

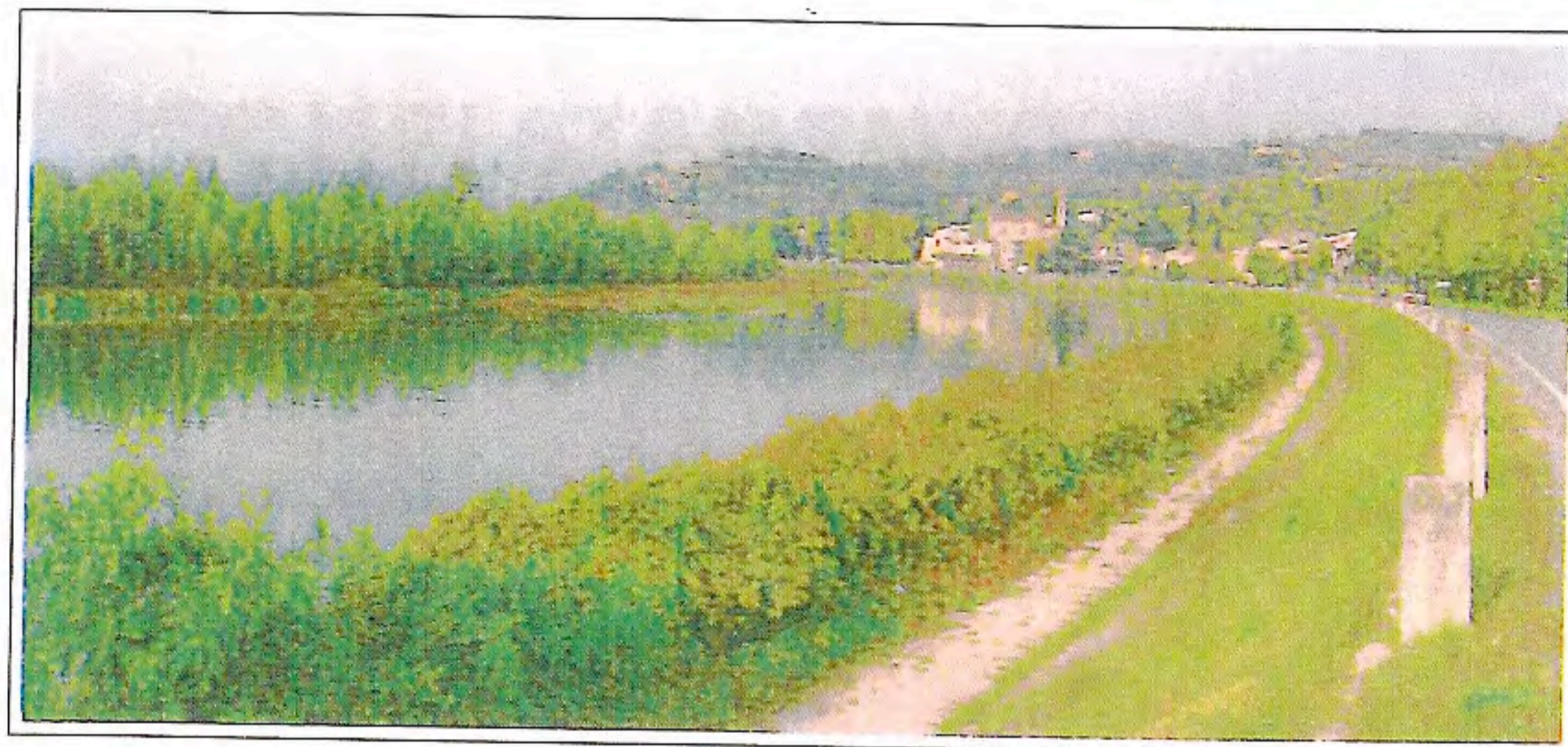


Comune  
di Verona



C.d.R. Mobilità e Traffico

# STUDIO DI FATTIBILITA'



Completamento anello circonvallatorio a nord  
Traforo delle Torricelle

## ANALISI DI TRAFFICO

Scala: -	elaborato n. 7	Data Febbraio 2008
Il Responsabile del Procedimento Dirigente C.d.R. Mobilità e Traffico Ing. Giorgio Zanoni	Collaboratori Ing. Alessia Barbiero Pianif. Simona Barone Geom. Romano D'Urso	Il Progettista Ing. Michele Fasoli





Comune  
di Verona



**C. d. R. Mobilità e Traffico**

**COMPLETAMENTO ANELLO  
CIRCONVALLATORIO A NORD  
TRAFORO DELLE TORRICELLE**

**STUDIO DI FATTIBILITÀ**

Analisi di traffico



## SOMMARIO

<u>1. INTRODUZIONE .....</u>	<u>5</u>
<u>2. IL MODELLO DI SIMULAZIONE.....</u>	<u>6</u>
<u>3. LE CRITICITA' DELLA CIRCOLAZIONE VEICOLARE URBANA .....</u>	<u>14</u>
<u>4. GLI SCENARI CONSIDERATI .....</u>	<u>17</u>
<u>5. RISULTATI.....</u>	<u>23</u>





## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1	Piano Regionale dei Trasporti del Veneto - Tassi annui medi di crescita della domanda di trasporto stradale (1997-2015).....	20
Tabella 2	Tassi medi annui di crescita della domanda di trasporto stradale adottati nello studio (valori %).....	20
Tabella 3	Flussi nell'ora di punta sulle nuove infrastrutture viarie nei tre scenari temporali di riferimento - confronto tra la situazione "con" e "senza" tariffa... 26	
Tabella 4	TGM sulle nuove infrastrutture viarie nei tre scenari temporali di riferimento - confronto tra la situazione "Con" e "senza" tariffa.....	26



## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Simulazione di traffico della situazione esistente – tassi di saturazione della rete.....	16
Figura 2	Grafo della rete di progetto – confronto scenario base vs variante di tracciato.....	18
Figura 3	Grafo della rete stradale – configurazione di progetto – tracciato base	22
Figura 4	Confronto tra le due varianti di tracciato della “gronda ovest”.....	25
Figura 5	Flussi di traffico simulati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2013.....	27
Figura 6	Flussi di traffico simulati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2023.....	28
Figura 7	Flussi di traffico simulati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2033.....	29
Figura 8	Tassi di saturazione stimati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2013.....	30
Figura 9	Tassi di saturazione stimati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2023.....	31
Figura 10	Tassi di saturazione stimati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2033.....	32
Figura 11	Flussi di traffico simulati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2013.....	33
Figura 12	Flussi di traffico simulati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2023.....	34
Figura 13	Flussi di traffico simulati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2033.....	35
Figura 14	Tassi di saturazione stimati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2013.....	36
Figura 15	Tassi di saturazione stimati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2023.....	37
Figura 16	Tassi di saturazione stimati nell’ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2033.....	38



## 1. INTRODUZIONE

Il presente studio nasce dall'esigenza di supportare con un'analisi di traffico lo studio di fattibilità di un nuovo sistema infrastrutturale viario che completi il sistema delle tangenziali urbane attuali.

Si ipotizza di chiudere l'anello viario a nord e a ovest, rispettivamente:

- mediante un tunnel che sottopassi le colline delle Torricelle a partire dalla terminazione attuale della tangenziale est fino ad un nuovo svincolo asservito alla direttrice della Valpolicella. E' previsto uno svincolo intermedio asservito al quartiere Saval;
- con una nuova viabilità, definita "gronda ovest", che con andamento longitudinale ricuce la maglia urbana ad ovest della città, con la realizzazione di nuovi svincoli in corrispondenza di via "Gardesane", della "Bresciana" per terminare quindi in corrispondenza dello svincolo di Verona Nord, potenziato allo scopo.

A supporto delle analisi è stato implementato un modello di simulazione del traffico veicolare privato, sulla base di uno strumento già adottato in sede di elaborazione del progetto preliminare del Piano Regolatore Generale.

Dell'implementazione modellistica si dà conto nel capitolo 2.

Nel capitolo 3 si sintetizzano le criticità del sistema viario, evidenziate anche mediante lo strumento di simulazione di cui al capitolo 2.

Nel capitolo 4 si descrivono gli scenari – infrastrutturale, temporali e di pedaggiamento - analizzati.

Infine nel capitolo 5 si illustrano i risultati delle simulazioni degli scenari, in termini di tassi di saturazione attesi sulla rete viaria e in termini di carico previsto sulle nuove infrastrutture.



## 2. IL MODELLO DI SIMULAZIONE

Il C.d.R. Mobilità e Traffico del Comune di Verona dispone di un modello di simulazione in più occasioni testato e utilizzato, ad esempio a supporto del progetto preliminare del nuovo Piano Regolatore Generale.

Per l'implementazione dello specifico modello di traffico, utilizzato per le analisi di traffico a supporto dello Studio di fattibilità del completamento del sistema di tangenziali viarie urbane, sono stati utilizzati i dati di base - relativi alla domanda di mobilità, espressa da una matrice di origine destinazione degli spostamenti veicolari, e all'offerta di infrastrutture viarie rappresentata da un grafo stradale - già disponibili presso gli archivi comunali.

Le elaborazioni condotte si sono svolte secondo le seguenti fasi:

- a) raccolta del materiale disponibile relativo alla domanda e all'offerta di mobilità;
- b) alimentazione degli strumenti matematici prescelti;
- c) calibrazione del modello;
- d) definizione degli scenari infrastrutturali e temporali da studiare;
- e) stima comparativa degli effetti relativi a scenari infrastrutturali e temporali e in particolare, stima del carico sulle nuove infrastrutture, anche ipotizzando un sistema di pedaggiamento.

