

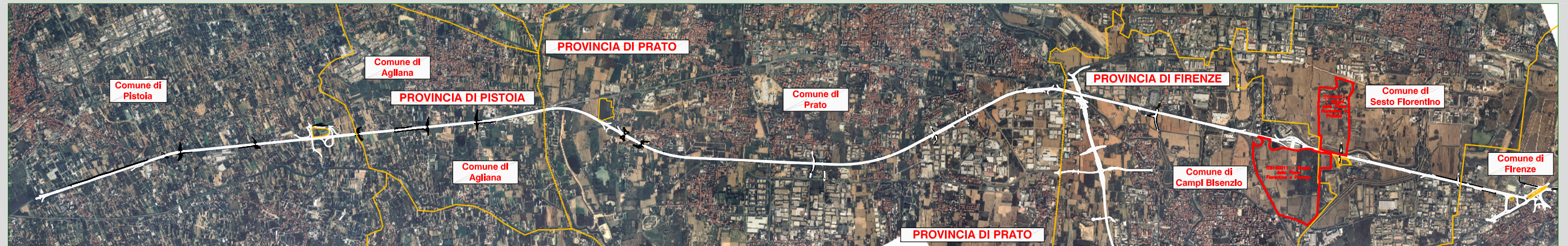
**AUTOSTRADA (A11) : FIRENZE - PISA NORD**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE  
CHIARIMENTI E INTEGRAZIONI**

**INTEGRAZIONI VOLONTARIE**



**Studio di traffico: Approfondimenti in micro simulazione**

# AUTOSTRADA A11 FIRENZE – PISA NORD

Adeguamento del nodo di Firenze Peretola

Progetto Definitivo

**Approfondimenti in micro simulazione**



Settembre 2012

# Sommario

1	Progetto e metodologia di analisi.....	3
2	Domanda di mobilità.....	5
2.1	Input per il modello di micro simulazione .....	6
2.2	Flussi sulle principali sezioni .....	6
3	Modello di micro simulazione.....	8
3.1	Modello di offerta .....	8
3.1.1	Modello topologico .....	8
3.1.2	Modello analitico di offerta.....	9
3.1.3	Validazione del modello di offerta.....	10
3.2	Modello di domanda.....	11
3.3	Modello di interazione domanda-offerta .....	11
4	Performance di servizio.....	12
4.1	Metodologia di calcolo delle prestazioni del nodo di Peretola.....	12
4.2	Risultati.....	12
5	Conclusioni .....	15

# 1 Progetto e metodologia di analisi

Il presente studio di traffico si inquadra nella fase di **progettazione definitiva dell'intervento di ampliamento alla III<sup>a</sup> corsia della tratta Firenze – Pistoia dell'autostrada A11 e dell'adeguamento del nodo di Firenze Peretola** (nel seguito Peretola).

Esso rappresenta **approfondimento micro modellistico dello studio di traffico macromodellistico realizzato per la suddetta progettazione definitiva**.

Obiettivo dello studio è, in particolare, fornire un'**immagine più approfondita e di dettaglio del carico veicolare** su di esso gravante e 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 Luder, 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.

La scelta di effettuare la **micro simulazione** 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.

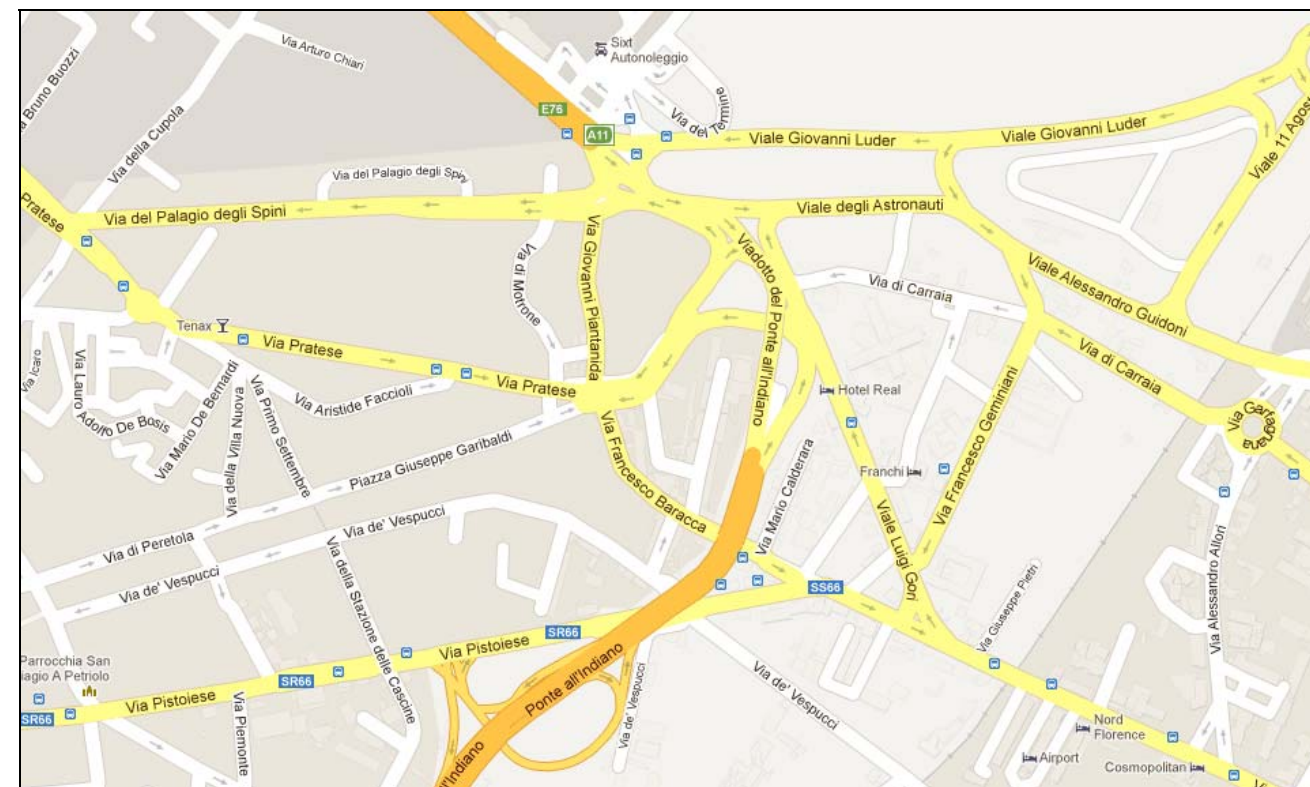


Figura 1 – Assetto attuale del nodo di Peretola (fonte: Google Maps)

A fronte delle carenze prestazionali attuali, è stato elaborato il riassetto funzionale riportato in Figura 2. 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 Guidoni tra la svolta proveniente da viale Luder e 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. 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 micro simulazione 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; l'ora di punta del pomeriggio è stata invece simulata trasponendo la corrispondente matrice della punta del mattino.

