0	0.63
324	3	3157	142	84	3580	53.0	21.41	32.68	31.76	0.92	0	0.61
325	4	3295	146	87	3732	47.4	19.55	12.15	10.02	2.13	0	0.48
327	3	2660	79	49	2901	48.8	19.31	7.70	6.77	0.93	0	0.50
329	2	1986	123	71	2348	49.3	22.44	2.05	1.83	0.22	0	0.59
331	2	1981	123	71	2343	51.3	19.78	10.05	9.54	0.51	0	0.59
332	2	1839	123	71	2201	51.4	19.83	1.88	1.78	0.10	0	0.55
333	2	1838	123	71	2200	48.6	21.27	2.40	2.15	0.25	0	0.55
334	2	1837	123	71	2199	34.0	30.34	3.70	3.01	0.69	0	0.55
341	2	1221	40	26	1346	53.7	11.60	12.10	11.88	0.21	0	0.35
342	2	1219	40	26	1344	52.2	12.41	4.97	4.74	0.24	0	0.35
345	3	2658	79	49	2899	49.8	18.90	3.57	3.21	0.36	0	0.50
346	4	3862	118	74	4224	51.4	19.87	18.25	17.15	1.09	0	0.54
347	3	3431	114	72	3782	52.2	23.25	6.27	5.98	0.29	0	0.65
349	2	2737	102	68	3060	52.2	27.77	24.79	23.69	1.10	0	0.78
453	2	1836	123	71	2198	48.9	20.40	4.26	2.03	2.24	0	0.55
454	2	1714	105	59	2019	47.1	21.43	8.54	6.81	1.73	0	0.51
456	2	525	68	34	712	78.2	4.02	6.25	4.76	1.49	0	0.17
457	2	36	3	1	43	47.9	0.38	11.30	11.17	0.12	0	0.01

Tabella 11 – Analisi delle prestazioni del nodo di Peretola: scenario punta del mattino 2035

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
293	1	920	58	38	1102	92.5	11.03	16.05	14.37	1.68	0	0.55
294	1	1036	10	6	1066	52.1	20.11	32.63	31.16	1.47	0	0.56
295	1	1891	37	21	1999	50.4	38.23	22.93	21.23	1.70	0	1.04
296	1	1541	179	108	2080	26.8	70.78	10.75	5.34	5.40	1	1.01
297	1	622	16	26	711	41.8	15.77	4.16	3.21	0.95	0	0.36
298	1	130	28	15	210	51.6	3.28	21.65	20.75	0.90	0	0.10
305	1	135	7	7	163	49.4	3.04	6.42	5.75	0.66	0	0.08
308	1	103	0	0	103	54.7	1.87	21.59	21.47	0.12	0	0.05
312	1	190	5	3	205	49.1	4.08	3.08	2.77	0.31	0	0.11
315	1	497	27	17	580	52.9	9.86	11.69	11.35	0.35	0	0.29
316	1	1736	51	25	1875	50.0	31.73	3.45	3.15	0.30	0	0.97
318	1	1536	42	16	1639	49.7	31.95	30.31	27.66	2.65	0	0.85
320	1	189	10	9	227	53.4	3.78	10.67	10.43	0.25	0	0.11
322	1	495	26	17	577	52.0	8.60	6.63	6.05	0.58	0	0.29
326	1	671	53	27	818	42.1	17.19	7.15	5.46	1.69	0	0.41
336	1	160	0	0	160	23.5	6.94	1.18	0.49	0.69	0	0.08
337	1	160	0	0	160	26.9	5.72	0.53	0.26	0.27	0	0.08
338	1	160	0	0	160	31.6	4.92	0.77	0.43	0.34	0	0.08
339	1	160	0	0	160	42.0	3.86	1.74	1.33	0.41	0	0.08
343	1	1507	83	35	1719	50.3	32.58	8.16	7.50	0.66	0	0.88
348	1	900	45	9	990	50.6	19.30	11.89	10.58	1.31	0	0.51
350	1	1411	185	96	1929	75.1	22.76	9.31	6.78	2.53	0	0.94
351	1	514	140	87	942	48.2	15.50	10.80	9.52	1.29	0	0.43
352	1	72	0	15	110	52.5	1.66	24.10	23.04	1.05	0	0.05
353	1	45	0	15	83	37.2	2.09	2.09	1.23	0.86	0	0.04
354	1	27	0	0	27	54.7	0.49	1.49	1.46	0.03	0	0.01
355	1	892	8	6	919	48.4	19.42	1.07	0.91	0.16	0	0.48
356	1	891	8	6	918	50.4	17.94	1.29	1.19	0.11	0	0.48
357	1	578	16	11	630	51.1	12.54	5.87	5.34	0.53	0	0.32
358	1	918	8	6	945	52.4	17.88	3.85	3.69	0.16	0	0.50
458	1	1514	48	35	1674	44.6	25.88	1.99	1.62	0.37	0	0.86
459	1	0	35	0	53	11.8	4.55	13.42	1.55	11.87	0	0.02
463	1	930	10	9	968	41.1	14.89	3.73	2.20	1.53	0	0.51
485	1	1515	48	35	1675	27.6	62.09	0.49	0.22	0.27	0	0.86
486	1	1515	48	35	1675	33.3	54.47	0.31	0.15	0.16	0	0.86
487	1	1515	48	35	1675	35.3	22.21	1.28	0.81	0.47	0	0.86
670	1	623	16	26	712	41.8	24.36	7.07	3.55	3.52	0	0.36
671	1	622	16	26	711	47.2	14.23	14.60	13.50	1.11	0	0.36
672	1	1407	149	93	1863	44.4	32.62	3.42	2.83	0.59	0	0.91
680	1	1408	150	93	1866	36.2	58.08	23.31	12.29	11.02	3	0.91

(continua)

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>r0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
290	4	4317	262	145	5073	69.4	17.45	12.40	11.25	1.15	0	0.64
291	3	4314	262	145	5070	69.8	22.75	5.50	5.04	0.45	0	0.85
292	2	3392	204	108	3968	53.1	25.39	2.52	2.46	0.06	0	1.00
301	2	2019	65	36	2207	51.7	19.73	5.24	4.96	0.29	0	0.57
302	4	5522	278	174	6374	45.7	34.76	8.75	6.37	2.38	0	0.81
306	4	5386	271	167	6210	65.1	22.79	4.37	2.68	1.68	0	0.79
309	2	3389	204	107	3963	51.8	35.58	5.66	5.39	0.27	0	1.00
310	3	3486	203	107	4058	51.4	24.82	10.43	9.85	0.58	0	0.69
311	4	4520	213	112	5120	45.4	24.92	2.16	1.74	0.43	0	0.65
314	3	4330	208	109	4915	47.7	32.82	7.35	6.39	0.96	0	0.84
317	2	2226	78	41	2446	45.2	24.83	7.98	6.11	1.87	0	0.63
319	2	685	36	26	804	48.9	6.44	3.52	3.12	0.40	0	0.20
321	2	2588	157	85	3036	51.9	26.97	19.49	18.37	1.12	0	0.77
323	3	3073	182	101	3599	88.1	12.75	15.93	13.60	2.33	0	0.61
324	3	3927	249	149	4673	52.1	27.83	33.18	31.76	1.42	0	0.78
325	4	4105	259	157	4886	39.9	33.96	16.43	10.00	6.42	1	0.62
327	3	3428	205	130	4061	43.7	31.55	9.29	6.78	2.51	0	0.68
329	2	2206	95	43	2456	49.4	24.07	2.05	1.82	0.23	0	0.63
331	2	2204	95	43	2454	51.2	21.34	10.08	9.50	0.57	0	0.63
332	2	2043	95	43	2293	51.4	21.24	1.88	1.77	0.11	0	0.59
333	2	2043	95	43	2293	48.7	22.81	2.40	2.14	0.26	0	0.59
334	2	2041	95	43	2291	34.0	32.51	3.69	2.99	0.70	0	0.59
341	2	1511	83	35	1723	53.1	14.84	12.22	11.90	0.32	0	0.44
342	2	1510	83	35	1722	51.5	15.99	5.05	4.74	0.31	0	0.44
345	3	3426	205	130	4059	46.7	27.40	3.84	3.22	0.62	0	0.68
346	4	4920	287	165	5763	49.0	27.59	19.13	17.18	1.95	0	0.73
347	3	4420	259	148	5179	50.5	32.10	6.49	5.99	0.49	0	0.87
349	2	3505	213	139	4172	50.4	38.09	25.63	23.73	1.91	0	1.05
453	2	2039	95	43	2289	49.1	21.74	4.24	2.02	2.22	0	0.59
454	2	2445	58	43	2640	12.7	118.58	35.19	6.78	28.41	6	0.68
456	2	930	10	9	968	77.4	6.12	6.27	4.67	1.60	0	0.25
457	2	0	35	0	53	42.7	0.38	12.80	12.11	0.69	0	0.01