### 2.1 La zonizzazione dell'area di studio

La suddivisione in zone dell'area di studio adottata per modellare il sistema della mobilità è un'operazione di primaria importanza, in quanto ogni singola zona verrà ad identificare a sua volta nel "polo" del territorio tutta la domanda di mobilità generata in origine e in destinazione dalla stessa zona. Si tratta di una operazione di lettura semplificata del territorio necessaria alla schematizzazione della struttura della mobilità e della rete dei trasporti e delle infrastrutture viarie. Di conseguenza la dimensione delle zone è condizionata dalla possibilità di rappresentare in questo modo le funzioni territoriali che generano la domanda di mobilità e dal grado di dettaglio che si vuole raggiungere con l'analisi e con le successive elaborazioni necessarie



per "costruire" le matrici Origini/Destinazione (O/D) e con la conseguente analisi descrittiva dell'offerta delle infrastrutture viarie.

L'estensione del modello e dell'area geografica rappresentata deve essere abbastanza ampia per presupporre che all'interno della stessa si esauriscano la maggior parte degli effetti degli scenari infrastrutturali da studiare.

Tutto quanto è esterno al cordone ideale che delimita l'area di studio è considerato come ambiente esterno: di questo interessano solo le interconnessioni che esso ha con il sistema viabile locale. Nel modello utilizzato l'area di studio è estesa al confine del territorio provinciale. Tutto quanto compreso all'interno di questo territorio rappresenterà, nel seguito, l'area di studio, e sarà genericamente chiamata "area".

Gli spostamenti che si effettuano all'interno dell'area possono, in generale, iniziare e terminare in qualunque punto del territorio. Al fine di rendere possibile la rappresentazione matematica del sistema viabile è necessario semplificare il modello interpretativo territoriale: l'area del Comune di Verona è rappresentata dalle 79 ZTO, a cui si aggiungono le 97 zone in cui è partizionata la Provincia (coincidenti con i confini degli altri Comuni veronesi) e le 13 direttrici caratteristiche delle zone di provenienza esterne all'area.

Sono inoltre presenti 25 zone di riserva (corrispondenti a zone virtuali contrassegnate con i codici compresi tra 80 e 100 e 191, 199, 200 e 214) non utilizzate attualmente, ma già implementate nel sistema per eventuali futuri impieghi modellistici (introduzione di nuovi poli attrattori e/o generatori di traffico) ottenendo una partizione complessiva costituita da 214 zone.

Si presuppone, quindi, che tra tutte le zone così definite si svolga l'intera domanda di mobilità generatrice di traffico dell'area.

La domanda di mobilità si colloca a due livelli; un livello interzonale, ovvero riguardante gli spostamenti che hanno origine in una zona e termine in una zona diversa da quella di origine, ed un livello intrazonale, ovvero spostamenti che hanno origine e destinazione all'interno della medesima zona (spostamenti intrazonali): questi ultimi non rilevano ai fini degli obiettivi dello studio e non sono rappresentabili con il modello.



## 2.2 Il quadro della domanda di mobilità - La matrice origine / destinazione degli spostamenti veicolari

La matrice impiegata nel presente studio è quella predisposta per la e nel 1995, successivamente aggiornata al 2001 con tecniche di *matrix estimation* (procedure di aggiornamento delle matrici attraverso i volumi di traffico misurati sulla rete) e già utilizzata per le analisi trasportistiche a supporto del nuovo PRG.

La matrice utilizzata è rappresentativa della domanda di mobilità nell'ora di punta del mattino (8,00-9,00), del giorno feriale medio.

Complessivamente è costituita da 39.677 veicoli che nell'ora di punta hanno origine o destinazione interna al confine comunale di Verona, corrispondente ad una domanda di spostamento di persone pari a 47.612 passeggeri considerando un coefficiente medio di carico di 1,2 passeggeri/veicolo.

La quota di domanda totale espressa dalla matrice all'intera scala del modello ha invece una consistenza di 80.163 spostamenti di veicoli, corrispondenti a 96.196 persone.

## 2.3 L'offerta di infrastrutture viarie - Il grafo stradale

In questo paragrafo verrà esposto il modello di rete che simula gli aspetti rilevanti del funzionamento del sistema di offerta di infrastrutture viarie costituito dalle componenti fisiche ed organizzative che producono il servizio di trasporto offerto.

L'offerta delle infrastrutture viarie è definita dalle caratteristiche della rete esistente. La conoscenza del sistema di offerta ha come scopo primario la costruzione del grafo della rete viaria dell'area, ovvero schematizzare la rete in un insieme di archi e nodi. Queste operazioni vanno eseguite usando opportuni codici, omogenei con quelli usati nella zonizzazione e nell'analisi della domanda, di modo che il grafo sia riproducibile al calcolatore e quindi utilizzabile nell'ambito dei modelli di simulazione. Nel caso della rete viaria, gli archi rappresentano tratti di strada non interessati da intersezioni di particolare rilievo; tutti gli archi sono delimitati da due nodi, che, in generale, rappresentano il punto in cui due o più archi si incrociano.



Con modello di rete si intende un grafo ai cui archi è associata una caratteristica quantitativa e qualitativa (velocità media di percorrenza, tempo di percorrenza, curve di deflusso).

Ciascun arco del grafo impiegato per rappresentare il sistema viabile è caratterizzato da un tempo di percorrenza e/o da altri oneri sopportati dall'utente del sistema stesso per spostarsi da un nodo iniziale ad un nodo finale. Il costo di trasporto è, quindi, una grandezza che sintetizza le diverse voci di costo sopportate dagli utenti nella misura in cui questi le percepiscono.

Nella modellizzazione della rete a ciascun arco è associata, oltre che la lunghezza dell'arco in questione, la velocità di percorrenza massima ammessa dal Codice della Strada in condizioni di flusso libero. Queste due componenti vengono omogeneizzate in un costo generalizzato attraverso l'applicazione di coefficienti, calibrati con un modello di scelta del percorso. Questi coefficienti dovrebbero riflettere l'importanza relativa che l'utente-guidatore attribuisce alle due componenti del costo generalizzato (tempo e distanza).

Inoltre, i costi associati a ciascun arco della rete sono riferiti ad un utente medio, per cui il costo su ciascun arco del grafo può essere ritenuto costante per tutti gli utenti che lo interessano.

Il problema della schematizzazione di un sistema viabile, mediante un grafo, consiste nella individuazione dei nodi e dei collegamenti da nodo a nodo, ritenuti significativi ai fini dell'analisi del sistema viabile attuale e per il quale si vogliono conoscere i flussi veicolari.

I nodi e gli archi individuati rappresentano realtà fisiche ben distinte. I primi individuano punti del territorio aventi coordinate spaziali e temporali diverse, per spostarsi tra i quali esiste però un costo di trasferimento. I secondi rappresentano i legami fisici che legano due diversi punti (nodi) del territorio in esame e agli archi è associato un costo di trasferimento.

Un importante sotto insieme di nodi è rappresentato dai cosiddetti nodi "centroidi"<sup>1</sup>, i quali individuano i soli punti del territorio da cui si origina e verso cui è destinata la domanda di mobilità, ovvero rappresentano le zone

<sup>1</sup> In generale, un nodo "centroide" non corrisponde ad alcun luogo fisico reale del territorio ma rappresenta l'insieme dei punti interni ad una data zona, dai quali può avere origine e/o destinazione un viaggio, e viene, pertanto, posizionato in modo baricentrico rispetto ai punti fisici reali che rappresenta.



di Origine e/o di Destinazione dei viaggi. Questi nodi centroidi possono essere connessi sia direttamente ad un nodo (intersezione) reale oppure, al fine di giungere ad una maggiore rappresentatività dei punti di immissione/emissione dei viaggi sulla/dalla viabilità, ad un nodo fittizio.

Nelle simulazioni dei flussi di traffico i centroidi sono rappresentati dalle 214 zone derivanti dalla zonizzazione del territorio descritta nel paragrafo 2.1 precedente. I nodi regolari sono, invece, rappresentati dalle intersezioni tra due o più strade della rete.

Per la rappresentazione dell'offerta si è utilizzato un grafo stradale che ben rappresenta l'intera rete veicolare della Provincia di Verona. In particolare il grafo risulta molto dettagliato per quanto riguarda il comune capoluogo, in cui è rappresentata tutta la rete veicolare fino al livello di strade locali.

Per consentire la connessione fisica tra le zone, materializzate nel centroide di zona, e la viabilità ordinaria, è stato necessario inserire nel grafo originale degli archi connettori "fittizi", ai quali corrisponde lo spostamento fra il centroide di zona ed un nodo reale o fittizio della rete; agli archi connettori è stato associato un costo di percorrenza nullo, ovvero gli archi sono di lunghezza nulla e di conseguenza presentano un tempo di percorrenza nullo.

Al fine di ottenere una corretta modellizzazione del sistema viabile, ogni arco è stato caratterizzato con il proprio costo generalizzato di trasporto. Operativamente, ogni arco è stato descritto attraverso la lunghezza, la velocità di percorrenza, la capacità a vuoto, la tipologia dell'arco ed una particolare curva di deflusso<sup>2</sup>.

La tabella seguente riporta l'elenco dei *link type* utilizzati per classificare gli archi durante l'implementazione del grafo del trasporto privato.

1	Autostrade
3	Strade di scorrimento principali extraurbane
4	Strade extraurbane principali
5,6,7 extraurbane	Strade secondarie
5,6,7 urbane	Strade interquartiere di primo livello
15	Strade interquartiere di secondo livello

Operativamente, il grafo è stato implementato attribuendo alla viabilità di progetto una serie di codici (*link type*) tali da distinguere gli archi appartenenti alla rete esistente da quelli relativi alle varie infrastrutture di progetto, e tali

<sup>2</sup> Sono state utilizzate 15 differenti curve di deflusso, del tipo BRP



altresì da consentire una serie di simulazioni modellistiche che prendano in considerazione separatamente gli effetti connessi alla realizzazione degli scenari ipotizzati, apportando alla rete di base le minime variazioni necessarie.

L'impiego di una unica rete per sviluppare le simulazioni, oltre a ridurre il tempo necessario per la sua implementazione, riduce considerevolmente il rischio di errori nella implementazione degli interventi di progetto, spesso combinati in vario modo in scenari alternativi.

