

COMUNE DI PADOVA  
AZIENDA PADOVA SERVIZI



# Consorzio Mantegna

## SISTEMA DI TRASPORTO INTERMEDIO A GUIDA VINCOLATA

### PROGETTO PRELIMINARE

N. ELABORATO

STUDIO TRASPORTISTICO

4.1.1

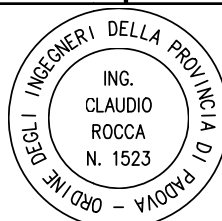
FORMATO A4

-

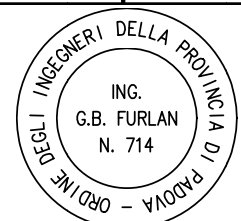
Rev.	Nome file	Descrizione	Data	Redatto	Controllato	Approvato	Visto	
0-	SRT00101_0	-	01/12/03	MG	VV	GG	RLT	
COMMESSA		FASE	OPERA		DOCUMENTO		TAVOLA	REVISIONI
P	T 0376	P	- -	TV SIR3	S	R T 001	01 01	0 -



Il Direttore Tecnico  
ing. Claudio Rocca



Il Progettista  
ing. G.B. FURLAN



Via Squero, 12 - 35043 Monselice (PD)

## INDICE

<b>1</b>	<b>SINTESI.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>L'ASSETTO FUTURO DEL SISTEMA DEI TRASPORTI DELLA GRANDE PADOVA .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>L'ANALISI DELLA DOMANDA .....</b>	<b>10</b>
3.1	IDENTIFICAZIONE E ANALISI DELLE COMPONENTI DI DOMANDA .....	10
3.2	LA DOMANDA NEL GIORNO FERIALE MEDIO AL 2008.....	11
3.2.1	La domanda dal TPL urbano .....	11
3.2.2	La domanda trasferibile dall'autovettura.....	13
3.2.2.1	<i>La domanda trasferibile da autovettura al sistema SFMR/SIR .....</i>	<i>15</i>
3.2.3	La domanda generata dagli ospedali di Padova .....	16
3.2.4	La domanda totale annua .....	17
3.3	LE IPOTESI DI CRESCITA DELLA DOMANDA .....	18
<b>4</b>	<b>IL PROGRAMMA DI ESERCIZIO.....</b>	<b>21</b>
4.1	CARATTERISTICHE DELLA LINEA E DELLA DOMANDA.....	21
4.2	VELOCITÀ COMMERCIALE E TEMPI DI PERCORRENZA .....	22
4.3	CARATTERISTICHE DELL'ESERCIZIO.....	23
4.3.1	Programma e parametri di esercizio .....	24
<b>5</b>	<b>LA MICROSIMULAZIONE DELL'ASSETTO DI PROGETTO.....</b>	<b>26</b>
5.1	LA METODOLOGIA .....	26
5.2	STRUTTURA DI UN MICROSIMULATORE .....	27
5.3	LA RAPPRESENTAZIONE DELLA RETE .....	29
5.3.1	Il comportamento dei veicoli in corrispondenza delle intersezioni.....	35
5.4	LE INDAGINI DI BASE .....	38
5.5	LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO .....	40
5.6	LA MICROSIMULAZIONE DELLA SITUAZIONE DI PROGETTO.....	45
5.6.1	Il riassetto della rete autobus funzionale al SIR 3 .....	46
5.6.2	I flussi di traffico previsti.....	47
5.6.3	Le caratteristiche del metrobus e dell'esercizio .....	48
5.6.4	La procedura impiegata .....	49
5.6.5	La disciplina del traffico nello scenario futuro .....	51
5.6.5.1	<i>Le modifiche alla rete stradale .....</i>	<i>52</i>
5.6.5.2	<i>La semaforizzazione delle rotatorie .....</i>	<i>53</i>
5.6.5.3	<i>Le modifiche negli incroci semaforizzati .....</i>	<i>57</i>



5.6.5.4	<i>Le intersezioni tra viabilità ordinaria e sede riservata</i> .....	60
5.6.6	La simulazione dello scenario futuro: le fasi operative .....	61
5.7	I RISULTATI .....	67

**APPENDICE: GRAFICI PER LA VERIFICA DELLA CALIBRAZIONE DEL MODELLO DI  
MICROSIMULAZIONE**

**ALLEGATO: CD DEL FILMATO DELLA MICROSIMULAZIONE**

## 1 SINTESI

Questa relazione descrive le analisi trasportistiche effettuate per la progettazione preliminare della linea 3 del SIR.

Lo studio trasportistico – svolto in sinergia alla progettazione preliminare – aveva i seguenti scopi:

1. aggiornare la stima della domanda prevista sulla linea 3 del SIR;
2. individuare l'assetto ottimale della circolazione conseguente all'inserimento della linea.

L'aggiornamento della domanda prevista, punto 1, è avvenuto sulla base d'indagini recenti (2003) che hanno consentito un affinamento delle stime effettuate nell'ambito del PUM – Piano Urbano della Mobilità - del Comune di Padova ed utilizzate come riferimento nello studio di fattibilità.

Lo scenario futuro individuato come base per le successive analisi, Costi – Benefici e Finanziaria, è quello di minima crescita della domanda prevista sulla linea del SIR3, a vantaggio di sicurezza. La domanda, infatti, può essere incrementata considerando diversi possibili scenari futuri che tengano rispettivamente conto:

- che il SIR3 rappresenta il primo tratto funzionale della futura linea completa fino a Legnaro;
- dell'effetto rete dovuto all'integrazione con le altre linee del SIR (in particolare il SIR 2);
- di una revisione del Piano Urbano della Mobilità che preveda politiche di controllo del traffico privato e della sosta che integrino l'inserimento della linea del SIR3;
- dalla creazione di linee dedicate su gomma per l'adduzione alla linea del SIR3 (p. es. al servizio del previsto insediamento residenziale in zona Forcellini).

In tabella 1 è riassunta la previsione dei passeggeri giorno e le quote di provenienza

**Tabella 1: Domanda prevista al 2008 nello scenario di minima.**

Domanda totale al 2008 (passeggeri/giorno)		16.235
Da autobus		10.307
Da auto	Parcheggi d'interscambio	1.225
	Da SFMR	787
	Cambio modo	515
Domanda generata (ospedali, ecc.)		3.401

L'individuazione dell'assetto ottimale della circolazione conseguente all'inserimento della linea SIR3, comprendente sia la valutazione degli impatti, sia la verifica della funzionalità delle soluzioni ipotizzate, è stata effettuata utilizzando modelli matematici di microsimulazione.

Il valore aggiunto della microsimulazione consiste nella possibilità di analizzare il comportamento del traffico a livello di singolo veicolo e quindi di verificare nel dettaglio ogni singolo processo, come ad esempio quello di formazione ed evoluzione delle code. In tal modo è stato possibile evidenziare tutti i problemi, anche istantanei, che altrimenti sarebbero stati nascosti dalla rappresentazione del fenomeno medio sull'intero periodo di analisi.

La metodologia adottata ha previsto le seguenti attività:

- la descrizione della rete attuale: la rete attuale è stata rappresentata dalla geometria della rete stradale interessata dal passaggio della linea del SIR3, insieme delle intersezioni (nodi) e delle tratte stradali (archi), dalla disciplina della circolazione e dalle regole di controllo semaforico ed infine dalle

- caratteristiche tecniche dei veicoli (funzione della tipologia del parco circolante);
- la calibrazione del modello: sono stati individuati dei conteggi di flussi di traffico di verifica e sono state accuratamente ponderate le funzioni di avanzamento dei veicoli, di accodamento e di rispetto delle regole di circolazione affinché i flussi simulati riproducessero quelli misurati;
  - la descrizione della rete di progetto: la rete attuale è stata modificata per tener conto dell'inserimento della linea, pertanto sono state introdotte modifiche ai nodi, agli archi ed alle regole di controllo semaforico;
  - l'analisi di nuovi schemi di circolazione alternativi: sono stati proposti ed esaminati vari schemi di circolazione alternativi, sulla base della verifica dei diversi assetti sono stati aggiunti altri archi e nodi necessari a considerare le modifiche apportate alla circolazione dei veicoli privati;
  - l'individuazione della soluzione finale: sulla base di indicatori caratteristici della circolazione (tempi di viaggio, regolarità del servizio, interferenze con il traffico privato, etc.) è stata individuato l'assetto finale.

Le verifiche condotte hanno mostrato la bontà delle scelte effettuate per l'inserimento del metrobus nella rete stradale. In linea con il principio base di privilegiare il trasporto collettivo, sono state modificate, quando è risultato necessario, le regole e gli schemi attuali di circolazione del traffico privato per consentire ad esempio l'inserimento di corsie riservate ai mezzi pubblici. Tali scelte hanno consentito di progettare un servizio efficiente che rispondesse alle esigenze di regolarità, puntualità, comfort, sicurezza e riduzione dei tempi di spostamento. Queste sono le caratteristiche che rendono attrattivo e quindi competitivo un servizio di trasporto pubblico e consentono di sottrarre quote di domanda al trasporto privato.

Nella tabella 2 sono riportate le principali caratteristiche della linea 3 del SIR. Risultano immediatamente evidenti le alte percentuali di corsie riservate, tra il 68 ed il 75% dell'intero percorso, che consentono di attuare un servizio regolare e

puntuale, la buona velocità commerciale (circa 18 km/h nella fascia di punta, con un aumento di circa il 20% - 25% rispetto a quella attuale) ed il soddisfacente grado di riempimento previsto.

**Tabella 2: Caratteristiche principali della linea 3 del SIR.**

CARATTERISTICA		SIGLA	VALORE
Lunghezza		L	5,4 km
Sede Riservata	Direzione Nord-Sud		67,8 %
	Direzione Sud-Nord		75,0%
Fermate	Numero	F	12
	Distanza media	D	495 m
Tempi	Medio di percorrenza	Tp	18 minuti
	Medio di giro hp	Tg	40 minuti
Velocità commerciale hp		$V = L / Tg$	18 km/h
Intertempo		I	10 minuti (6 corse / ora)
Capacità	di un metrobus	Cm	167 posti (6 passeggeri / m <sup>2</sup> )
	Oraria	Cmh	2.004 posti (nelle due direzioni)
Domanda ora di punta al 2008			2.054 (nelle due direzioni)
Sezione di massimo carico al 2008			850 passeggeri/ora per direzione

## 2 L'ASSETTO FUTURO DEL SISTEMA DEI TRASPORTI DELLA GRANDE PADOVA

L'assetto futuro del sistema dei trasporti della Grande Padova è stato definito dal PUM – Piano Urbano della Mobilità –del Comune di Padova che risale al dicembre 2001. L'assetto delineato dal PUM va letto insieme con lo schema dei rete stradale al 2010 individuato dal Piano Provinciale della Viabilità (2002) e con il SFMR – Sistema Ferroviario Metropolitano Regionale, di cui la prima fase è ormai in corso di realizzazione.

Il sistema dei trasporti della area padovana (la Grande Padova) è costituito dai due sottosistemi coordinati di adduzione alla città e da quello di distribuzione urbana. La rete di forza del sottosistema di adduzione è la ferrovia (SFMR) mentre la rete di forza del sottosistema di distribuzione interna è il SIR – Sistema Intermedio a Rete – a via guidata denominato “Metrobus” la cui rete di 3 linee è stata individuata dal PUM.

Il SFMR prevede la realizzazione di 3 nuove stazioni nell'area padovana: la prima tra la stazione di Padova Centrale e il nodo autostradale di Padova Est (stazione di S.Lazzaro). Le altre due a ovest della città e collocate lungo la linea Padova – Bologna, di cui una di corrispondenza con la futura linea SIR2 e l'altra più a sud in località Brusegana. Il SMFR prevede anche la realizzazione di una ferrovia da Padova a Chioggia al servizio di una direttrice che vede tra i due capolinea centri importanti come Legnaro con il polo universitario (facoltà di Agricoltura), e Piove di Sacco e oggi interessata da un elevato traffico di mezzi privati da una linea di autobus con intertempo di 30' e di 15' nelle ore di punta.

La prima linea del SIR – la **SIR1**, ha una lunghezza di circa 17,5 km di cui è stata avviata la realizzazione della prima tratta funzionale (10,5 km). Questa prima tratta ha ottenuto dallo Stato il contributo del 60% del costo di realizzazione ex legge 211/92 e ss.mm.. La linea SIR1 serve la direttrice a più alta densità di domanda da Nord –Cadoneghe/Vigodarzere – a Sud (Albignasego) transitando



per la stazione ferroviaria e attraversando il centro storico della città.

La linea **SIR2**, di circa 21 km, attraversa la città da Ovest (Ronchi di Mestrino,) dove si interconnette con la stazione SFMR della ferrovia Vicenza – Padova, fino a Est (Busa di Vigonza) servendo le due importanti direttrici di accesso alla città lungo la SS11 (da Ovest) e la SS11/SS515 (da Est). La SIR2 si interconnette anche con la linea ferroviaria Padova – Bologna nell’area di Campo di Marte, e transita per la stazione ferroviaria dove è previsto anche un tratto di interscambio con la linea SIR1.

La linea **SIR3, nella sua completa estensione**, ha una lunghezza di circa 12 km. Il capolinea è alla stazione di Padova Centrale da cui prosegue verso sud – est servendo la zona degli Ospedali, a forte attrazione di traffico. Prosegue poi fino a connettersi con la Tangenziale Sud di Padova e lungo la SS516 arriva a Legnaro dove è localizzato Agripolis – il Polo universitario degli studi legati all’agricoltura.

Completano la rete di forza il sistema delle Tangenziali interne Sud e Nord, il cui ultimo tratto mancante sarà completato entro il 2005, e più all’esterno, il Sistema Stradale Orbitale. Quest’ultimo intervento è previsto dal Piano Provinciale della Viabilità e ne è stata recentemente (2003) completata la progettazione preliminare. Il Sistema Stradale Orbitale ha l’obiettivo di servire i flussi tangenziali e di offrire un’alternativa ai flussi di attraversamento e di penetrazione collegando fra loro le strade radiali di accesso a Padova ed alla Prima cintura. Il tracciato previsto si sviluppa a ovest di Padova a partire dal casello autostradale di Padova Sud fino a collegarsi all’A4 con un nuovo casello e da qui prosegue fino a raggiungere Limena (a nord di Padova) per piegare poi verso est passando per Vigonza e di lì fino a Dolo connettendosi all’A4 Padova – Mestre.

La tabella seguente riassume l’estesa della rete SIR di Padova:

**Tabella 3: Estesa prevista della rete SIR di Padova.**

	Lunghezza (km)	Capolinea	Capolinea	Note
<b>INTERA RETE</b>				
Linea SIR1	17,5	Nord: Cadoneghe	Sud: Albignasego	
Linea SIR2	21	Ovest: Ronchi di Mestrino	Est: Busa di Vigonza	
Linea SIR3	12	Stazione di Padova Centrale	Sud Est: Legnaro	
<b>TOTALE RETE (km)</b>	<b>50,5</b>			
<b>TRATTE FUNZIONALI</b>				
SIR1 Tratta funzionale	10,5	Nord: "Fornace Morandi"	Sud: Guizza	Avviata la realizzazione con finanziamento dello Stato ex lege 211/92 e ss..mm.
SIR2 Tratta funzionale	13,0	Ovest: Sarmeola	Est: Ponte di Brenta	Richiesto finanziamento ex lege 211/92 e ss.mm. dal Comune di Padova nel giugno 2002
SIR3 Tratta funzionale	5,4	Stazione di Padova Centrale	Voltabarozzo (Tangenziale Sud)	Richiesto finanziamento ex lege 211/92 e ss.mm. dal Comune di Padova nel gennaio 2001
Totale tratte funzionali SIR1+SIR2+SIR3 (km)	28,9			
Totale tratte funzionali SIR2+SIR3 (km)	18,4			Richiesto finanziamento ex lege 211/92 e ss.mm. dal Comune di Padova nel gennaio 2001

### 3 L'ANALISI DELLA DOMANDA

Questo capitolo contiene l'aggiornamento della stima della domanda del SIR3, cioè del numero di passeggeri che lo utilizzeranno a partire dal 2008, in cui è prevista la sua entrata in esercizio. L'aggiornamento rispetto alle stime effettuate nell'ambito del PUM – Piano Urbano della Mobilità - del Comune di Padova si fonda sostanzialmente sulla disponibilità di recenti indagini sulla mobilità che hanno consentito un affinamento delle precedenti stime.

Di seguito si espongono le fonti informative utilizzate per l'aggiornamento, le diverse componenti della domanda del metrobus e la previsione della loro evoluzione nel tempo. La domanda è stata stimata per il giorno feriale medio e per la relativa ora di punta. Il valore giornaliero è stato estrapolato all'anno per poter calcolare gli introiti tariffari che sono uno dei dati di ingresso del Piano finanziario.

#### 3.1 IDENTIFICAZIONE E ANALISI DELLE COMPONENTI DI DOMANDA

Le fonti informative utilizzate sono le seguenti:

- ✓ Indagine sui mezzi pubblici urbani - Acap/Comune di Padova - 1996;
- ✓ Piano Urbano della Mobilità (PUM) del Comune di Padova - 2000;
- ✓ Indagini e studi per il Sistema Ferroviario Metropolitano Regionale (SFMR) - Regione Veneto/Net Engineering;
- ✓ Ipotesi di attivazione di un servizio di taxi collettivo per l'accesso agli Ospedali di Padova - Ufficio Mobility Manager - Settore Mobilità e Traffico Comune di Padova - 2002;
- ✓ Piano Provinciale della Viabilità - Provincia di Padova - 2000;
- ✓ Piano Generale del Trasporto Urbano (PGTU) del Comune di Padova - 1997;

- ✓ Aggiornamento del PGTU del Comune di Padova – 2003;
- ✓ Bilancio di esercizio 2002 APS Mobilità S.p.A.;
- ✓ Il riassetto e la riorganizzazione della rete del trasporto pubblico urbano - Comune di Padova – 2003;
- ✓ Indagini conoscitive di campo sul servizio di trasporto pubblico urbano - Comune di Padova – 2003.