Per l'implementazione del modello di micro simulazione, 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 2, opportunamente integrato da un sopralluogo nell'area finalizzato ad individuare eventuali elementi puntuali rilevanti per la micro simulazione. 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 Firenze - Pistoia e del presente nodo viario.** 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. Da tale macromodello, attraverso una procedura di *cordon matrix*, sono state estratte le sottomatrici relative al solo nodo di Peretola che opportunamente affinate sono poi state caricate nel micromodello.

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

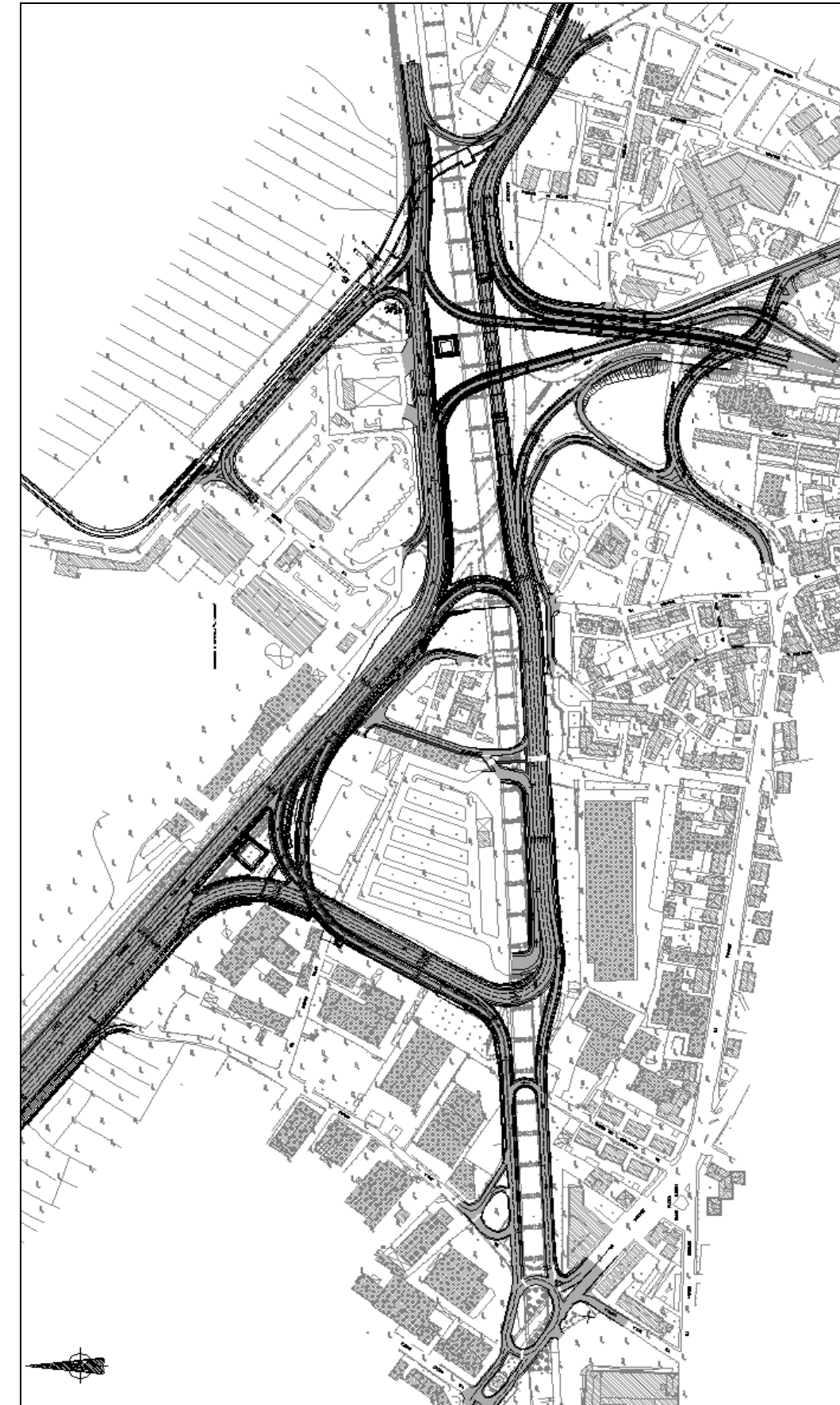


Figura 2 – Rifunionalizzazione del nodo di Peretola

## 2 Domanda di mobilità

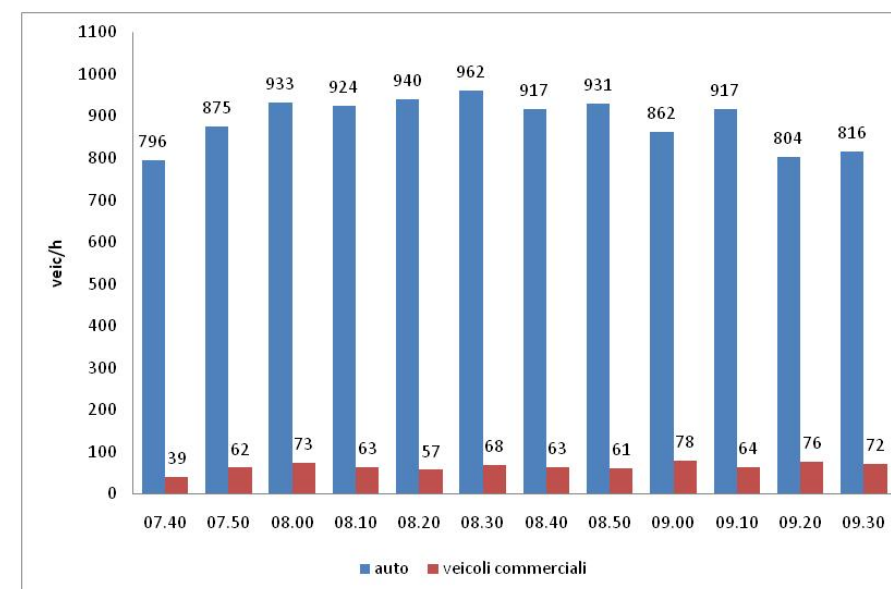


Figura 3 – Distribuzione dei flussi per intervallo, sezione di viale Astronauti

Il presente capitolo, rimandando allo studio di traffico macroscopico per i dettagli inerenti le banche dati e le previsioni di crescita della domanda, riporta alcune specifiche considerazioni riguardo il carico veicolare del nodo di Peretola e rappresenta le matrici o-d di input al micromodello.

Si evidenzia innanzitutto una netta prevalenza dei flussi di **auto**, che pesano in media per il 92% del totale in modo abbastanza omogeneo in tutti gli assi principali del nodo, 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 viale 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 dei rilievi effettuati in via Palagio degli Spini, 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.

I rilievi effettuati hanno evidenziato 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, riportata nella precedente figura. Per i veicoli commerciali, invece, la distribuzione è più omogenea nell'intervallo di rilevazione, senza una punta ben individuabile.

Poiché il modello macroscopico fornisce matrici o-d relative alla fascia oraria 8:00 – 9:00, ai fini della predisposizione delle matrici o-d per la micro simulazione 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 1.

Tabella 1 – 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%

Per completezza di analisi si riporta inoltre in Figura 4, 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.

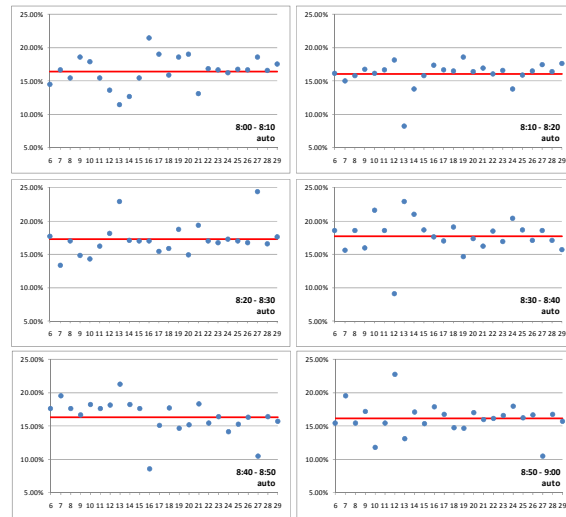


Figura 4 – Dispersione tra le sezioni di conteggio del rapporto tra flusso nell'intervallo di 10 minuti e flusso dell'ora di punta 8:00 – 9:00: analisi per tutti gli intervalli della fascia 8:00 – 9:00 per la categoria auto

## 2.1 Input per il modello di micro simulazione

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

- estrazione dal macromodello, attraverso una procedura di *cordon matrix*, delle sottomatrici relative al nodo di Peretola per il breve periodo (anno 2015) e di lungo periodo (anno 2035)
- affinamento delle matrici macroscopiche e definizione delle singole matrici per tipologia di veicolo: leggeri, merci leggeri e merci pesanti;
- calcolo delle corrispondenti matrici per l'ora di punta del pomeriggio come trasposizione delle matrici di punta del mattino;
- disaggregazione delle matrici in matrici per intervalli di 10 minuti attraverso i coefficienti di trasformazione determinati dalle indagini effettuate.

## 2.2 Flussi sulle principali sezioni

Per facilitare un confronto tra gli scenari, rispetto ai principali assi del nodo, si riporta la tabella seguente con evidenziato anche il carico veicolare attuale. I colori rosso e verde mettono in evidenza, l'aumento o diminuzione dei veicoli transitanti.