## 2.4 L'assegnazione dei viaggi ai percorsi

Il metodo matematico che consente di osservare sulla rete le variazioni dei flussi di traffico è consentito dalla procedura di assegnazione dei viaggi ai percorsi.

La procedura di assegnazione è stata effettuata con l'ausilio del software di simulazione delle reti di trasporto denominato CUBE - TRIPS<sup>3</sup>. Attraverso tale supporto informatizzato è stato possibile attivare un processo di assegnazione del traffico riferito alla matrice O/D e al grafo stradale sopra specificati.

L'assegnazione dei flussi di traffico alla rete è stata effettuata attraverso la tecnica del "Tutto o Niente" (*All or Nothing*, AON che attribuisce ogni spostamento tra una origine e una destinazione al percorso di minimo costo), tenendo però conto delle condizioni di congestione della circolazione stradale attraverso l'impiego del "Vincolo di Capacità Ristretta" (*Capacity Restraints Method*) applicato secondo il metodo del volume medio.

La procedura di assegnazione determina inizialmente i percorsi di minimo costo tra tutte le coppie O/D, mediante l'algoritmo di Dijkstra. Successivamente effettua la fase di assegnazione vera e propria: gli spostamenti tra tutte le coppie O/D vengono assegnati al rispettivo percorso di minimo costo.

<sup>3</sup> Commercializzato da CITILABS



Nel processo di assegnazione il costo si riferisce al costo generalizzato, che rappresenta il peso relativo attribuito dal guidatore al tempo, alla distanza o ad entrambi su differenti percorsi<sup>4</sup>.

L'assegnazione AON classica assegnerebbe interamente e definitivamente gli spostamenti di una relazione O/D al percorso di minimo costo per essa individuato sul grafo stradale.

Applicando invece alla procedura il vincolo della capacità ristretta, si interviene a valle dell'assegnazione per rendere conto degli effetti sulla fluidità della circolazione nella rete, conseguenti alla presenza dei carichi appena introdotti.

Questa tecnica è stata scelta poiché particolarmente indicata nello studio delle reti congestionate, in cui le limitazioni imposte dalla capacità degli archi influenzano notevolmente la velocità di percorrenza degli stessi. In un'assegnazione successiva alla prima, su una rete con archi già carichi, per una medesima coppia O/D l'utenza avverte infatti l'esistenza di un "nuovo" percorso di minimo costo, diverso da quello individuato in precedenza<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> La funzione del costo generalizzato può essere assunta secondo la seguente formulazione:

$$\alpha_{\text{totale}} = \alpha_t + \alpha_d + \alpha_{\text{svolte}}$$

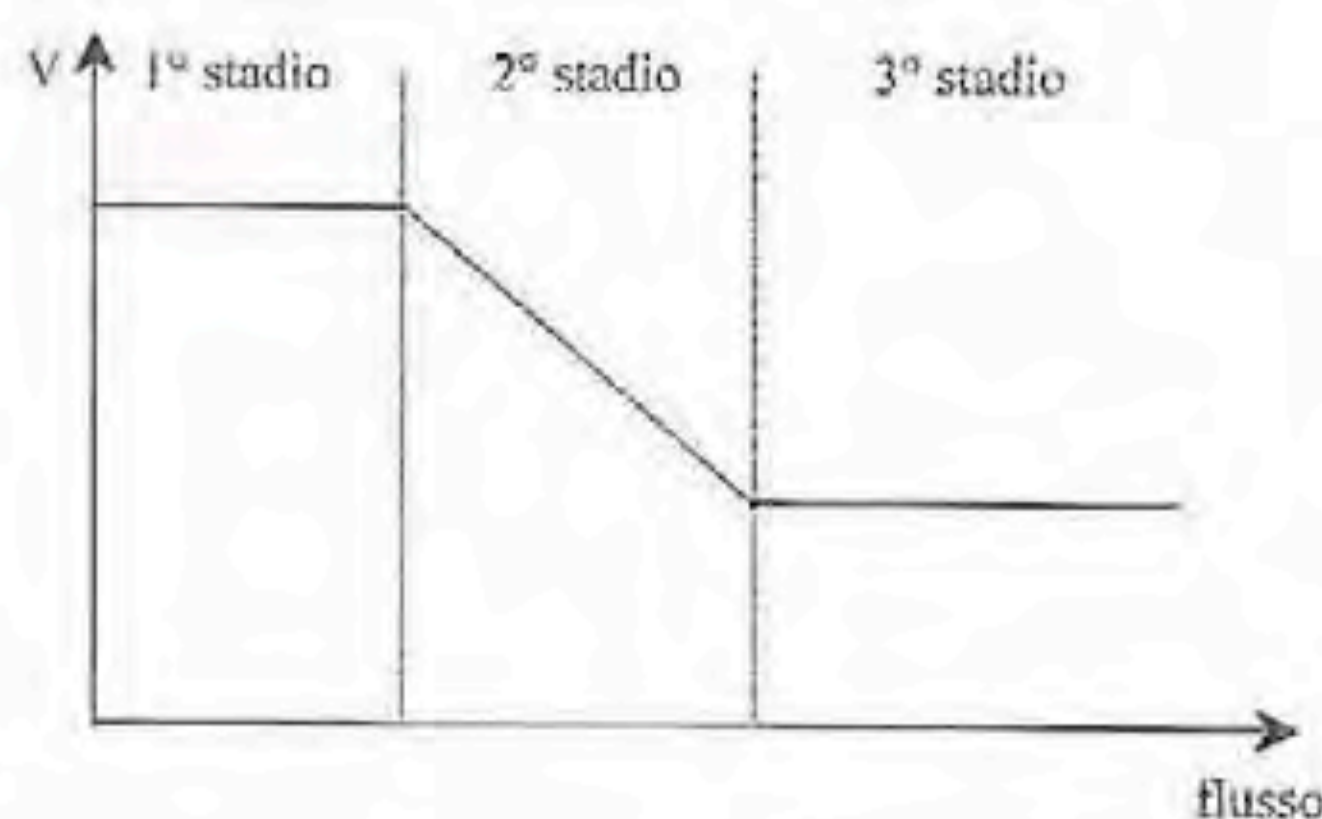
Con  $\alpha_t$  = coefficiente di peso del tempo  
 $\alpha_d$  = coefficiente di peso della distanza  
 $\alpha_{\text{svolte}}$  = coefficiente di peso delle svolte

Questi pesi variano, in linea di principio, in accordo con fattori quali: lo scopo del viaggio (i viaggiatori tendono ad attribuire più peso al tempo che non alla distanza); la lunghezza del viaggio (i guidatori stimano la distanza in maniera più diretta e sono da essa influenzati maggiormente su viaggi a lunga percorrenza).

Nel corso delle nostre simulazioni sono stati assunti per tali parametri i seguenti valori:

$\alpha_t = 2,0$ ;  $\alpha_d = 1,0$ ;  $\alpha_{\text{svolte}} = 1,0$ .

<sup>5</sup> Il programma utilizzato associa ad ogni arco una serie di parametri che ne descrivono le prestazioni, i più importanti dei quali sono: lunghezza, tipologia (*link type*), capacità, velocità di percorrenza, tipo di curva di deflusso. In particolare la curva di deflusso esprime la relazione tra flusso presente sull'arco e velocità dei veicoli in transito secondo una relazione del tipo:





Il vincolo di capacità ristretta introduce quindi nella modellizzazione questa circostanza, consentendo una rappresentazione più fedele del fenomeno della mobilità veicolare privata<sup>6</sup>.

Le curve di deflusso hanno un andamento spezzato, con tre tratti a diverse caratteristiche:

1° stadio: condizioni di flusso libero, in cui l'entità del flusso non condiziona la velocità di percorrenza dell'arco

2° stadio: condizioni congestionate, in cui la velocità diminuisce all'aumentare del flusso

3° stadio: condizioni sovracongestionate, con una velocità bassa e generalmente costante

Nel corso della nostra elaborazione sono stati utilizzati 15 tipi di curva di deflusso, del tipo BRP.

<sup>6</sup> Il vincolo di capacità ristretta impiegato è un metodo iterativo che interagisce nel processo di assegnazione secondo i due passi seguenti:

1. assegnazione degli spostamenti ai percorsi di minimo costo;
2. modifica dei costi degli archi (velocità di percorrenza degli archi) in funzione dei flussi caricati sulla rete al passo precedente.

La seconda iterazione del procedimento ripete l'assegnazione degli spostamenti, tenendo conto dell'insorgenza dei nuovi percorsi di minimo costo. Il procedimento viene ripetuto più volte fino ad arrestarsi alla convergenza delle velocità di percorrenza degli archi tra due iterazioni successive, ossia quando le velocità della rete modificate da una successiva iterazione (esprese da un coefficiente mediato su tutta la rete) non manifestano significative variazioni.

Nelle nostre elaborazioni la convergenza è stata ottenuta applicando il metodo del Volume Medio, con cui ad ogni iterazione vengono aggiornati i costi degli archi caricando la rete con un flusso corrispondente alla media dei flussi assegnati nelle iterazioni precedenti.

L'algoritmo di assegnazione utilizzato procede nel modo seguente:

1. alla prima iterazione calcola il percorso di minimo costo e ad esso assegna il 100% degli spostamenti; entra quindi nella curva di deflusso di ogni arco col volume di traffico ad esso assegnato, ricavando in tal modo la velocità di percorrenza dell'arco stesso;
2. alla seconda iterazione calcola nuovamente il percorso di minimo costo sulla base dei nuovi costi degli archi ed assegna il 50% degli spostamenti a questo nuovo itinerario, mentre continua ad assegnare il restante 50% del flusso al percorso individuato in precedenza;
3. in generale, all'*n*-esima iterazione ogni percorso di minimo costo individuato fino a quel momento assorbirà una quota del flusso pari ad  $1/n$ , con una progressiva diminuzione del peso della singola operazione di assegnazione.