Le componenti di domanda analizzate per la determinazione della quota potenziale di passeggeri della linea SIR3 sono le seguenti:

- ✓ la domanda trasferibile dai servizi di autobus urbano;
- ✓ la domanda trasferibile dall'autovettura;
- ✓ la domanda trasferibile dall'autovettura al sistema SFMR/SIR;
- ✓ la domanda generata dagli ospedali di Padova

La determinazione della domanda di ciascuna componente è stata effettuata analizzando ed elaborando i dati delle fonti informative disponibili. Le stime della domanda del SIR per ciascuna componente della domanda sono state proiettate al 2008 adottando i tassi di crescita ipotizzati dal PGT – Piano Generale dei Trasporti e dal PUM – Piano Urbano della Mobilità del Comune di Padova.

## **3.2 LA DOMANDA NEL GIORNO FERIALE MEDIO AL 2008**

### **3.2.1 La domanda dal TPL urbano**

La domanda del giorno feriale medio rappresenta, nel suo valore assoluto e nella distribuzione giornaliera, l'unità di riferimento per la determinazione della domanda annuale ed il dimensionamento del servizio offerto.

Nel caso del trasporto pubblico urbano i dati relativi alla domanda di riferimento rappresentano il carico medio di una giornata feriale nell'arco del periodo

autunnale/invernale. Nel caso specifico tale componente è stata valutata sulla base dei dati raccolti durante la campagna di indagine effettuate nel periodo febbraio÷marzo 1996 da CSST S.p.A. per conto del Comune di Padova, integrati ed aggiornati con i dati raccolti durante la campagna d'indagine del marzo 2003, condotta dal R.T. ing. E. Marzano e ing. G. Smaniotto per conto del Comune di Padova.

La matrice O/D del TPL urbano è stata rimodulata in funzione del nuovo collegamento SIR 3 sia per l'intera giornata, sia per l'ora di punta, dalle 7.30 alle 8.30. L'aggregazione delle fermate delle linee di pertinenza, ha permesso di produrre una matrice aggregata incentrata sulla nuova rete SIR e la restante rete del TPL urbano. I risultati delle elaborazioni hanno evidenziato che la domanda trasferita dall'autobus urbano non è caratterizzata solamente dall'effetto di "sostituzione" delle linee di trasporto pubblico urbano, ma anche ad una consistente quota di passeggeri che utilizzano più linee di trasporto. Infatti, oltre alla quota di passeggeri trasferita sulla tratta della linea di interesse, che rappresenta lo "zoccolo duro" della domanda, si aggiungono delle componenti addizionali, dovuti all'interscambio con altri mezzi o modalità di trasporto, che derivano dalle relazioni di scambio con:

- ✓ la linea SIR 1;
- ✓ la rete autobus urbana;

La tabella che segue descrive le componenti ed i valori e della domanda trasferita dall'autobus per l'intera giornata e l'ora di punta, dalle 7.30 alle 8.30.

Tabella 4 – Passeggeri trasferiti dall'autobus (2008)

	Totale passeggeri trasferiti dalla rete Autobus Urbana	
	SIR3	
	Intera Giornata	Ora di Punta
Passeggeri all'interno della tratta	4.032	561
Passeggeri di interscambio	6.276	866
<b>Totali</b>	<b>10.307</b>	<b>1.427</b>
<b>HP/Intera GG</b>	<b>14%</b>	

### 3.2.2 La domanda trasferibile dall'autovettura

La domanda potenzialmente trasferibile da autovettura è sintetizzabile nelle seguenti componenti:

- domanda trasferibile dagli spostamenti interni alla fascia urbana interessata dalla linea del SIR3;
- domanda trasferibile dai parcheggi scambiatori di testata;
- domanda trasferibile dal SFMR.

Nel primo caso, la domanda trasferibile è stata stimata sulla base dell'entità degli spostamenti generati dagli insediamenti residenziali ubicati nella fascia di influenza della nuova linea SIR 3. Tale componente di domanda è costituita dalla quota degli spostamenti aventi sia l'origine che la destinazione ricadenti nell'intorno di 500 m dall'asse della linea SIR 3.

La tabella seguente descrive i valori della domanda trasferita dall'autovettura per l'intera giornata e l'ora di punta, dalle 7.30 alle 8.30.

Tabella 5 – Passeggeri trasferiti da autovettura con origine e destinazione lungo la linea (2008)

	Totale passeggeri trasferiti da auto lungo la linea	
	SIR3	
	Intera Giornata	Ora di Punta
Da FS a Ponte S. Nicolò	515	85
<b>Totale</b>	<b>515</b>	<b>85</b>
Passeggeri totali sulla linea	515	17

La domanda trasferibile dai parcheggi è stata calcolata sulla base dei dati relativi alle autovetture destinate nelle zone urbane di Padova, per direttrice di entrata, contenuti nel Piano Provinciale della Viabilità della Provincia di Padova. Tale studio contiene, con riferimento all'ora di punta della mattina, le stime del traffico relative alle relazioni di scambio esterno/interno delle autovetture. La direttrice di entrata qui considerata è quella servita dalla SS 516 da Piove di Sacco.

Le aree di destinazione cui sono stati assegnati i flussi potenziali sono:

- Centro;
- Forcellini.

Considerato che più del 40%, dei veicoli in ingresso nelle direttrici esaminate parcheggia su aree pubbliche, non soggette a pagamento (PGTU 1997) e considerato che l'attivazione di un nuovo servizio di trasporto rapido di massa integrato con il sistema dei parcheggi renderà competitivo lo svolgimento dell'interscambio, si è assunto un coefficiente di diversione pari al 50%. Al fine di determinare il numero di passeggeri potenzialmente trasferibili sulla linea SIR3, i dati sono stati espansi all'intera giornata sulla base dell'incidenza dell'ora di punta ed utilizzando un coefficiente di occupazione delle autovetture di 1,2 (valore desunto dal PGTU e dal PUM).

La seguente tabella descrive i valori della domanda trasferita dai parcheggi di interscambio per l'intera giornata e l'ora di punta.

Tabella 6– Passeggeri trasferiti dai parcheggi di interscambio (2008)

	Totale passeggeri trasferita dai parcheggi	
	SIR3	
	Intera Giornata	Ora di Punta
Da Ponte S. Nicolò alla Stazione FS (solo andata)	612	92
<b>Totale</b>	612	92
Passeggeri totali sulla linea	1.225	
HP/Intera Giornata	<b>15%</b>	

### 3.2.2.1 LA DOMANDA TRASFERIBILE DA AUTOVETTURA AL SISTEMA SFMR/SIR

L'attivazione del servizio SFMR farà aumentare la quota modale del mezzo pubblico riducendo quella del mezzo privato. Gli studi condotti nel 1999 per il progetto del SFMR hanno valutato, con riferimento all'intera giornata, un incremento di circa 5.400 passeggeri su ferrovia in arrivo o in partenza dalla stazione di Padova di cui una parte completerà il proprio viaggio con il SIR3. L'entità di questa componente della domanda del SIR 3 è stata valutata assegnando le quote della matrice O/D alle direttrici di pertinenza, e più precisamente alla direttrice FS – Forcellini.

In considerazione del fatto che l'attivazione del SFMR prevede una forte integrazione delle reti e dei servizi e, soprattutto, l'integrazione tariffaria, si assume che la domanda incrementale avente come origine o destinazione Padova utilizzi integralmente la linea SIR in accesso ed egresso.

La tabella che segue, descrive i valori della domanda trasferibile dal SFMR, sia per l'intera giornata che per l'ora di punta.

Tabella 7 – Passeggeri serviti dal SFMR e dal SIR (2008)

	Totale passeggeri trasferiti da SFMR	
	SIR3	
	Intera Giornata	Ora di Punta
FS a Ponte S. Nicolò	787	178
<b>Totale</b>	787	178
Passeggeri totali	787	23%



### **3.2.3 La domanda generata dagli ospedali di Padova**

Nel 2002 è stato condotto uno studio per l'attivazione di un servizio di taxi collettivo collegante alcuni parcheggi, la stazione FS con gli ospedali di Padova. In base ai dati disponibili lo studio stima (vedi Ipotesi di attivazione di un servizio di taxi collettivo per l'accesso agli Ospedali- Comune di Padova) che le persone che affluiscono mediamente in un giorno all'Azienda Ospedaliera, con esclusione del personale impiegato nella medesima, ammonta ad un totale di 9.490 persone al giorno suddivise in:

- 250 ricoverati ordinari e relativi accompagnatori;
- 1.100 persone in visita ai ricoverati;
- 240 ricoverati in day-hospital e relativi accompagnatori;
- 7.900 persone per prestazioni specialistiche;

Per quanto riguarda infine l'Ospedale Sant'Antonio, data la sua dimensione (circa 600 addetti), si può stimare che la domanda potenziale possa essere dell'ordine del 10% della domanda relativa all'Azienda Ospedaliera.

In conclusione la domanda potenziale complessiva ammonta a 10.200 persone al giorno, pari a 20.400 viaggi di andata e ritorno dagli Ospedali. Il numero di passeggeri assegnato al SIR3 è stata valutato cautelativamente pari al 20% della domanda potenziale al netto della quota (4.800 passeggeri A/R) che attualmente utilizza già le linee di TPL urbano che servono gli Ospedali.

La successiva tabella illustra i valori della domanda attratta dagli ospedali per l'intera giornata e l'ora di punta, dalle 7.30 alle 8.30.

Tabella 8 – Passeggeri attratti dagli ospedali di Padova (2008)

	Totale passeggeri Ospedali	
	SIR3	
	Intera Giornata	Ora di Punta
Ospedale Civile	3.096	247
Ospedale S. Antonio	305	24
<b>Totali</b>	<b>3.401</b>	<b>271</b>
HP/Intera GG	8%	

### 3.2.4 La domanda totale annua

La determinazione della domanda annuale è stata ottenuta espandendo all'anno, utilizzando opportuni moltiplicatori che rappresentano il numero di giornate equivalenti della giornata feriale media, la domanda giornaliera del giorno feriale. Sulla base di dettagliate analisi sul servizio annuale del TPL urbano, e sulla distribuzione dei flussi delle autovetture nell'arco della settimana e dell'anno si sono calcolate le seguenti giornate equivalenti:

- 285 giorni per l'autobus urbano;
- 250 giorni per l'autovettura;
- 365 giorni per gli spostamenti attratti dagli ospedali.

La tabella sotto riportata illustra i valori della domanda così ottenuti.

Tabella 9 – Passeggeri/anno (2008)

Domanda totale al 2008		4.838.092
Da autobus urbano		2.937.495
Da auto	Parcheeggi d'interscambio	306.242
	Da SFMR	224.255
	Cambio modo	128.746
Domanda generata (ospedali, ecc.)		1.241.353

### 3.3 LE IPOTESI DI CRESCITA DELLA DOMANDA

La crescita della domanda del SIR3, e più in generale di tutto il sistema dei trasporti pubblici dell'area di Padova, dipendono essenzialmente da tre componenti:

1. la crescita tendenziale della mobilità, che a sua volta dipende dall'andamento della popolazione, del reddito disponibile pro-capite, dalla localizzazione sul territorio delle attività legate al lavoro, ma anche al tempo libero, rispetto alle residenze e così via;
2. dal potenziamento qualitativo e quantitativo dell'offerta di trasporto pubblico che si ha con l'introduzione del SIR e la riorganizzazione della rete degli autobus;
3. alle politiche di regolazione della domanda su mezzo privato messe in atto dal Comune di Padova e, in generale, anche da altri livelli di governo.

Le previsioni di crescita della domanda del SIR3 si basano sulle analisi svolte nel PGTL – Piano Generale dei Trasporti e della Logistica – per lo Scenario cosiddetto di “Riequilibrio modale” che sconta un potenziamento dell'offerta di trasporto pubblico. Le previsioni sono all'orizzonte 2010. Si è poi tenuto naturalmente conto delle previsioni di crescita della domanda su mezzo pubblico elaborate dal PUM – Piano Urbano della Mobilità – del Comune di Padova.

Per quanto riguarda specificatamente l'area di Padova l'analisi della domanda del SIR3 tiene già conto dell'”effetto rete” legato alla presenza del SIR1. Il completamento della rete SIR con la linea 2, per cui è stato concesso un finanziamento a valere sulla Legge Obiettivo, avrà a sua volta un ulteriore effetto positivo sulla domanda del SIR1 e anche SIR3, che però allo stato non è possibile determinare analiticamente. Anche il previsto prolungamento del SIR3 fino a Legnaro/Agripolis aumenterà di fatto la domanda sul primo stralcio funzionale Stazione di Padova Centrale – Voltabarozzo.

Anche la più elevata qualità del servizio offerto dal SIR inciderà positivamente sulla domanda: ci si riferisce alla regolarità e velocità del servizio ed anche al confort di marcia.

La regolarità del servizio migliora perché gran parte del tracciato del SIR3 si svolge su sede riservata (75% in direzione Sud-Nord e 68% nella direzione Nord-Sud) e quindi senza interferenze con il traffico privato. Inoltre, il progetto prevede che le principali intersezioni siano regolate da semafori attuati dal mezzo pubblico e quindi minimizzando i tempi di attesa del SIR3. Il confort di marcia migliora perché il SIR3 nella sede riservata non ha interferenze con gli altri veicoli e quindi non si verificano “frenate/accelerazioni” (“stop and go”) che recano un evidente disagio ai passeggeri. Queste valutazioni portano a considerare che la domanda del SIR3 sia costituita, oltre che dalla domanda trasferita da altri modi di trasporto, anche da una domanda di mobilità “generata” per effetto delle prestazioni del SIR3.

Anche la messa in atto da parte del Comune di Padova di politiche di regolazione della domanda su mezzo privato avrà l’effetto di spostare una quota della di mobilità al trasporto pubblico e quindi al SIR3. Una valutazione dell’aumento della domanda del SIR3 dipende però naturalmente da quali politiche saranno attuate e dalle modalità di attuazione.

Sulla base delle analisi delle fonti sopra citate si è stimato che la crescita della domanda del SIR3 a partire dal 2003 sia circa dell’1,3% annuo. Questo valore è superiore all’andamento della domanda di trasporto pubblico urbano registrato negli ultimi anni da APS Mobilità (0,85% annuo) ed anche al tasso di crescita della mobilità su mezzo pubblico ipotizzato dal PUM.

Con questo tasso di crescita si ottiene al 2008 il valore riportato nella tabella seguente.

**Tabella 10 – Passeggeri totali nel giorno medio feriale all'anno 2008**

Anno	Passeggeri/giorno
2003	15.208
2008	16.235
2008/2003	+6,7%

Questo valore di domanda al 2008 deve essere valutato, per le considerazioni sopra esposte, come il *limite inferiore* della domanda del SIR3 in quanto non tiene conto dell'effetto rete dovuto alla realizzazione del SIR2, del potenziamento qualitativo del servizio né dell'attuazione di politiche di regolazione della domanda su mezzo privato. Il prolungamento del SIR3, anche se dopo il 2008, farà aumentare la domanda oltre il limite inferiore sopra determinato.

Dopo il 2010 si è ipotizzato che il tasso di crescita della mobilità sia lo 0,5% fino al 2020 e da qui in poi lo 0%.

## 4 IL PROGRAMMA DI ESERCIZIO

L'esercizio della linea SIR3, dovendosi integrare con la rete autobus e, in particolare, con la linea SIR1, già in fase di costruzione, deve garantire livelli di servizio analoghi a quelli assunti per la prima linea della rete SIR e pertanto l'arco del servizio, le cadenze e la modulazione dei programmi di esercizio dovranno essere integrati e congruenti con quelli forniti dalla linea SIR1.

Nei paragrafi che seguono vengono descritte le ipotesi assunte e le scelte di organizzazione del servizio con l'individuazione dei principali parametri di esercizio.

### 4.1 CARATTERISTICHE DELLA LINEA E DELLA DOMANDA

La determinazione delle caratteristiche di esercizio è di fondamentale importanza per una corretta valutazione dei costi di impianto e di esercizio della nuova linea, poiché ad esse sono strettamente correlati il dimensionamento del parco vetture e degli impianti in genere, l'organico di personale, l'entità dei consumi energetici e di materiali. Tali caratteristiche di esercizio dipendono essenzialmente dal tracciato della linea, con riferimento all'andamento plano-altimetrico ed alla possibilità di proteggere adeguatamente la marcia delle vetture, e dal volume di traffico da servire: con tali elementi è possibile ipotizzare la velocità commerciale realizzabile sul tracciato prescelto e formulare una proposta sulle frequenze da attribuire al servizio.

Gli elementi che in particolare interessano la formulazione dei programmi di esercizio sono i seguenti:

- ✓ lunghezza di esercizio dalla stazione ferroviaria di Padova a Voltabarozzo in prossimità della tangenziale sud-est: km 5,4;
- ✓ tracciato altimetrico privo di pendenze rilevanti ai fini della determinazione delle condizioni di esercizio e comunque sempre inferiori al 6%;

- ✓ presenza di impianti semaforici i cui cicli di funzionamento dovranno essere opportunamente modificati inserendo la possibilità di prenotazione di via libera da parte delle vetture metrobus;
- ✓ impiego di vetture identiche a quelle previste per la linea SIR1 aventi capacità di 167 posti, calcolata a 6 persone/m<sup>2</sup> compreso il 20% di posti a sedere.

Per quanto riguarda il traffico da servire e quindi la determinazione delle frequenze da programmare, la domanda nell'ora di punta del mattino nella sezione di massimo carico risulta essere di 800÷850 passeggeri riferiti al periodo dal 2008 al 2020.