Tabella 12 – Analisi delle prestazioni del nodo di Peretola: scenario punta del pomeriggio 2035

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>r0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
293	1	1404	30	20	1499	86.6	16.84	17.13	14.26	2.87	0	0.78
294	1	531	16	6	570	52.8	10.44	32.25	31.31	0.94	0	0.30
295	1	971	108	61	1286	51.7	21.80	22.36	21.42	0.94	0	0.63
296	1	2011	12	4	2039	26.8	77.20	10.59	5.09	5.50	1	1.07
297	1	141	45	20	259	41.1	4.96	4.24	3.27	0.97	0	0.12
298	1	455	5	2	468	52.5	8.62	21.29	20.41	0.88	0	0.25
303	1	49	-1	-1	45	52.1	0.90	11.32	10.23	1.09	0	0.02
305	1	31	1	-1	30	52.8	0.60	5.99	5.63	0.36	0	0.02
308	1	174	7	4	195	53.8	3.40	21.97	21.55	0.42	0	0.10
312	1	81	-1	-1	77	42.8	1.91	3.57	2.75	0.81	0	0.04
315	1	352	40	20	462	52.8	7.52	11.73	11.45	0.28	0	0.23
316	1	1349	88	42	1586	50.5	25.67	3.42	3.16	0.26	0	0.80
318	1	1174	76	36	1378	50.0	25.66	30.13	27.78	2.35	0	0.70
320	1	171	12	4	199	54.1	3.37	10.55	10.35	0.19	0	0.10
322	1	351	39	20	460	52.2	6.54	6.60	6.11	0.50	0	0.23
326	1	754	51	24	891	45.6	17.67	6.64	5.46	1.17	0	0.45
336	1	161	-1	-1	157	23.7	6.86	1.17	0.49	0.68	0	0.08
337	1	161	-1	-1	157	26.7	5.78	0.54	0.26	0.28	0	0.08
338	1	161	-1	-1	157	31.0	5.15	0.78	0.43	0.35	0	0.08
339	1	161	-1	-1	157	42.2	3.83	1.74	1.34	0.40	0	0.08
343	1	1455	89	49	1711	50.1	32.04	8.19	7.51	0.69	0	0.87
348	1	694	26	8	753	52.1	14.14	11.44	10.52	0.92	0	0.39
350	1	1496	33	10	1571	79.4	19.47	8.76	6.64	2.11	0	0.82
351	1	804	8	2	821	50.7	16.15	10.26	9.25	1.01	0	0.43
352	1	61	12	9	102	53.2	1.51	23.59	23.23	0.36	0	0.05
353	1	35	-1	-1	31	38.4	1.11	1.92	1.21	0.72	0	0.02
354	1	27	12	9	68	52.2	0.87	1.56	1.53	0.04	0	0.03
355	1	744	-1	-1	740	50.5	15.07	1.01	0.91	0.11	0	0.39
356	1	744	-1	-1	740	51.6	14.35	1.26	1.18	0.08	0	0.39
357	1	106	45	20	224	50.7	3.54	5.85	5.48	0.37	0	0.10
358	1	770	12	9	811	53.1	14.95	3.81	3.69	0.12	0	0.42
458	1	1459	89	49	1715	45.3	25.61	1.97	1.62	0.34	0	0.87
463	1	474	41	22	591	42.5	8.32	3.68	2.21	1.47	0	0.29
485	1	1460	89	49	1716	30.3	58.37	0.46	0.22	0.24	0	0.87
486	1	1460	89	49	1716	34.9	53.52	0.30	0.16	0.15	0	0.87
487	1	1459	89	49	1715	37.2	21.47	1.24	0.82	0.43	0	0.87
670	1	141	45	20	259	41.2	7.32	6.85	3.62	3.23	0	0.12
671	1	141	45	20	259	47.5	4.36	14.51	13.76	0.75	0	0.12
672	1	1551	8	2	1568	47.4	28.35	3.16	2.78	0.38	0	0.83
680	1	1552	8	2	1569	36.9	54.10	22.94	12.12	10.82	3	0.83

(continua)

ID arco	n. corsie	flusso [veic/h]				velocità media [km/h]	densità [veic/km]	t <sub>r</sub> [sec/km]	t <sub>r0</sub> [sec/km]	ritardo medio [sec/km]	veicoli in coda	Vp/cap
		legg	medi	pes	equiv							
290	4	5388	234	122	6044	35.9	49.08	26.57	14.50	12.07	1	0.77
291	3	5332	234	122	5988	40.3	52.19	10.52	7.00	3.52	0	1.02
292	2	3925	203	102	4485	46.3	37.51	3.03	2.45	0.57	0	1.14
301	2	1425	112	63	1751	52.0	14.73	5.20	4.98	0.23	0	0.44
302	4	4068	223	127	4720	51.5	20.78	7.09	6.36	0.72	0	0.60
306	4	4085	222	127	4736	69.0	16.25	4.07	2.69	1.38	0	0.60
309	2	3921	202	102	4479	45.6	49.49	6.82	5.37	1.45	0	1.14
310	3	4089	209	106	4668	34.4	54.88	19.85	9.82	10.03	1	0.79
311	4	4618	224	112	5234	33.1	45.79	3.92	1.74	2.17	0	0.67
314	3	4533	224	112	5149	46.2	35.48	7.62	6.38	1.24	0	0.88
317	2	1701	128	61	2046	48.4	17.67	7.08	6.14	0.95	0	0.51
319	2	522	51	24	659	50.3	5.01	3.41	3.13	0.28	0	0.16
321	2	3179	135	70	3557	51.5	32.51	19.65	18.31	1.33	0	0.91
323	3	3524	174	90	4010	88.2	14.37	15.91	13.55	2.36	0	0.68
324	3	2843	127	63	3191	53.2	19.11	32.53	31.69	0.84	0	0.54
325	4	3010	139	67	3386	47.1	18.56	12.65	9.99	2.66	0	0.43
327	3	2253	88	44	2495	49.6	16.21	7.57	6.76	0.80	0	0.43
329	2	1928	127	60	2269	49.4	21.81	2.05	1.83	0.22	0	0.57
331	2	1926	127	60	2267	51.1	19.29	10.10	9.53	0.57	0	0.57
332	2	1765	127	59	2103	51.4	19.00	1.88	1.78	0.11	0	0.53
333	2	1764	127	59	2102	48.9	20.35	2.39	2.15	0.24	0	0.53
334	2	1764	127	59	2102	34.3	28.86	3.66	3.00	0.66	0	0.53
341	2	1457	89	49	1713	53.1	14.53	12.22	11.90	0.31	0	0.43
342	2	1455	89	49	1711	51.0	15.84	5.11	4.74	0.37	0	0.43
345	3	2253	88	44	2495	50.6	15.91	3.51	3.21	0.30	0	0.43
346	4	3700	176	92	4194	51.1	19.55	18.35	17.15	1.20	0	0.54
347	3	3346	137	73	3734	52.0	22.93	6.29	5.97	0.32	0	0.64
349	2	2646	111	65	2975	52.1	26.94	24.82	23.67	1.15	0	0.76
453	2	1762	127	59	2100	49.0	19.53	4.26	2.03	2.23	0	0.53
454	2	1934	130	71	2307	20.2	90.27	32.04	6.80	25.24	4	0.58
456	2	474	41	22	591	77.3	3.48	6.31	4.72	1.59	0	0.15

Guardando innanzitutto alle rampe, dall'analisi dei video, **non si registrano in nessuno scenario sistematici fenomeni di code**, fatta eccezione per **via Martucci** (archi n° 296 e 680) in virtù della presenza del **semaforo pedonale** di attraversamento a chiamata. In ogni caso, la lunghezza media della coda non supera i tre veicoli, valore ampiamente accettabile per un impianto semaforico di questo tipo. Per inciso, qualora si optasse per tempi di utilizzo dell'attraversamento più severi di quelli ipotizzati nella simulazione (20 secondi di verde pedonale ogni 3 minuti) questo risultato potrebbe suggerire, nel lungo periodo, di procedere alla rimozione dell'attraversamento pedonale a raso attraverso la realizzazione di un sovrappasso; tale soluzione è altresì raccomandata per gli eventuali attraversamenti pedonali della direttrice via Guidoni - via Luder - inizio A11.