Il pregio della ripartizione dei flussi con la tecnica del Volume Medio risiede nel fatto che esso riduce l'influenza delle variazioni inconsuete dei flussi che possono presentarsi a una data iterazione del procedimento di assegnazione. Nelle nostre elaborazioni, per le elevate dimensioni della rete, si è assunto un numero massimo di iterazioni pari a 30 che hanno portato in generale ad una differenza tra le velocità convergenti, esprese dal parametro delta, sull'ordine del 5%.



### 3. LE CRITICITA' DELLA CIRCOLAZIONE VEICOLARE URBANA

Dalle simulazioni effettuate relativamente alla rete infrastrutturale esistente e alla domanda di traffico relativa alla situazione attuale, emerge il seguente quadro delle criticità :

- I viali di circonvallazione interna presentano un'elevata congestione, con volumi di traffico spesso superiori a 1000 veicoli in transito per direzione di marcia e un rapporto tra volume di traffico e capacità di deflusso superiore a 0,75 (condizione di saturazione) e quasi sempre superiore a 0,5. Le arterie in questione sono: Via C. Galliano, Circonvallazione Maroncelli, Viale dal Cero, Via Faccio, Via dell'Autiere fino a Ponte S.Francesco nel quadrante sud del centro storico; a nord Viale Colombo e Ponte Catena, Via De Lellis, Via Bassini, la parte iniziale di Via Mameli e Rigaste Redentore.
- Si osserva una situazione di congestione in molti assi di penetrazione interni all'area storica della città: condizioni critiche si riscontrano in Stradone Porta Palio, Via Carmelitani Scalzi e Via Porta S.Zeno per gli accessi da sud e da ovest; presso Ponte della Vittoria, Via Nino Bixio e Ponte Garibaldi per gli accessi da nord ovest; Stradone S.Fermo per gli accessi da est. Da segnalare anche la difficile situazione di Veronetta, dove un forte carico di traffico grava sugli assi di Via XX Settembre e Via Santa Maria in Organo (quest'ultima, in particolare, appartenente ad una direttrice con scarse alternative per gli spostamenti che collegano Borgo Venezia con Borgo Trento).
- Il nodo di Porta Vescovo presenta un alto grado di saturazione dei rami ad esso afferenti, in particolar modo per quanto riguarda le vie XX Settembre, Torbido, Barana e Rosa Morando, circostanza questa che richiede un'ampia revisione dell'organizzazione del traffico in tutta l'area. Un altro elemento critico è costituito dagli attraversamenti dell'Adige presso Ponte Navi, Ponte Aleardi e Ponte S.Francesco, tutti sofferenti a causa di marcati livelli di congestione.
- Nell'area posta a sud della linea ferroviaria Milano – Venezia gradi di elevata saturazione si riscontrano nell'area circostante il Policlinico e lungo Via Golino, che sconta un forte interscambio con le Complanari (sulle quali peraltro allo stato attuale si scaricano interamente le provenienze dalla SS 434 Transpolesana). La complanare stessa,



peraltro, nel tratto tra l'innesto della Transpolesana e lo svincolo della complanare in provenienza da Cà di David.

- L'area di Borgo Roma sembra oggi soffrire di un eccessivo flusso di attraversamento. Sempre nella zona sud merita attenzione la situazione dell'asse costituito da Viale delle Nazioni e Viale del Lavoro, in cui gli elevati flussi veicolari, accentuati dal traffico di scambio con l'Autostrada A4, creano una condizione di forte congestione nei principali nodi, tra cui il casello di Verona Sud.
- La limitatezza del numero delle connessioni tra le zone a nord e a sud della ferrovia determina una forte concentrazione di flussi sull'asse di Via Albere che sovrappassa il fascio dei binari ad ovest della stazione collegando Santa Lucia, con conseguenti elevati fenomeni di congestione.
- Una criticità che emerge sia dall'analisi dei dati di origine/destinazione, sia dalla simulazione effettuata, è quella determinata dalla domanda di scambio tra i quartieri occidentali ed orientali della città, che non sembra trovare una risposta adeguata nella dotazione di infrastrutture esistenti.
- Per quanto riguarda le penetrazioni radiali all'area urbana, condizioni di criticità si verificano sia ad est nelle provenienze dal casello di Verona Est sulla A4 e da San Martino Buon Albergo sulla SS11, sia a nord ovest per le provenienze dalla Valpolicella.
- Altri elementi diffusi di criticità sono presenti nella rete viabilistica secondaria, in particolare nelle zone di Verona Est e Verona Sud.



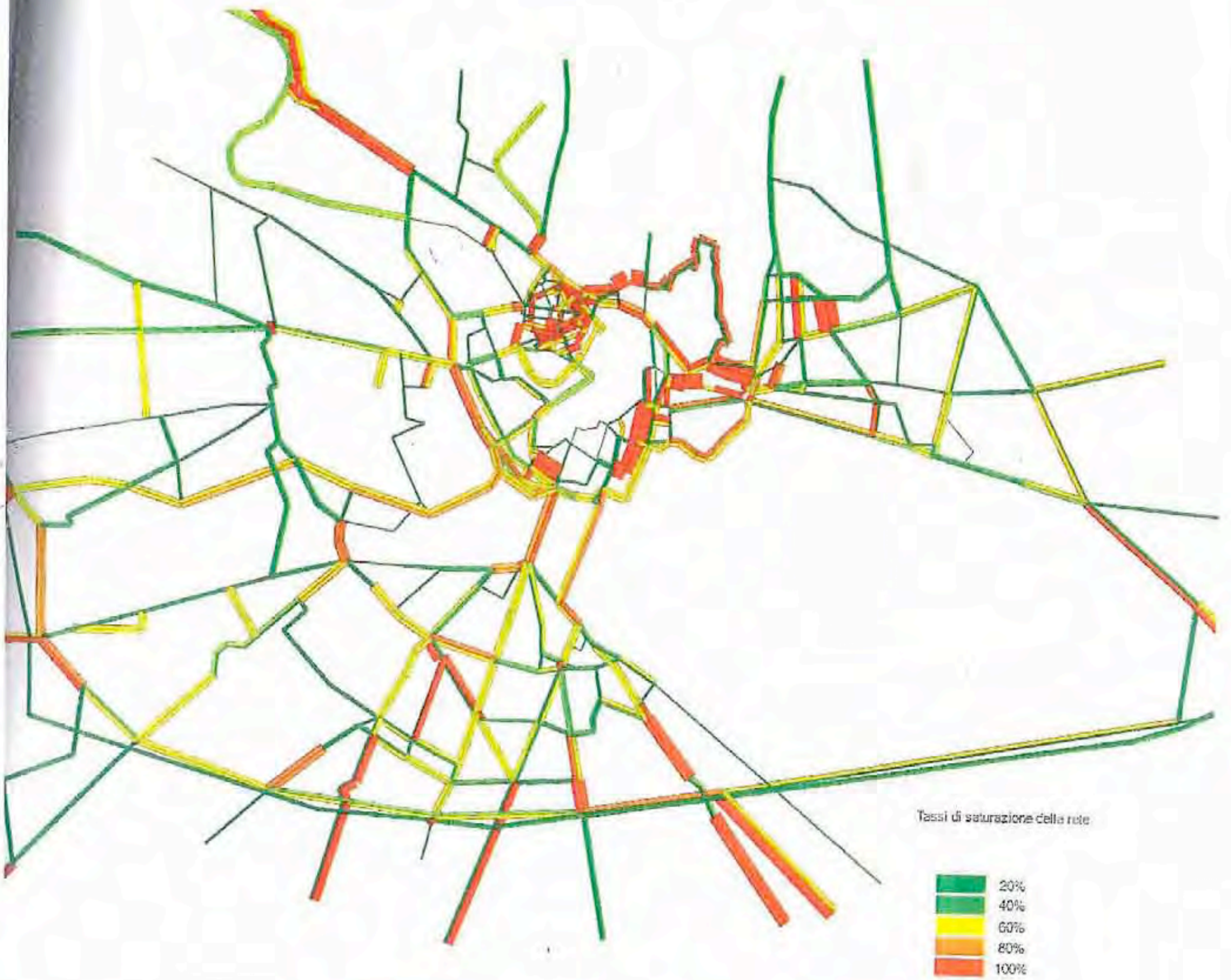


Figura 1 Simulazione di traffico della situazione esistente – tassi di saturazione della rete



#### 4. GLI SCENARI CONSIDERATI

L'intervento in argomento realizza il collegamento tra l'esistente Tangenziale Est di Verona, all'intersezione con Via Fincato, con la Tangenziale Ovest ed il casello autostradale della A22 di Verona Nord, attraverso la cosiddetta "Strada di Gronda" o 'Gronda Ovest' ed un nuovo attraversamento del Fiume Adige, chiudendo di fatto l'anello circonvallatorio delle tangenziali veronesi.

Ai soli fini delle analisi del traffico, l'intervento, che rimane unitario, è stato suddiviso in due parti (Figura 3).

La prima tratta, ubicata a Nord di Verona, si sviluppa prevalentemente in direzione est - ovest (da Via Fincato verso Parona) e costituisce la cosiddetta 'Tangenziale Nord'. Questa tratta comprende il traforo delle Torricelle e il nuovo ponte sull'Adige.

L'altra, corre invece in direzione sud - nord (da Verona Nord verso il Chievo), assestandosi a ovest della città, a formare, in unione con la futura bretella di collegamento con la Valpolicella, la cosiddetta 'Strada di Gronda' o 'Gronda Ovest'.

Sulle due varianti di tracciato (scenari infrastrutturali) sopradescritte si sono considerate tre soglie temporali successive (scenari temporali), introducendo o meno un sistema di tariffazione (scenario di pedaggiamento).

##### *Lo scenario infrastrutturale base*

Il tracciato della Tangenziale Nord entra in galleria (imbocco del 'Traforo delle Torricelle') al termine della Tangenziale Est, in corrispondenza dello svincolo tra Via Fincato e la Tangenziale, prosegue trasversalmente verso ovest e torna in superficie in località San Rocco, dove svincola via Preare, via Pancaldo e via Mameli; quindi, proseguendo verso ovest, attraversa l'Adige, con un nuovo ponte e sottopassa la linea ferroviaria Verona - Brennero, per proseguire verso sud-ovest sulla cosiddetta "Gronda ovest" e, in prossimità di Boscomantico (Chievo), allacciarsi verso nord, mediante la futura bretella di connessione, alla SP4 della Valpolicella e la SS12 del Brennero.