Per la formulazione dei programmi di esercizio non è indispensabile conoscere il carico nelle altre ore della giornata poiché l'elevata capacità di trasporto che caratterizza le vetture fa sì che al di fuori dell'ora di punta l'entità del servizio da programmare sia determinata dalla scelta di valori della frequenza ritenuti ottimali e non dalla commisurazione dei posti offerti alla domanda di trasporto, come avviene nell'ora di punta.

## 4.2 VELOCITÀ COMMERCIALE E TEMPI DI PERCORRENZA

Per quanto riguarda la velocità commerciale sono stati assunti, per l'ora di punta della mattina, i valori derivati dalla microsimulazione della marcia del SIR3. Si è invece assunto come valore medio giornaliero quello indicato nel Piano Urbano della Mobilità (PUM) del Comune di Padova approvato con deliberazione del C.C. n. 136 del 20/12/2001.

I valori adottati per la linea SIR3 sono i seguenti:

- ✓ scenario 2003:
  - ora di punta: 18,0 km/h;
  - media giornaliera: 19,7 km/h;
- ✓ scenario 2010:

- ora di punta: 18,0 km/h;
- media giornaliera: 19,8 km/h;

Sulla base di tali velocità e tenuto conto dei tempi tecnici di sosta ai capolinea (minimo 5 minuti) sono quindi stati calcolati i tempi di percorrenza-giro nei diversi periodi, modulando le soste tecniche ai capolinea al fine di ottenere il più possibile un orario cadenzato mnemonico. Il tempo di percorrenza-giro è quindi pari a 50 minuti nelle ore di punta e pari a 45 minuti nei periodi di morbida.

### 4.3 CARATTERISTICHE DELL'ESERCIZIO

Nella formulazione dei programmi di esercizio si tiene conto che il servizio si svolga, analogamente alla linea SIR1, tra le ore 6 e le ore 24.

Per tenere conto delle variazioni stagionali del traffico, preso atto delle caratteristiche del servizio attualmente erogato da APS, si prevedono due distinti servizi validi nei seguenti periodi:

- ✓ servizio invernale/estivo, in vigore per 48 settimane;
- ✓ servizio estivo ridotto (agosto), in vigore per 4 settimane.

La cadenza base massima di 10 minuti è prevista, nei giorni feriali invernali ed estivi, dalle ore 7 alle ore 20, mentre nelle fasce orarie 6:00÷7:00 e 20:00÷24:00 potrà essere ridotta ad una corsa ogni 15 minuti. La cadenza di 10' consente una capacità di trasporto di 1.002 passeggeri/ora per direzione, la quale garantisce quindi un rapporto fra domanda e offerta nella sezione di massimo carico pari a circa 0,9.

Nei giorni festivi potrà essere mantenuta una cadenza di 15 minuti tra una corsa e la successiva, nell'intero arco temporale 6:00÷24:00. Nel mese di agosto (periodo di chiusura delle scuole e di molte attività economiche) la cadenza è sempre di 15 minuti.



#### 4.3.1 Programma e parametri di esercizio

Come riportato nella figura che segue, illustrante la modulazione del programma di esercizio nell'arco della settimana e dell'anno, si deduce che il numero di corse offerte sono:

- ✓ 196 nel giorno ferialo invernale ed estivo, sabato incluso;
- ✓ 144 in tutte le domeniche dell'anno e nel mese di agosto.

La produzione di corse alla settimana del periodo invernale è pari a 534 e si riduce del 29% nel mese di agosto.

Le percorrenze in linea ammontano a 364.666; a queste si devono aggiungere le percorrenze fuori servizio da e per il deposito, la cui lunghezza si stima, in mancanza di informazioni pari a circa 0,5 km, e poiché in un anno di esercizio si avranno circa 3.300 uscite/rientri le percorrenze annuali risultano 366.000 vetture\*km.

Tale valore previsto per la percorrenza complessiva annuale è senz'altro cautelativo, poiché gli elementi che concorrono a ridurre tale valore (riduzione di percorrenze per festività infrasettimanali e soppressioni di servizi) dovrebbero risultare prevalenti sugli elementi che concorrono ad incrementarlo (rinforzi del servizio programmato e percorrenze di officina).

Il fabbisogno massimo di vetture in linea, che si verifica nelle ore di punta dei giorni da lunedì a venerdì del servizio invernale, risulta pari a n. 6 unità; ad esse devono aggiungersi n. 1 unità per manutenzione e scorta, per cui il fabbisogno totale è di n. 7 vetture.

La percorrenza media annua per vettura risulta quindi pari a circa 61.000 km.

La tabella seguente riassume i principali parametri di esercizio del SIR3.

Tabella 11 – Principali parametri di esercizio della linea SIR3

		Servizio invernale	Servizio estivo	Servizio agosto	Servizio totale
N° settimane		38	10	4	52
Corse nella settimana	n°	1.320	1.320	1.008	
Corse nel periodo	n°	50.160	13.200	4.032	67.392
Produzione settimanale in linea	vett.-ora	534	534	378	
	vett.-Km	7.144	7.144	5.443	
Produzione periodo in linea	vett.-ora	20.292	5.340	1.512	27.144
	vett.-Km	271.457	71.436	21.773	364.666
N° entrate/uscite settimanali dal deposito		66	66	42	3.336
Produzione totale	vett.-ora	20.501	5.395	1.526	27.422
	vett.-Km	272.711	71.766	21.857	366.000
PARAMETRI RELATIVI AI CONDUCENTI					
Prestazioni annuali conducenti	n°				236
Prestazione media giornaliera	ore				5,25
Fabbisogno presenze annuali	n°				5.223
Fabbisogno conducenti	n°				24
PARAMETRI RELATIVI ALLE VETTURE					
N° vetture in linea					5
N° vetture totali					6
Percorrenza media annua	km				61.000

## 5 LA MICROSIMULAZIONE DELL'ASSETTO DI PROGETTO

### 5.1 LA METODOLOGIA

Gli studi di traffico utilizzano principalmente modelli di *macro* e *micro* simulazione.

I modelli di macrosimulazione riproducono l'assetto di porzioni o di intere reti di trasporto mono o plurimodali, usando parametri medi, rispetto alla dimensione temporale considerata, per la rappresentazione delle caratteristiche peculiari (velocità medie, capacità medie, tempi di percorso, domanda, etc.). Questo tipo di modello è utile per supportarne ad esempio la verifica di: piani di traffico a scala urbana o anche maggiore, la progettazione di strade ed il loro inserimento nella rete stradale di riferimento, la programmazione dei servizi o di riassetto del trasporto pubblico etc.

Un modello di microsimulazione ha una concezione opposta, per cui invece di considerare gli attributi medi dei parametri in studio, simula il comportamento di ogni singolo utente della strada. Questo tipo di analisi si adatta ad ambiti più ristretti, dando però la possibilità di verificare molto più in dettaglio il comportamento dell'infrastruttura. E' possibile pertanto verificare la capacità di incroci nel caso in cui si regolino con stop, precedenza o semafori. Si può analizzare in dettaglio il comportamento delle rotatorie, degli svincoli, delle stazioni di pedaggio, delle corsie di immissione e di decelerazione e di ogni altra soluzione stradale.

L'inserimento della linea 3 del metrobus all'interno nella rete stradale urbana esistente è stato analizzato utilizzando appunto un approccio di microsimulazione.

La rete stradale interessata dal SIR è stata rappresentata interamente, per poter verificare il funzionamento sia delle intersezioni semaforizzate, sia degli assi stradali attraversati, sia gli impatti sugli altri assi coinvolti dai diversi

instradamenti del traffico privato.

Le fasi di realizzazione dello studio sono state le seguenti:

- la descrizione della rete attuale consistente nella ricostruzione dello scenario di microsimulazione ottenuto mediante la rappresentazione georeferenziata dell'infrastruttura, la descrizione dell'assetto e delle regole di circolazione, l'implementazione del modello con la descrizione delle intersezioni semaforizzate nella loro configurazione attuale e la determinazione dei flussi di traffico veicolare (sulla base del grafo e della matrice O/D del comune di Padova e di eventuali indagini integrative)
- la calibrazione e la verifica della capacità del modello di riprodurre la situazione attuale mediante il confronto con i flussi di traffico misurati;
- la descrizione della rete di progetto attraverso l'inserimento della nuova linea 3 del SIR, l'impostazione del nuovo assetto e delle nuove regole di circolazione e l'implementazione delle nuove regole di controllo semaforico nelle intersezioni modificate dal progetto;
- l'analisi di nuovi schemi di circolazione alternativi e la successiva verifica del funzionamento e delle prestazioni della rete in presenza del metrobus e del traffico veicolare privato, mediante l'applicazione dei modelli di microsimulazione calibrati;
- l'individuazione della soluzione finale e la predisposizione di adeguata presentazione dei risultati.

## 5.2 STRUTTURA DI UN MICROSIMULATORE

Un microsimulatore si compone di più moduli che interagiscono tra di loro per fornire i risultati richiesti. Il microsimulatore riceve in ingresso dati sulla rete da simulare, sulle caratteristiche delle strade e degli incroci, sull'entità del traffico, sulla percentuale di mezzi pesanti e di mezzi leggeri, sulle caratteristiche del parco circolante, sul comportamento degli utenti, sulle regole di circolazione e su ogni

altro dettaglio utile a rappresentare nella maniera più aderente possibile alla realtà la rete in esame.

Come accennato in precedenza il microsimulatore può rappresentare il comportamento del singolo veicolo. La legge con cui i veicoli sono immessi nella rete simulata e le caratteristiche con cui si muovono sono legati alla generazione dei numeri casuali.

Ad esempio, i veicoli sono generati secondo distribuzioni di Poisson e – come nella realtà – fissata l'entità del traffico nella fascia temporale considerata ci possono essere momenti in cui i veicoli sono più fitti e momenti in cui sono più radi. Negli archi stradali la velocità non è costante per tutti i veicoli, ma segue una distribuzione gaussian. Se in un tratto di una strada urbana, ad esempio, i veicoli possono procedere con una velocità che varia dai 40 ai 50 km/h, ogni volta che un veicolo entra in questo tratto, il programma gli attribuisce una velocità desiderata, compresa nell'intervallo definito, scelta casualmente in una distribuzione gaussiana.

Generazioni casuali sono legate anche al tipo di veicolo generato (leggero, furgone o pesante), ai tempi di attesa in (stop o precedenza), al numero di passeggeri saliti o scesi ad una fermata del mezzo pubblico. Di tutti questi valori, cioè, non esiste un dato di input assoluto, ma una legge di probabilità adattabile alle diverse condizioni riscontrate nella rete oggetto di studio.

In questo modo il microsimulatore riesce a riprodurre la situazione di casualità che normalmente presenta una rete stradale. L'analisi finale ed i risultati della microsimulazione, quindi, non possono essere il frutto di un'unica applicazione, ma sono ricavati osservando il comportamento di più simulazioni, tutte diverse tra loro a causa della diversa generazione casuale degli eventi.

Quando si effettua una simulazione, si impone che una determinata quantità di veicoli (definita mediante la composizione del parco, ed il rapporto mezzi leggeri e pesanti) con determinati comportamenti (distribuzioni di velocità desiderate, tempi attesa, etc.) circoli nella rete stradale oggetto dell'analisi.

Per ogni veicolo si calcola la distanza dagli altri veicoli, la velocità desiderata e quella imposta dalle condizioni di traffico. Si calcolano, inoltre, i tempi di attesa per impegnare una precedenza, per svoltare a destra o a sinistra ad un incrocio; si impongono infine il rispetto di alcune regole di circolazione come, ad esempio, il portarsi nelle corsie riservate alle svolte con un determinato anticipo.

Durante l'esecuzione del calcolo si vede in tempo reale un filmato sullo schermo con la rete descritta e tutti i veicoli che vi circolano. Si può osservare in diretta la formazione delle code ed il loro riassorbimento; si nota dove vi sono rallentamenti, dove la capacità delle strade non è sufficiente; si mettono in evidenza eventuali problemi di dimensionamento delle corsie di scambio, di accelerazione o di decelerazione.

Le ampie possibilità offerte dalle interfacce grafiche permettono viste tridimensionali e analisi con modalità di realtà virtuale dell'aspetto e del funzionamento della nuova opera.

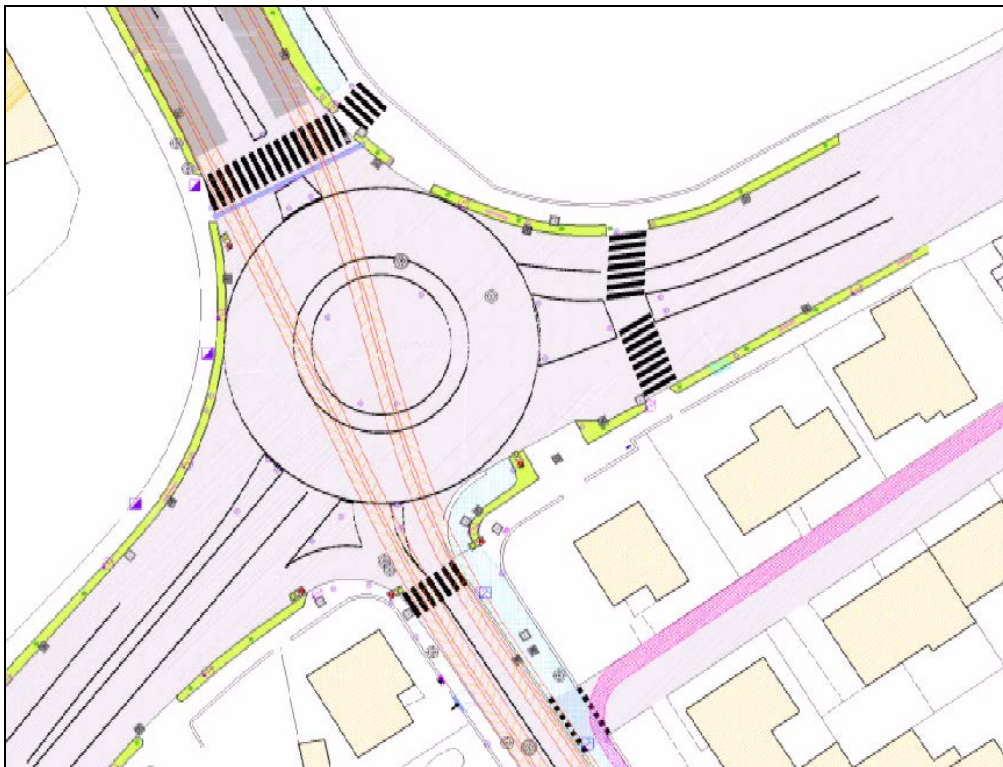
C'è inoltre la possibilità di generare risultati che descrivono l'andamento dei tempi di percorrenza tra un punto e l'altro della rete, o l'andamento della lunghezza delle code. E' anche possibile simulare l'installazione di postazioni di conteggio veicolare, che rilevano lunghezze e velocità dei veicoli in transito in alcuni punti scelti.

### **5.3 LA RAPPRESENTAZIONE DELLA RETE**

Affinché il microsimulatore rappresentasse al meglio la situazione reale è stato necessaria una descrizione molto precisa delle caratteristiche di ogni asse stradale e di ogni intersezione e di quelle componenti che potevano interagire ed influire sul deflusso veicolare, quali: numero e larghezze delle corsie; corsie riservate, piste ciclabili, attraversamenti pedonali, fermate dei mezzi pubblici; pendenza; regole di disciplina del traffico: precedenze, stop, semafori (con descrizione dei

cicli, dei tempi di rosso e di verde e – se presente – della logica di attuazione<sup>1</sup>); limiti di velocità nei rettilinei e in curva; raggi di curvatura, diametri delle rotonde.

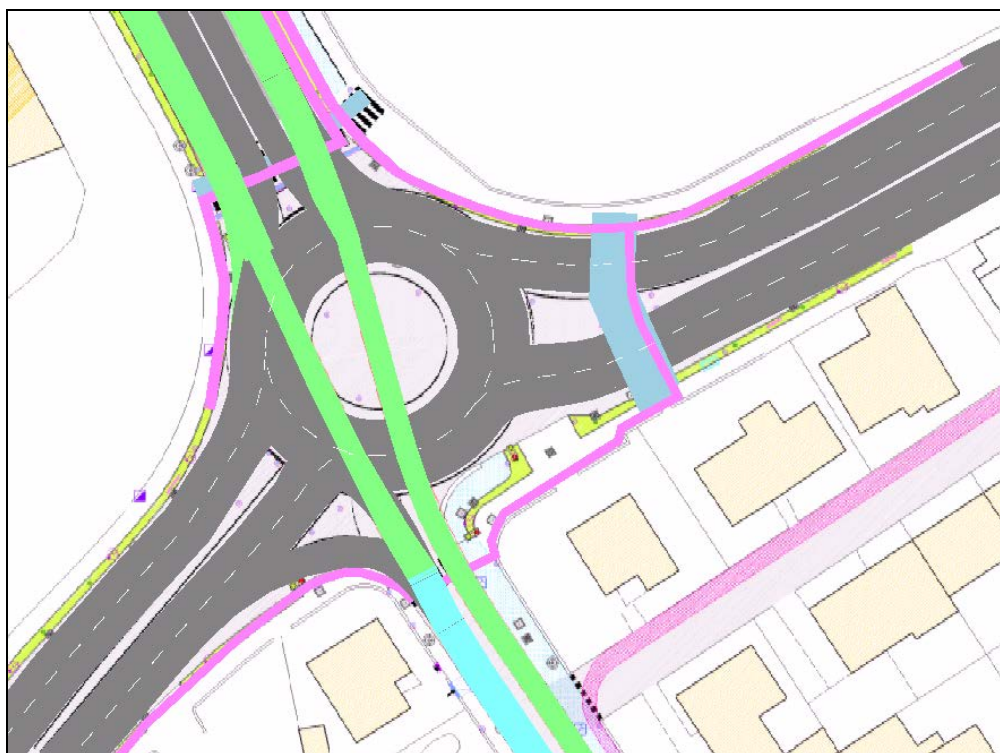
In Figura 1 si vede uno stralcio del progetto di partenza utilizzato per la descrizione della rete (rotatoria via Gattamelata – via Giustiniani – via Sografi); in Figura 2 si può osservare la stessa porzione di rete riprodotta al microsimulatore e pronta ad essere impegnata dai veicoli in ingresso.