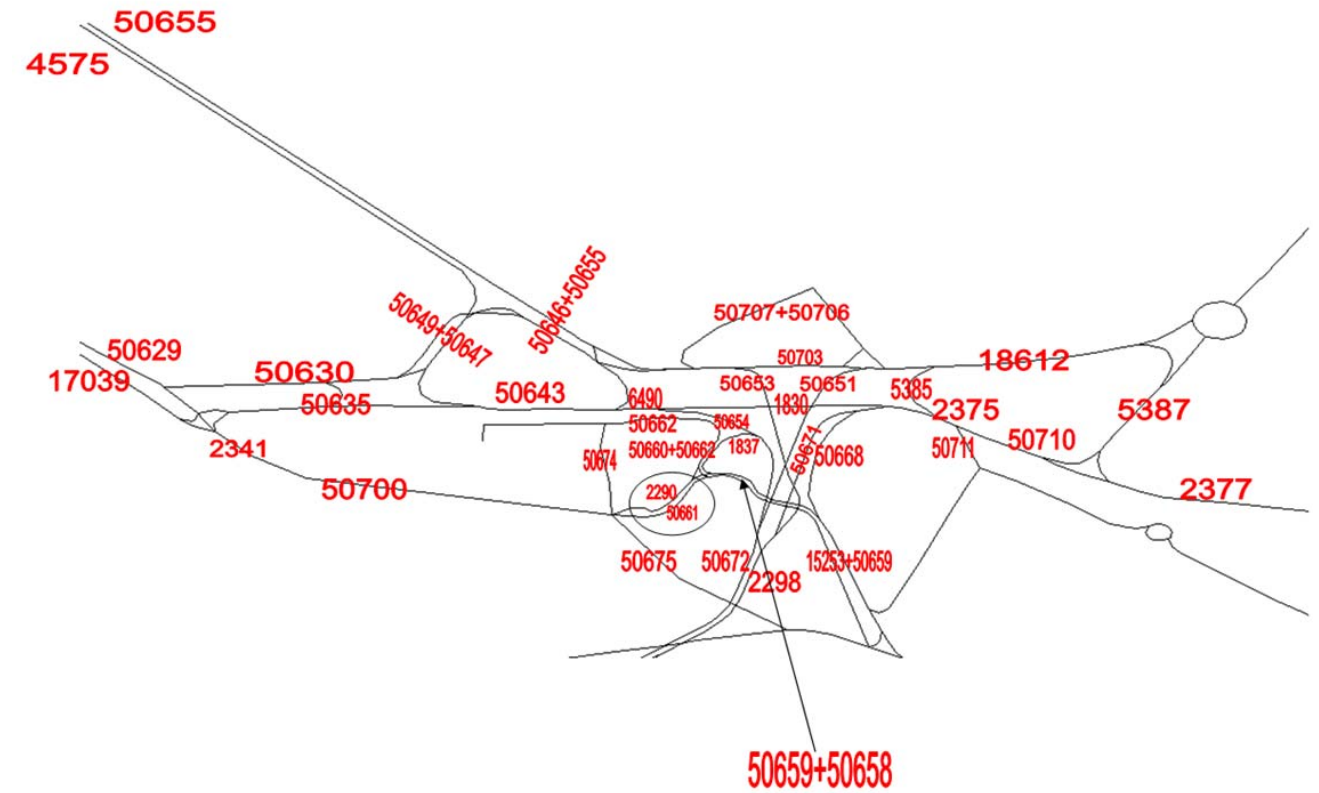


Tabella 2 – Flussi bidirezionali ora di punta mattutina

Ora di Punta Mattutina (bidirezionali)	ID arco	Leggeri	Leggeri	Leggeri	Delta	Delta	Pesanti	Pesanti	Pesanti	Delta	Delta
		Attuale	Programmatico	Progettuale	Progettuale- Attuale	Progettuale- Programmatico	Attuale	Programmatico	Progettuale	Progettuale- Attuale	Progettuale- Programmatico
		2009	2015	2015	2015-2009	2015	2009	2015	2015	2015-2009	2015
A11 dir FI	4575	2572	3231	3274	27%	1%	268	271	322	20%	19%
A11 dir PI	50655	2224	2436	2747	24%	13%	219	223	231	5%	4%
v.le Luder tratta 1 dir Ovest	18612	3263	3548	3996	22%	13%	304	316	386	27%	22%
v.le Luder tratta 2 dir Ovest	50703	3135	3397	3183	2%	-6%	290	302	239	-18%	-21%
v.le Zoroastro tratta 1 dir Est	6490	3801	4219	3937	4%	-7%	376	385	287	-24%	-25%
v.le Zoroastro tratta 2 dir Est	1830	2748	3138	3116	13%	-1%	303	304	280	-8%	-8%
v.le Astronauti dir Est	1830	5171	5567	3116	-40%	-44%	371	371	280	-24%	-25%
v.le Guidoni tratta 1	2375	5299	5719	5253	-1%	-8%	384	385	371	-3%	-4%
v.le Guidoni tratta 2	50710	5171	5567	5138	-1%	-8%	371	371	360	-3%	-3%
v.le Guidoni tratta 3	2377	5542	5392	5850	6%	8%	458	469	463	1%	-1%
v.le XI Agosto	5387	2456	2826	2937	20%	4%	187	253	258	38%	2%
Ramo Luder-Guidoni	5385	129	151	114	-11%	-25%	14	14	11	-19%	-21%
via Palagio dir Ovest	50630	1717	1695	2230	30%	32%	55	47	133	140%	183%
via Palagio dir Est	50635	-	-	1611			-	-	64		
via Pratese Nord dir FI	17039	1449	1624	2471	71%	52%	27	27	73	173%	170%
via Pratese Nord dir PO	50629	1715	1677	2231	30%	33%	48	40	133	177%	233%
via Pratese Sud	2341	1450	1642	860	-41%	-48%	34	34	9	-73%	-74%
Indiano dir Sud	50672	2078	2230	3063	47%	37%	238	248	269	13%	8%
Indiano dir Nord	2298	3337	3269	2932	-12%	-10%	97	87	83	-15%	-5%
v.le Gori tratta 1	15253 + 50659	1961	2013	1634	-17%	-19%	179	180	213	19%	18%
v.le Gori tratta 2	50668	2422	2430	132	-95%	-95%	67	68	31	-54%	-54%
via Martucci tratta Est	50659 + 50658	2875	2852	1545	-46%	-46%	209	200	190	-9%	-5%
via Basili tratta Ovest	50661 + 2290	1060	956	58	-95%	-94%	31	19	12	-61%	-37%
via Basili tratta Est	50662 + 50660	3091	2471	1359	-56%	-45%	222	193	170	-23%	-12%
via Basili tratta Nord	50662	2066	1322	62	-97%	-95%	56	47	44	-21%	-6%
via Baracca	50675	1177	1528	863	-27%	-44%	0	0	0		
via Pratese Urbana	50700	1450	1642	860	-41%	-48%	34	34	9	-73%	-74%
Anello lato Nord	50646 + 50655			4510					304		
Anello lato Ovest	50649 + 50647			5036					395		
Anello lato Sud	50643			4416					326		



## 3 Modello di micro simulazione

Il presente capitolo descrive in dettaglio il modello di microsimulazione implementato in ambiente AIMSUN 6.1 della TSS per le analisi di traffico a supporto della progettazione definitiva della rifunzionalizzazione del nodo di Peretola. In particolare, i paragrafi 3.1, 3.2 e 3.3 dettagliano le caratteristiche principali del modello di offerta, del modello di domanda e del modello di interazione domanda-offerta rispettivamente, mentre il paragrafo 3.4 riporta i principali parametri di output da utilizzarsi per la verifica funzionale del nodo.