"Gronda ovest". La nuova strada si innesta direttamente sullo svincolo di Verona Nord (opportunamente potenziato), prosegue longitudinalmente



verso nord-est e prevede una intersezione con via Bresciana (SR11) ed una intersezione con via Gardesane (SP6), per allacciarsi infine alla 'Tangenziale Nord' in località Boscomantico (Chievo), come descritto al punto precedente.

*Le varianti di tracciato* si concentrano sulla "gronda ovest" (Figura 2): rispetto allo scenario di base, la nuova strada si innesta sulla bretella Verona Nord – Centro all'altezza dello svincolo di San Massimo, circa due km più all'interno quindi rispetto al caso precedente. Inoltre, non è previsto lo svincolo con via Gardesane.

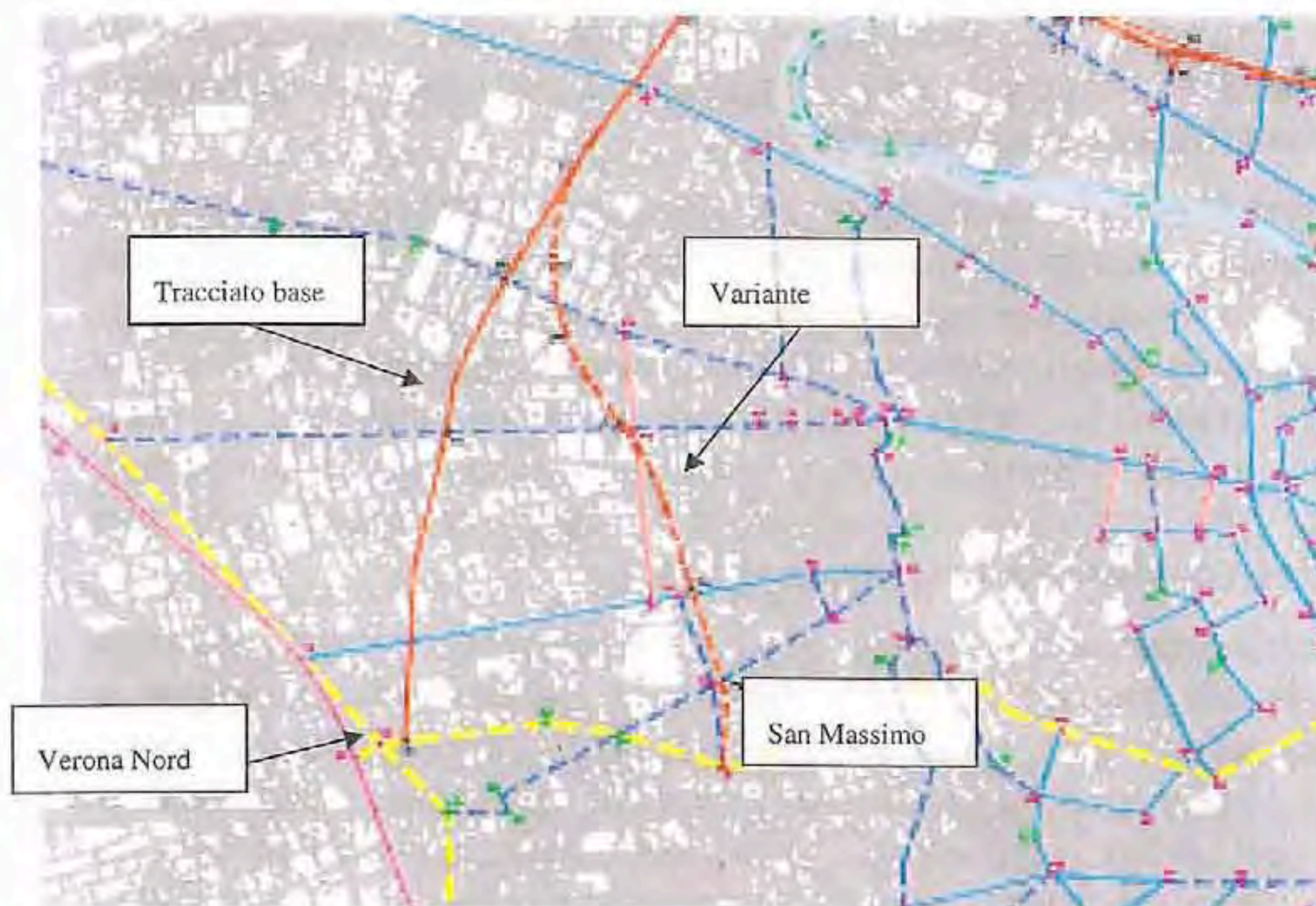


Figura 2 Grafo della rete di progetto – confronto scenario base vs variante di tracciato

### *Gli scenari temporali*



Gli scenari temporali considerati fanno riferimento al 2013 (anno di ipotizzata entrata in esercizio dell'infrastruttura) al 2023 e al 2033.

Sostanzialmente i tre scenari considerati si distinguono per diversi livelli di domanda di mobilità.

Per elaborare le previsioni di traffico, cioè per stimare l'evoluzione della domanda di mobilità, si è fatto ricorso al Piano Regionale dei Trasporti e al quadro previsionale ivi prospettato, che ha tenuto conto:

della valutazione dello sviluppo economico regionale, dalla performance economica del Veneto, la sua specializzazione produttiva (con una minore rilevanza dei servizi, controbilanciata dal maggiore peso assunto dall'industria), e della capacità competitiva delle imprese venete inserite in un contesto internazionale a seguito dei processi di globalizzazione.

degli aspetti demografici, valutando lo stato e la tendenza dell'assetto a livello regionale, la distribuzione geografica della popolazione, le caratteristiche strutturali della popolazione ed infine le proiezioni demografiche disaggregate per provincia.

dei risultati di uno studio effettuato dalla Regione nel 1999 per la valutazione del Corridoio Adriatico. (Sono stati ipotizzati due scenari, definiti tendenziale e ottimistico, riferiti alle soglie temporali: 2005, 2010 e 2015). Lo scenario ottimistico prevede un incremento del PIL, a livello aggregato e al 2015, fino al 65%, mentre lo scenario tendenziale considera incrementi di poco superiori al 20%. Rispettivamente i tassi di evoluzione medi annui risultano pari al 2.8% e 1%. Le previsioni specifiche per il Veneto sono di poco superiori a quelle relative al sistema aggregato.

Il Piano fornisce una previsione dei flussi di passeggeri e merci, riassunta nella tabella che segue. Viene riportato il risultato della previsione in corrispondenza della soglia temporale del 2015, distinguendo la mobilità riferita ai passeggeri da quella delle merci (in particolare individuando la quota su strada), e indicando i tassi medi annui, per ciascuno dei due scenari. Per completezza di analisi si riporta anche il dato osservato relativo all'anno base 1997.



Tabella 1 Piano Regionale dei Trasporti del Veneto - Tassi annui medi di crescita della domanda di trasporto stradale (1997-2015).

Scenario	Passeggeri su strada		Merci su strada	
	Milioni di passeggeri	Tasso di crescita (%)	10 <sup>6</sup> t*km	Tasso di crescita (%)
Scenario tendenziale	174.188	0.4	367.2	1.0%
Scenario ottimistico	196.666	1.1	497.6	2.7%
Anno di riferimento (1997)	160.917	-	306.5	-

Fonte: Piano Regionale dei Trasporti 2004 - Regione Veneto – studio Corridoio Adriatico.

Nel presente studio, per le analisi trasportistiche, si sono adottati tassi di incremento medi, rispetto ai due scenari di Piano "tendenziale" e "ottimistico", cautelativamente via via ridotti in corrispondenza delle soglie temporali più avanzate. In sintesi, nel prospetto che segue si propongono i tassi medi annui adottati.

Tabella 2 Tassi medi annui di crescita della domanda di trasporto stradale adottati nello studio (valori %)

Intervallo temporale	traffico leggero (automobili)	traffico pesante (veicoli commerciali)
2007 – 2013	1%	1.75%
2013 – 2023	1%	1.5%
2023 – 2033	0.75%	1%



### *Lo scenario di pedaggiamento*

Oltre alla situazione neutra, le analisi modellistiche sono state condotte considerando una tariffa applicata alle nuove infrastrutture.

Si è considerato un sistema di esazione completamente automatizzato, che prescinde quindi dalla predisposizione di caselli e stazioni.

La tariffa applicata è stata differenziata tra le due categorie di domanda modellizzata: per i veicoli leggeri si è adottata una tariffa pari a 0.05 Euro/km; per i veicoli commerciali si è adottata una tariffa pari a 0.1 Euro/km.

Per le simulazioni modellistiche la tariffa monetaria percepita dagli utenti è stata trasformata in un extratempo, utilizzando un valore monetario del tempo rispettivamente pari a 12.5 Euro l'ora per i conducenti di automobili e 25 euro/ora per i conducenti dei veicoli commerciali.



