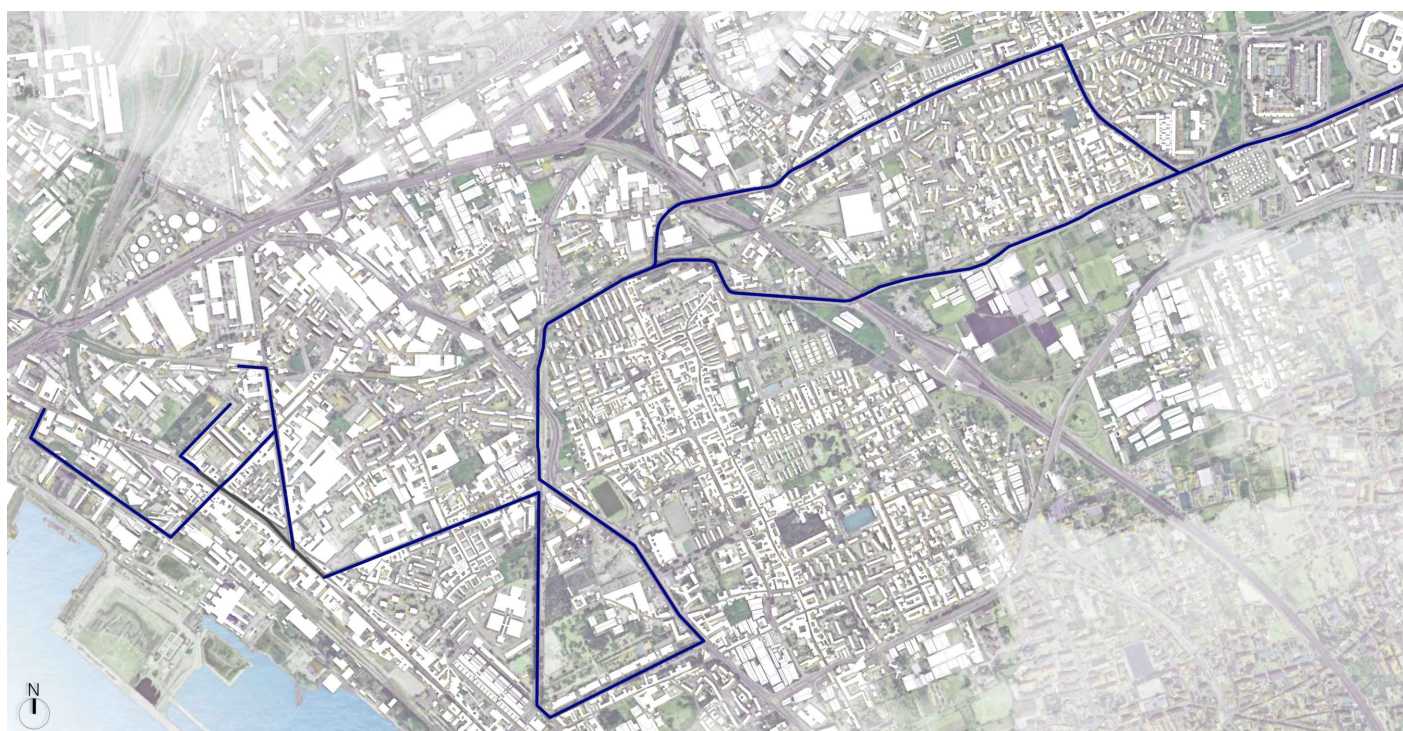


Area Programmazione della Mobilità
Servizio Sviluppo della Mobilità Sostenibile

**ESTENSIONE DELLA RETE CICLABILE CITTADINA:
AMBITO ORIENTALE**



Progettista



Interprogetti Srl
dott. ing. Giampiero Martuscelli
www.interprogettisrl.com
@: info@interprogettisrl.com

Napoli
Via Benedetto Brin, 63 - 80142
tel +39 081 5757989 pbx
fax +39 081 5750528

Torino
corso Svizzera, 185 - 10149
tel +39 011 7410602 pbx
fax +39 011 043305

Milano
viale Achille Papa, 30 - 20149
tel +39 02 45440304 pbx

Livello progettazione

PFTE

Disciplina

GENERALI

Titolo elaborato

Relazione Trasportistica

Codice elaborato

PF EG 03

Nome file

rev.	descrizione	scala	data	formato	elaborato da	controllato da	approvato da
0	EMISSIONE	-	08/03/2023	A4	ING. T. FESTA	ING. F. TRAPANESE	ING. G. MARTUSCELLI
1							
2							
3							

INDICE

PREMESSA	2
1 INQUADRAMENTO DEL SITO NEL SISTEMA DEI TRASPORTI DELL'AREA	4
1.1 Localizzazione e descrizione dell'area.....	4
1.2 Sistema infrastrutturale.....	4
1.3 Sistema delle centralità e dei servizi.....	5
2 ANALISI E VALUTAZIONI TRASPORTISTICHE	7
2.1 Le condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario attuale.....	7
2.2 Le condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario di progetto	8
3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	10
4 CONCLUSIONI	14
A1.1. IL MODELLO DI OFFERTA DI TRASPORTO	17
A1.1.1. Delimitazione dell'area di studio e zonizzazione	18
A1.1.2. Schematizzazione dell'offerta stradale	19
A1.1.3. Definizione di velocità e capacità di un arco.....	21
A1.1.4. Le curve di deflusso.....	23
A1.2. LA STIMA DELLA DOMANDA	26
A1.2.1. Controllo della matrice O/D attuale mediante i flussi rilevati	26
A1.3. IL MODELLO DI ASSEGNAZIONE	30
A1.3.1. Caratteristiche generali del software T.Model	30
A1.3.2. Implementazione del modello di offerta stradale su TModel	36
A1.3.3. Verifica del modello di offerta mediante T.Road	37

PREMESSA

Il presente studio trasportistico illustra le analisi ed i risultati condotti circa gli effetti sulla congestione del traffico a seguito alla realizzazione della rete di piste ciclabili nell'area orientale della città di Napoli.