**Figura 1 - il progetto utilizzato per la descrizione della rete**

---

<sup>1</sup> Alcune intersezioni semaforizzate sono regolate mediante apparecchiature contatraffico che – in funzione del numero di veicoli nei vari rami in accesso – permettono di calcolare in tempo reale la ripartizione dei tempi di verde per le varie strade convergenti all'incrocio.



**Figura 2 - la riproduzione del progetto con il microsimulatore**

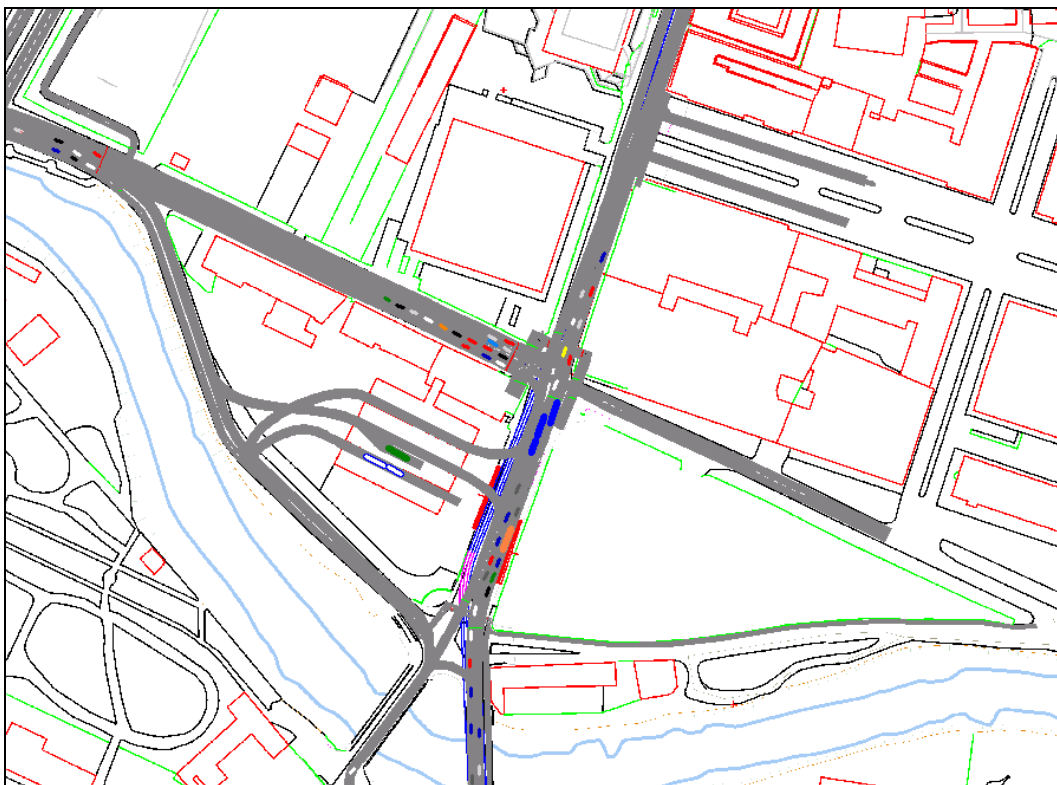
La rete attuale è stata descritta riferendosi alla planimetria dello stato di fatto: ciascun asse stradale è stato descritto con le caratteristiche geometriche che lo caratterizzano oggi e la regolazione della circolazione applicata (precedenze, limiti di velocità, sensi unici,...) corrisponde esattamente a quella reale. Per quanto riguarda i semafori, pur non avendo a disposizione l'esatta logica del software delle centraline esistenti, è stata eseguita un'ottima emulazione del funzionamento in base ad alcune regole standard.

Un esempio di rappresentazione è nelle seguenti immagini. La Figura 3 rappresenta la situazione reale e la Figura 4 la stessa area riprodotta con il microsimulatore. Si possono vedere tutti i veicoli riprodotti che circolano nella rete.





**Figura 3 - Ortofotopiano della zona dell'incrocio via Trieste via Gozzi**



**Figura 4 - La stessa zona dell'immagine precedente riprodotta con il microsimulatore**

La rete rappresentata è costituita dall'asse principale che sarà interessato nel 2010 dal percorso del metrobus. L'asse è stato suddiviso in due tronchi: il primo fino all'incrocio tra via Sografi e via Forcellini, il secondo dall'ultimo tratto di via Facciolati fino alla tangenziale, dove è previsto un parcheggio terminale scambiatore e l'accesso al deposito. Ai fini della calibrazione del modello di rete, era infatti inutile inserire il tratto intermedio da via Forcellini a via Facciolati, dove ad oggi non è prevista la circolazione dei veicoli.

L'asse individuato ha origine presso il piazzale della stazione FS a nord della città, dove verrà collocato il capolinea del SIR3; prosegue lungo via Cantù (con due corsie a senso unico verso sud) fino all'incrocio semaforizzato con via Tommaseo. Prosegue ancora lungo via Gozzi, con una corsia riservata ai bus e ai taxi verso sud e due corsie promiscue verso nord, che diventano tre poco prima del semaforo all'incrocio con via Tommaseo. Procedendo sempre verso sud, il secondo incrocio semaforizzato rappresentato è quello con via Trieste; da questo incrocio prosegue lungo via Gozzi con una corsia promiscua verso sud e due corsie verso nord, fino al Canale Piovego che è attraversato con due distinti ponti per senso di marcia. L'asse individuato prosegue lungo via Morgagni, con due corsie per senso di marcia, fino all'incrocio semaforizzato con via Belzoni e via Altinate, quindi ancora verso sud, lungo Via Falloppio, sempre con due corsie per senso di marcia per la maggior parte della lunghezza, fino all'intersezione con via Ospedale Civile e via San Massimo, regolata da una rotatoria di recente esecuzione. L'asse continua poi con via Giustiniani (due corsie per senso di marcia), fino alla nuova rotatoria all'intersezione con via Gattamelata. E' stato quindi rappresentato il tratto di via Sografi, con una corsia per senso di marcia, fino all'incrocio semaforizzato con via Forcellini. Qui termina il primo tratto di rappresentazione della rete attuale; oltre all'asse principale fin qui descritto naturalmente, sono state comprese, per una porzione limitata, tutte le altre strade che lo intersecano e da cui entrano gran parte dei flussi che utilizzano l'asse in esame.

La seconda porzione di rete simulata ha origine in corrispondenza dell'ultimo tratto di via Facciolati ed è caratterizzata da due corsie verso sud ed una sola corsia verso nord fino all'incrocio semaforizzato, in corrispondenza del canale Scaricatore, con il lungargine Ziani e il lungargine Sabbionari. Il tratto successivo è costituito da via Piovese, fino all'intersezione a livelli sfalsati con la tangenziale, regolata da semaforo. Via Piovese ha una corsia per senso di marcia fino a poco prima del semaforo della tangenziale, dove diventano due corsie solo per il senso di marcia verso sud. Lungo via Piovese, sempre procedendo da nord verso sud, sono state rappresentate le intersezioni semaforizzate con via Partigiano e via Mocenigo, via Soranzo e via Nani, in piazza SS Pietro e Paolo, via Michiel e via Giardinetto. Oltre alle principali laterali la rappresentazione si è quindi estesa a via Zeno, parallela a via Piovese, poiché quest'asse è interessato, nel progetto dal percorso del metrobús diretto verso nord. Il limite a sud della rete simulata è rappresentato dalla tangenziale.

La rete così rappresentata è stata analizzata nella sua interezza, infatti lo studio non è stato limitato alla simulazione delle singole intersezioni, in modo indipendente l'una dall'altra, ma ha considerato il funzionamento globale della rete descritta che è stato così verificato nella sua interezza.

Anche per quanto riguarda le componenti di traffico che interessano la rete, oggetto di studio, è necessario disporre di dati di ingresso dettagliati.

In particolare, sono stati stimati ed inseriti nel modello:

- i flussi entranti in ogni arco della rete, sia sull'asse principale interessato dal SIR3, sia sugli assi ad esso convergenti, sia su altre viabilità contigue;
- la composizione del traffico (quantità di mezzi leggeri e di mezzi pesanti) in ognuno degli archi al punto precedente;
- le percentuali di svolta dei flussi in ognuno dei nodi della rete.

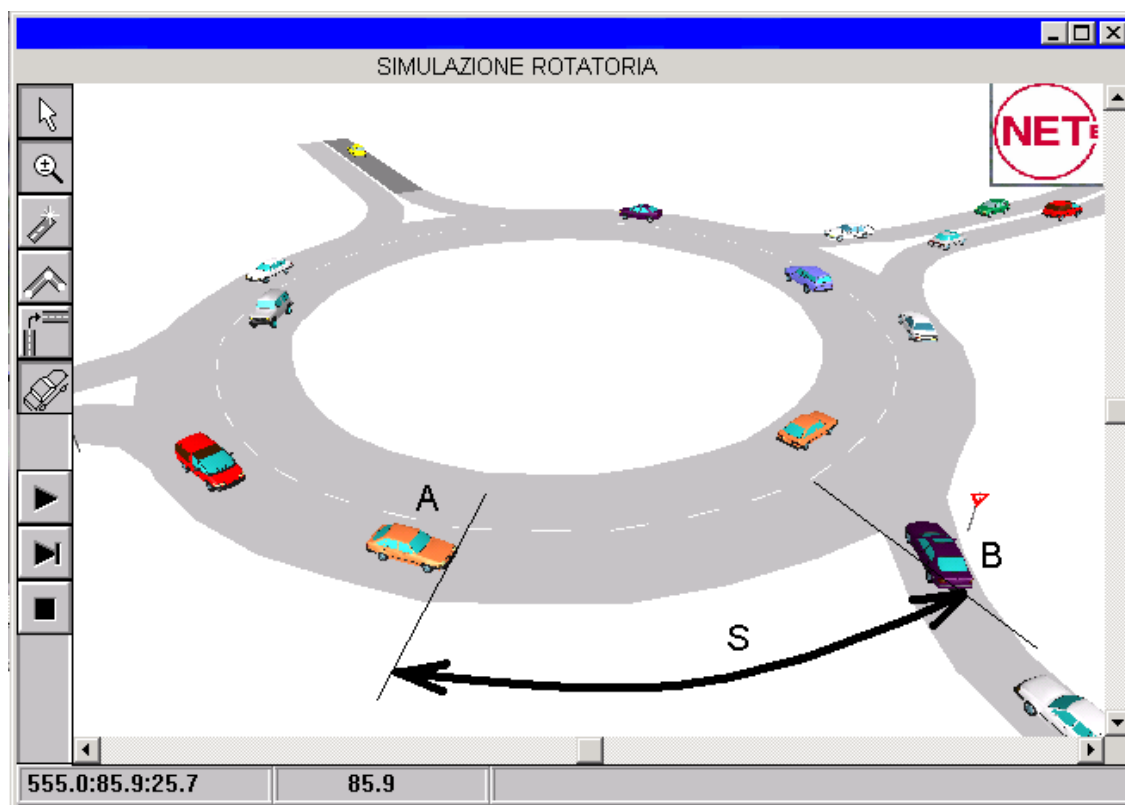
### ***5.3.1 Il comportamento dei veicoli in corrispondenza delle intersezioni***

Per descrivere correttamente il comportamento dei veicoli, in particolare in corrispondenza di punti singolari quali le rotatorie o le intersezioni semaforizzate, è stato necessario rilevare e calibrare dati specifici non solo della geometria, ma anche del comportamento degli utenti.

Per un incrocio a rotatoria sono necessari un insieme di dati, in particolare, si devono impostare le condizioni per cui un veicolo decide di entrare in rotatoria o di restare fermo sulla linea di precedenza: ciò dipende dal numero di veicoli presenti nell'anello ai quali deve essere data la precedenza. Nel caso in cui la rotatoria sia impegnata, un veicolo in attesa sulla linea di precedenza può decidere di entrarci (perché il veicolo a cui deve dare la precedenza è sufficientemente lontano) oppure può decidere di attendere (perché il veicolo a cui deve dare la precedenza è troppo vicino per permettergli di entrare in condizioni di sicurezza).

Per ricavare dati significativi sui tempi e sugli spazi riferiti alle precedenze si è fatto riferimento ad indagini particolari sulle rotatorie esistenti, nelle quali si è valutato il comportamento degli utenti e si sono analizzate le loro decisioni di transitare o di arrestarsi sulla linea.

Il comportamento degli automobilisti fermi sulla linea di precedenza si quantifica mediante informazioni di tempo e di spazio.



**Figura 5 - situazione d'esempio per lo studio di una rotatoria**

Facendo riferimento alla Figura 5, si identifica un veicolo in transito sull'anello (A) e un veicolo in corrispondenza dell'ingresso (B). Il veicolo "A" è alla distanza "s" dall'ingresso occupato dal veicolo (B). A seconda dello spazio e del tempo, si possono riconoscere i seguenti casi:

1. Il veicolo (B) resta fermo sulla linea di precedenza. I motivi della decisione di (B) possono essere:
  - lo spazio "s" è giudicato troppo piccolo, indipendentemente dalla velocità di (A);
  - lo spazio "s" è giudicato sufficiente ma (A) procede troppo velocemente, quindi il tempo  $t$ , necessario per percorrerlo, non sarebbe sufficiente per l'inserimento di (B) nella rotatoria.
  
1. Il veicolo (B) entra in rotatoria. I motivi possono essere:

- lo spazio “ $s$ ” è giudicato sufficiente e la velocità di (A) è tale da avere a disposizione un tempo  $t$  accettabile con l’ingresso in condizioni di sicurezza;
- lo spazio “ $s$ ” è giudicato insufficiente, ma la velocità di (A) è così bassa che il tempo a disposizione  $t$  è egualmente sufficiente per entrare in sicurezza.

L’analisi statistica permette di identificare delle coppie distanza – tempo tali da far restare il veicolo (B) fermo sulla linea di precedenza ed altre coppie i cui valori sono giudicati da (B) accettabili per poter impegnare l’incrocio in sicurezza.

La descrizione delle rotatorie avviene mediante tali coppie tempo – distanza e la capacità degli accessi è anche funzione di questa descrizione del comportamento.

Anche per quanto riguarda la descrizione delle intersezioni semaforizzate, sono state necessarie numerose informazioni per rappresentare l’impianto semaforico nel modo più reale possibile. Tali informazioni sono specifiche del tipo di impianto e delle varie modalità di funzionamento.

La logica del semaforo può essere a tempi fissi oppure regolata dal traffico. Nel caso di tempi fissi è necessario introdurre la durata del ciclo totale e, per ciascun gruppo, la durata dell’arancione, il momento di accensione e la durata delle luci rossa e verde.

Nel caso di impianto attuato dal traffico, i dati trasmessi dalle spire, posizionate nei rami d’ingresso dell’intersezione, vengono recepiti da una centralina in cui un software, in base a tali dati, regola i tempi delle varie fasi semaforiche. In questo modo l’impianto funziona con fasi semaforiche dettate dalla consistenza dei flussi che percorrono i vari rami di ingresso, in modo da evitare il più possibile la formazione di code con conseguente saturazione dell’incrocio.

Analogamente un impianto semaforico può essere attuato da un mezzo pubblico, sempre tramite l’utilizzo di spire che ne segnalano l’arrivo all’incrocio e fanno scattare, nel rispetto dei tempi minimi relativi alle altre fasi in corso, la fase

specifica, per il passaggio del mezzo. Una spira, posizionata sul ramo di uscita dell'intersezione, segnala l'avvenuto passaggio del mezzo, e informa la centralina dell'abbandono dell'intersezione da parte del mezzo pubblico.

Il microsimulatore consente di emulare il funzionamento di queste centraline e di riprodurre la logica.

#### 5.4 LE INDAGINI DI BASE

La calibrazione del modello di microsimulazione, descritta di seguito, ha richiesto la rilevazione di dati di traffico relativi alle 8 principali intersezioni lungo il tracciato del SIR3 da utilizzare in parte come dati di ingresso del modello ed in parte per confrontare i risultati forniti dal modello stesso per metterlo a punto.

La campagna di indagine si è svolta alla fine di maggio /primi giorni di giugno 2003 e quindi in un periodo sostanzialmente normale con le scuole ancora aperte. Sono stati inoltre chiesti al Comune di Padova – Settore Mobilità e Traffico – i dati raccolti dalle spire semaforiche del Sistema di Controllo Centralizzato del traffico per verificare nelle stesse intersezioni i dati rilevati sul campo.

I parametri identificativi dell'indagine sono riportati nella tabella seguente:

Giorni di rilevazione	un giorno centrale della settimana (martedì, mercoledì o giovedì)
Fascia oraria di rilevazione	7:30 – 9:30
Intervallo di registrazione	10 minuti
Entità da rilevare	Autovetture Veicoli commerciali leggeri (furgoni) Veicoli commerciali pesanti (tutti gli altri veicoli commerciali) Autobus urbani Autobus extraurbani Biciclette Motocicli Pedoni

In ogni intersezione sono stati conteggiate le autovetture, ad esempio, che effettuavano le varie manovre di svolta possibili e così per tutti i veicoli. Sono stati poi conteggiati anche i pedoni in attraversamento di uno dei rami convergenti sull'intersezione. Sono state escluse solo le manovre e gli attraversamenti che, sulla base dei sopralluoghi effettuati o da altre informazioni, avevano scarsa rilevanza. Nella fase di progettazione dell'indagine sono stati molto utili anche gli schemi delle intersezioni (corsie, manovre permesse, posizione delle spire semaforiche del Comune, forniti dal Settore Mobilità e Traffico).