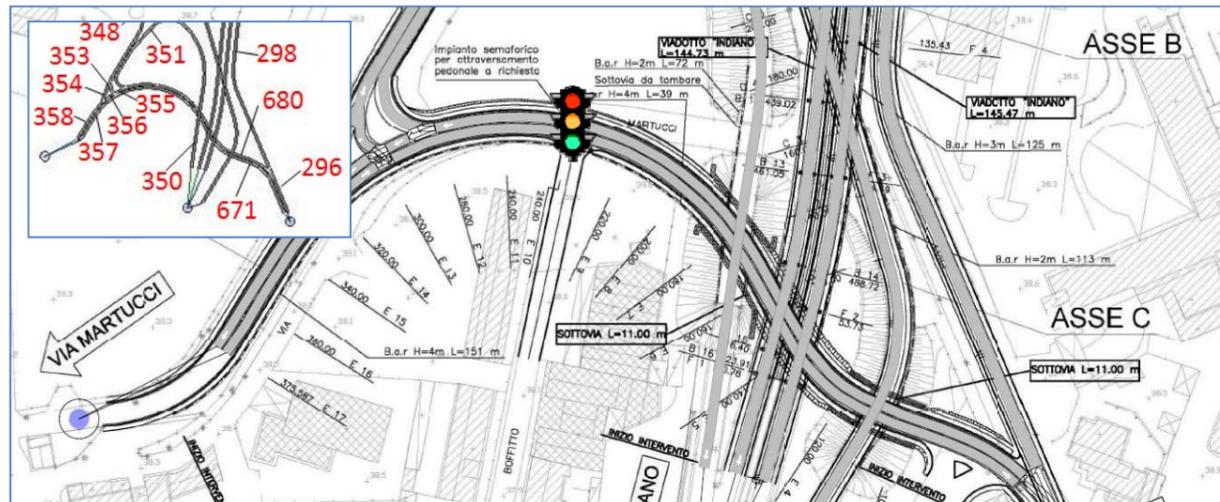


Figura 21 - Impianto semaforico pedonale su via Martucci

In alcune simulazioni, si sono registrati **fenomeni di interferenza tra le correnti veicolari in ingresso sulla rampa del viadotto Ponte all'Indiano proveniente da via Palagio degli Spini (arco n° 348) e quelle in ingresso sullo stesso viadotto dalla rampa di via Martucci (arco n° 351)**, come riportato dal frame di microsimulazione di **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata., relativo allo scenario di punta del pomeriggio al 2015. Anche se l'impatto di tale interferenza sulle prestazioni del layout di progetto del nodo è estremamente limitato, tenendo conto che si tratta di due rampe in salita in condizioni di visibilità non ottimali, si ritiene opportuno suggerire una modifica del tracciato che permetta alla rampa proveniente da via Martucci (arco n° 351) di usufruire di una minima corsia di accelerazione in affiancamento alla rampa proveniente da via Palagio degli Spini (arco n° 348), in modo da rendere più fluida l'interazione tra le due correnti veicolari.

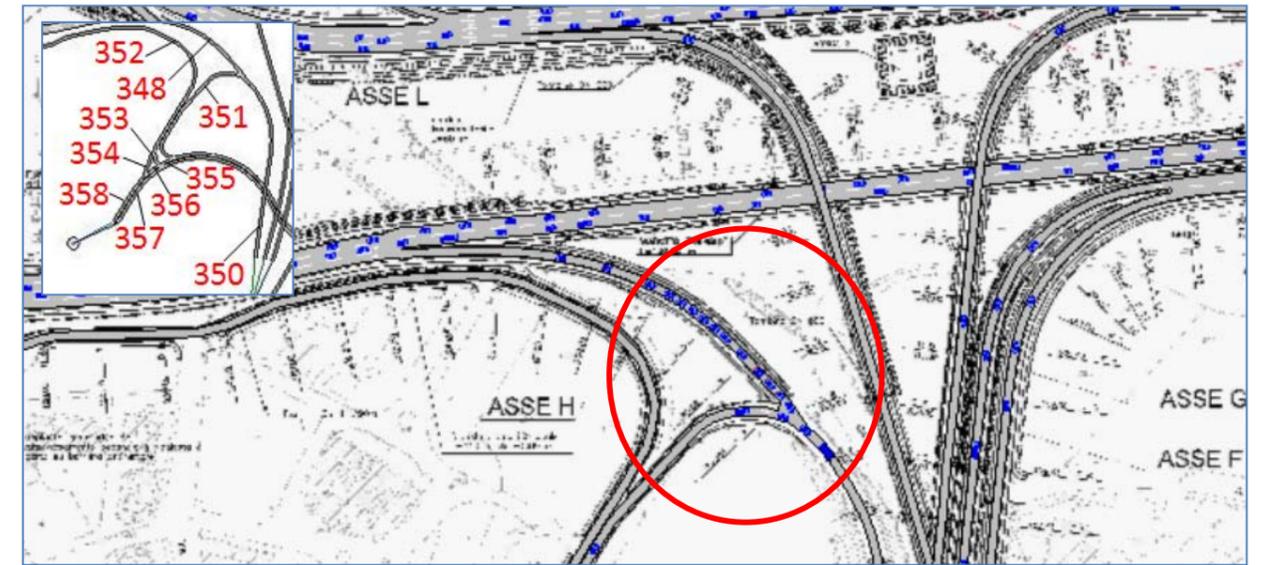


Figura 22 – Scenario di punta del pomeriggio del 2015 (particolare): interferenza tra le rampe di accesso al viadotto Ponte all'Indiano da via Palagio degli Spini e da via Martucci

Va infine segnalata la **svolta dalla parte inferiore di via Pratese (arco n° 457) a destra verso via Palagio degli Spini (arco n° 459)**, con un'attesa media di 8.00 secondi nella punta del mattino al 2015 e di 11.87 secondi nella punta del mattino al 2035.

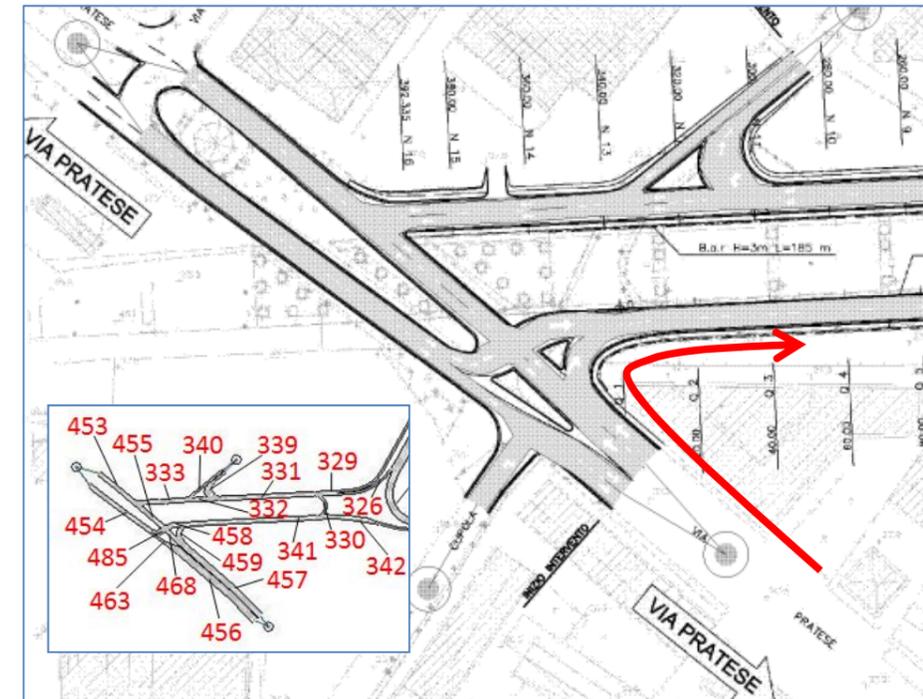


Figura 23 – Svolta in destra da via Pratese (provenienza Firenze) a via Palagio degli Spini

Anche i **ritardi medi per arco**, con riferimento ai valori di Tabella 9 espressi in secondi/km, **ricadono in range ampiamente accettabili**.

Il solo arco a presentare ritardi apprezzabili è la **parte alta di via Pratese** (arco n° 454) interessata da un notevole flusso di svolta in sinistra verso via Palagio degli Spini – 2238 veicoli equivalenti/ora nello scenario di punta del mattino al 2015 – in virtù dell'inversione del senso di marcia di quest'ultima rispetto allo scenario attuale. Tale manovra interferisce potenzialmente con il flusso su via Pratese dall'arco n° 457 all'arco n° 453, che è di fatto nullo negli scenari simulati poiché ha valenza puramente locale.