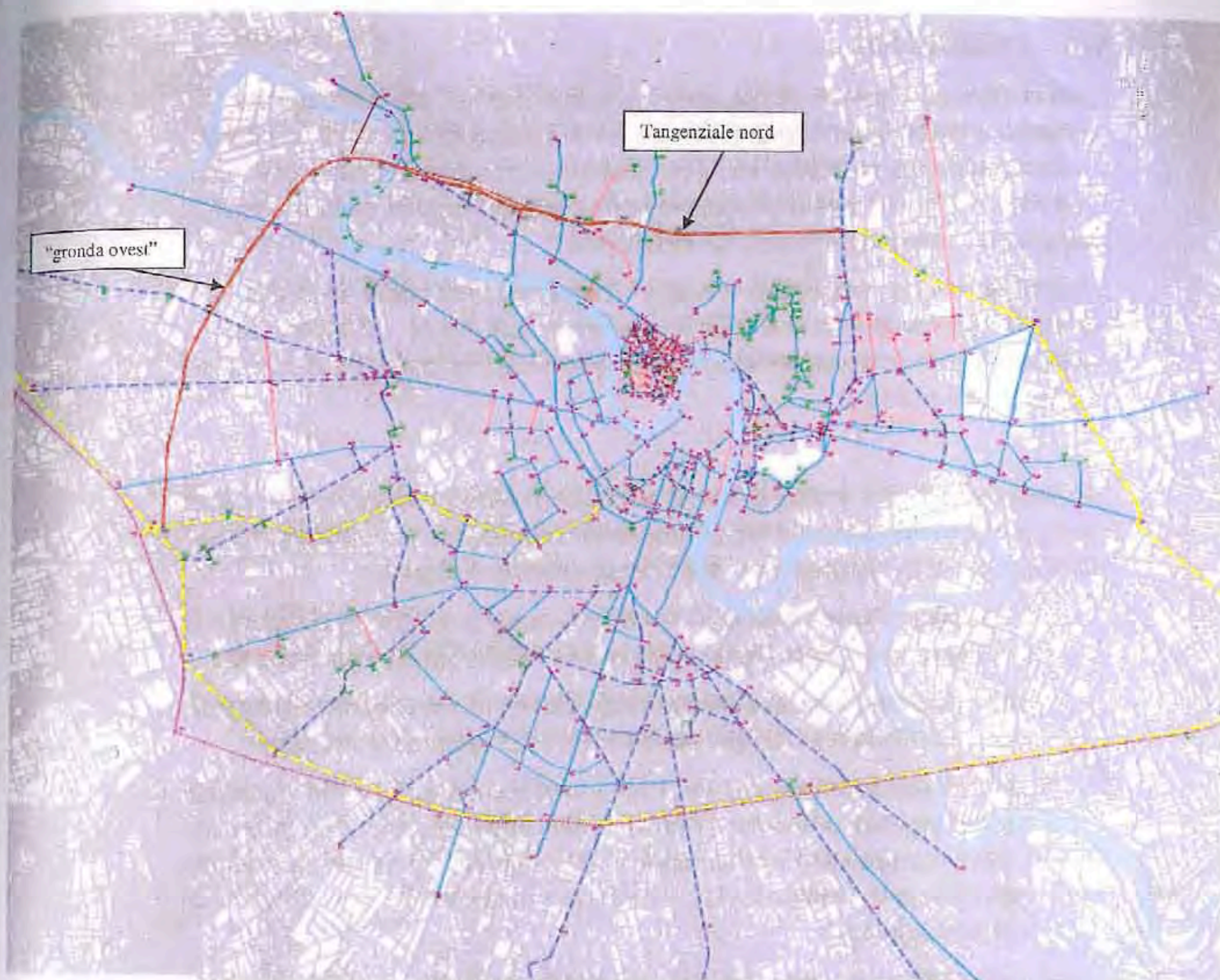


Figura 3 Grafo della rete stradale – configurazione di progetto – tracciato base



## 5. RISULTATI

Nelle figure seguenti si illustrano i risultati delle analisi trasportistiche effettuate in termini di flussi di traffico e dei conseguenti tassi di saturazione che si registrano sulla rete viaria nella sua configurazione attuale (da Figura 5 a Figura 10) e in quella di progetto che prevede la chiusura dell'anello delle tangenziali urbane (da Figura 11 a Figura 16).

Il confronto è condotto sulle tre soglie temporali esaminate e cioè al 2013 (scenario temporale in cui si può ipotizzare che il nuovo sistema entri in esercizio), e in corrispondenza di due ulteriori *step* temporali di dieci anni, e cioè al 2023 e al 2033.

Relativamente allo scenario di riferimento, le condizioni di saturazione della rete, già problematiche al 2013, si aggravano via via fino a rappresentare, nel 2033, circa l'80% degli archi stradali. In particolare si segnala:

- la bretella Verona Nord – centro, si satura a partire dagli archi in accesso fino ad includere praticamente l'intera infrastruttura nel 2033
- si saturano gli assi di penetrazione urbana, in particolare le direttrici est e nord, tutta l'area sud risultando già iper satura all'anno base
- la tangenziale est, priva del proseguimento e del naturale congiungimento ad ovest permane sotto utilizzata, a meno del primo tratto a partire dall'innesto con la SS11, che svolge operò funzioni di distribuzione urbana più che lo smaltimento dei flussi di attraversamento
- soffre meno la direzione città – periferia in quanto si ricorda che l'ora di punta simulata fa riferimento al mattino, quando prevalgono i flussi attratti dal centro urbano
- la rete urbana centrale si aggrava, saturando i margini di capacità ancora disponibili al 2013, e inducendo dunque percorsi anche di tipo parassita nella ricerca di itinerari alternativi, aumentando indebitamente le percorrenze e la caoticità della mobilità urbana

Nello scenario di progetto:

- a partire dall'entrata in esercizio del nuovo sistema di tangenziali si assiste ad un generale decongestionamento della fascia nord,



sgravata dal traffico di attraversamento di media lunga percorrenza assorbita dal nuovo tunnel delle Torricelle, che viene percorso da un flusso dell'ordine di 3.600 veicoli omogeneizzati ad autovetture nell'ora di punta del mattino nella previsione del 2033.

- Anche la gronda longitudinale occidentale lavora a buoni tassi di saturazione, a partire dal 40% circa all'entrata in esercizio fino a circa il 60% (con una punta isolata fino all'80%) in corrispondenza del 2033;
- Migliora (ovviamente) l'utilizzo della tangenziale est che raggiunge tassi dell'ordine del 60%
- Per quanto riguarda l'impiego del fascio infrastrutturale Autostrada – Complanari, posto a sud della città, si osserva un comportamento competitivo assai limitato a discapito delle gronde nord e ovest
- Si decongestiona la bretella Verona Nord – centro, almeno nella parte di percorso più esterno. In questo caso è evidente il ruolo del nuovo sistema di tangenziali che risulta in grado di diversificare gli accessi – e quindi di smussare i picchi di traffico, particolarmente dannosi in termini di qualità della mobilità<sup>7</sup>. E' interessante in questo caso il confronto tra le due varianti di tracciato che riguardano l'innesto della nuova "gronda ovest". Come si vede dalle figure sottostanti dove si pongono a confronto le due alternative (e dove vengono rappresentati in rosso i carichi aggiuntivi e in verde i decrementi di traffico, in una configurazione rispetto all'altra), risulta decisamente più efficace la configurazione che prevede l'innesto diretto in corrispondenza dello svincolo di Verona Nord rispetto ad una configurazione che prevede lo svincolo invece più all'interno, in corrispondenza di San Massimo: in questo ultimo caso infatti si registrano extra carichi sulla bretella Verona Nord – Centro, nel primo tratto, una minore attrattività del sistema in generale per finire con l'aggravio, seppur modesto della direttrice Est – ovest, nel tratto urbano (ad esempio su via Mameli).

<sup>7</sup> A riprova si consideri che la curva di deflusso che descrive l'andamento dei tempi di percorrenza in funzione delle condizioni di saturazione è rappresentabile mediante una esponenziale, nel tratto vicino a saturazione: in tal caso a piccoli decrementi di traffico corrispondono importanti riduzioni di tempo





Figura 4 Confronto tra le due varianti di tracciato della "gronda ovest"  
[in verde "sgravi" di traffico; in rosso "aggravi" di traffico]



Il nuovo sistema risulta poco efficace rispetto alle penetrazioni dal settore meridionale della città e nei confronti della mobilità nell'area urbana più centrale, a dimostrazione che risultano necessari contestuali interventi a più ampio livello di sistema, che orientino l'utenza sul trasporto pubblico (magari con l'introduzione di un sistema di trasporto di massa efficiente e attrattivo quale potrebbe rappresentare una tranvia) e una limitazione crescente del traffico nelle aree centrali magari con l'introduzione di un road pricing, che pur tuttavia andrebbe approfonditamente testato.

Interessante infine l'analisi dello scenario di tariffazione: l'introduzione di un pedaggio sul sistema delle tangenziali (inclusa la tangenziale sud) corrispondente ad una sensibile – ma non eccezionale – diminuzione dell'attrattività del sistema: il TGM sul tunnel delle Torricelle diminuisce in media del 20 – 25%; i carichi sulla gronda ovest diminuiscono in media del 30%.

I risultati dell'analisi indicano la percorribilità di una procedura di autofinanziamento, almeno parziale, dell'opera.