Le intersezioni oggetto dell'indagine sono state:

<b>Intersezione</b>	<b>Viabilità convergenti</b>
1	Via Tommaseo, Via Gozzi e Via della Pace
2	Via Gozzi e Via Trieste
3	Via Jappelli, Via Altinate, Via Falloppio, Via Belzoni
4	Via Falloppio, Via Ospedale Civile, Via Giustiniani, Via San Massimo
5	Via Giustiniani, Via Gattamelata, Via Sografi
6	Via Sografi, Via Forcellini
7 e 8	Via Piovese, Via Partigiano, Piazza S Pietro e S. Paolo, Via Soranzo, Via Nani, Via Mocenigo.

L'indagine ha permesso di acquisire con un grado di dettaglio di cui, per quanto a conoscenza, non si ha riscontro in altri studi, tutti i dati necessari alla ricostruzione della situazione attuale delle intersezioni. Questo dato ha una importanza fondamentale perché la prestazione di un SIR dipende certamente dalla lunghezza dei tratti in sede riservata ma anche dai perditempo per attraversare le intersezioni.

I dati rilevati sono stati sottoposti ai controlli di congruenza, anche confrontandoli con i dati raccolti dalle spire semaforiche del Sistema di Controllo Centralizzato del traffico del Comune di Padova ed infine utilizzati nel modello di microsimulazione in parte come dati di ingresso ed in parte come dati di controllo dei risultati del modello nella fase di calibrazione.



## 5.5 LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO

La fase di calibrazione del modello è centrale nello studio trasportistico. Essa infatti consente di validare tutti i parametri e le logiche di comportamento immessi nel modello e di verificare la bontà e la capacità di rappresentazione del fenomeno reale.

La simulazione è stata condotta con riferimento all'ora di punta della mattina. Come ampiamente noto ed in base alle verifiche effettuate mediante l'analisi dei flussi di traffico rilevati dalle spire, la punta rappresenta il momento di massima domanda, per cui se la verifica delle condizioni di circolazioni è soddisfatta, a maggior ragione lo schema di circolazione sarà valido nelle diverse fasce orarie. Al fine di rappresentare correttamente l'ora di punta, è necessario anticipare il periodo di simulazione, in quanto, dato che il programma comincia a lavorare con la rete scarica, è necessario attendere che il modello entri a regime prima di poter considerare significativi i risultati. Nel caso in esame, in cui la punta era compresa nell'intervallo tra le 7:50 e le 8:50, la microsimulazione è stata anticipata alle ore 7:30, in modo da ottenere risultati affidabili a partire dalle 7:50.

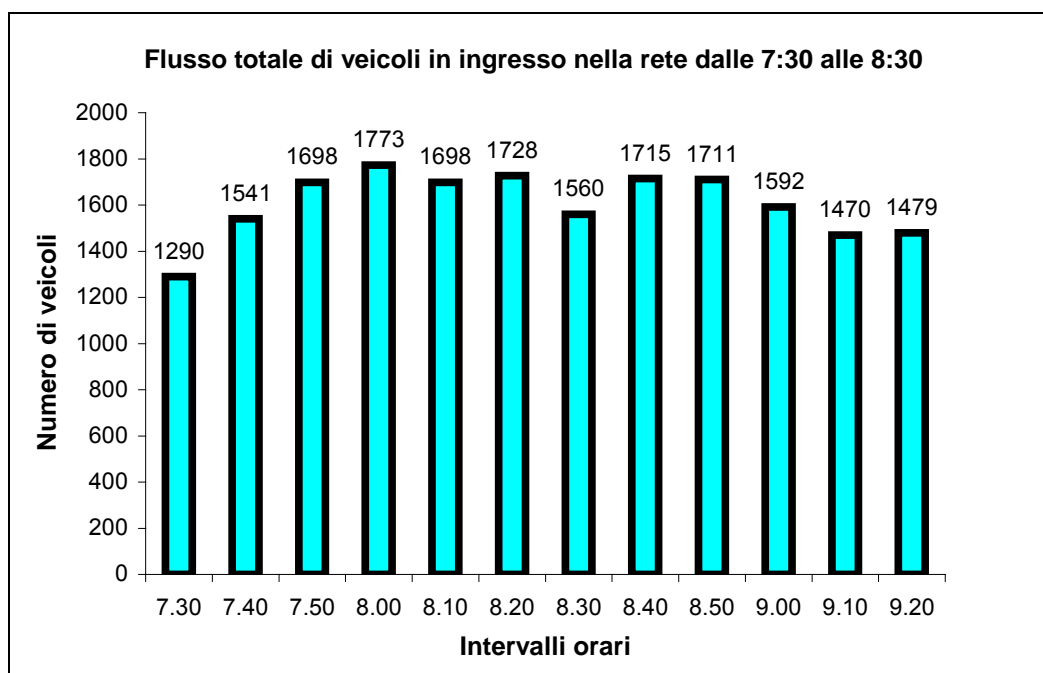


Figura 6 - i valori di traffico in ingresso nella rete utilizzati per la determinazione dell'ora di punta.

Nella Figura 6 - i valori di traffico in ingresso nella rete utilizzati per la determinazione dell'ora di punta. sono stati riportati i valori dei flussi di ingresso nella rete, da cui si evince la bontà della scelta dell'orario per la simulazione.

La simulazione è quindi proseguita fino alle 9:30 per esaminare il comportamento della rete dopo la punta massima ed il tempo necessario al riassorbimento di fenomeni di accodamento locali che eventualmente potevano realizzarsi.

Al fine di effettuare la verifica della capacità del modello di rappresentare le condizioni di deflusso del traffico veicolare, sono stati selezionati dei conteggi di traffico tra quelli disponibili. In particolare, i flussi misurati sulle spire di ingresso all'area di studio sono stati utilizzati per alimentare il modello, gli altri sono serviti per calibrare i parametri e le logiche di funzionamento e per confrontare i risultati ottenuti.

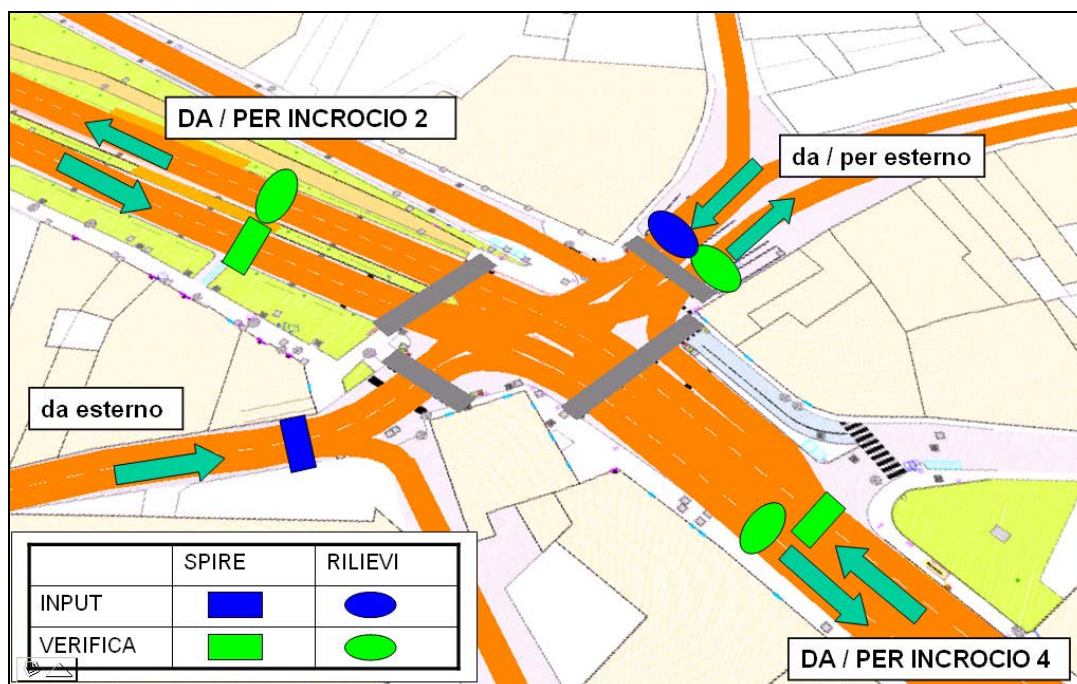
Il programma di simulazione infatti permette di inserire, in corrispondenza dei vari archi della rete, delle spire che registrano i dati del traffico che interessa quei rami, così come succede nella realtà.

E' stato quindi costruito un sistema di controllo in grado di confrontare i dati forniti dal modello di simulazione con quelli rilevati nella rete reale.

Nella rete rappresentata al microsimulatore si sono posizionate delle "spire di verifica" in corrispondenza di ciascun ramo di ogni incrocio, sia in ingresso, sia in uscita. In questo modo si è registrato l'esatto numero di veicoli che entrano ed escono da ciascuna intersezione, nell'intervallo di simulazione.

Ovviamente, le spire posizionate nei rami di accesso alla rete registrano esattamente i valori rilevati dalle spire o dai conteggi, pertanto hanno significato di verifica della correttezza dei dati introdotti. Nell'esempio in Figura 7 questi dati sono rappresentati in colore blu scuro e sono quelli di via Alinate e di via Belzoni. Essendo dei rami di adduzione all'asse principale, il traffico che li percorre è quello dichiarato tra i dati inseriti nel programma.

I veicoli che transitano nelle spire di verifica poste invece nelle posizioni indicate con il colore verde, non dipendono solo dai dati di input: la loro corrispondenza con i dati misurati dalle spire reali o tramite indagini specifiche, dipende dalla bontà della rappresentazione del microsimulatore, e quindi dalle percentuali di svolte, dagli instradamenti, dalle logiche di avanzamento, etc.



**Figura 7 – Esempio di posizionamento di spire di verifica in corrispondenza dei rami dell’incrocio Belzoni (in alto a destra) – Morgagni (in alto a sinistra) – Falloppio (in basso a destra) e Altinate (in basso a sinistra).**

Inoltre, come accennato in precedenza, essendo ciascuna simulazione caratterizzata da parametri statistici variabili, che regolano l’immissione dei veicoli nella rete e le loro caratteristiche di velocità, i dati dei flussi di traffico forniti sono diversi da simulazione a simulazione, pur mantenendosi la variabilità all’interno di un certo intervallo limitato e pur mantenendosi invariato l’andamento. Per tale motivo si è scelto di effettuare 10 microsimulazioni consecutive dell’intervallo di due ore in esame e di registrare i diversi dati ottenuti.

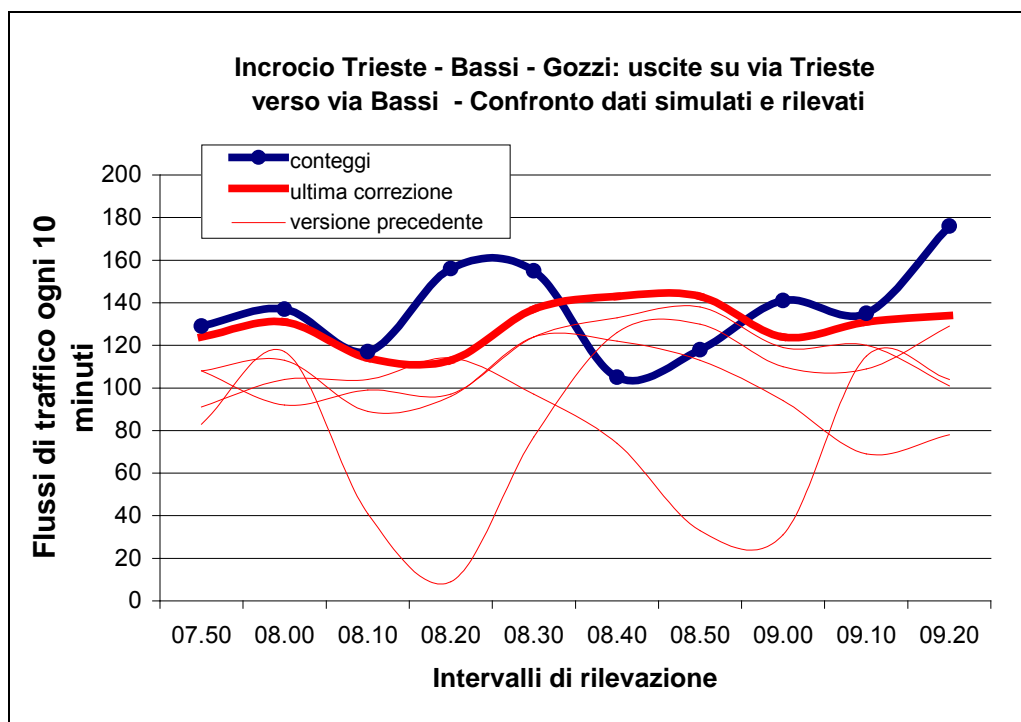
Questi dati sono stati quindi rappresentati in un grafico, e confrontati con i dati reali rilevati dalle spire o dai conteggi. La misura della bontà del modello a

riprodurre il fenomeno reale è fornita dall'accostamento dei valori e dagli andamenti delle curve.

La procedura di calibrazione ha condotto ad un continuo aggiornamento e miglioramento dei parametri e delle logiche di funzionamento del microsimulatore: regole di precedenza, limiti di velocità, svolte in corrispondenza delle varie intersezioni, ecc. ecc.

Il processo di controllo dei dati ottenuti e le conseguenti modifiche hanno condotto ad un sensibile miglioramento della simulazione che si traduce con un sempre migliore avvicinamento delle curve dei dati simulati a quella dei dati rilevati.

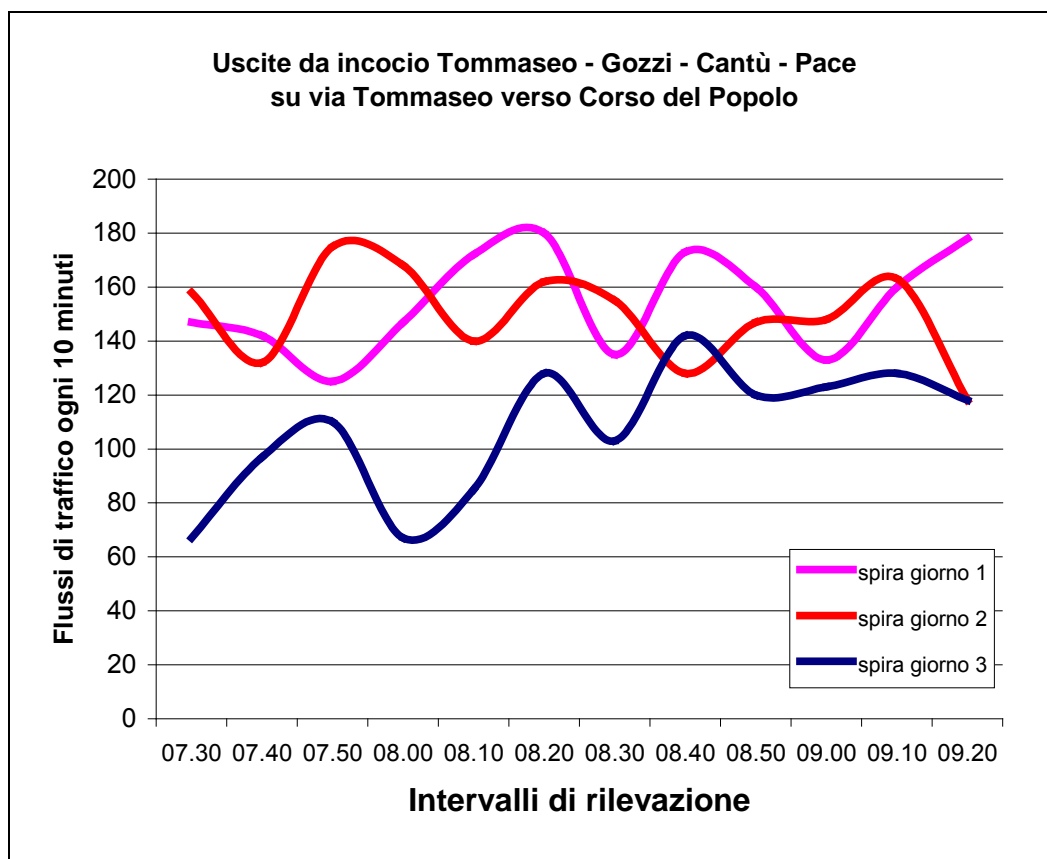
Nell'esempio riportato in Figura 8, relativo all'incrocio tra via Trieste, via Bassi e via Gozzi, ad esempio, le successive calibrazioni tese a dimensionare correttamente la capacità di via Trieste, hanno consentito di eliminare la formazione delle code intorno alle 8:20 ed alle 9:00 ("gobbe verso il basso), e di riprodurre più fedelmente l'andamento misurato dei flussi in uscita da via Trieste. Inoltre, tale fenomeno di "accodamento" creava delle ripercussioni anche sul funzionamento di alcune intersezioni adiacenti.



**Figura 8 - Esempio di successivi miglioramenti in corrispondenza di un incrocio, in seguito alla registrazione degli accodamenti nelle prime girate**

Tutto ciò dimostra quanto sia sensibile il sistema e quanto sia importante un intervento appropriato.

Un altro fattore di cui si deve necessariamente tenere conto è la variabilità reale del traffico, nelle diverse ore della giornata e nelle diverse giornate alla medesima ora. Come raffigurato infatti in Figura 9, una stessa spira registra differenti valori in diversi giorni della settimana dalle caratteristiche simili (ad es. feriali invernali).