La mobilità delle persone e delle merci è il risultato di un complesso fenomeno di interazione economica e sociale tra il sistema delle attività residenziali, economiche e produttive, distribuite sul territorio ed il sistema dei trasporti. Essa rappresenta un volano di sviluppo socio-economico sia a scala globale che locale.

Migliorare e garantire l'accessibilità a luoghi e servizi migliora la **qualità** della vita nella città.

Il concetto di qualità della vita serve a misurare il benessere della popolazione nelle sue svariate dimensioni. Secondo lo studio dell'OCSE "How's Life in Your Region? Measuring Regional and Local Well-being for Policy Making", pubblicato nel 2014, il benessere, infatti, dipende sia da alcune condizioni di vita materiali che dalla percezione individuale della qualità di vita. Tra le condizioni materiali rientrano *reddito e lavoro* e la *situazione abitativa*. Le condizioni non materiali della qualità di vita, invece, comprendono la *salute*, la *formazione*, la *qualità dell'ambiente*, la *sicurezza personale*, l'*impegno civico*, la *conciliabilità tra lavoro e vita privata*, l'*infrastruttura e servizi*, la **mobilità** e la *cultura e tempo libero*.

La **mobilità ciclabile** in Italia sta vivendo un rinnovato interesse ed una rinnovata attenzione sia della politica europea che di quella italiana. Accanto a forme di finanziamento non trascurabili, si sta ormai consolidando il principio che la bicicletta possa essere, come lo è in molte nazioni estere, una modalità di trasporto per spostamenti sistematici e per spostamenti per motivi che non siano solamente lo svago e/o la passeggiata estemporanea.

La realizzazione di piste ciclabili, inoltre, si inserisce nella prospettiva della sostenibilità ambientale, nell'ambito della quale sempre più amministrazioni stanno orientando le politiche della mobilità e dei trasporti.

Si vuole dare avvio ad un processo complesso di pianificazione della mobilità e dei trasporti, in grado di elaborare soluzioni innovative e sostenibili dal punto di vista finanziario, sociale ed ambientale, utili a migliorare la qualità della vita.

L'intervento, oggetto dello studio trasportistico, prevede la progettazione di infrastrutture ciclabili a servizio di una porzione di territorio compreso all'interno della Municipalità VI di Napoli.

Lo scopo dell'opera è quello di implementare la rete ciclabile cittadina, garantendo un collegamento ciclabile con i principali attrattori della suddetta Municipalità.

La nuova infrastruttura ciclabile oltre a saldarsi alla rete esistente di via Marina, si estende in direzione Ospedale del Mare collegandosi al percorso previsto dalla BREST.

La proposta progettuale prevede, in alcuni casi:

- la realizzazione della pista ciclabile sull'attuale sede stradale, con una variazione, quindi, dello spazio stradale disponibile e di conseguenza della capacità;
- la limitazione della velocità mediante l'istituzione di zone 30.

Tali riduzioni andranno ad influenzare il livello di congestione del traffico.

L'impatto dell'intervento sul sistema stradale è stato valutato mediante il raffronto dei seguenti indicatori di prestazione trasportistici:

- l'Indice di Congestione IC;
- il tempo speso su rete T;
- i chilometri percorsi su rete L;
- la velocità media su rete $V_{\text{media su rete}}$,

calcolati nell'ora di punta mattutina relativamente all'area oggetto di realizzazione della rete di piste ciclabili.

Il documento che si presenta illustra i risultati dello studio e delle attività condotte ed è composto da 4 capitoli e un'appendice.

Nel primo capitolo viene descritta l'area di studio, l'accessibilità della stessa e le principali centralità a servizio dell'area.

Nel secondo capitolo sono descritte le elaborazioni e le analisi trasportistiche condotte per la valutazione dello scenario attuale e di progetto.

Nel terzo capitolo vengono illustrati i parametri trasportistici utilizzati per il raffronto tra gli scenari.

Nel quarto capitolo sono riportate le conclusioni.

Nell'appendice verranno esposte le metodologie e i modelli matematici utilizzati a supporto dello studio trasportistico.

1 INQUADRAMENTO DEL SITO NEL SISTEMA DEI TRASPORTI DELL'AREA

1.1 Localizzazione e descrizione dell'area

La Municipalità VI è uno dei 10 municipi in cui è suddiviso il comune di Napoli.

Confina con i comuni di Casoria (frazione Arpino), Cercola, Portici, San Giorgio a Cremano, San Sebastiano al Vesuvio e Volla.

Il territorio della municipalità è costituito da tre quartieri: Barra, San Giovanni a Teduccio e Ponticelli. Esso si estende su una superficie di 19,28 km², con una popolazione complessiva di 112.765 abitanti (2011 – ISTAT) e con densità abitativa di 5.848,81 ab/km².