### 3.1 Modello di offerta

Il modello di offerta microscopico è costituito da un modello topologico e da un modello analitico, di seguito descritti rispettivamente nei paragrafi 3.1.1 e 3.1.2.

#### 3.1.1 Modello topologico

Il modello topologico di offerta microscopica del nodo di Peretola è stato implementato riproducendo l'assetto di progetto attraverso le entità messe a disposizione dall'ambiente di simulazione AIMSUN (ad es. corsie, intersezioni, rampe, zone di accumulo). Particolare attenzione è stata posta alla corretta rappresentazione delle zone di scambio e delle rampe di immissione e diversione dalle correnti principali; a tal fine, si è adottata la seguente politica di assegnazione delle manovre di svolta alle singole corsie (Figura 5):

- nell'immissione da una rampa o da una corsia di accesso, sono immediatamente disponibili la corsia su cui si immette la rampa e quella immediatamente adiacente;
- la diversione è possibile dalla corsia diretta da cui parte la rampa e dalla corsia ad essa immediatamente adiacente.

In termini di corrispondente segnaletica orizzontale e verticale, l'immissione dalla rampa verso la corrente principale è stata regolata in alcuni casi inserendo un diritto di precedenza per il mainstream, mentre in altri casi si è scelto di non inserire alcun segnale per rappresentare in maniera più realistica il comportamento di immissione del singolo veicolo.

Inoltre, come prescritto dal progetto definitivo, la zona di scambio in via Guidoni è stata modellata impedendo la manovra di attraversamento dalla corsia di immissione da via Guidoni verso via Geminiani (Figura 6).

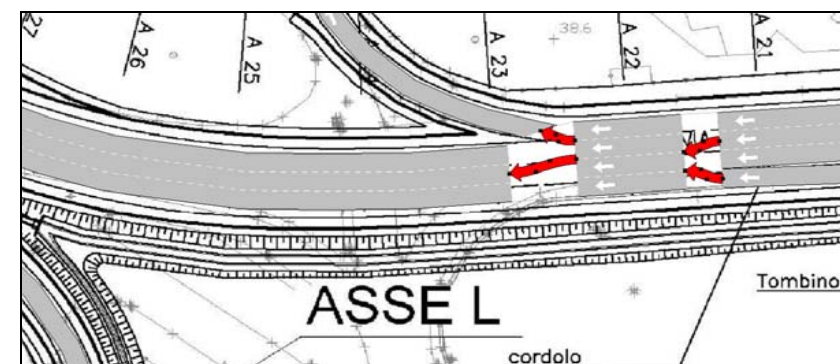


Figura 5 – Assegnazione delle corsie alle manovre di svolta nelle zone di immissione e diversione (zona di scambio via Luder – ingresso aeroporto)

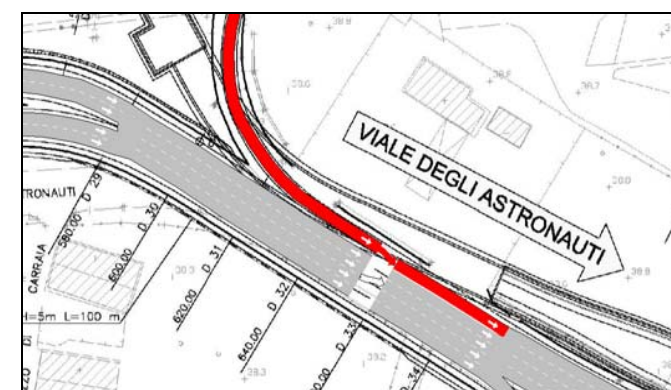


Figura 6 – Zona di scambio in via guidoni dall'immissione da via Guidoni a via Geminiani

A ciascuna entità sono poi stati associati i corrispondenti parametri geometrici e funzionali fondamentali (larghezza, segnaletica orizzontale e verticale, velocità massima ammessa per tipologia di veicolo) necessari per l'implementazione del modello analitico.

Infine, l'attraversamento pedonale con semaforo a chiamata è stato regolato ipotizzando un ciclo fittizio corrispondente a 180 secondi di verde e 20 secondi di rosso per la corrente veicolare attraversata dal flusso pedonale.

Va infine sottolineato che in AIMSUN il grafo utilizzato per la micro simulazione 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 7).

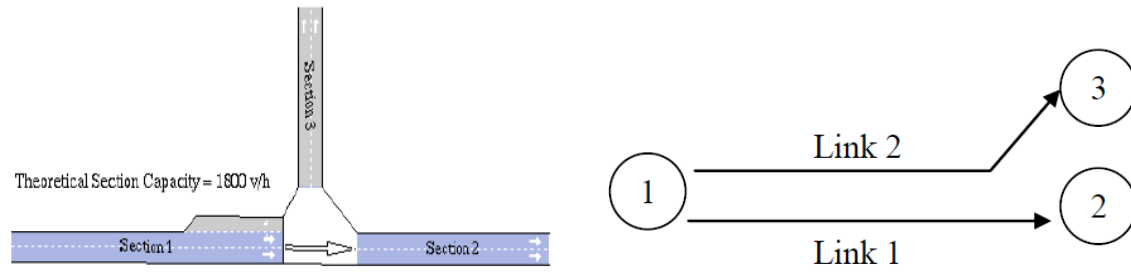


Figura 7 – Grafo virtuale per la modellazione della scelta del percorso (fonte: manuale AIMSUN)

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  $ttff_{jv}$  per la tipologia di veicolo  $v$  sull'arco virtuale  $j$  in condizioni di deflusso ininterrotto:

$$ttff_{jv} = \frac{l_j}{\min\{v_{jv}^{max} \cdot \theta_v; v_v^{max}\}}$$

nella quale  $v_{jv}^{max}$  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

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

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 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  $minHW(n)$  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

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

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 8 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.