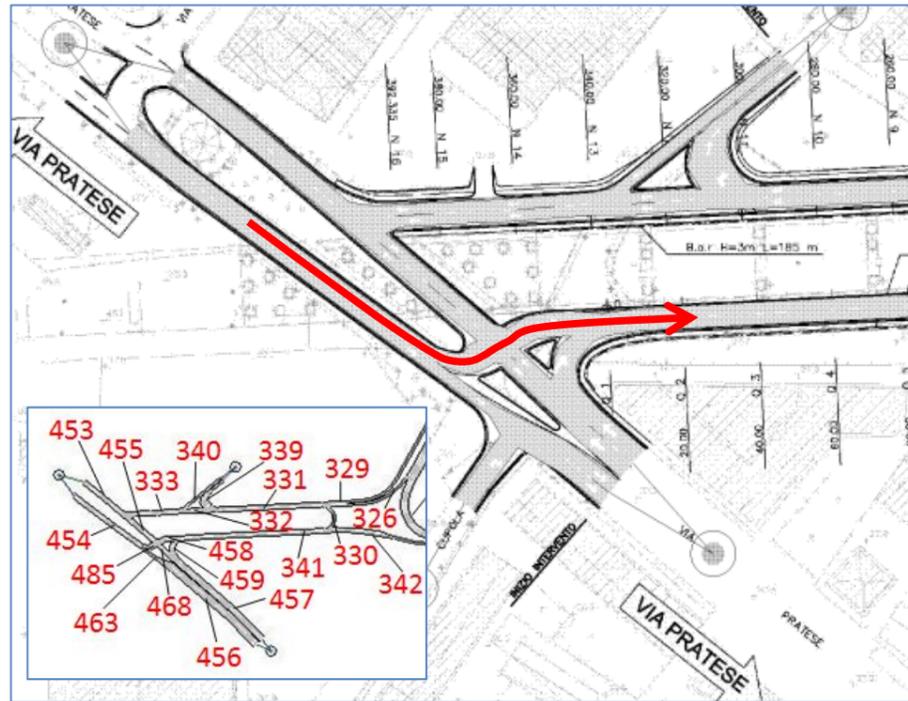


Figura 24 – Svolta in sinistra da via Pratese (provenienza Prato) a via Palagio degli Spini

In tal senso, qualora si dovessero osservare imprevisti incrementi di flusso su tale direttrice, si suggerisce di procedere con una semplice modifica di circolazione, obbligando la svolta a destra da via Pratese verso via Palagio degli Spini (dall'arco n° 457 verso l'arco n° 459) e invertendo il senso di marcia sul tratto n° 455 di via Pratese, così da creare un anello di circolazione in senso antiorario. In questo modo, il flusso dall'arco n° 454 di via Pratese verso il nodo di Peretola non avrebbe ostacoli e l'esiguo flusso dall'arco n° 457 all'arco n° 453 sarebbe servito con circolazione ad anello utilizzando la rampa n° 330.



Figura 25 – Ipotesi di anello a circolazione antioraria per favorire la manovra da via Pratese (provenienza Prato) a via Palagio degli Spini

Guardando poi in generale ai tratti di linea, si osserva che **la considerevole entità dei flussi di attraversamento del nodo è ben smaltita dalla configurazione di progetto**, nella quale le correnti di scambio interagiscono senza creare fenomeni di accodamento e/o di notevole disturbo alla circolazione. In particolare, la densità media della rete del nodo di Peretola è, nel 2015, di 19.74 veicoli/km nella punta del mattino e di 21.19 veic/km nella punta del pomeriggio, valori che salgono al 2035 a 26.57 veic/km nella punta del mattino e 28.03 veic/km nella punta del pomeriggio.

Analizzando in dettaglio il deflusso sui singoli tratti **si ritiene che sia assolutamente da inibire la manovra di scambio che dalla rampa di Ponte all'Indiano permette di accedere all'aeroporto**. Inoltre la segnaletica orizzontale e verticale delle rampe di immissione deve essere gestita con particolare attenzione, ad esempio nella rampa da Ponte all'Indiano verso via Luder, caratterizzata da flussi considerevoli, tenendo conto che una disciplina di tipo "dare precedenza" determinerebbe code notevoli lungo il Ponte all'Indiano.



Figura 26 – Manovra da inibire

Va poi sottolineato che la **diretrice che da via Luder conduce all'ingresso della A11 in direzione mare avrà una capacità corrispondente ad una strada a due corsie**, tenendo conto che, delle quattro corsie in arrivo da via Guidoni si distaccano in successione le due più a sinistra rispettivamente verso viale degli Astronauti e verso Ponte all'Indiano in direzione sud. Ciò da un lato è positivo perché consente di laminare il flusso veicolare in arrivo da via Guidoni, evitando conflitti eccessivi con il flusso considerevole che si immette da Ponte all'Indiano, senza creare al tempo stesso fenomeni di accodamento con possibile rigurgito su via Guidoni stessa. Dall'altro, però, si potrebbero creare nel lungo periodo situazioni di accodamento derivanti da tale collo di bottiglia: in tal senso va letto il peggioramento delle prestazioni per le coppie o-d originate da via Guidoni nello scenario di punta del pomeriggio dal 2015 al 2035.

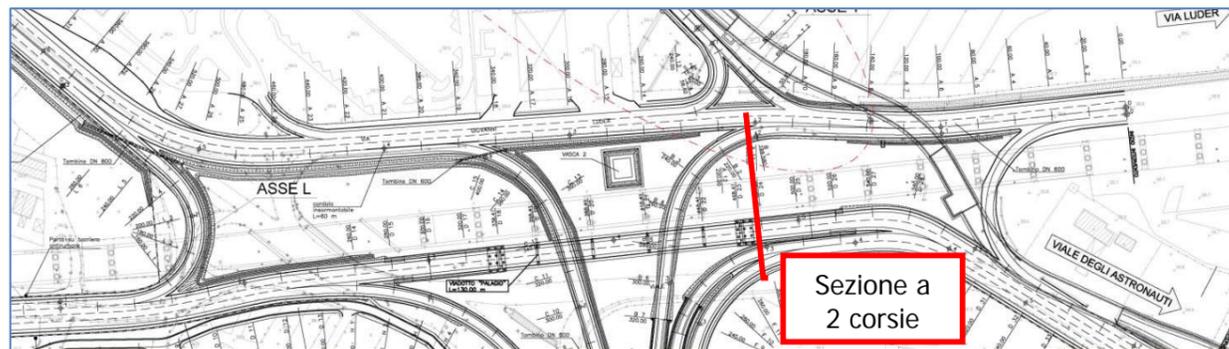


Figura 27 – Sezione a 2 corsie da via Luder ad A11 direzione mare

Le performance del nodo di Peretola molto positive negli scenari di progetto al 2015 e accettabili al 2035 sono confermate dai livelli di servizio calcolati per coppia o-d, riportati per gli scenari del 2015 in Tabella 13 (mattina) e in Tabella 14 (pomeriggio) e per gli scenari del 2035 in Tabella 15 (mattina) e in Tabella 16 (pomeriggio).

Come si vede, situazioni di una qualche criticità si ravvisano solamente nello scenario di lungo periodo su alcune direttrici, in particolare per quelle in origine da via Pratese, che può essere in parte risolta con la modifica di circolazione già descritta in precedenza, e da via Guidoni.

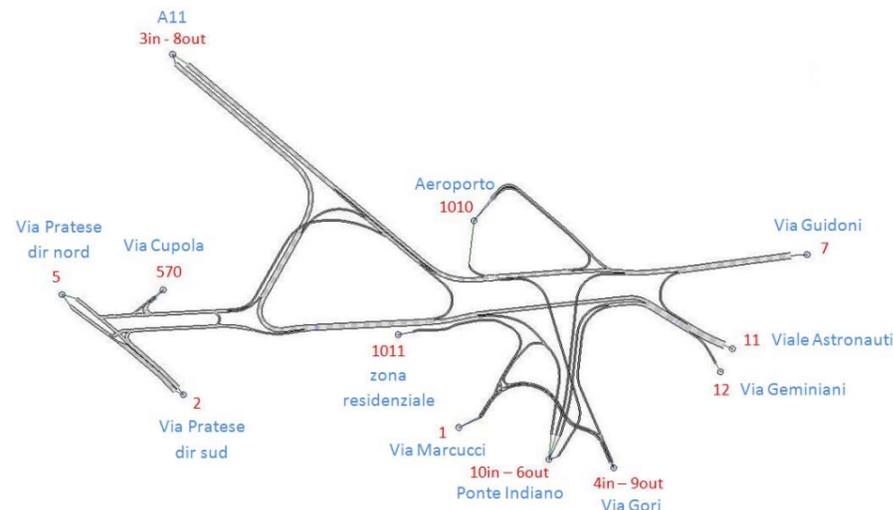


Figura 28 – Numerazione dei centroidi al cordone del nodo di Peretola

Tabella 13 – Livelli di servizio per coppia o-d: scenario di punta del mattino 2015