**Figura 9 - Esempio di variazione dei dati rilevati da una spira in diversi giorni dalle caratteristiche simili**

Alla luce di ciò, non ha alcun senso esigere che i valori simulati siano esattamente coincidenti con quelli rilevati. Dal momento infatti che tale variabilità è un fenomeno del traffico assolutamente realistico, si può essere sicuri che un visibile avvicinamento, come quello ottenuto a calibrazione avvenuta, costituisce una prova della bontà del modello a riprodurre il fenomeno.

La modifica continua e controllata dei parametri di simulazione ha quindi condotto alla calibrazione del modello finché non si sono riprodotti in modo sufficientemente fedele i dati reali, come dimostrano i grafici riportati in appendice.

## 5.6 LA MICROSIMULAZIONE DELLA SITUAZIONE DI PROGETTO

La configurazione finale di progetto è avvenuta mediante un percorso a tappe che

ha richiesto un dialogo costante tra tutte le figure coinvolte (i gestori del traffico e della viabilità, i gestori del trasporto pubblico, i progettisti del tracciato, gli analisti del traffico, gli esperti di impatto ambientale, gli esperti dei sistemi di controllo etc.) che ha permesso una serie di miglioramenti successivi man mano che si presentavano problemi o situazioni degne d'attenzione.

La linea guida su cui si è basato tutto il progetto è *“privilegiare il trasporto pubblico”*. Questo significa che la linea SIR3 non deve nascere come un compromesso tra la situazione esistente e una nuova linea di trasporto pubblico che si vuole inserire in un tessuto urbano, ma che tutto il progetto deve essere mirato a favorire il trasporto pubblico ed in particolare la linea oggetto di studio.

A tal fine le soluzioni individuate hanno previsto talvolta di modificare la situazione esistente, i sensi unici o i percorsi abituali del traffico in città. Il nuovo metrobus dovrà infatti rappresentare sulla direttrice interessata la scelta del mezzo di trasporto più conveniente. Perché ciò sia possibile, ovviamente, occorre che l'offerta sia all'altezza delle aspettative in termini di efficienza, di puntualità, di velocità commerciale, di comfort e di sicurezza.

E' con questa filosofia, pertanto, che si sono privilegiate le sedi riservate, le fermate poste in alcuni punti strategici (università, ospedali, parco Iris, liceo Cornaro, ...), la semaforizzazione degli incroci che protegge ed agevola il transito del metrobus.

Infine, sempre nell'ottica di privilegiare tutto il trasporto pubblico, è stata recepita l'indicazione di realizzare le corsie riservate in modo che possano essere utilizzabili non solo dal metrobus, ma anche dagli altri autobus urbani ed extraurbani. La larghezza, pertanto, non è stata fissata a 2,50 m (compatibile per il passaggio del metrobus), ma a 3,50 m, misura che consente anche il passaggio di autobus.

### **5.6.1 Il riassetto della rete autobus funzionale al SIR 3**

La definizione delle proposte di modifica della rete degli autobus in funzione

dell'attivazione della linea SIR3 fa riferimento all'assetto della rete di trasporto pubblico locale individuato per l'attivazione della linea SIR1. Tale assunzione risulta indispensabile in quanto nel momento in cui entrerà in funzione la nuova linea SIR 3, la linea SIR 1 sarà già in esercizio con il conseguente riassetto delle linee autobus.

Rispetto quindi alle modifiche della rete autobus già individuate per la linea SIR 1 vi sono le seguenti ulteriori proposte di modifica da apportare:

- ✓ la linea 19 del riassetto funzionale alla linea SIR 1, coincidente con le attuali tratte delle linee 16 e 19, viene interamente eliminata e sostituita dalla SIR 3;
- ✓ la tratta della linea 11, riferita al riassetto funzionale alla SIR 1 e costituita dall'aggregazione della tratta nord della linea 11 e la tratta sud della linea 4 attuali, compresa fra la stazione ferroviaria e il capolinea di via Internato Ignoto viene eliminata interamente, per cui la linea 11 proveniente da Taggì/via Due Palazzi rimane attestata alla stazione ferroviaria di Padova.

Il riassetto proposto comporta un taglio netto di percorrenze chilometriche in autobus di circa 390.000 bus-km.

Nel riassetto della rete funzionale alla linea SIR 3 potranno essere vagliate anche ulteriori proposte; si menziona fra queste l'ipotesi di attestare la linea urbana 16 al capolinea SIR 3 di Voltabarozzo e la costituzione di una nuova linea urbana con capolinea ubicati in via Facciolati e in via Coltoti e con transito sull'asse delle Riviere.

Non va infine trascurata l'opportunità di operare un'integrazione delle linee urbane ed extraurbane mirata all'ottimizzazione della rete di trasporto pubblico del bacino provinciale di Padova.

### **5.6.2 I flussi di traffico previsti**

Per valutare l'inserimento del metrobus nella rete cittadina sono stati utilizzati come base di partenza i flussi di traffico rilevati nella campagna di giugno 2003.



Il traffico nella rete stradale di Padova presenta da più anni la stessa entità nella zona centrale: è infatti attivo un controllo semaforizzato coordinato a livello centrale, organizzato per direttrici di traffico. In questo modo si può avere – ovviamente nei limiti delle situazioni ordinarie – un controllo affidabile dei flussi che convergono nella zona centrale della città, mantenendoli costanti e poco al di sotto della soglia di saturazione delle arterie. Tale situazione è stata confermata dall’analisi dei transiti in alcune direttrici, confrontando i dati di percorrenza di diversi anni e verificandone la relativa stabilità nel tempo.

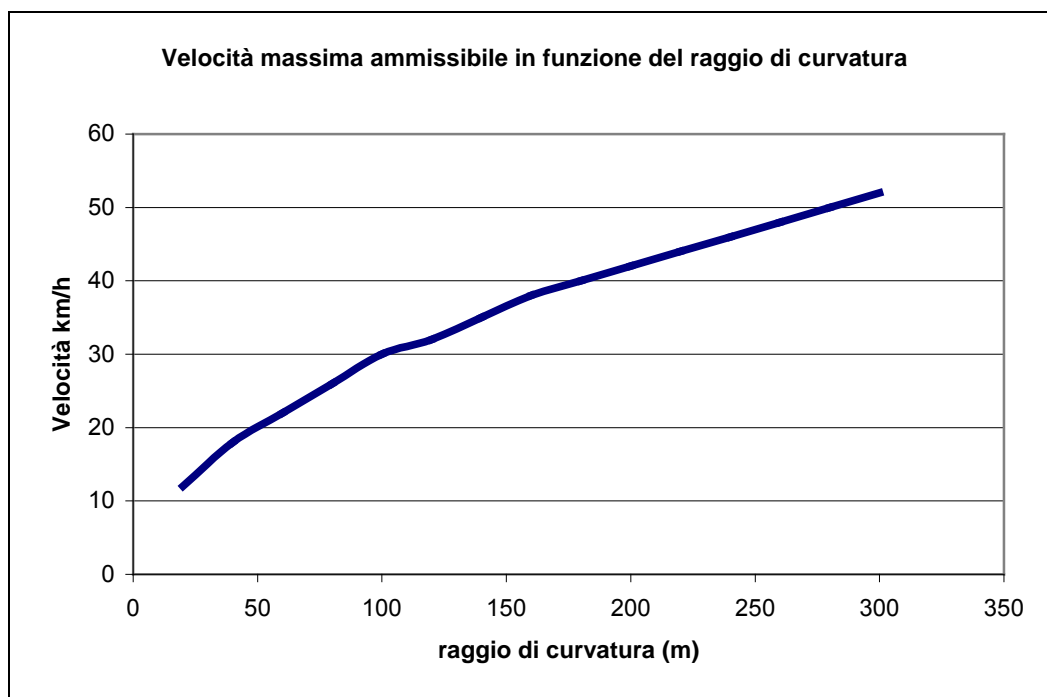
Inoltre, considerando l’introduzione di un servizio pubblico più efficiente come il SIR3, appare ragionevole introdurre una diminuzione del traffico veicolare, immaginando che parte della domanda ora soddisfatta con il mezzo privato possa in futuro utilizzare il mezzo pubblico.

In base allo studio sulla domanda, descritto più dettagliatamente in seguito, è stata prevista una diminuzione del 5% degli autoveicoli leggeri.

Per le biciclette, inoltre, è previsto l’inserimento di una pista ciclabile in affiancamento nella quasi totalità del percorso del SIR, per cui eventuali futuri aumenti di questa modalità di traffico non sarebbero rilevanti agli effetti del presente studio, in quanto verrebbero soddisfatti da apposite infrastrutture non in conflitto con il metrobus.

### **5.6.3 Le caratteristiche del metrobus e dell’esercizio**

Per rappresentare in maniera corretta il comportamento del metrobus nella rete di progetto è stato necessario inserire le sue caratteristiche peculiari nel programma di microsimulazione quali ad esempio: accelerazione, decelerazione, velocità massime con vari raggi di curvatura (vedi Figura 10).



**Figura 10 - Massima velocità praticabile dal metrobus in funzione del raggio di curvatura.**

Inoltre per avere una descrizione dettagliata dei tempi di percorrenza del metrobus, è stato necessario calcolare anche i tempi d'attesa alle varie fermate. Essi sono calcolati come somma di un tempo fisso dovuto all'arresto del mezzo ed all'apertura delle porte, più il tempo di sosta variabile in funzione del numero di persone che salgono e scendono.

Il calcolo di questi tempi si è basato su una ricerca in cui si sono calcolati i tempi di salita e di discesa medi di un viaggiatore da un mezzo simile con pianale allo stesso livello della banchina. I dati sulla frequentazione delle fermate sono quelli desunti dallo studio sulla domanda, descritti più approfonditamente di seguito.

La frequenza del servizio è stata ipotizzata pari a 6 corse/ore.

#### **5.6.4 La procedura impiegata**

Il modello di microsimulazione, calibrato nell'assetto attuale della rete stradale, è stato applicato nella situazione di progetto per valutare l'impatto sulla circolazione dovuti all'inserimento del metrobus. La procedura di verifica ha

seguito le seguenti fasi:

- inserimento del metrobus nella porzione di rete utilizzata per la calibrazione nella situazione attuale, con una ipotesi iniziale di sedi promiscue e riservate;
- evidenziazione di alcuni problemi nella circolazione, ampliamento ed affinamento dello studio, deviazione di alcuni flussi di traffico privato e quindi estensione della rete microsimulata;
- ulteriore miglioramento del deflusso del traffico mediante la modifica di alcuni sensi di circolazione e l'introduzione di sensi unici;
- creazione di nuove sedi riservate negli archi in cui gli interventi precedenti hanno avuto come conseguenza un miglioramento del deflusso e hanno consentito la sottrazione di sede stradale dedicata al trasporto privato.

La verifica appena descritta è stata effettuata in tutta l'estensione della linea di trasporto pubblico, ma particolare attenzione è stata posta nel tratto all'interno delle mura cittadine. Nell'analisi, infatti, ci si è resi conto che tre strade all'interno della cinta muraria (via Morgagni, via Falloppio e via Giustiniani) sono utilizzate come direttrice di attraversamento dalla zona della stazione ferroviaria verso sud-est e viceversa.

L'inserimento in sede protetta del metrobus, nell'ottica appunto di privilegiare il trasporto pubblico, ha richiesto una riorganizzazione dei flussi di traffico. In particolare nell'area messa in evidenza in Figura 11, si è preferito cogliere anche l'occasione per disincentivare il traffico d'attraversamento.



Figura 11 – area interna alle mura cinquecentesche di protezione del percorso del metrobus.

### 5.6.5 La disciplina del traffico nello scenario futuro

I cambiamenti principali che sono stati introdotti nell'intera estensione della rete stradale sono stati i seguenti:

- alcuni assi, di seguito descritti in dettaglio, con due corsie per senso di marcia sono stati trasformati in assi a una sola corsia per senso di marcia, affiancati da una sede riservata per i mezzi pubblici;
- in corrispondenza delle rotonde intersecate perpendicolarmente dalle rotaie del mezzo pubblico sono stati previsti dei semafori per controllare i rami ed il traffico in accesso nell'anello affinché il metrobus possa avere la priorità di circolazione. Quando il metrobus ha liberato l'intersezione le lanterne semaforiche si attivano con luce arancione lampeggiante ed il funzionamento della rotonda riprende con la normale disciplina alla francese;

- i cicli semaforici delle intersezioni semaforizzate, interessate dalla nuova linea di trasporto pubblico, sono stati riorganizzati mediante un sistema di estensione di fase che privilegia il passaggio del metrobus.

Altri interventi localizzati, come la creazione di percorsi a senso unico o la creazione di segnali a protezione degli attraversamenti della sede protetta, sono descritti in dettaglio nei paragrafi successivi.

#### **5.6.5.1 LE MODIFICHE ALLA RETE STRADALE**

Procedendo dal capolinea nord in prossimità della stazione ferroviaria, verso il capolinea sud di Roncaglia, sono elencate di seguito le variazioni previste sulla disciplina della circolazione:

- via Gozzi, dalle due corsie attuali per il traffico verso nord, passa ad una sola corsia riservata al traffico privato, mentre l'altra è occupata dalla sede protetta del metrobus; il percorso verso sud è oggi riservato ai mezzi pubblici e lo sarà anche in futuro;
- da via Trieste, all'incrocio in prossimità di Piazzale Boschetti, non sarà più possibile svoltare verso destra per via Morgagni; la svolta a destra interesserà la ex via Vecchio Gasometro, ora riservata al traffico degli autobus per Piazzale Boschetti;
- via Morgagni non sarà più a due corsie per senso di marcia: solo una corsia verso la stazione ed una verso gli ospedali saranno aperte al traffico privato, le altre due saranno riservate al metrobus e agli altri mezzi pubblici;
- via Belzoni non sarà più a senso unico dall'incrocio di via Morgagni, via Altinate e via Falloppio: il senso di marcia sarà invertito e il senso sarà unico verso l'incrocio suddetto;
- via Falloppio diventerà a senso unico verso sud in direzione degli ospedali e non più a doppio senso di circolazione; i veicoli provenienti da via Giustiniani saranno fatti svoltare verso via San Massimo, il cui senso di marcia sarà

- invertito. Ci saranno due sedi riservate, una per ogni direzione del metrobus, ed una sola corsia riservata al traffico privato in direzione degli ospedali;
- via Giustiniani avrà una sola corsia per i veicoli privati in ognuna delle due direzioni; il resto della carreggiata sarà occupato da una sede protetta per il metrobus nord-sud e da un'altra per il metrobus sud-nord;
  - via Sografi avrà l'ultimo tratto a senso unico dalla circonvallazione (via Gattamelata) verso il quartiere Forcellini. Questa corsia sarà promiscua, con circolazione di veicoli privati e metrobus. Nella direzione opposta correranno soltanto i mezzi pubblici, mentre il traffico privato sarà deviato in via Nazareth e accederà alla circonvallazione dal semaforo di via Scardeone – via Cornaro;
  - il metrobus correrà poi lungo la pista ciclabile che costeggia il parco Iris, senza necessità di interventi sulla viabilità esistente; il Canale Scaricatore sarà attraversato con un nuovo ponte riservato al mezzo pubblico;
  - via Piovese ospiterà la rotaia della linea nord – sud da via del Giardinetto fino a poco prima del semaforo con la tangenziale sud (Corso Esperanto – Corso Primo Maggio). Da via del Giardinetto fino a via Zeno la sede sarà promiscua, mentre poi la sede sarà protetta e per gli automezzi privati sarà a disposizione solo una delle due corsie esistenti. La rotaia verso nord sarà in sede promiscua dal capolinea di Roncaglia fino all'incrocio con via Zeno.
  - via Zeno sarà a senso unico in direzione di Padova; il metrobus correrà nella medesima direzione del traffico privato.
  - via del Giardinetto sarà a senso unico in direzione di via Piovese; il metrobus correrà nella stessa direzione del traffico privato.

#### **5.6.5.2 LA SEMAFORIZZAZIONE DELLE ROTATORIE**

Il metrobus interseca tre rotatorie nel suo percorso dalla stazione ferroviaria fino al capolinea di Roncaglia. La prima rotatoria è in corrispondenza della nuova sistemazione dell'area in prossimità della stazione ferroviaria di Padova; la seconda è in corrispondenza dell'incrocio Falloppio – San Massimo – Giustiniani

– Ospedale Vecchio; la terza è in corrispondenza dell’incrocio Gattamelata – Giustiniani – Sografi.

Il tracciato del metrobus interseca le rotatorie procedendo con una traiettoria diversa da quella degli altri autoveicoli: il mezzo attraversa la corsia anulare perpendicolarmente rispetto alla direzione del traffico privato, valica l’aiola circolare centrale ed interseca nuovamente la corsia anulare in uscita.