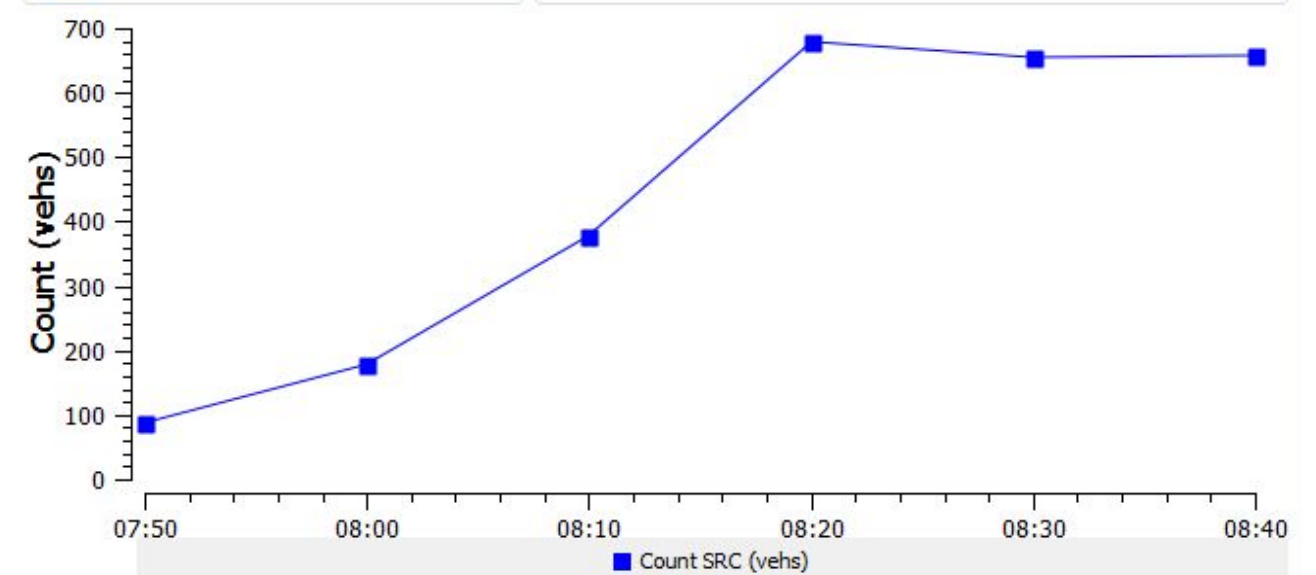


Figura 8 – Flusso nell'intervallo di 10 minuti su una sezione del nodo di Peretola a due corsie per un tempo di reazione  $T=0.5$  sec nel modello di car following

### 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 sovrasaturazione. 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.

## 4.2 Risultati

# 4 Performance di servizio

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

Il modello di micro simulazione 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 quelle riportate nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Le performance del nodo sono state valutate calcolando il **ritardo medio per ciascuna coppia origine-destinazione di attraversamento** individuata attraverso i centroidi al cordone dell'area micro simulata. Tale indicatore è stato calcolato come differenza tra il tempo di percorrenza a carico e il tempo di percorrenza a flusso nullo.