Origine	Destinazione	velocità [km/h]	t <sub>0</sub> [sec]	t <sub>r</sub> [sec]	ritardo [sec]	LOS
A11	ponte all'Indiano	53.46	91.91	100.55	8.64	A
A11	via Cupola	47.28	61.33	69.92	8.60	A
A11	via Geminiani	52.39	105.84	115.23	9.39	A
A11	via Pratese (nord)	48.31	67.95	77.52	9.57	A
A11	viale Astronauti	51.58	107.61	116.76	9.15	A
Aeroporto	A11	60.86	71.08	74.91	3.83	A
Aeroporto	ponte all'Indiano	54.33	120.73	129.09	8.36	B
Aeroporto	via Pratese (nord)	50.20	95.96	106.31	10.35	B
Aeroporto	viale Astronauti	52.26	136.64	146.62	9.98	B
ponte all'Indiano	A11	59.28	71.37	76.73	5.36	A
ponte all'Indiano	Aeroporto	50.73	36.94	38.14	1.20	A
ponte all'Indiano	via Cupola	48.34	90.31	101.05	10.74	B
ponte all'Indiano	via Geminiani	47.79	39.30	42.12	2.82	A
ponte all'Indiano	via Pratese (nord)	49.29	96.54	107.80	11.26	B
ponte all'Indiano	viale Astronauti	52.30	35.40	39.46	4.06	A
via Gori	ponte all'Indiano	44.37	36.68	53.25	16.56	C
via Gori	via Marcucci	38.10	26.17	38.85	12.69	B
via Gori	viale Astronauti	49.49	38.74	45.79	7.05	A
via Guidoni	A11	63.29	76.60	79.73	3.13	A
via Guidoni	Aeroporto	60.63	40.71	42.21	1.50	A
via Guidoni	ponte all'Indiano	81.43	35.19	38.38	3.19	A
via Guidoni	via Geminiani	53.30	145.22	153.53	8.30	B
via Guidoni	via Pratese (nord)	52.54	102.01	110.59	8.58	B
via Guidoni	viale Astronauti	52.44	27.12	29.29	2.17	A
via Marcucci	via Gori	45.58	25.86	30.60	4.74	A
via Pratese (nord)	A11	55.17	91.27	102.69	11.42	B
via Pratese (nord)	ponte all'Indiano	52.52	73.84	83.79	9.95	A
via Pratese (nord)	via Pratese (sud)	54.85	13.68	19.62	5.94	A
via Pratese (nord)	viale Astronauti	49.97	89.68	100.95	11.27	B
via Pratese (sud)	ponte all'Indiano	46.59	81.48	96.65	15.17	C
zona residenziale	via Gori	46.19	44.65	52.08	7.43	A
zona residenziale	via Marcucci	57.22	27.96	28.70	0.74	A

Tabella 14 – Livelli di servizio per coppia o-d: scenario di punta del pomeriggio 2015

Origine	Destinazione	velocità [km/h]	t <sub>0</sub> [sec]	t <sub>r</sub> [sec]	ritardo [sec]	LOS
A11	ponte all'Indiano	51.90	91.91	103.76	11.85	B
A11	via Cupola	47.70	61.33	69.20	7.87	A
A11	via Geminiani	47.44	105.84	116.45	10.61	B
A11	via Pratese (nord)	47.66	67.95	78.65	10.70	B
A11	viale Astronauti	52.20	107.61	115.32	7.72	A
Aeroporto	A11	60.01	71.08	76.02	4.94	A
Aeroporto	ponte all'Indiano	52.42	120.73	134.16	13.43	B
Aeroporto	via Pratese (nord)	50.19	95.96	106.04	10.08	B
Aeroporto	viale Astronauti	52.84	136.64	145.04	8.41	A
ponte all'Indiano	A11	59.66	71.37	76.33	4.96	A
ponte all'Indiano	Aeroporto	49.23	36.94	39.37	2.43	A
ponte all'Indiano	via Cupola	49.45	90.31	98.63	8.32	A
ponte all'Indiano	via Geminiani	49.43	39.30	41.11	1.81	A
ponte all'Indiano	via Pratese (nord)	49.92	96.54	106.42	9.88	A
ponte all'Indiano	viale Astronauti	53.20	35.40	38.81	3.41	A
via Gori	ponte all'Indiano	42.26	36.68	56.09	19.40	C
via Gori	via Marcucci	35.17	26.17	42.55	16.39	C
via Gori	viale Astronauti	48.79	38.74	46.55	7.82	A
via Guidoni	A11	56.53	76.60	88.08	11.47	B
via Guidoni	Aeroporto	49.17	40.71	48.17	7.46	A
via Guidoni	ponte all'Indiano	64.02	35.19	43.43	8.25	A
via Guidoni	via Geminiani	50.02	145.22	162.39	17.16	C
via Guidoni	via Pratese (nord)	48.61	102.01	118.15	16.13	C
via Guidoni	viale Astronauti	54.40	27.12	30.13	3.01	A
via Marcucci	via Gori	45.40	25.86	30.56	4.70	A
via Pratese (nord)	A11	56.99	91.27	99.06	7.79	A
via Pratese (nord)	ponte all'Indiano	52.75	73.84	83.77	9.93	A
via Pratese (nord)	via Pratese (sud)	57.42	13.68	18.19	4.51	A
via Pratese (nord)	viale Astronauti	51.25	89.68	98.17	8.50	A
via Pratese (sud)	ponte all'Indiano	49.22	81.48	91.84	10.36	B
zona residenziale	via Gori	51.11	44.65	46.46	1.81	A
zona residenziale	via Marcucci	53.11	27.96	28.96	1.00	A

Tabella 15 – Livelli di servizio per coppia o-d: scenario di punta del mattino 2035

Origine	Destinazione	velocità [km/h]	t <sub>0</sub> [sec]	t <sub>r</sub> [sec]	ritardo [sec]	LOS
A11	ponte all'Indiano	50.22	91.91	107.53	15.62	C
A11	via Cupola	42.36	61.33	78.84	17.52	C
A11	via Geminiani	50.08	105.84	120.46	14.62	B
A11	via Pratese (nord)	43.46	67.95	86.74	18.79	C
A11	viale Astronauti	48.39	107.61	125.20	17.59	C
Aeroporto	A11	59.84	71.08	76.24	5.16	A
Aeroporto	ponte all'Indiano	52.69	120.73	133.16	12.43	B
Aeroporto	via Pratese (nord)	50.25	95.96	106.03	10.06	B
Aeroporto	viale Astronauti	51.46	136.64	148.82	12.18	B
ponte all'Indiano	A11	58.97	71.37	77.14	5.77	A
ponte all'Indiano	Aeroporto	50.07	36.94	38.60	1.66	A
ponte all'Indiano	via Cupola	48.43	90.31	100.94	10.64	B
ponte all'Indiano	via Geminiani	47.34	39.30	45.09	5.79	A
ponte all'Indiano	via Pratese (nord)	49.28	96.54	107.84	11.29	B
ponte all'Indiano	viale Astronauti	48.66	35.40	43.04	7.64	A
via Gori	ponte all'Indiano	40.87	36.68	58.06	21.37	C
via Gori	via Marcucci	34.60	26.17	43.41	17.25	C
via Gori	viale Astronauti	44.16	38.74	52.19	13.45	B
via Guidoni	A11	62.12	76.60	81.21	4.60	A
via Guidoni	Aeroporto	58.81	40.71	41.33	0.62	A
via Guidoni	ponte all'Indiano	80.05	35.19	35.41	0.23	A
via Guidoni	via Geminiani	50.51	145.22	162.27	17.05	C
via Guidoni	via Pratese (nord)	51.89	102.01	111.97	9.96	A
via Guidoni	viale Astronauti	51.66	27.12	29.11	1.99	A
via Marcucci	via Gori	44.57	25.86	31.52	5.66	A
via Pratese (nord)	A11	43.88	91.27	129.36	38.09	E
via Pratese (nord)	ponte all'Indiano	40.00	73.84	110.64	36.80	E
via Pratese (nord)	via Pratese (sud)	24.38	13.68	45.17	31.49	D
via Pratese (nord)	viale Astronauti	39.56	89.68	127.99	38.31	E
via Pratese (sud)	ponte all'Indiano	44.49	81.48	101.49	20.01	C
zona residenziale	via Gori	44.46	44.65	54.38	9.73	A
zona residenziale	via Marcucci	55.18	27.96	28.88	0.92	A

Tabella 16 – Livelli di servizio per coppia o-d: scenario di punta del pomeriggio 2035