Tabella 3 Flussi nell'ora di punta sulle nuove infrastrutture viarie nei tre scenari temporali di riferimento - confronto tra la situazione "con" e "senza" tariffa

Anno di previsione	Tangenziale Nord		Gronda Ovest	
	senza tariffa	con tariffa	senza tariffa	con tariffa
2013	3 594	2 777	2 747	1 868
2023	4 097	3 207	3 129	2 130
2033	4 511	3 589	3 444	2 381

Tabella 4 TGM sulle nuove infrastrutture viarie nei tre scenari temporali di riferimento - confronto tra la situazione "Con" e "senza" tariffa

Anno di previsione	Tangenziale Nord		Gronda Ovest	
	senza tariffa	con tariffa	senza tariffa	con tariffa
2013	39 933	30 856	30 522	20 755
2023	45 524	35 638	34 765	23 669
2033	50 121	39 879	38 272	26 459

18,25%  
10,16%

100  
100  
100

1000  
P.3  
REU42



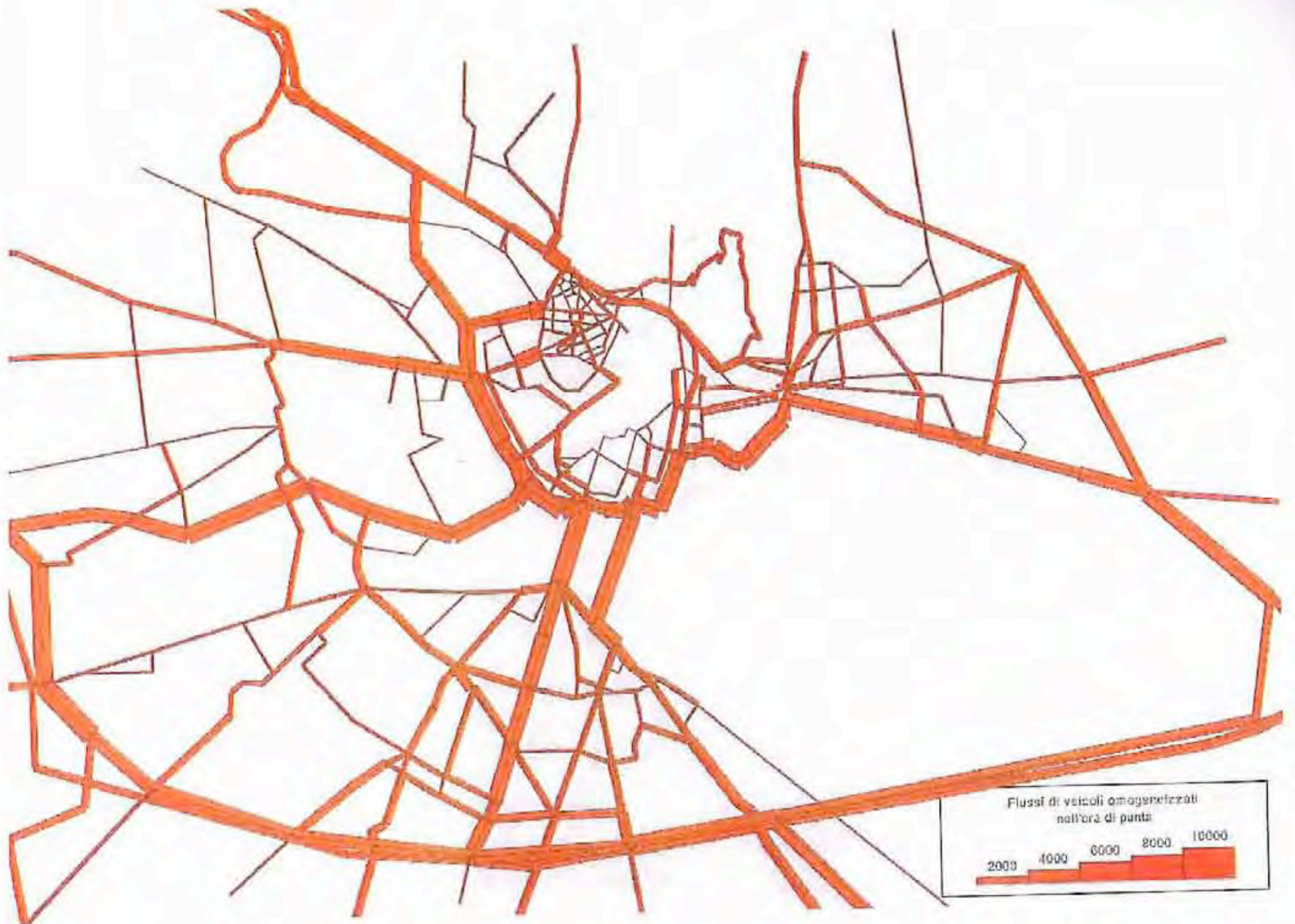


Figura 5 Flussi di traffico simulati nell'ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2013





Figura 6 Flussi di traffico simulati nell'ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2023



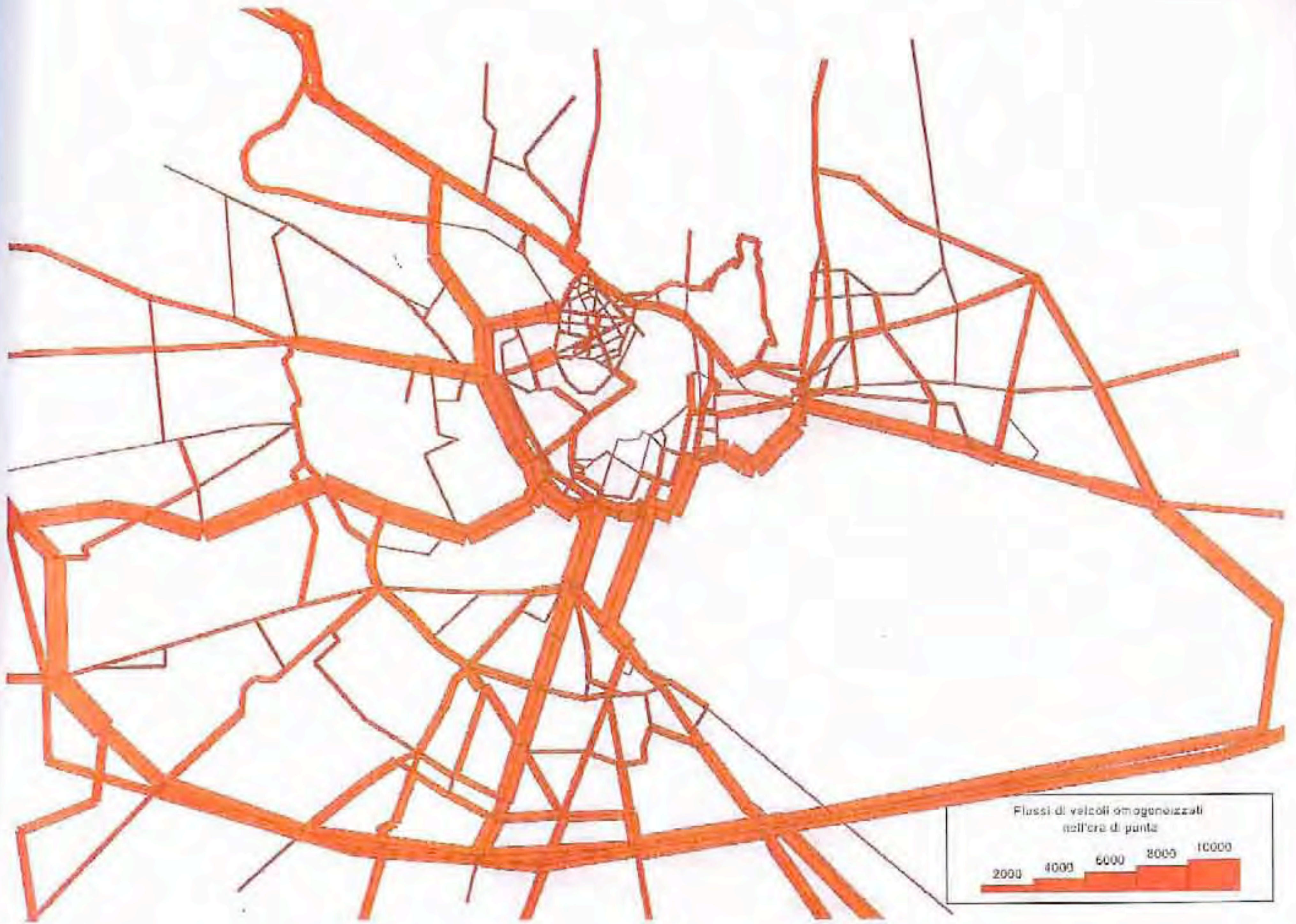


Figura 7 Flussi di traffico simulati nell'ora di punta del mattino – Soluzione di Riferimento – anno 2033





Figura 8 Tassi di saturazione stimati nell'ora di punta del mattino –  
Soluzione di Riferimento – anno 2013





Figura 9 Tassi di saturazione stimati nell'ora di punta del mattino –  
Soluzione di Riferimento – anno 2023





Figura 10 Tassi di saturazione stimati nell'ora di punta del mattino –  
Soluzione di Riferimento – anno 2033