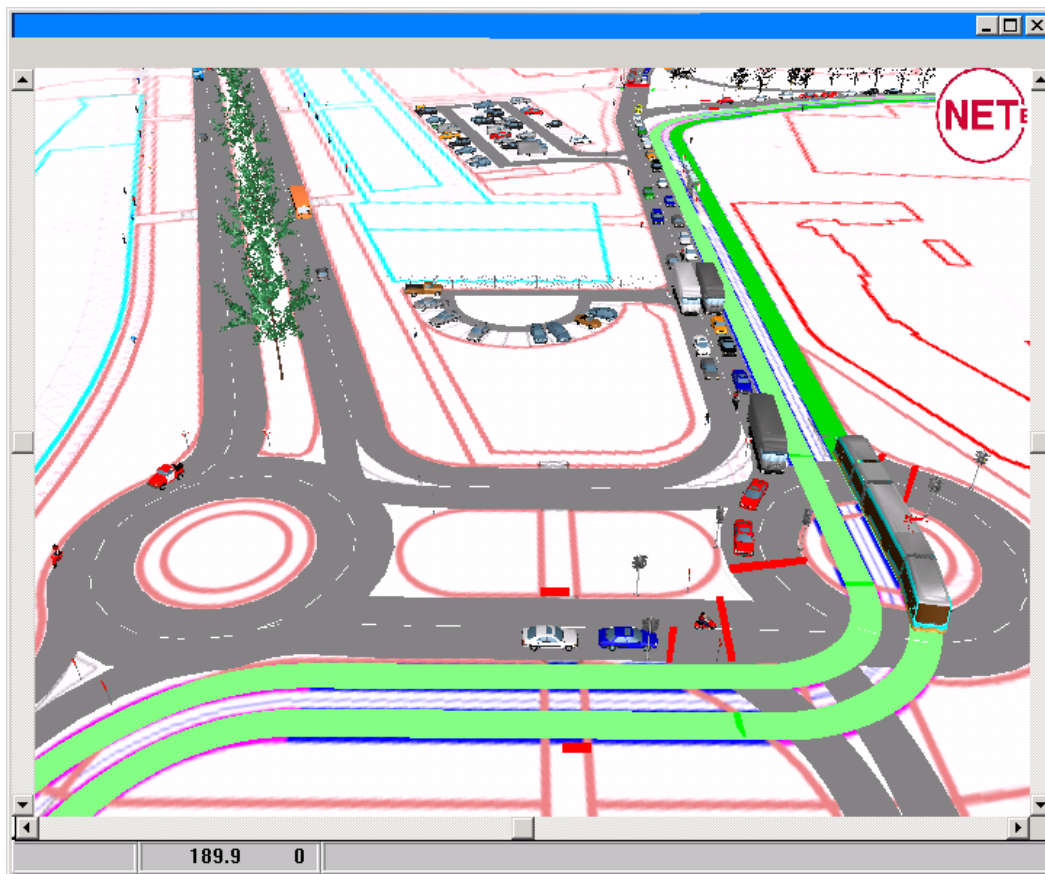
Il metrobus ha quindi un comportamento differente rispetto a quello dei mezzi privati e dev’essere garantita la sicurezza di questa manovra. Per questo è stato messo in atto un sistema di controllo semaforizzato che impedisce il verificarsi di conflitti.

Quando il metrobus è in avvicinamento alla rotatoria, nelle lanterne semaforiche poste nell’anello o negli altri rami d’accesso si accende prima la luce arancione e poi quella rossa per impedire il conflitto con altri veicoli. All’arrivo alla rotatoria il metrobus trova il segnale di via libera e l’anello libero dal traffico per cui può attraversarlo perpendicolarmente. Transitato il metrobus, la rotatoria riprende il suo normale funzionamento e le lanterne semaforiche riprendono a funzionare con la luce arancione intermittente.

Nella Figura 12 è rappresentata la soluzione scelta per la rotatoria in prossimità della stazione ferroviaria. A destra si vede via Tommaseo in direzione della Fiera e l’incrocio con via Gozzi sullo sfondo; a sinistra si trova il nuovo “Arco Valle”, una strada in progetto che collegherà la stazione ferroviaria con la zona della Fiera; al centro ci sono le nuove aree di parcheggio previste. In grigio è rappresentata la viabilità ordinaria; in verde si vedono invece le corsie riservate al mezzo pubblico.

Le barre colorate presenti sulla sede stradale sono le rappresentazioni delle luci semaforiche rosse attive al momento del passaggio del metrobus; nel tratto di strada in primo piano ce ne sono due sulla corsia di destra perché è impedito sia l’accesso in rotatoria, sia la svolta a destra. Le altre due barre rosse nell’immagine indicano il blocco del flusso di traffico nella rotatoria e sono strutturate in maniera

che l'eventuale accodamento non intersechi a monte la sede protetta.



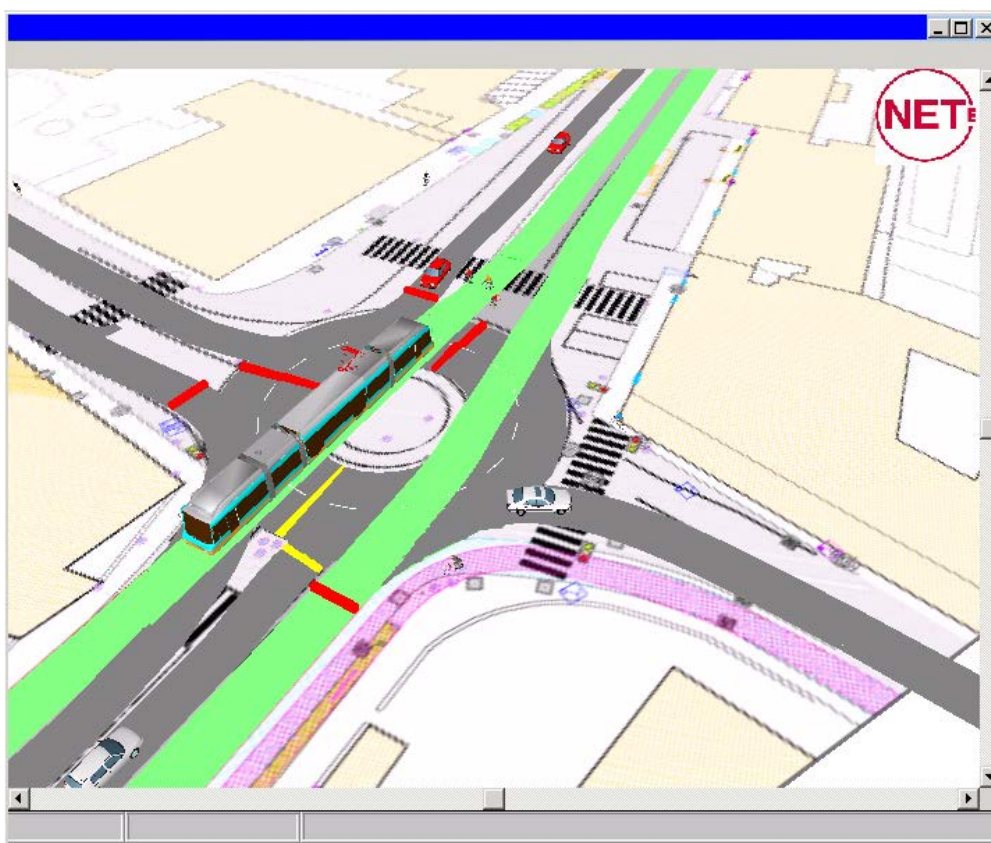
**Figura 12 – Attraversamento del metrobus della nuova rotatoria prevista nell'area della stazione ferroviaria.**

Nella Figura 13 si vede la sistemazione della seconda rotatoria che il tracciato incontra procedendo da nord verso sud. Si tratta dell'incrocio Falloppio – Giustiniani – Ospedale Vecchio – San Massimo. In primo piano si vede via Giustiniani, a sinistra via Ospedale Vecchio e a destra via San Massimo con il nuovo senso di marcia verso la zona della Stanga. I colori delle strade hanno lo stesso significato della precedente Figura 12: in grigio la viabilità ordinaria e in verde le corsie riservate al mezzo pubblico.

Al passaggio del metrobus in direzione nord – sud si accendono i semafori rossi rappresentati in figura con le barre: si impedisce l'accesso alla rotatoria da via Falloppio (alto) e da via Ospedale Vecchio (sinistra) e in due punti dell'anello.



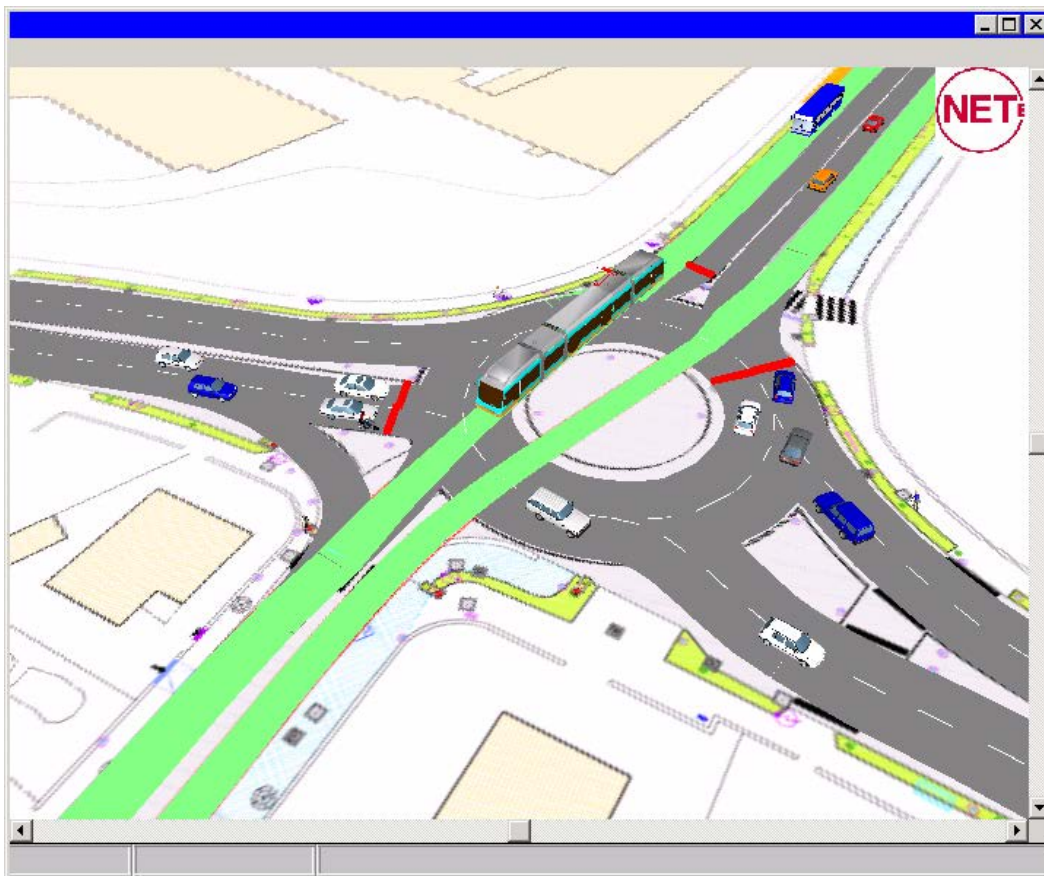
Nella rotatoria c'è anche un ingresso ed un tratto dell'anello caratterizzati da una sbarra gialla, che rappresenta la lanterna arancio lampeggiante: il metrobus in direzione nord – sud non impedisce infatti ai veicoli provenienti da via Giustiniani di svoltare verso via San Massimo (dal basso a sinistra al basso a destra dell'immagine). Visto che tale manovra resta consentita è rosso il segnale di via impedita che si vede in primo piano nella sede riservata per la corsa in direzione sud – nord del metrobus. All'approssimarsi di quest'ultimo alla rotatoria le luci arancio lampeggianti diventano arancio fisso e poi rosse, mentre per il metrobus scatta il segnale di via libera.



**Figura 13 - rotatoria Falloppio - Giustiniani - San Massimo - Ospedale Vecchio.**

La Figura 14 mostra invece l'ultima rotatoria incontrata dal metrobus, tra le vie Giustiniani, Gattamelata e Sografi. Si vede in primo piano via Sografi, a destra via Gattamelata verso il piazzale della Stanga, a sinistra la stessa via verso il Bassanello. In alto a sinistra, sullo sfondo, la zona dell'Ospedale Civile. Il

metrobus rappresentato è la corsa nord – sud, proveniente da via Giustiniani e diretta in via Sografi.



**Figura 14 - La corsa nord - sud del metrobus interseca la rotatoria della Circonvallazione Est (Gattamelata - Sografi - Giustiniani).**

### **5.6.5.3 LE MODIFICHE NEGLI INCROCI SEMAFORIZZATI**

Per lo studio degli incroci semaforizzati è stata simulata una disciplina che favorisce il transito del SIR3, diminuendone i tempi di attesa.

La logica base che è stata presa in considerazione in questa fase preliminare è quella con tempi fissi ed eventuali estensioni di fase, gestite sia in funzione del passaggio del metrobus, sia della densità di traffico veicolare. In questo modo, nei momenti in cui non transita il mezzo pubblico, è possibile avere l'emulazione di un sistema di controllo attuato dal traffico come quello oggi già presente.

L'approfondimento utilizzato per lo schema di controllo semaforico è

perfettamente congruente con il livello di progettazione preliminare, mentre in una fase successiva sarà necessario predisporre un piano di controllo semaforico che assegni la priorità al mezzo pubblico e che operi su tutta l'area interessata dal transito del metrobus.

Le intersezioni semaforizzate attraversate dalla linea 3 del SIR sono:

1. incrocio via Trieste – via Gozzi,
2. incrocio via Altinate – via Morgagni – via Belzoni,
3. incrocio via Piovese – piazza SS. Pietro e Paolo – via Giardinetto.

La prima fase della progettazione è stata dedicata alla riorganizzazione delle fasi semaforiche, la cui modifica era imposta dal cambiamento di corsie, sensi di marcia e dalla creazione delle corsie preferenziali per il mezzo pubblico.

Dal punto di vista della disciplina della circolazione le modifiche nei tre incroci presi in considerazione sono:

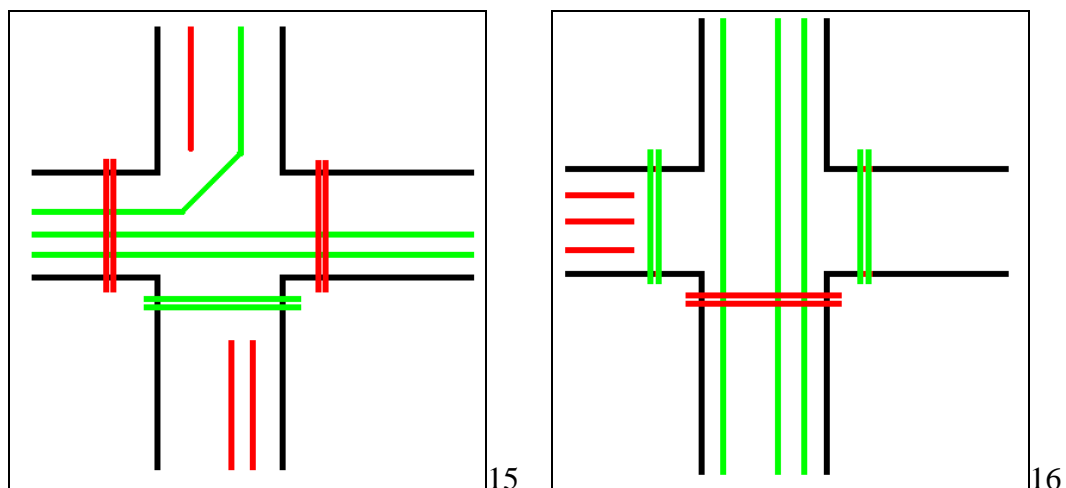
1. da via Trieste non sarà più possibile svoltare a destra verso via Morgagni passando di fronte a piazzale Boschetti. Mancando questa svolta, la corsia riservata ai mezzi pubblici proveniente dalla stazione, già oggi esistente, proseguirà come sede riservata anche oltre, non essendo più presenti i veicoli privati. Per il funzionamento ottimale del sistema è necessario che l'unico attraversamento pedonale di via Gozzi, ora posto dal lato stazione, sia spostato al lato piazzale Boschetti.
2. le fasi semaforiche sono state modificate in quanto non vi sono più veicoli provenienti da via Falloppio, diventata a senso unico in uscita dall'incrocio. Via Belzoni, inoltre, è a senso unico verso l'incrocio e quindi si deve tenere conto di un maggiore flusso di veicoli in questo ingresso (oggi vi sono soltanto gli autobus della sede riservata e pochi veicoli provenienti da via Paolotti). Gli attraversamenti pedonali di via Morgagni e di Via Falloppio necessitano di una fase dedicata, che sottrae molti secondi al ciclo utile del

semaforo: in questa situazione la creazione di un sottopasso pedonale in direzione est – ovest sarebbe auspicabile.

- da via Piovese non servirà più la corsia di accumulo per la svolta a sinistra su via del Giardinetto, diventata a senso unico in uscita verso Via Piovese. La svolta a sinistra si potrà effettuare più avanti, in corrispondenza di Via Zeno.

Queste nuove configurazioni hanno permesso di razionalizzare i tempi, semplificando il numero di fasi esistenti e risparmiando sui tempi morti.

Le figg. 15 e 16 illustrano la nuova configurazione dell'incrocio via Trieste – via Gozzi.



**Figura 15 - la fase 1 del semaforo tra l'incrocio via Trieste (est - ovest) con via Gozzi (nord – sud).**

**Figura 16 - la fase 2 dell'incrocio via Trieste (est - ovest) con via Gozzi (nord – sud).**

In verde le manovre consentite, in rosso quelle impedito; le due sbarre parallele per gli attraversamenti pedonali. Si nota lo spostamento del passaggio pedonale su via Gozzi da nord a sud di via Trieste, reso possibile dall'impedimento della svolta a destra da via Trieste verso via Gozzi.