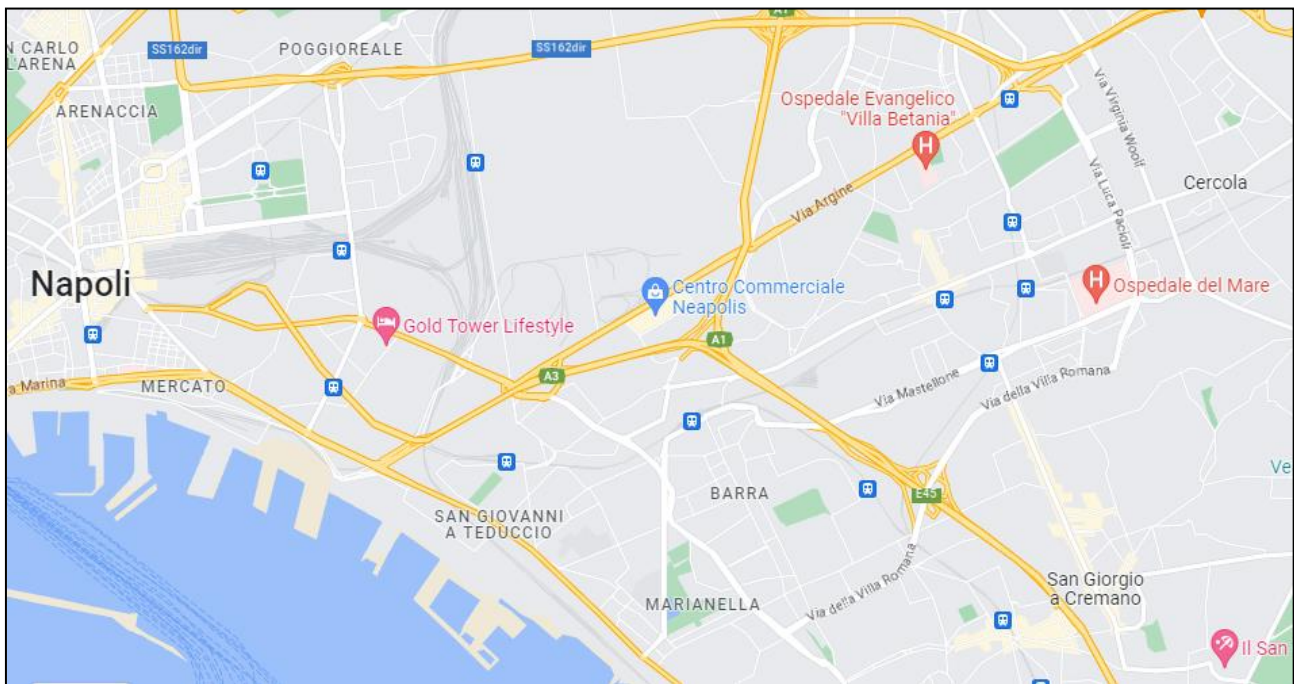


Figura Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1 – Inquadramento territoriale dell'area oggetto di intervento

I quartieri stanno vivendo un progressivo recupero urbanistico e dei trasporti pubblici, resi possibili, in particolare, dalla realizzazione dell'Ospedale del Mare, del polo didattico dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e dalla presenza dalle varie stazioni della linea circumvesuviana e della stazione metropolitana della Linea 2 di Napoli "San Giovanni-Barra".

1.2 Sistema infrastrutturale

Il sistema infrastrutturale rappresenta lo scheletro sul quale si vanno ad articolare le molteplici funzioni, usi ed attività di una città.

TRASPORTO SU GOMMA

L'area orientale di Napoli è attraversata dall'Autostrada A3.

Nel quartiere Ponticelli, su Via Argine, c'è l'uscita Ponticelli-Barra della SS162 dir, nella quale si entra uscendo allo svincolo Corso Malta della Tangenziale di Napoli.

Ponticelli è raggiungibile, inoltre, tramite l'uscita Napoli Centro Direzionale (direzione Cercola) dell'Autostrada A1 al km 758.

Il collegamento tra i quartieri è garantito dai grandi assi viari che costituiscono la viabilità primaria: via Argine, via Volpicella, via della Villa Romana, viale 2 Giugno, via delle Repubbliche Marinare, oltre che dal fitto sistema di strade secondarie che disegnano la maglia della città.



Il corso San Giovanni a Teduccio rappresenta il principale asse di collegamento con l'area centrale di Napoli.

TRASPORTO SU FERRO

Il sistema del ferro a servizio della Municipalità VI è rappresentato sostanzialmente dalle fermate ferroviarie delle linee della Circumvesuviana. Un ruolo fondamentale è rivestito anche dalla Linea 2 della metropolitana di Napoli con la stazione di Napoli San Giovanni-Barra.

1.3 Sistema delle centralità e dei servizi

All'interno dell'area orientale di Napoli ricadono attrattori e servizi importanti per il cittadino sia a livello locale che sovralocale.

La realizzazione della rete ciclabile terrà conto di tali presenze facendo sì che queste ultime vengano intercettate, contribuendo all'aumento della loro accessibilità.