Origine	Destinazione	velocità [km/h]	t <sub>0</sub> [sec]	t <sub>r</sub> [sec]	ritardo [sec]	LOS
A11	ponte all'Indiano	53.76	91.91	100.07	8.16	A
A11	via Cupola	47.28	61.33	70.52	9.19	A
A11	via Geminiani	47.55	105.84	116.65	10.81	B
A11	via Pratese (nord)	48.13	67.95	77.95	10.01	B
A11	viale Astronauti	52.09	107.61	115.79	8.18	A
Aeroporto	A11	51.34	71.08	90.66	19.58	C
Aeroporto	ponte all'Indiano	49.22	120.73	144.04	23.31	C
Aeroporto	via Pratese (nord)	44.57	95.96	120.82	24.86	C
Aeroporto	viale Astronauti	48.99	136.64	157.83	21.19	C
ponte all'Indiano	A11	58.47	71.37	77.93	6.56	A
ponte all'Indiano	Aeroporto	43.47	36.94	45.47	8.53	A
ponte all'Indiano	via Cupola	49.23	90.31	99.12	8.81	A
ponte all'Indiano	via Geminiani	44.45	39.30	45.22	5.92	A
ponte all'Indiano	via Pratese (nord)	49.75	96.54	106.81	10.27	B
ponte all'Indiano	viale Astronauti	52.70	35.40	39.26	3.86	A
via Gori	ponte all'Indiano	42.39	36.68	56.11	19.42	C
via Gori	via Marcucci	35.06	26.17	42.92	16.76	C
via Gori	viale Astronauti	48.32	38.74	47.10	8.37	A
via Guidoni	A11	45.66	76.60	114.35	37.75	E
via Guidoni	Aeroporto	34.07	40.71	78.25	37.54	E
via Guidoni	ponte all'Indiano	52.06	35.19	59.28	24.09	C
via Guidoni	via Geminiani	44.09	145.22	186.77	41.54	E
via Guidoni	via Pratese (nord)	41.49	102.01	142.62	40.61	E
via Guidoni	viale Astronauti	56.05	27.12	29.25	2.13	A
via Marcucci	via Gori	44.42	25.86	31.45	5.59	A
via Pratese (nord)	A11	46.18	91.27	124.77	33.50	D
via Pratese (nord)	ponte all'Indiano	41.95	73.84	107.56	33.72	D
via Pratese (nord)	via Pratese (sud)	30.98	13.68	42.15	28.47	D
via Pratese (nord)	viale Astronauti	42.14	89.68	122.03	32.35	D
via Pratese (sud)	ponte all'Indiano	41.99	81.48	111.23	29.75	D
zona residenziale	via Gori	47.58	44.65	50.86	6.20	A
zona residenziale	via Marcucci	52.80	27.96	29.15	1.19	A

## 5 Conclusioni

Il presente studio di traffico si inquadra nella fase propedeutica alla progettazione definitiva dell'intervento di adeguamento del nodo di Firenze Peretola (nel seguito Peretola).

**Obiettivo** dello studio è, in particolare, procedere ad una verifica della funzionalità della proposta di adeguamento del nodo di Peretola attraverso un modello microsimulativo, così da simulare in modo realistico e più efficace il deflusso veicolare su ciascuno dei tratti elementari della complessa geometria del nodo. Nell'analisi funzionale di un nodo viabilistico il grado di saturazione (principale indicatore di output macromodellistico) non consente infatti di evidenziare la qualità del regime di circolazione.

Le **condizioni attuali** di deflusso risentono sia degli elevati flussi di attraversamento nel nodo sia dell'inadeguatezza geometrico-funzionale di alcune immissioni e tratti di scambio: rilevazioni dirette e analisi macroscopiche relative all'ora di punta del mattino del giorno feriale invernale medio evidenziano infatti che già nello scenario attuale vi siano archi, come via Guidoni e la direttrice del viadotto Ponte all'Indiano, interessate da notevoli flussi orari cui corrispondono gradi di saturazione sostanzialmente non accettabili.

A fronte delle carenze prestazionali attuali, è stata elaborata una proposta di riassetto funzionale che, nella versione relativa alla **progettazione definitiva**, presenta le seguenti principali modifiche geometriche:

- creazione di un nuovo anello di circolazione in senso orario tra la A11 Firenze-Mare e via Palagio degli Spini, il cui senso di marcia viene invertito rispetto alla situazione attuale;
- completamento della direttrice del viadotto Ponte all'Indiano con la realizzazione di rampe dirette di immissione nelle correnti principali di attraversamento del nodo;
- realizzazione di una nuova viabilità di accesso/egresso a servizio dell'aeroporto, eliminando l'intersezione semaforizzata attualmente presente su via Luder.

Tali modifiche conducono alla creazione di **itinerari preferenziali** dal viadotto Ponte all'Indiano verso viale degli Astronauti e verso la A11, da via Palagio degli Spini e da via Luder verso il viadotto Ponte all'Indiano, da via Gori verso il viadotto Ponte all'Indiano e da via Palagio degli Spini verso la A11.

La **rifunzionalizzazione** elimina altresì buona parte dei conflitti tra correnti veicolari nelle aree di scambio, in particolare quella su viale degli Astronauti tra la svolta proveniente da viale Guidoni e quella verso via Geminiani, che viene inibita. Sono inoltre eliminati gli impianti semaforici attualmente presenti, ovvero quelli tra viadotto Ponte all'Indiano e via Gori e su via Luder all'altezza dell'accesso per l'aeroporto, mentre è istituito un attraversamento pedonale regolato da semaforo a chiamata nella rampa a doppio senso di collegamento tra via Martucci e via Gori. Infine, si considera completato l'ampliamento alla terza corsia dell'autostrada A11 nella tratta Firenze-Pistoia.

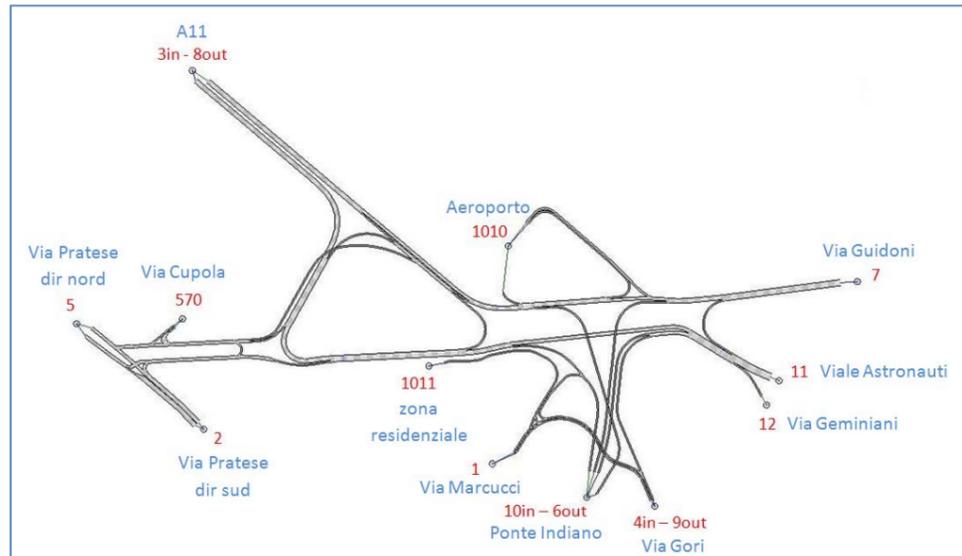
La **metodologia** seguita per lo studio di traffico è basata sull'implementazione di un modello di microsimulazione del predetto assetto di progetto del nodo di Peretola. L'analisi è riferita ai periodi di punta del mattino e del pomeriggio nel breve periodo (anno 2015) e nel lungo periodo (anno 2035), per complessivi quattro scenari. In particolare, l'ora di punta del mattino ricade nell'intervallo 8:00-9:00, in base ai riscontri dello studio di traffico in macrosimulazione a supporto della progettazione definitiva dell'ampliamento alla terza corsia della Autostrada A11 Firenze-Mare nella tratta Peretola-Pistoia; l'ora di punta del pomeriggio è stata invece simulata trasponendo la corrispondente matrice della punta del mattino.

Nello scenario progettuale il nodo di Peretola si trova a dover assorbire **l'aumento di domanda** sulla direttrice della A11, che, rispetto allo scenario programmatico, diventa a tre corsie, nonché sulla direttrice proveniente da via Palagio degli Spini, che cambia verso di percorrenza. Anche la maggiore fluidità della circolazione nel nodo, cui consegue generalmente una diminuzione dei tempi di attraversamento, comporta un'aumento di domanda legato alla maggior attrattività dei percorsi che lo attraversano.

Nonostante l'aumento di domanda da programmatico a progettuale, il nodo risulta ben smaltire la considerevole entità dei flussi di attraversamento. Nel **layout progettuale** le correnti di scambio interagiscono senza creare fenomeni di accodamento e/o di notevole disturbo alla circolazione.

Al fine di procedere in continuità con le scelte metodologiche dello studio di traffico a supporto della progettazione preliminare, così da permettere il diretto confronto dei risultati, si è deciso di valutare le **performance del nodo** calcolando **il ritardo medio per ciascuna coppia origine-destinazione** di attraversamento, individuata attraverso la numerazione dei centroidi al cordone riportata nella seguente Figura. Tale indicatore è stato calcolato come differenza tra il tempo di percorrenza a carico e il tempo di percorrenza a flusso nullo.