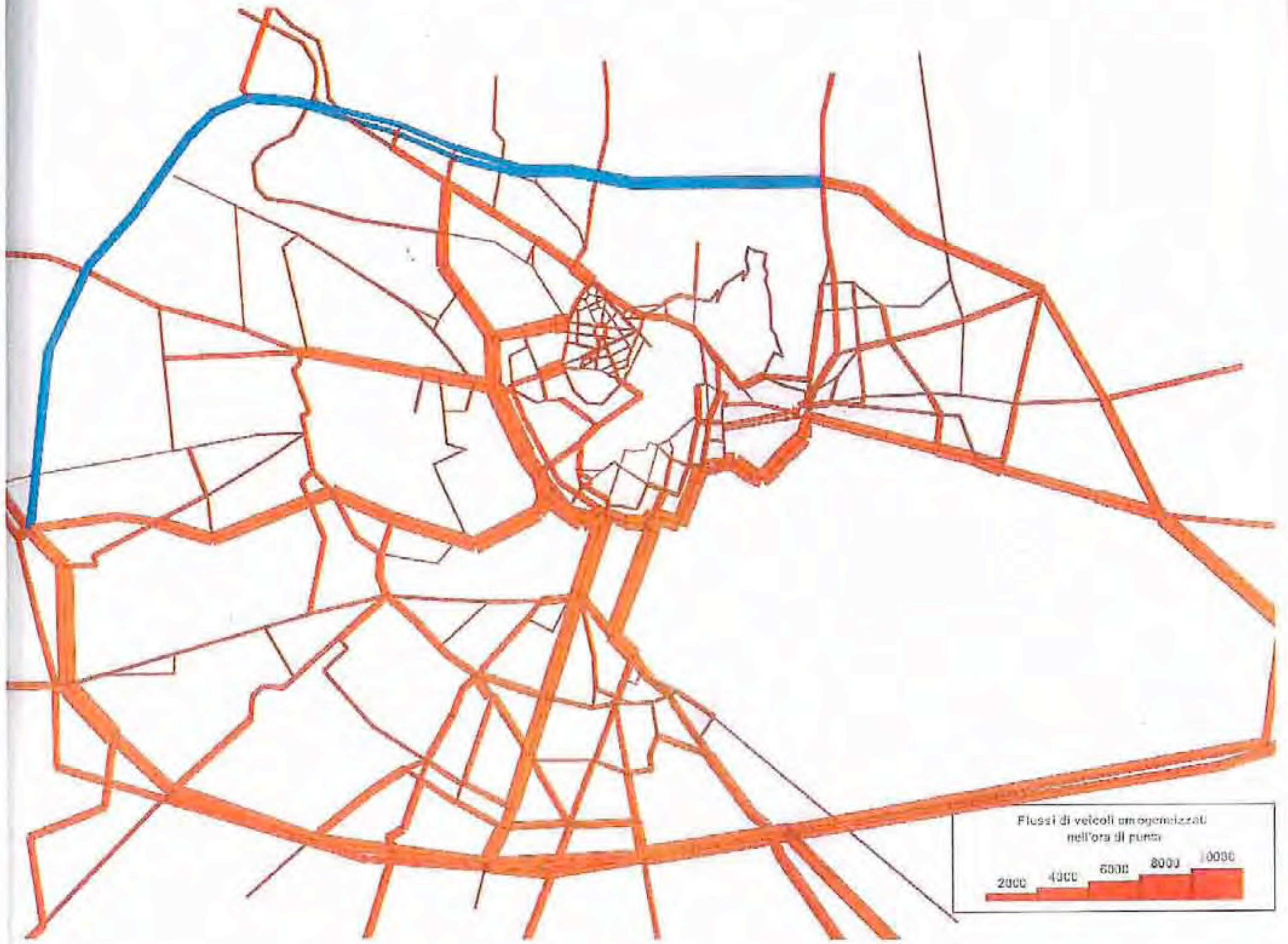


Figura 11 Flussi di traffico simulati nell'ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2013



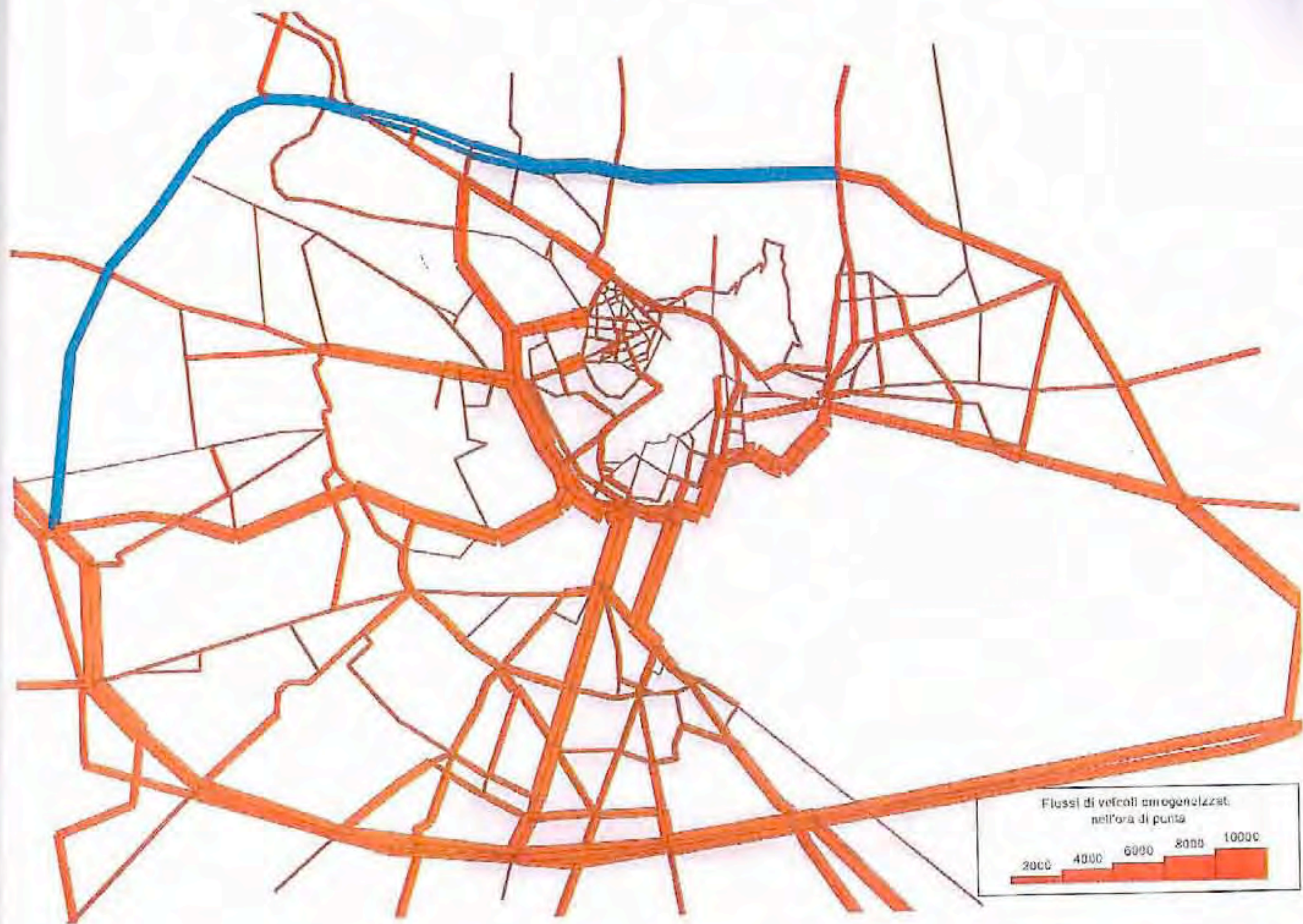


Figura 12 Flussi di traffico simulati nell'ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2023



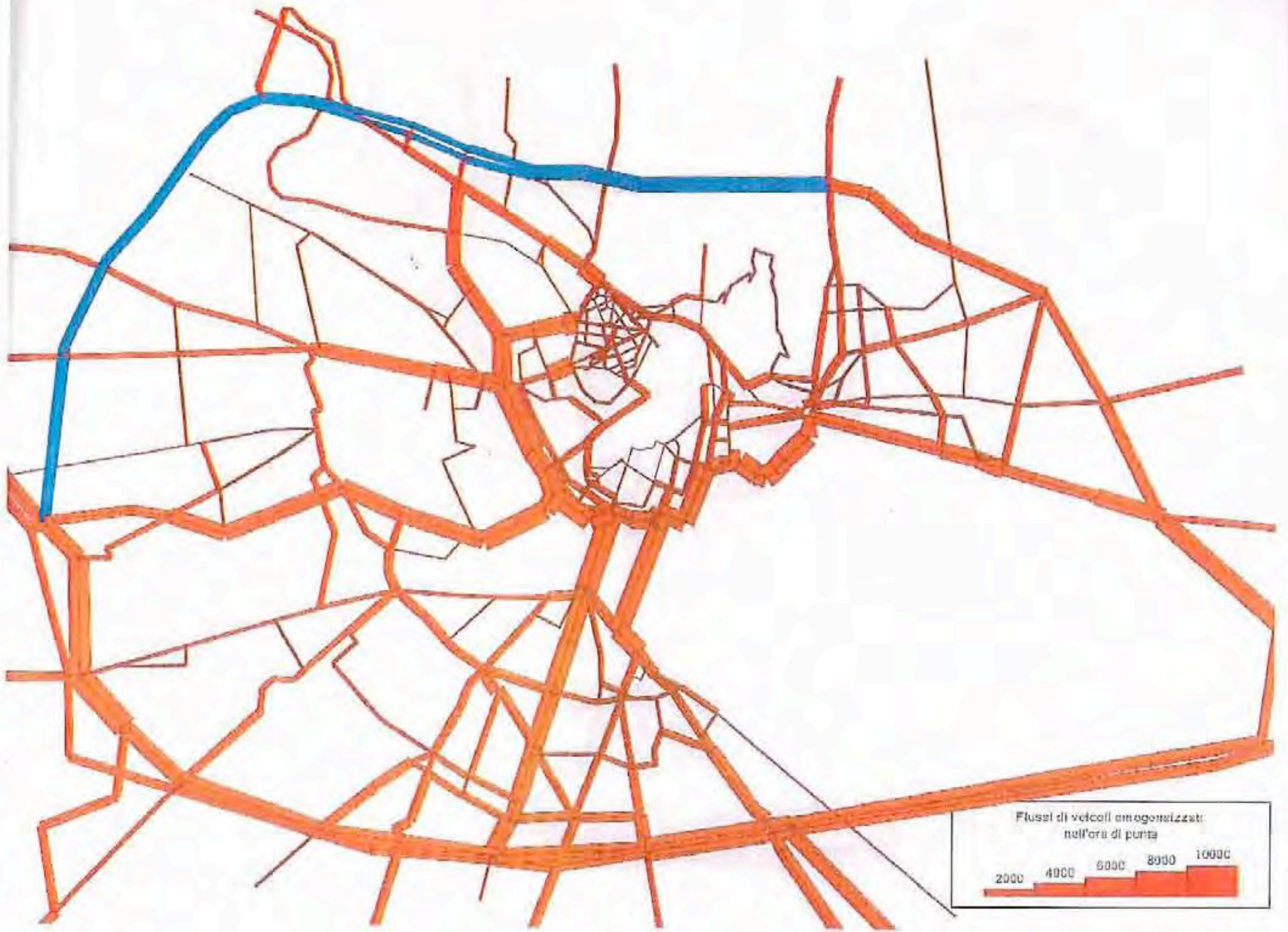


Figura 13 Flussi di traffico simulati nell'ora di punta del mattino – Soluzione di Progetto – anno 2033





Figura 14 Tassi di saturazione stimati nell'ora di punta del mattino –  
Soluzione di Progetto – anno 2013





Figura 15 Tassi di saturazione stimati nell'ora di punta del mattino –  
Soluzione di Progetto – anno 2023





Figura 16 Tassi di saturazione stimati nell'ora di punta del mattino –  
Soluzione di Progetto – anno 2033