Il percorso ciclabile progettato va ad intercettare i principali poli attrattori della sesta Municipalità di Napoli, quali:

- il nuovo polo dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e l'adiacente Apple Academy;
- le Officine San Carlo;
- l'Ospedale del Mare;
- il Liceo Statale Don L. Milani e l'Istituto Alberghiero L. Cavalcanti;
- il Parco di Vigliena;
- il Parco Teodosio;
- il Parco Massimo Troisi;
- il Presidio Medico Sanitario Napoli EST;
- l'Istituto Superiore R. Livatino.

Inoltre, la presenza di fermate ferroviarie lungo l'itinerario ciclabile dà l'opportunità alla costituzione di scambi intermodali, così da rendere possibile l'interazione tra il sistema delle infrastrutture "tradizionale" e la nuova mobilità "lenta". In questo modo il nuovo sistema di trasporto non costituirà solamente un passa tempo ma potrà ambire ad essere considerato una vera e propria alternativa di trasporto, favorendo il trasporto collettivo e la sostenibilità sociale, economica ed ambientale. È evidente che una visione così ampia, deve tener conto del fatto che i mezzi di trasporto pubblico e le stazioni debbano adeguarsi al trasporto intermodale.

Dunque la realizzazione dell'opera ha un ruolo fondamentale nell'aumento dell'accessibilità attiva e passiva dell'intera area.

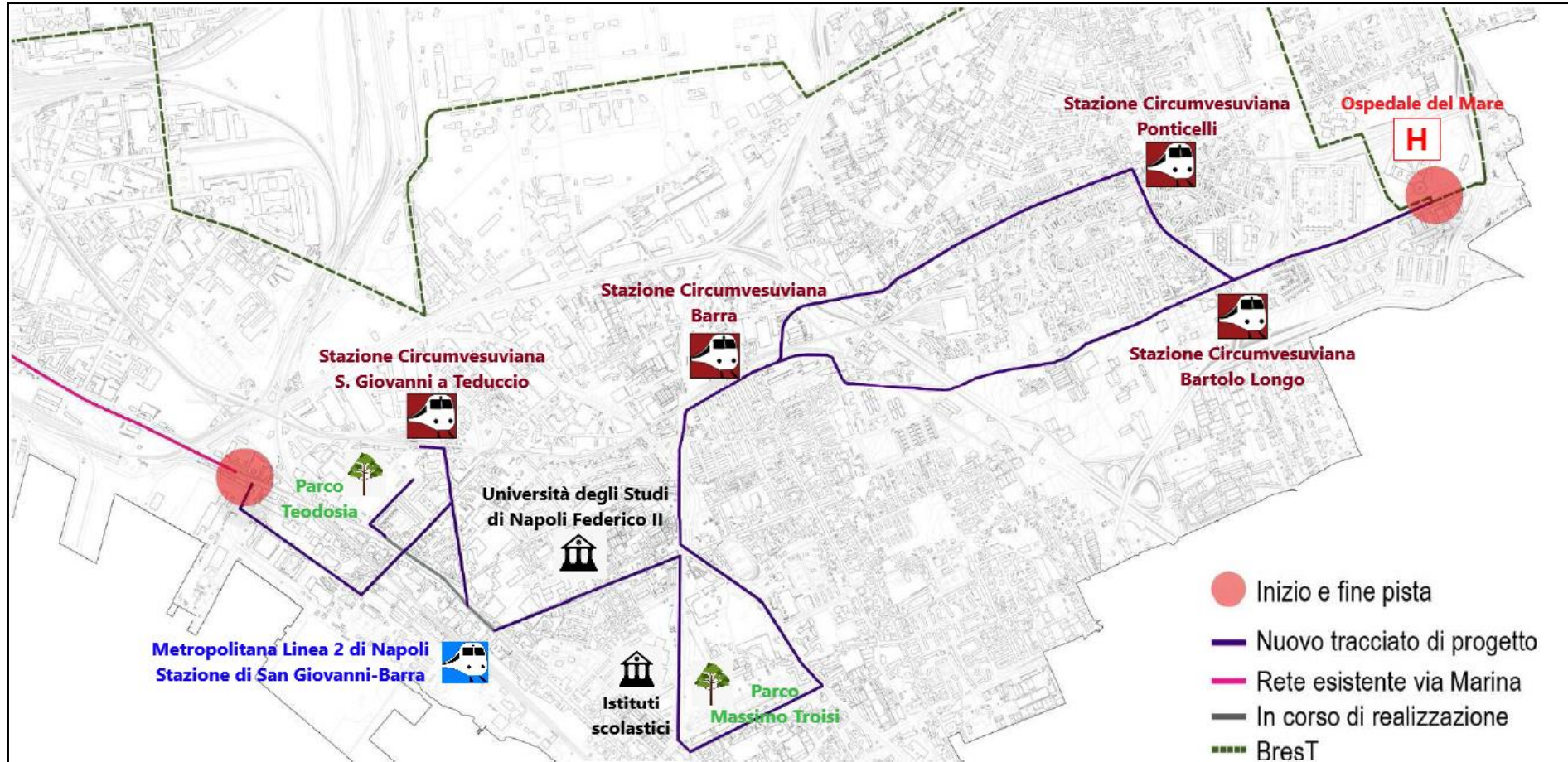


Figura 1.2 – Principali attrattori e nodi di scambio intermodale lungo l'itinerario ciclabile

2 ANALISI E VALUTAZIONI TRASPORTISTICHE

In questo capitolo sono illustrate le metodologie adoperate per l'analisi e le valutazioni trasportistiche connesse alla realizzazione dell'opera.