**Le performance (Livelli di Servizio - LOS) del nodo risultano assolutamente positive nel breve periodo (2015) sia per lo scenario di punta mattutino che pomeridiano, non superando mai LOS C.**



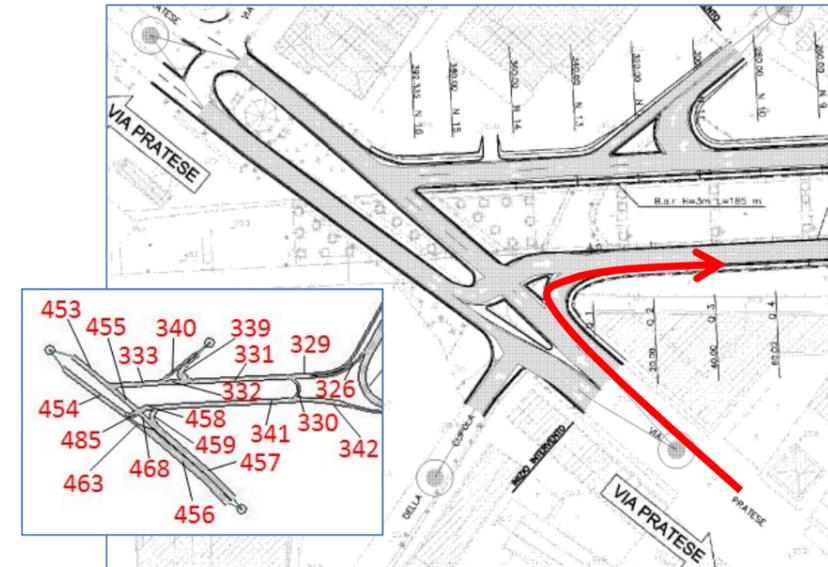
Schema Origini e Destinazioni nodo Peretola

LOS					
Origine	Destinazione	2015 AM	2015 PM	2035 AM	2035 PM
A11	ponte all'Indiano	A	B	C	A
A11	via Cupola	A	A	C	A
A11	via Geminiani	A	B	B	B
A11	via Pratese (nord)	A	B	C	B
A11	viale Astronauti	A	A	C	A
Aeroporto	A11	A	A	A	C
Aeroporto	ponte all'Indiano	B	B	B	C
Aeroporto	via Pratese (nord)	B	B	B	C
Aeroporto	viale Astronauti	B	A	B	C
ponte all'Indiano	A11	A	A	A	A
ponte all'Indiano	Aeroporto	A	A	A	A
ponte all'Indiano	via Cupola	B	A	B	A
ponte all'Indiano	via Geminiani	A	A	A	A
ponte all'Indiano	via Pratese (nord)	B	A	B	B
ponte all'Indiano	viale Astronauti	A	A	A	A
via Gori	ponte all'Indiano	C	C	C	C
via Gori	via Marcucci	B	C	C	C
via Gori	viale Astronauti	A	A	B	A
via Guidoni	A11	A	B	A	E
via Guidoni	Aeroporto	A	A	A	E
via Guidoni	ponte all'Indiano	A	A	A	C
via Guidoni	via Geminiani	B	C	C	E
via Guidoni	via Pratese (nord)	B	C	A	E
via Guidoni	viale Astronauti	A	A	A	A
via Marcucci	via Gori	A	A	A	A
via Pratese (nord)	A11	B	A	E	D
via Pratese (nord)	ponte all'Indiano	A	A	E	D
via Pratese (nord)	via Pratese (sud)	A	A	D	D
via Pratese (nord)	viale Astronauti	B	A	E	D
via Pratese (sud)	ponte all'Indiano	C	B	C	D
zona residenziale	via Gori	A	A	A	A
zona residenziale	via Marcucci	A	A	A	A

Livelli di servizio OD negli scenari microsimulati

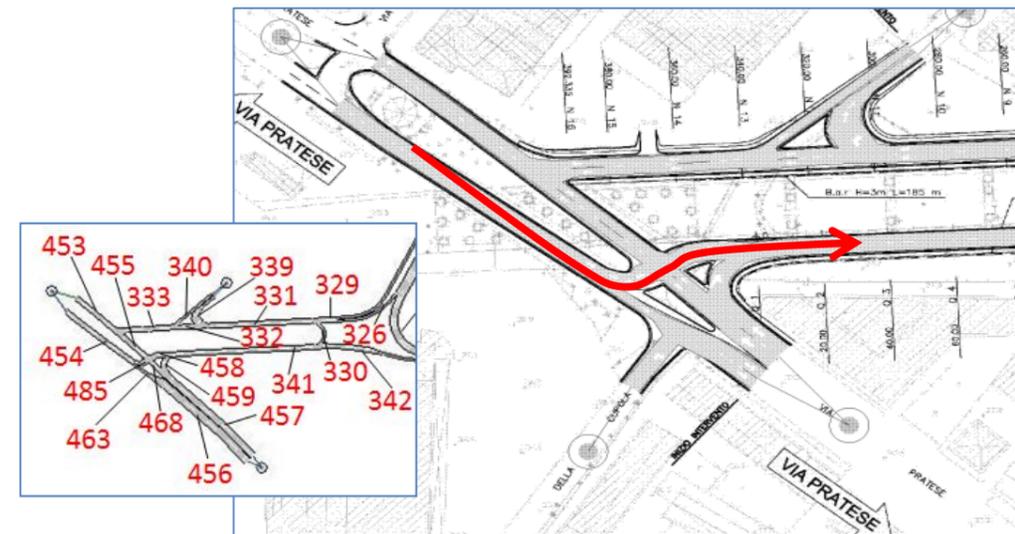
Situazioni di una qualche criticità si ravvisano solamente nello scenario di lungo periodo (2035) su alcune direttrici. Tali criticità potranno però in futuro essere risolte effettuando le modifiche di seguito descritte.

Si segnala la **svolta dalla parte inferiore di via Pratese (arco n° 457) a destra verso via Palagio degli Spini (arco n° 459)**, con un'attesa media di 8.00 secondi nella punta del mattino al 2015 e di 11.87 secondi nella punta del mattino al 2035.



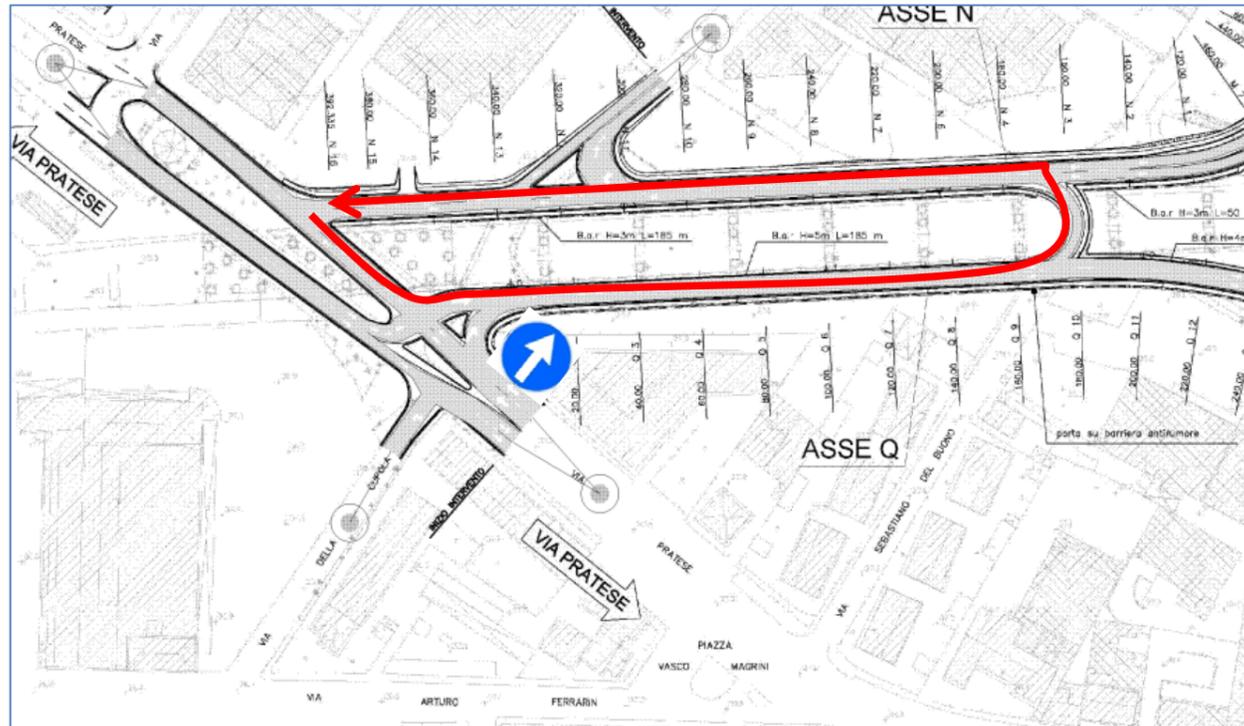
Svolta in destra da via Pratese (provenienza Firenze) a via Palagio degli Spini

Considerando i singoli archi, il solo a presentare ritardi apprezzabili è la **parte alta di via Pratese (arco n° 454)** interessata da un notevole flusso di svolta in sinistra verso via Palagio degli Spini – 2238 veicoli equivalenti/ora nello scenario di punta del mattino al 2015 – in virtù dell'inversione del senso di marcia di quest'ultima rispetto allo scenario attuale. Tale manovra interferisce potenzialmente con il flusso su via Pratese dall'arco n° 457 all'arco n° 453, che è di fatto nullo negli scenari simulati poiché ha valenza puramente locale.