#### **5.6.5.4 LE INTERSEZIONI TRA VIABILITÀ ORDINARIA E SEDE RISERVATA**

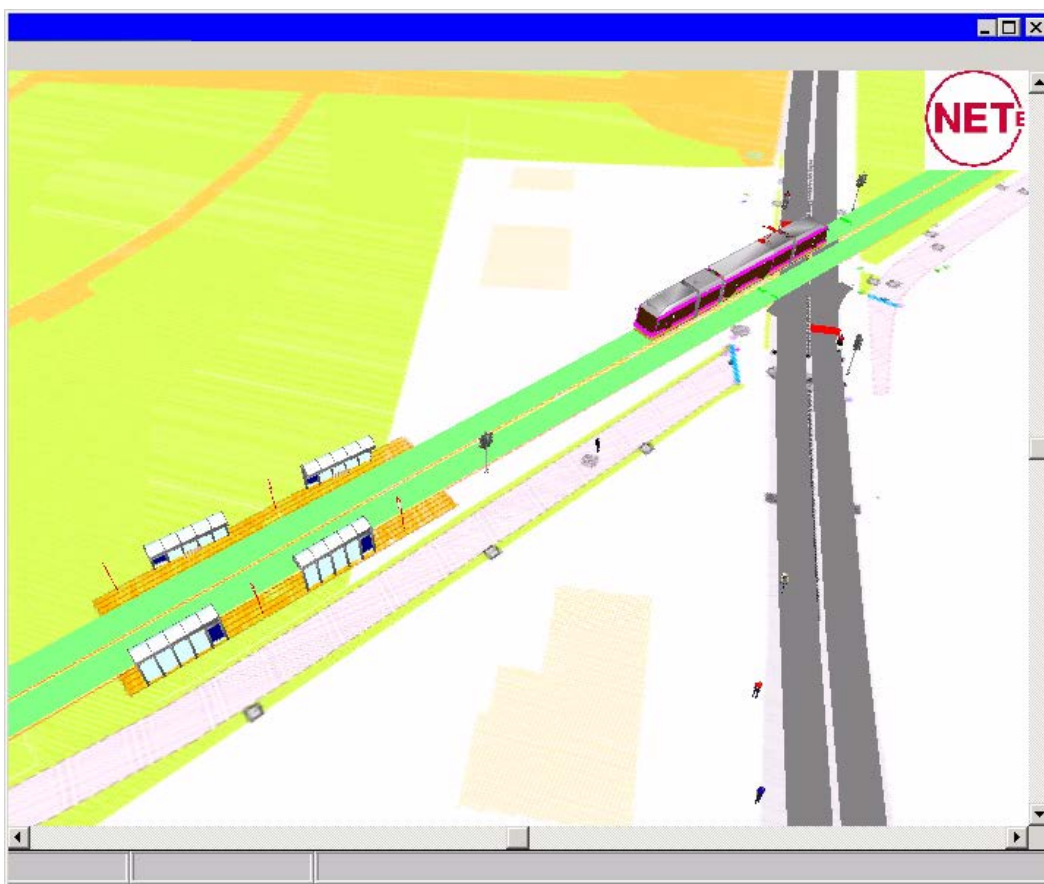
In alcuni casi le corsie del traffico privato intersecano le corsie riservate al mezzo pubblico. Per esempio questo avviene in corrispondenza dell'attraversamento di via Canestrini, nei pressi del Parco Iris, oppure nel quartiere Voltabarozzo dove la sede riservata interseca gli argini del Canale Scaricatore e alcune strade oltre il ponte, verso Roncaglia.

In questi casi è stato ipotizzato un sistema semaforico del tipo “passaggio a livello”, dove il passaggio del metrobus viene protetto dall'accensione della luce rossa sulle lanterne semaforiche poste nelle corsie del traffico privato. Il passaggio del metrobus su un rilevatore posto alcune decine di metri prima dell'intersezione fa scattare la luce arancione per i veicoli privati e dopo tre secondi scatta la luce rossa. Quando il metrobus attraversa l'incrocio, il traffico è già interrotto e l'incrocio è libero.

Quando non vi sono passaggi di mezzi pubblici le lanterne semaforiche, al posto di mostrare la luce verde, mostrano la luce arancione lampeggiante: mentre una luce verde darebbe un significato di via libera, la luce arancione lampeggiante ha un significato di attenzione, in modo che i veicoli rallentino in corrispondenza dell'attraversamento delle rotaie.

Una lanterna semaforica è posta anche nelle sedi del metrobus; il segnale di via libera per il metrobus scatta quando le corsie del traffico privato sono bloccate con la luce rossa; il resto del tempo il segnale è di via impedita.

La fig. 17 riporta un esempio di questa configurazione.



**Figura 17 - la corsa sud - nord del metrobus interseca via Canestrini in prossimità della fermata Parco Iris.**

Il traffico privato sulla strada ha semaforo rosso (rappresentato con la barra rossa sulla sede stradale grigia), mentre per il metrobus c'è il segnale di via libera.

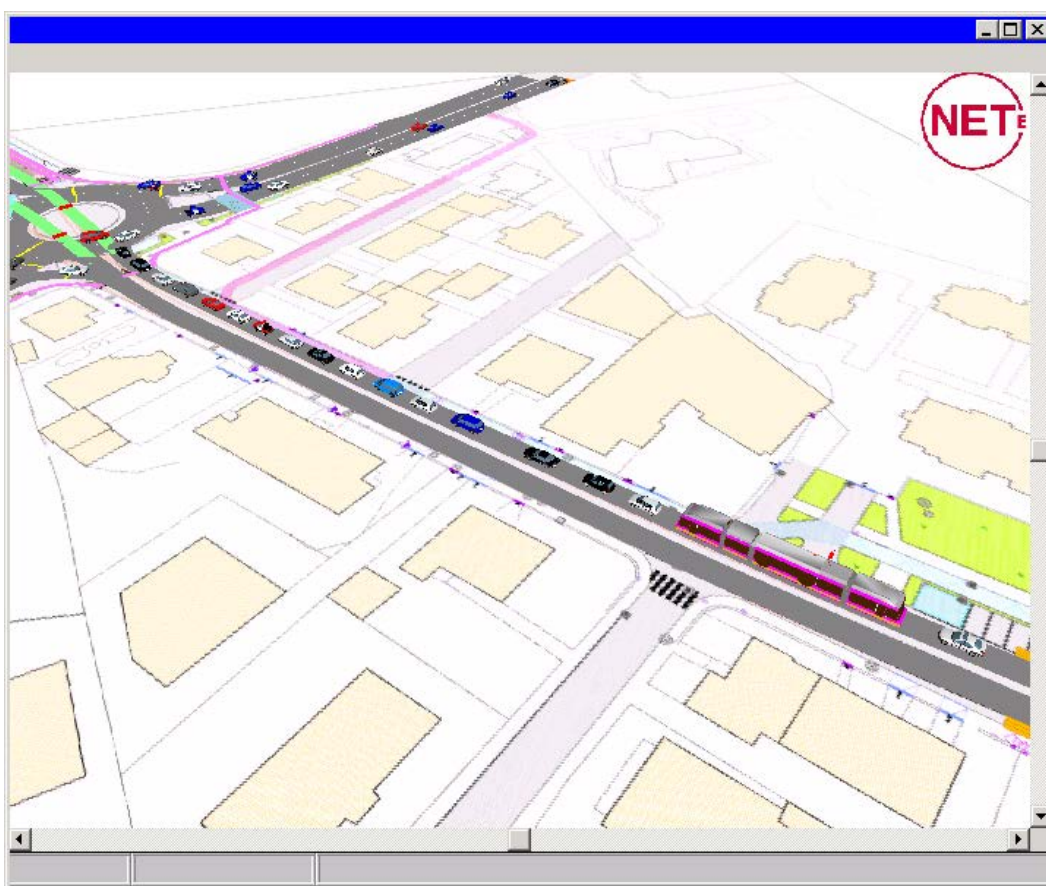
### **5.6.6 La simulazione dello scenario futuro: le fasi operative**

Le prime verifiche per l'inserimento del metrobus nella rete attuale hanno dimostrato che non è possibile inserire il nuovo sistema di trasporto nell'ipotesi che i traffici oggi esistenti abbiano la stessa entità e la stessa distribuzione. La rete odierna, infatti, già al limite della saturazione, non può certo sopportare la riduzione del numero di corsie o l'introduzione di altri veicoli senza risentirne in maniera negativa.

Questa fase è stata utile per dimostrare la necessità di interventi strutturali di riorganizzazione della circolazione veicolare, che non si limitassero al puro

inserimento del SIR ma estendessero l'area di studio e di intervento. Inoltre in tal modo è possibile anche valutare in maniera più completa l'effetto complessivo sul traffico veicolare.

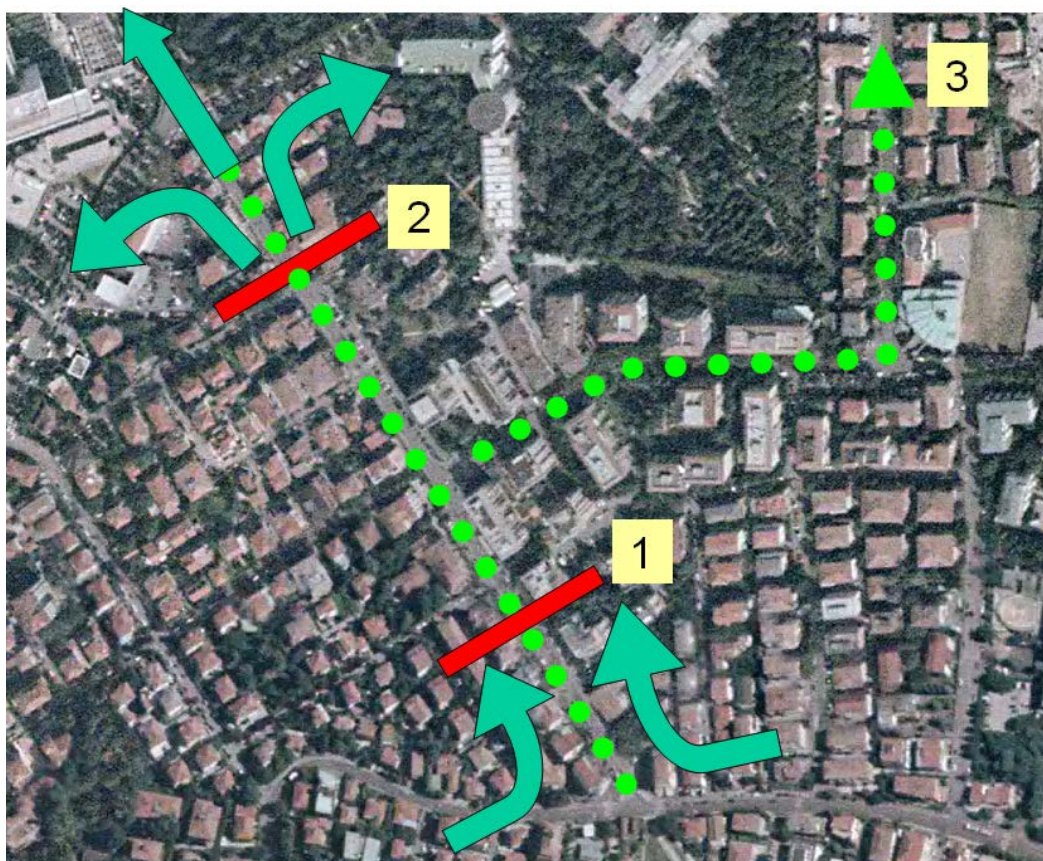
Il primo problema riscontrato è stato in via Sografi: l'inserimento del metrobus aggravava la situazione già non ideale dell'ingresso alla rotatoria su via Gattamelata. La conseguenza era un aumento della congestione in tale ingresso ed il conseguente rallentamento del metrobus nel, come raffigurato in Figura 18.



**Figura 18 - dettaglio di via Sografi. Si vede la corsa sud - nord del metrobus incolonnata assieme al traffico privato nell'accesso alla rotatoria su via Gattamelata.**

Per ovviare a questo inconveniente si è ritenuta opportuno deviare il traffico proveniente da sud verso via Nazareth, via Scardeone e il semaforo dell'ex-Macello nella circonvallazione (intersezione Gattamelata – Cornaro – Scardeone), come si vede in Figura 19.

Lo studio dei flussi di traffico ha comportato l'analisi delle uscite dall'incrocio semaforizzato di via Forcellini – via Sografi ed il confronto con gli ingressi da via Sografi nell'incrocio Sografi – Gattamelata – Giustiniani.



**Figura 19 - ortofotopiano con dettaglio di via Sografi, con posizionamento delle sezioni di traffico prese in considerazione. Sulla destra le vie Nazareth e Scardeone (3).**

Il confronto dei transiti veicolari nella sezione 1 con quelle della sezione 2 ha permesso di stabilire che già la maggior parte dei traffici in uscita dalla sezione 1 svolta su via Nazareth, indicata con il numero 3.

La verifica ha permesso di valutare l'ammissibilità della chiusura al traffico privato in direzione nord dell'ultimo tratto di via Sografi, dall'intersezione con via Nazareth fino alla rotatoria con la circonvallazione (via Gattamelata). In questo modo si evita la formazione di incolonnamenti sull'ultimo tratto di via Sografi: i veicoli privati sono dirottati sulla parallela via Scardeone e in via Sografi resta in direzione nord soltanto il metrobus che non ha problemi all'immissione in



rotatoria grazie al sistema semaforico descritto in precedenza.

Anche a Voltabarozzo è stato necessario predisporre delle variazioni dell'assetto della circolazione. Il tracciato del metrobus, in quella zona, si separa in due strade contigue: il verso nord – sud in via Piovese, mentre quello sud – nord occupa la parallela via Zeno. Il problema è emerso in via Giardinetto: il progetto prevede che la corsa nord – sud del metrobus la percorra come mostrato in Figura 20.



**Figura 20 - dettaglio del tracciato in via Piovese e nelle strade limitrofe.**

Via Giardinetto è oggi a doppio senso di marcia, ma la larghezza ridotta della sede stradale ha mostrato che non vi sono margini per mantenere il doppio senso di circolazione anche in futuro. La larghezza del metrobus infatti non è compatibile con la presenza di un veicolo in direzione opposta ed è stato pertanto necessario trasformare via Giardinetto in un senso unico verso via Piovese, il verso di percorrenza del metrobus.

Da via Piovese è oggi possibile accedere in via del Giardinetto; è anche presente un'apposita corsia riservata alla svolta a sinistra in corrispondenza del semaforo

che regola l'intersezione. In futuro, con via Giardinetto a senso unico, sarà necessario un altro accesso alla zona a nord di via Piovese: tale accesso si può avere da via Zeno, percorsa dal metrobus in senso opposto e trasformabile anch'essa in un senso unico nella stessa direzione di marcia del mezzo pubblico.

La configurazione finale verificata con le microsimulazioni è pertanto risultata quella mostrata in Figura 21.



**Figura 21 - la configurazione futura dei sensi unici nella viabilità attigua a via Piovese.**

Sono state infine analizzate le necessarie modifiche alla rete nella zona interna alla cinta muraria, cioè nelle vie Morgagni, Falloppio e Giustiniani.

Il problema di fondo legato ai traffici nell'area è che il corridoio in esame è un asse di scorrimento che per la maggior parte ha due corsie per senso di marcia. L'introduzione di corsie in sede riservata del metrobus ha quindi comportato la riorganizzazione dei flussi di traffico. Sono state messe in atto delle misure atte a disincentivare il traffico di attraversamento nella zona, rendendo più conveniente il transito per la circonvallazione esterna. Per disincentivare il traffico nord – sud

è stato creato un anello di sensi unici che costringe il traffico di transito a percorrere l'itinerario via Giustiniani – via San Massimo (con cambi di senso unico) – via Orus – via Belzoni (con cambio di senso unico) – via Morgagni. La configurazione scelta è rappresentata in Figura 22.



**Figura 22 - assetto dei sensi unici nel corridoio all'interno delle mura cinquecentesche.**

Una conseguenza di questa riorganizzazione è la prosecuzione verso il piazzale della Stanga di parte del traffico che prima interessava il corridoio: diventa più conveniente effettuare il tragitto via Gattamelata – piazzale Stanga – via Venezia per arrivare alla stazione ferroviaria.

Per attuare questo progetto è necessario trasformare via Gabelli in zona a traffico limitato: essendo parallela a via Falloppio ed attualmente a senso unico verso nord, se non limitata sarebbe sicuramente utilizzata come itinerario alternativo per aggirare il divieto d'accesso da sud in via Falloppio e recarsi all'incrocio con via Belzoni.

## 5.7 I RISULTATI

Il programma di microsimulazione permette di simulare l'installazione in carreggiata di apparecchiature contatraffico a spire che possono riportare i dati normalmente prodotti con questo tipo di attrezzatura. Uno di questi dati è la velocità media dei veicoli.

Sono state installate spire in ogni sezione tra uno svincolo ed un altro. I risultati, aggregati per intervalli di 10 minuti, sono stati analizzati in ogni tratta, per ogni corsia e per ogni direzione.

Le velocità praticate sono in linea con le distribuzioni di velocità imposte, segno che il programma ha recepito correttamente gli input e che l'entità del traffico è tale da non ridurre eccessivamente la velocità desiderata.

Un'altra funzione del programma di microsimulazione è il calcolo della lunghezza media delle code in corrispondenza delle linee di arresto di semafori, stop o precedenza.

I misuratori della lunghezza delle code sono stati installati in corrispondenza delle corsie di accesso delle rotatorie e in corrispondenza dei rami d'ingresso agli incroci.

I risultati delle elaborazioni sono del tutto soddisfacenti. In nessun caso sono state messe in evidenza lunghezze di coda tali da far emergere dubbi sul funzionamento fluido delle rotatorie.

Il risultato finale della bontà dell'assetto ottimale della circolazione conseguente all'inserimento della linea SIR3 è testimoniato dal filmato allegato nel quale risulta evidente la fluidità dello scorrimento del metrobús e l'assenza di cause di disturbo. Si realizza pertanto un collegamento non solo rapido ed efficiente, ma quel che più conta regolare e di qualità che risponde pienamente agli scopi per cui era stato progettato.

## APPENDICE

### GRAFICI PER LA VERIFICA DELLA CALIBRAZIONE DEL MODELLO DI MICROSIMULAZIONE