La rete ciclabile andrà a modificare l'offerta di trasporto dell'area e quindi ad avere effetti, in termini di congestione e tempi di attesa, sul sistema stradale dell'area.

Al fine di valutare l'impatto trasportistico dell'opera, è stata richiesta alla scrivente, esperta nel settore, uno studio trasportistico che consenta di analizzare e valutare il funzionamento del sistema stradale locale e di area vasta.

La metodologia utilizzata prevede l'utilizzo di un sofisticato sistema di modelli matematici di simulazione di traffico che consentono di schematizzare il sistema stradale dell'area e mediante una procedura matematica di caricare gli spostamenti alla rete stradale al fine di ottenere la distribuzione dei flussi di traffico sugli archi schematizzanti la rete stradale e, quindi, i relativi impatti in termini di congestione, sia nella situazione attuale che in quella con la realizzazione della rete ciclabile (scenario di progetto).

Naturalmente per poter schematizzare il sistema stradale dell'area è necessario definire l'area di intervento e l'area di studio, ovvero l'area nella quale si ritiene possano esaurirsi gli effetti degli interventi progettati.

La procedura per la costruzione e implementazione del modello è riportata in Appendice, nel seguito si riportano i principali risultati.

Le simulazioni si riferiscono allo stato del sistema nell'ora di punta della mattina di un giorno ferialo, quando si ha il massimo carico dovuto alle varie attività presenti in città e rispetto al quale, a vantaggio di sicurezza, saranno condotte le analisi.

2.1 Le condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario attuale

Il funzionamento attuale della rete stradale a servizio dell'area di intervento si evince dall'analisi della distribuzione dei flussi veicolari su ogni arco stradale ottenuti applicando il modello matematico di simulazione del traffico veicolare e dei relativi livelli di congestione, ovvero del rapporto tra il flusso che percorre l'arco e la capacità di quest'ultimo.

Nelle seguenti figure è rappresentata la distribuzione dei flussi (spessori degli archi) e il livello di congestione (colori degli archi) delle strade nello scenario attuale.



Figura 2.1 – Distribuzione dei flussi e grado di congestione delle strade. Scenario attuale. Ora di punta della mattina feriale.

2.2 Le condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario di progetto

Nel prosieguo si illustrerà il funzionamento del sistema stradale previsto nello scenario di progetto che prevede:

- dal punto di vista della domanda, a vantaggio di sicurezza, nessuna variazione;
- dal punto di vista dell'offerta, una variazione della capacità e della velocità massima di percorrenza degli archi laddove è prevista l'istituzione di una zona 30.

Le strade interessate dall'intervento sono le seguenti:

- Via Marina dei Gigli;
- Stradone Vigliena;
- Via Vigliena;
- Strada Comunale Ottaviano;
- Via Ferrante Imparato;
- Via Murelle;
- Vico I Pezzigno;
- Via Pezzigno;
- Corso Nicolangelo Protopisani;
- Viale Due Giugno;
- Strada Comunale Taverna del Ferro;
- Via Domenico Atripaldi;
- Via delle Repubbliche Marinare;
- Via Chiaromonte;
- Via Mastellone;
- Viale delle Metamorfosi;
- Via Ponte Cavalcavia Ponticelli;
- Via Volpicella;
- Via Bartolo Longo.

Nelle seguenti figure è rappresentata la distribuzione dei flussi (spessori degli archi) e il livello di congestione (colori degli archi) delle strade nello scenario futuro.



Figura 2.2 – Distribuzione dei flussi e grado di congestione delle strade. Scenario futuro, ora di punta della mattina feriale.

3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Lo scenario di progetto è stato sottoposto a verifica modificando l'offerta di trasporto attuale, di cui al paragrafo precedente.

Come già anticipato lo scenario di progetto è stato confrontato con la situazione attuale. Tale analisi ha richiesto, dunque, l'aggiornamento del grafo stradale, ed in particolare dei valori di capacità degli archi stradali e della velocità massima di percorrenza degli archi.

La valutazione degli impatti è stata effettuata confrontando i seguenti indicatori di prestazione:

- **Indice di congestione;**
- **Tempo speso su rete;**
- **Chilometri percorsi su rete;**
- **Velocità media su rete.**

L'indice di congestione è inteso come indicatore medio pesato sui flussi, ed è calcolato con la seguente formula:

$$IC = \frac{\sum F_i \times IC_i}{\sum F_i}$$

dove:

IC è l'indice di congestione medio;

F_i è il flusso veicolare sul generico arco I;

IC_i è l'indice di congestione del generico arco I.

L'indice di congestione è stato calcolato sulle strade oggetto di intervento ritenute trasportisticamente rilevanti, per ogni senso di marcia.

È stato calcolato poi ΔIC → differenza tra l'indice di congestione per lo scenario di progetto e l'indice di congestione per lo scenario di riferimento per ogni senso di marcia.