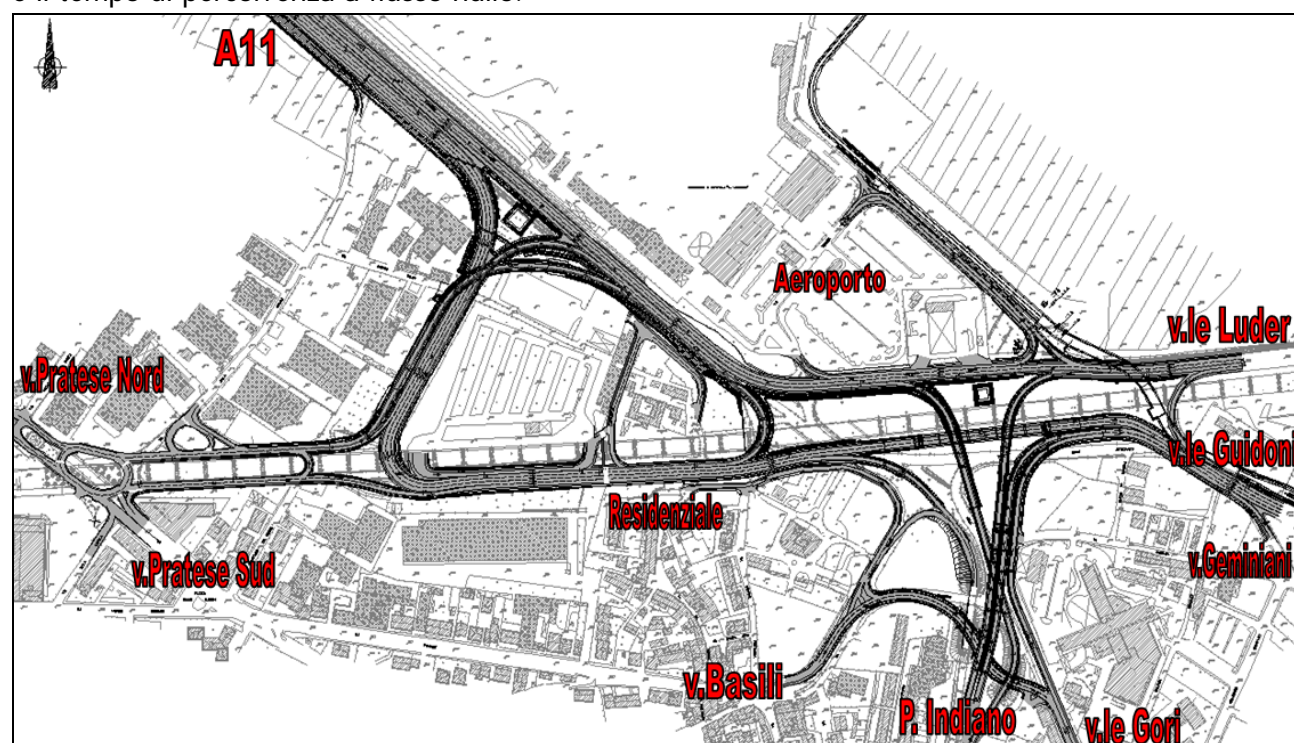


Figura 9 – Nomenclatura dei centroidi al cordone del nodo di Peretola

Tabella 3 – 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	ponete all'Indiano	53,46	91,91	100,55	8,64	A
	via Cupola	47,28	61,33	69,92	8,60	A
	via Geminiani	52,39	105,84	115,23	9,39	A
	via Pratese (nord)	48,31	67,95	77,52	9,57	A
	viale Guidoni	51,58	107,61	116,76	9,15	A
Aeroporto	A11	60,86	71,08	74,91	3,83	A
	ponete all'Indiano	54,33	120,73	129,09	8,36	B
	via Pratese (nord)	50,20	95,96	106,31	10,35	B
ponete all'Indiano	viale Guidoni	52,26	136,64	146,62	9,98	B
	A11	59,28	71,37	76,73	5,36	A
	Aeroporto	50,73	36,94	38,14	1,20	A
	via Cupola	48,34	90,31	101,05	10,74	B
	via Geminiani	47,79	39,30	42,12	2,82	A
	via Pratese (nord)	49,29	96,54	107,80	11,26	B
via Gori	viale Guidoni	52,30	35,40	39,46	4,06	A
	ponete all'Indiano	44,37	36,68	53,25	16,56	C
	via Basili	38,10	26,17	38,85	12,69	B
viale Luder	viale Astronauti	49,49	38,74	45,79	7,05	A
	A11	63,29	76,60	79,73	3,13	A
	Aeroporto	60,63	40,71	42,21	1,50	A
	ponete all'Indiano	81,43	35,19	38,38	3,19	A
	via Geminiani	53,30	145,22	153,53	8,30	B
	via Pratese (nord)	52,54	102,01	110,59	8,58	B
via Basili	viale Guidoni	52,44	27,12	29,29	2,17	A
	via Gori	45,58	25,86	30,60	4,74	A
via Pratese (nord)	A11	55,17	91,27	102,69	11,42	B
	ponete all'Indiano	52,52	73,84	83,79	9,95	A
	via Pratese (sud)	54,85	13,68	19,62	5,94	A
via Pratese (sud)	viale Guidoni	49,97	89,68	100,95	11,27	B
	ponete all'Indiano	46,59	81,48	96,65	15,17	C
zona residenziale	via Gori	46,19	44,65	52,08	7,43	A
	via Basili	57,22	27,96	28,70	0,74	A

Tabella 4 – 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
	via Cupola	47,70	61,33	69,20	7,87	A
	via Geminiani	47,44	105,84	116,45	10,61	B
	via Pratese (nord)	47,66	67,95	78,65	10,70	B
	viale Guidoni	52,20	107,61	115,32	7,72	A
Aeroporto	A11	60,01	71,08	76,02	4,94	A
	ponte all'Indiano	52,42	120,73	134,16	13,43	B
	via Pratese (nord)	50,19	95,96	106,04	10,08	B
	viale Guidoni	52,84	136,64	145,04	8,41	A
ponte all'Indiano	A11	59,66	71,37	76,33	4,96	A
	Aeroporto	49,23	36,94	39,37	2,43	A
	via Cupola	49,45	90,31	98,63	8,32	A
	via Geminiani	49,43	39,30	41,11	1,81	A