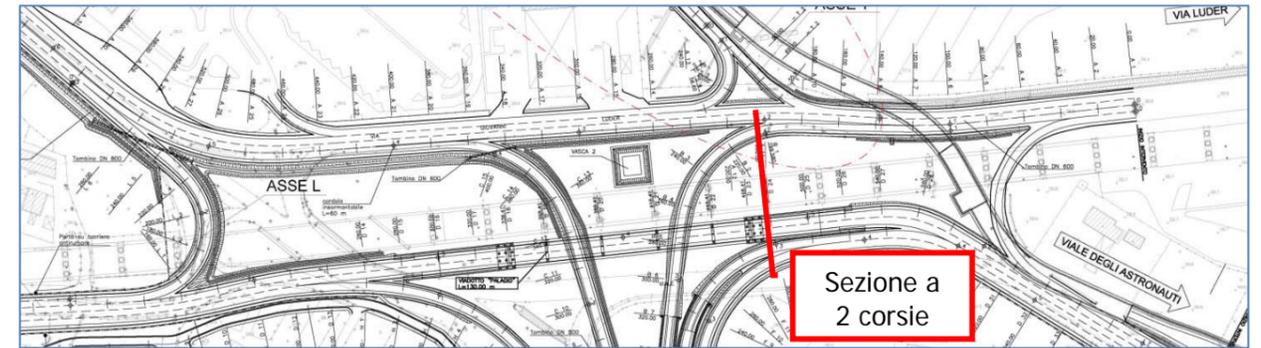
Svolta in sinistra da via Pratese (provenienza Prato) a via Palagio degli Spini

In tal senso, qualora si dovessero osservare imprevisti incrementi di flusso su tale direttrice, si suggerisce di procedere con una semplice modifica di circolazione, obbligando la svolta a destra da via Pratese verso via Palagio degli Spini (dall'arco n° 457 verso l'arco n° 459) e invertendo il senso di marcia sul tratto n° 455 di via Pratese, così da creare un anello di circolazione in senso antiorario. In questo modo, il flusso dall'arco n° 454 di via Pratese verso il nodo di Peretola non avrebbe ostacoli e l'esiguo flusso dall'arco n° 457 all'arco n° 453 sarebbe servito con circolazione ad anello utilizzando la rampa n° 330.



*Ipotesi di anello a circolazione antioraria per favorire la manovra da via Pratese (provenienza Prato) a via Palagio degli Spini*

Va poi sottolineato che la **direttrice che da via Luder conduce all'ingresso della A11 in direzione mare avrà una capacità corrispondente ad una strada a due corsie**, tenendo conto che, delle quattro corsie in arrivo da via Guidoni si distaccano in successione le due più a sinistra rispettivamente verso viale degli Astronauti e verso Ponte all'Indiano in direzione sud. Ciò da un lato è positivo perché consente di laminare il flusso veicolare in arrivo da via Guidoni, evitando conflitti eccessivi con il flusso considerevole che si immette da Ponte all'Indiano, senza creare al tempo stesso fenomeni di accodamento con possibile rigurgito su via Guidoni stessa. Dall'altro, però, si potrebbero creare nel lungo periodo situazioni di accodamento derivanti da tale collo di bottiglia: in tal senso va letto il peggioramento delle prestazioni per le coppie o-d originate da via Guidoni nello scenario di punta del pomeriggio dal 2015 al 2035.



*Sezione a 2 corsie da via Luder ad A11 direzione mare*

In conclusione, lo studio di traffico microscopico a supporto della progettazione definitiva evidenzia l'importanza dell'intervento di progetto nel ristabilire adeguate condizioni di esercizio sia rispetto allo scenario attuale che rispetto alla domanda futura il cui incremento sarà dovuto al naturale trend di crescita della mobilità, al potenziamento della A11 nella tratta FI Peretola – Pistoia e all'attrattività del nodo stesso che il progetto completa e rifunzionalizza.

## 6 Appendice: matrici o-d

La presente appendice riporta da a le matrici origine-destinazione, relative alle fasce orarie di punta del mattino e del pomeriggio, utilizzate come input per la microsimulazione, in accordo con la numerazione dei centroidi riportata in Figura 19.

Tabella 17 – Matrice o-d punta del mattino 2015 veicoli leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	346	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	1698	0	0	462	40	411	64
4in 9out	726	491	0	119	0	0	0	0	0	0
7	0	836	0	0	103	0	1064	0	1618	109
1011	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	554	0	465	0	681	0	0	431	0
570	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0
3in 8out	0	204	0	2295	1	0	445	100	0	0
1010	0	14	0	53	0	0	7	0	13	0

Tabella 18 – Matrice o-d punta del mattino 2015 veicoli merci leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	32	0	0	13	0	6	3
4in 9out	7	119	0	20	0	0	0	0	0	0
7	0	49	0	0	7	0	34	0	117	2
1011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	4	0	12	0	6	0	0	25	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	1	0	167	0	0	38	0	0	0
1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 19 – Matrice o-d punta del mattino 2015 veicoli merci pesanti

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	18	0	0	7	0	3	2
4in 9out	4	67	0	11	0	0	0	0	0	0
7	0	28	0	0	4	0	19	0	66	1
1011	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	2	0	7	0	3	0	0	14	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	1	0	94	0	0	21	0	0	0
1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 20 – Matrice o-d punta del mattino 2035 veicoli leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	617	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	1908	2	0	482	60	426	76
4in 9out	896	542	0	132	0	0	0	0	0	0
7	0	941	0	0	123	0	1047	0	2116	132
1011	25	0	42	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	504	0	454	0	976	0	0	589	0
570	0	0	0	30	0	30	0	0	0	0
3in 8out	0	370	0	2900	2	0	557	120	0	0
1010	0	17	0	64	0	0	8	0	18	0

Tabella 21 – Matrice o-d punta del mattino 2035 veicoli merci leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	36	0	0	3	0	5	3
4in 9out	9	148	0	25	0	0	0	0	0	0
7	0	62	0	0	9	0	39	0	149	2
1011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	5	0	12	0	10	0	0	35	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	0	0	208	0	0	51	0	0	0
1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 22 – Matrice o-d punta del mattino 2035 veicoli merci pesanti

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	21	0	0	2	0	3	2
4in 9out	5	84	0	14	0	0	0	0	0	0
7	0	35	0	0	5	0	22	0	84	1
1011	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	3	0	7	0	6	0	0	20	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	0	0	117	0	0	29	0	0	0
1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 23 – Matrice o-d punta del pomeriggio 2015 veicoli leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	960	0	0	413	40	116	7
4in 9out	321	1235	0	407	0	0	0	0	0	0
7	0	1469	0	34	22	0	963	0	2756	80
1011	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	468	0	256	0	521	0	0	473	0
570	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0
3in 8out	0	71	0	2448	0	0	556	100	0	0
1010	0	65	0	46	0	0	7	0	55	0

Tabella 24 – Matrice o-d punta del pomeriggio 2015 veicoli merci medi

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	96	0	0	2	0	8	0
4in 9out	13	15	0	7	0	0	0	0	0	0
7	0	32	0	0	1	0	58	0	101	0
1011	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	39	0	70	0	0	4	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	3	0	72	0	0	72	0	0	0
1010	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0

Tabella 25 – Matrice o-d punta del pomeriggio 2015 veicoli merci pesanti

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	54	0	0	1	0	5	0
4in 9out	7	8	0	4	0	0	0	0	0	0
7	0	18	0	0	1	0	33	0	57	0
1011	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	22	0	40	0	0	2	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	2	0	41	0	0	41	0	0	0
1010	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0

Tabella 26 – Matrice o-d punta del pomeriggio 2035 veicoli leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	124	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	1169	0	0	423	60	114	10
4in 9out	948	955	0	547	0	0	0	0	0	0
7	0	1684	0	63	37	0	920	0	3578	96
1011	27	0	39	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	629	0	683	0	558	0	0	466	0
570	0	0	0	30	0	30	0	0	0	0
3in 8out	0	61	0	2438	0	0	735	120	0	0
1010	0	71	0	54	0	0	7	0	76	0

Tabella 27 – Matrice o-d punta del pomeriggio 2035 veicoli merci leggeri

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	119	0	0	2	0	14	0
4in 9out	0	6	0	4	0	0	0	0	0	0
7	0	48	0	0	0	0	93	0	139	0
1011	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	4	0	43	0	47	0	0	41	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	2	0	86	0	0	58	0	0	0
1010	0	3	0	0	0	0	1	0	2	0

Tabella 28 – Matrice o-d punta del pomeriggio 2035 veicoli merci pesanti

	1	10in 6out	4in 9out	11	12	2	5	570	3in 8out	1010
1	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0
10in 6out	0	0	0	67	0	0	1	0	8	0
4in 9out	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
7	0	27	0	0	0	0	52	0	78	0
1011	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	2	0	24	0	26	0	0	23	0
570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3in 8out	0	1	0	48	0	0	33	0	0	0
1010	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0