Tabella 3.1 - Indice di congestione

		IC	Δ IC
Scenario attuale	Via Marina dei Gigli, direzione nord	0,030	-
	Via Marina dei Gigli, direzione sud	0,012	-
Scenario di progetto	Via Marina dei Gigli, direzione nord	0,024	-0,006
	Via Marina dei Gigli, direzione sud	0,008	-0,004
Scenario attuale	Stradone Vigliena, direzione est	0,013	-
	Stradone Vigliena, direzione ovest	0,033	-
Scenario di progetto	Stradone Vigliena, direzione est	0,014	+0,001
	Stradone Vigliena, direzione ovest	0,037	+0,004
Scenario attuale	Strada Comunale Ottaviano	0,362	-
Scenario di progetto	Strada Comunale Ottaviano	0,350	-0,012
Scenario attuale	Via Ferrante Imparato, direzione nord	0,500	-
	Via Ferrante Imparato, direzione sud	0,279	-
Scenario di progetto	Via Ferrante Imparato, direzione nord	0,504	+0,004
	Via Ferrante Imparato, direzione sud	0,293	+0,014
Scenario attuale	Corso Nicolangelo Protopisani, direzione nord-est	0,693	-
	Corso Nicolangelo Protopisani, direzione sud-ovest	0,851	-
Scenario di progetto	Corso Nicolangelo Protopisani, direzione nord-est	0,679	-0,014
	Corso Nicolangelo Protopisani, direzione sud-ovest	0,820	-0,031

Scenario attuale	Viale 2 Giugno, direzione nord	0,569	-
	Viale 2 Giugno, direzione sud	0,753	-
Scenario di progetto	Viale 2 Giugno, direzione nord	0,565	-0,004
	Viale 2 Giugno, direzione sud	0,753	-
Scenario attuale	Strada Comunale Taverna del Ferro, direzione est	0,920	-
	Strada Comunale Taverna del Ferro, direzione ovest	0,478	-
Scenario di progetto	Strada Comunale Taverna del Ferro, direzione est	0,932	+0,012
	Strada Comunale Taverna del Ferro, direzione ovest	0,495	+0,017
Scenario attuale	Via Domenico Atripaldi, direzione nord	0,801	-
	Via Domenico Atripaldi, direzione sud	0,734	-
Scenario di progetto	Via Domenico Atripaldi, direzione nord	0,800	+0,001
	Via Domenico Atripaldi, direzione sud	0,736	+0,002
Scenario attuale	Via delle Repubbliche Marinare, direzione nord-ovest	0,696	-
	Via delle Repubbliche Marinare, direzione sud-est	0,216	-
Scenario di progetto	Via delle Repubbliche Marinare, direzione nord-ovest	0,694	-0,002
	Via delle Repubbliche Marinare, direzione sud-est	0,225	+0,009
Scenario attuale	Via Chiaromonte, direzione est	0,348	-
	Via Chiaromonte, direzione ovest	0,396	-
Scenario di progetto	Via Chiaromonte, direzione est	0,375	+0,027
	Via Chiaromonte, direzione ovest	0,441	+0,045
Scenario attuale	Via Mastellone, direzione est	0,208	-
	Via Mastellone, direzione ovest	0,220	-
Scenario di progetto	Via Mastellone, direzione est	0,209	+0,001
	Via Mastellone, direzione ovest	0,224	+0,004
Scenario attuale	Viale delle Metamorfofi, direzione est	0,417	-
	Viale delle Metamorfofi, direzione ovest	0,705	-
Scenario di progetto	Viale delle Metamorfofi, direzione est	0,203	-0,214
	Viale delle Metamorfofi, direzione ovest	0,647	-0,058
Scenario attuale	Via Ponte Cavalcavia Ponticelli, direzione nord	0,704	-
	Via Ponte Cavalcavia Ponticelli, direzione sud	0,299	-
Scenario di progetto	Via Ponte Cavalcavia Ponticelli, direzione nord	0,716	+0,012
	Via Ponte Cavalcavia Ponticelli, direzione sud	0,325	+0,026
Scenario attuale	Via Volpicella, direzione est	0,569	-
	Via Volpicella, direzione ovest	0,688	-
Scenario di progetto	Via Volpicella, direzione est	0,532	-0,037
	Via Volpicella, direzione ovest	0,667	-0,021
Scenario attuale	Via Bartolo Longo, direzione nord	0,200	-
	Via Bartolo Longo, direzione sud	0,555	-
Scenario di progetto	Via Bartolo Longo, direzione nord	0,220	+0,020
	Via Bartolo Longo, direzione sud	0,665	+0,110

A seguito dell'intervento, si osserva, per la maggior parte dei tratti interessati dalla realizzazione dell'opera, un lieve aumento dell'indice di congestione, che presenta il suo valore ΔIC massimo su via Bartolo Longo, sulla corsia in direzione sud, con un aumento dell'IC di 0,110.

Tuttavia, su alcuni tratti, si ha una lieve diminuzione dell'Indice di congestione. Tale effetto è dovuto al fatto che la capacità viene calcolata considerando la larghezza utile della strada la quale tiene conto dell'eventuale sosta non regolamentata. Con la presenza della pista ciclabile, tale fenomeno sarà eliminato per evidenti motivi di spazio, avendo dunque un incremento della larghezza utile e di conseguenza della capacità.

Il valore massimo ΔIC negativo si ha su viale delle Metamorfosi, per la corsia in direzione est. Dalle simulazioni si evince che, a seguito dell'istituzione della zona 30 in questo tratto, i veicoli preferiscano percorrere via della Villa Romana.