	via Pratese (nord)	49,92	96,54	106,42	9,88	A
	viale Guidoni	53,20	35,40	38,81	3,41	A
via Gori	ponte all'Indiano	42,26	36,68	56,09	19,40	C
	via Basili	35,17	26,17	42,55	16,39	C
	viale Astronauti	48,79	38,74	46,55	7,82	A
viale Luder	A11	56,53	76,60	88,08	11,47	B
	Aeroporto	49,17	40,71	48,17	7,46	A
	ponte all'Indiano	64,02	35,19	43,43	8,25	A
	via Geminiani	50,02	145,22	162,39	17,16	C
	via Pratese (nord)	48,61	102,01	118,15	16,13	C
	viale Guidoni	54,40	27,12	30,13	3,01	A
via Basili	via Gori	45,40	25,86	30,56	4,70	A
via Pratese (nord)	A11	56,99	91,27	99,06	7,79	A
	ponte all'Indiano	52,75	73,84	83,77	9,93	A
	via Pratese (sud)	57,42	13,68	18,19	4,51	A
	viale Guidoni	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
	via Basili	53,11	27,96	28,96	1,00	A

Tabella 5 – 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
	via Cupola	42,36	61,33	78,84	17,52	C
	via Geminiani	50,08	105,84	120,46	14,62	B
	via Pratese (nord)	43,46	67,95	86,74	18,79	C
	viale Guidoni	48,39	107,61	125,20	17,59	C
Aeroporto	A11	59,84	71,08	76,24	5,16	A
	ponte all'Indiano	52,69	120,73	133,16	12,43	B
	via Pratese (nord)	50,25	95,96	106,03	10,06	B
ponte all'Indiano	viale Guidoni	51,46	136,64	148,82	12,18	B
	A11	58,97	71,37	77,14	5,77	A
	Aeroporto	50,07	36,94	38,60	1,66	A
	via Cupola	48,43	90,31	100,94	10,64	B
	via Geminiani	47,34	39,30	45,09	5,79	A
	via Pratese (nord)	49,28	96,54	107,84	11,29	B
via Gori	viale Guidoni	48,66	35,40	43,04	7,64	A
	ponte all'Indiano	40,87	36,68	58,06	21,37	C
	via Basili	34,60	26,17	43,41	17,25	C
viale Luder	viale Astronauti	44,16	38,74	52,19	13,45	B
	A11	62,12	76,60	81,21	4,60	A
	Aeroporto	58,81	40,71	41,33	0,62	A
	ponte all'Indiano	80,05	35,19	35,41	0,23	A
	via Geminiani	50,51	145,22	162,27	17,05	C
	via Pratese (nord)	51,89	102,01	111,97	9,96	A
via Pratese (sud)	viale Guidoni	51,66	27,12	29,11	1,99	A
	via Gori	44,57	25,86	31,52	5,66	A
	A11	46,18	91,27	124,77	30,50	D
via Pratese (nord)	ponte all'Indiano	41,95	73,84	107,56	29,72	D
	via Pratese (sud)	24,38	13,68	45,17	31,49	D
	viale Guidoni	42,14	89,68	122,03	30,25	D
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
	via Basili	55,18	27,96	28,88	0,92	A