Il tempo speso su rete è calcolato con la seguente formula:

$$T = \sum_i T_i$$

dove:

$$T_i = f_i \times t_i$$

f_i = flusso sull'arco i-esimo

t_i = tempo di percorrenza dell'arco i-esimo

I chilometri percorsi su rete sono calcolati con la seguente formula:

$$L = \sum_i L_i$$

dove:

$$L_i = f_i \times l_i$$

f_i = flusso sull'arco i-esimo

l_i = lunghezza dell'arco i-esimo

La velocità media di percorrenza della rete è calcolata come:

$$V_m = \frac{L}{T}$$

Il tempo speso su rete, i chilometri percorsi su rete e la velocità media di percorrenza della rete sono stati calcolati sulla rete stradale dei quartieri Barra, San Giovanni a Teduccio e Ponticelli.

Sono stati poi calcolati:

ΔT → differenza tra il tempo speso su rete dello scenario di progetto e quello attuale;

ΔL → differenza tra i chilometri percorsi su rete dello scenario di progetto e quello attuale;

ΔV → differenza tra la velocità media di percorrenza della rete dello scenario di progetto e quello attuale.

Tabella 3.2 – Indicatori d'impatto

	T (h)	L (km)	V (km/h)	ΔT	ΔL	ΔV
Scenario attuale	5.759	49.975	8,7	-	-	-
Scenario di progetto	5.794	49.999	8,6	+35	+24	-0,1

Dall'analisi delle simulazioni emerge che, rispetto allo scenario attuale, nello scenario di progetto, si verificano:

- un aumento del tempo totale speso su rete, di circa 35 ore;
- un aumento dei chilometri percorsi su rete, pari a circa 24 chilometri;
- una diminuzione della velocità media di percorrenza della rete, di 0,1 km/h.

Tali valori, tuttavia, risultano contenuti, a dimostrazione del fatto che il sistema dei trasporti a servizio dell'area resta sostanzialmente inalterato e che la capacità stradale disponibile assorbe allo stesso modo dello scenario attuale la domanda di trasporto.

4 CONCLUSIONI

Lo studio trasportistico condotto sull'intera rete stradale cittadina, con particolare riferimento alla porzione direttamente a servizio dell'area di intervento, si riferisce a due scenari: uno attuale e uno di progetto. Esso ha come obiettivo quello di valutare i principali effetti trasportistici che la realizzazione della nuova rete ciclabile produce, in modo da verificarne l'adeguatezza tecnica e fornire elementi di supporto alle scelte e alle decisioni di attuazione.

Lo scenario di progetto prevede, a vantaggio di sicurezza, esclusivamente una variazione dell'offerta di trasporto.

La realizzazione della rete ciclabile comporta una variazione:

- della capacità e di conseguenza dell'indice di congestione sui tratti interessati. Tale variazione è funzione delle caratteristiche della pista ciclabile (in sede propria, su corsia riservata su marciapiede, percorso promiscuo) e dell'eventuale presenza/rimozione della sosta non regolamentata;
- della velocità massima di percorrenza dell'arco stradale.

Bisogna precisare che la capacità degli archi stradali tiene conto della larghezza utile della strada, pertanto tiene conto anche della sosta non regolamentata. Nello scenario di progetto, a vantaggio di sicurezza, si è considerato che venga abolita la sosta non regolamentata solo in corrispondenza dei tratti nei quali questa venga "sostituita" dalla pista ciclabile.

Dal punto di vista trasportistico, dalle simulazioni di traffico effettuate emerge che, allo stato di fatto, per l'ora di punta della mattina, si verificano fenomeni di congestione in particolare su via Nicolangelo Protopisani, strada Comunale Taverna del Ferro e via Domenico Atripaldi: su queste strade l'indice di congestione supera l'80%.

Per lo scenario di progetto, si è visto che la variazione dell'offerta stradale a seguito della realizzazione dell'opera comporta:

- una riduzione della congestione stradale, nel caso in cui venga rimossa la sosta non regolamentata a favore dell'introduzione della pista ciclabile, con un aumento della larghezza utile della strada, quindi della capacità della stessa;
- un aumento della congestione stradale, nel caso in cui l'introduzione della pista ciclabile comporta una riduzione della larghezza utile della strada, quindi della capacità della stessa.

Per quanto concerne i tratti che presentano maggiori criticità nello scenario attuale, a seguito della realizzazione dell'opera, dalle simulazioni emerge che: su corso Nicolangelo Protopisani si riduce l'IC; su strada comunale Taverna del Ferro aumenta l'IC mentre su via Domenico Atripaldi l'IC resta sostanzialmente invariato.

Complessivamente le analisi condotte evidenziano che la realizzazione dell'opera non comporta una riduzione dell'offerta tale da peggiorare in maniera significativa il deflusso veicolare sull'intera rete stradale dell'area ipotizzando la domanda rigida.

È doveroso sottolineare che i risultati dell'analisi trasportistica effettuata sono da assumersi come ordini di grandezza in quanto, la presenza della pista ciclabile richiede delle considerazioni ben più ampie: la configurazione della domanda e dell'offerta possono essere ben diverse da quelle attuali (si pensi all'attivazione degli interventi previsti nel PUMS, all'espansione di ZTL o di APU, ecc), possono ipotizzarsi modifiche ai sensi di marcia o una diversa regolamentazione delle intersezioni finali. Tali considerazioni, pertanto, andranno condotte nell'ambito di strumenti di pianificazione più generali, con strumenti di calcolo più sofisticati e sulla base di una campagna di indagini e rilievi sulla mobilità più articolata.