Tabella 6 – 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
	via Cupola	47,28	61,33	70,52	9,19	A
	via Geminiani	47,55	105,84	116,65	10,81	B
	via Pratese (nord)	48,13	67,95	77,95	10,01	B
	viale Guidoni	52,09	107,61	115,79	8,18	A
Aeroporto	A11	51,34	71,08	90,66	19,58	C
	ponte all'Indiano	49,22	120,73	144,04	23,31	C
	viale Guidoni	48,99	136,64	157,83	21,19	C
ponte all'Indiano	A11	58,47	71,37	77,93	6,56	A
	Aeroporto	43,47	36,94	45,47	8,53	A
	via Cupola	49,23	90,31	99,12	8,81	A
	via Geminiani	44,45	39,30	45,22	5,92	A
	via Pratese (nord)	49,75	96,54	106,81	10,27	B
	viale Guidoni	52,70	35,40	39,26	3,86	A
via Gori	ponte all'Indiano	42,39	36,68	56,11	19,42	C
	via Basili	35,06	26,17	42,92	16,76	C
	viale Astronauti	48,32	38,74	47,10	8,37	A
viale Luder	A11	45,66	76,60	114,35	37,75	E
	Aeroporto	34,07	40,71	78,25	37,54	E
	ponte all'Indiano	52,06	35,19	59,28	24,09	C
	via Geminiani	44,09	145,22	186,77	41,54	E
	via Pratese (nord)	41,49	102,01	142,62	40,61	E
via Basili	viale Guidoni	56,05	27,12	29,25	2,13	A
	via Gori	44,42	25,86	31,45	5,59	A
via Pratese (nord)	A11	46,18	91,27	124,77	33,50	D
	ponte all'Indiano	41,95	73,84	107,56	33,72	D
	via Pratese (sud)	30,98	13,68	42,15	28,47	D
via Pratese (sud)	viale Guidoni	42,14	89,68	122,03	32,35	D
	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
	via Basili	52,80	27,96	29,15	1,19	A

Le performance del nodo di Peretola appaiono molto positive negli scenari di progetto al 2015 e nettamente accettabili al 2035.

L'unico elemento degno di nota a fronte degli output microsimulativi è il seguente:

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 Luder si distaccano in successione le due più a sinistra rispettivamente verso viale Guidoni 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 Luder, 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 Luder 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 Luder nello scenario di punta del pomeriggio dal 2015 al 2035.

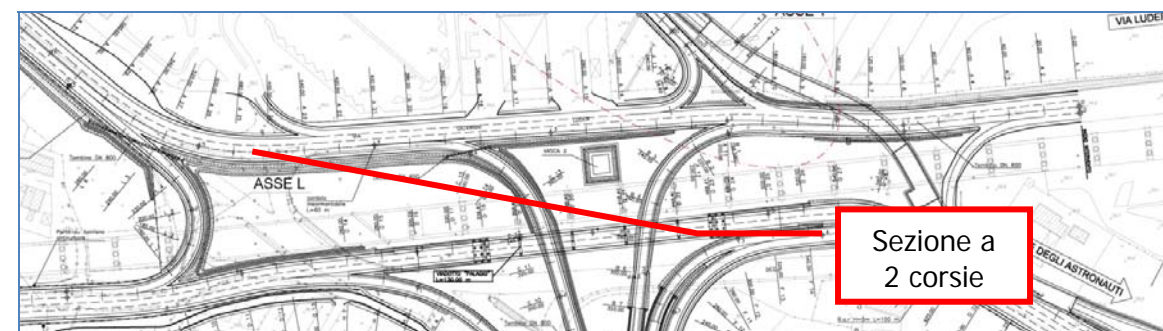


Figura 10 – Sezione a 2 corsie da via Luder ad A11 direzione mare

Si conclude sottolineando **la correttezza dell'inibizione della manovra di scambio che dalla rampa di Ponte all'Indiano permetterebbe di accedere all'aeroporto.**

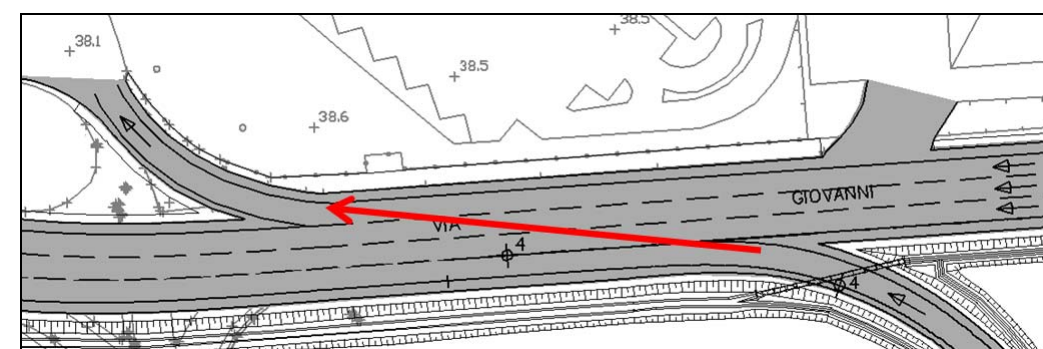


Figura 11 – Manovra correttamente inibita

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.

## 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 ferialo 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. 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 layout progettuale del nodo – nel suo contesto fortemente urbano - risultano assolutamente positive nel breve periodo (2015) sia per lo scenario di punta mattutino che pomeridiano, non superando mai LOS C; al 2035 il LOS raggiunge valori pari a D o E solo lungo alcune direttrici non superando però mai la capacità (che rappresenta il limite di riferimento in ambito urbano).**

**La conclusione cui si giunge è pertanto che il layout progettuale del nodo di Peretola raggiunge l'obiettivo prefissato di adeguamento, potenziamento e riqualifica funzionale.**