Le variazioni dei parametri trasportistici considerate sono dovute al fatto che in questo studio trasportistico sono state considerate delle variazioni dell'offerta stradale, lasciando la domanda di spostamenti privata inalterata.

È evidente che a seguito della realizzazione delle piste ciclabili ci potrebbe essere una variazione della domanda su auto, dovuta in particolare alla variazione:

- della scelta modale: con la variazione dell'offerta (realizzazione della pista ciclabile) una certa aliquota della domanda che sceglieva il modo "auto" potrebbe essere catturata dal modo "bici". In particolare questa aliquota potrebbe crescere

soprattutto tenendo conto dell'effetto del fenomeno del bike sharing, ricordando che lo stato di progetto prevede la realizzazione delle piste ciclabili in prossimità delle stazioni delle linee della Circumvesuviana e della Metropolitana Linea 2 di Napoli;

- della scelta del percorso: con la riduzione della capacità e/o della velocità massima di percorrenza dei tratti stradali precedentemente illustrati, gli utenti potrebbero indirizzarsi verso altri percorsi.

Tali considerazioni, pertanto, andranno condotte nell'ambito di strumenti di pianificazione più generali, con strumenti di calcolo più sofisticati e sulla base di una campagna di indagini e rilievi sulla mobilità più articolata.

APPENDICE

Il modello matematico di simulazione e previsione dei flussi di traffico

Introduzione

In generale la simulazione del funzionamento di un sistema di trasporto avviene mediante l'utilizzo di modelli matematici in grado di rappresentare l'offerta di trasporto, stimare la domanda di spostamenti che impegna il sistema nel periodo di riferimento e simulare l'interazione tra la domanda di spostamenti e l'offerta di trasporto producendo i flussi sugli elementi rappresentativi del sistema (archi della rete) e la prestazione degli stessi e del sistema in termini di congestione, inquinamento, tempi e chilometri percorsi, accessibilità, eccetera.

Nel seguito si descrive il modello utilizzato per le simulazioni del funzionamento del sistema stradale dell'area di studio.

A1.1. IL MODELLO DI OFFERTA DI TRASPORTO

Per la rappresentazione dell'offerta di trasporto, i modelli utilizzano da un lato la teoria dei grafi e delle reti per rappresentare la struttura topologica e funzionale del sistema, dall'altro i risultati di diverse discipline dell'ingegneria dei trasporti per descrivere le prestazioni e le interazioni degli elementi che lo compongono.

Un grafo è in generale un insieme di nodi e di archi orientati che li collegano, mentre si definisce rete un grafo ai cui archi è associata una caratteristica quantitativa. Ciascun arco del grafo, utilizzato per rappresentare il sistema di trasporto, corrisponde ad una fase dello spostamento, nel caso specifico la percorrenza del tronco stradale, ed è caratterizzato da un tempo di trasferimento e/o da altri oneri sopportati dall'utente (es. costo monetario e discomfort).

Per ridurre il costo ad un'unica grandezza scalare, costo generalizzato medio, a seconda dei casi, si può prendere in esame la componente più rilevante per gli utenti, di solito il tempo di trasferimento, oppure si procede all'omogeneizzazione delle diverse componenti in un costo generalizzato utilizzando coefficienti di omogeneizzazione il cui valore può essere stimato con modelli matematici.

In generale nei sistemi di trasporto il costo medio di un arco, o alcune sue componenti, dipende dal flusso di utenti che utilizza l'elemento rappresentato dall'arco stesso e, in alcuni casi, anche dai flussi che impegnano altri elementi del sistema. Per effetto di questo fenomeno, detto *congestione*, il costo medio di trasporto relativo a ciascun arco del grafo è, in generale, funzione sia del flusso che percorre l'arco in esame che di quelli che percorrono altri archi del grafo. La funzione matematica che consente di calcolare il costo medio di trasporto di ciascun arco in corrispondenza di un dato insieme di valori dei flussi di arco prende il nome di *funzione di costo*.

Costruito il modello di offerta, a ciascun arco del grafo, è possibile associare, mediante un modello di previsione dei flussi di traffico, un flusso di arco ovvero il numero medio di veicoli che lo percorrono in un intervallo temporale prefissato, nel caso specifico l'ora di punta.

Il flusso di arco è una grandezza scalare, se le grandezze che lo compongono sono entità non omogenee, per esempio diverse classi di veicoli, i flussi sono omogeneizzati mediante l'impiego di opportuni coefficienti di equivalenza. Se si adotta come categoria di riferimento quella delle autovetture, i flussi di veicoli di altre categorie sono trasformati in flussi di *autovetture equivalenti* con coefficienti di equivalenza maggiori di uno se il contributo alla congestione è maggiore di quello delle auto (autobus, mezzi pesanti, ecc.), minore in caso contrario (moto, biciclette). Nel presente studio si è considerato il flusso in autovetture equivalenti.

Dal punto di vista metodologico, nel caso in esame la costruzione del modello di offerta è avvenuta attraverso una sequenza di fasi riportate di seguito:

- delimitazione dell'area di studio;
- zonizzazione;
- costruzione del grafo stradale;
- individuazione delle funzioni di costo.

A1.1.1. Delimitazione dell'area di studio e zonizzazione

L'area di studio considerata comprende complessivamente Napoli ed i comuni della provincia a ridosso dell'area di intervento: San Giorgio a Cremano, Cercola e Volla.

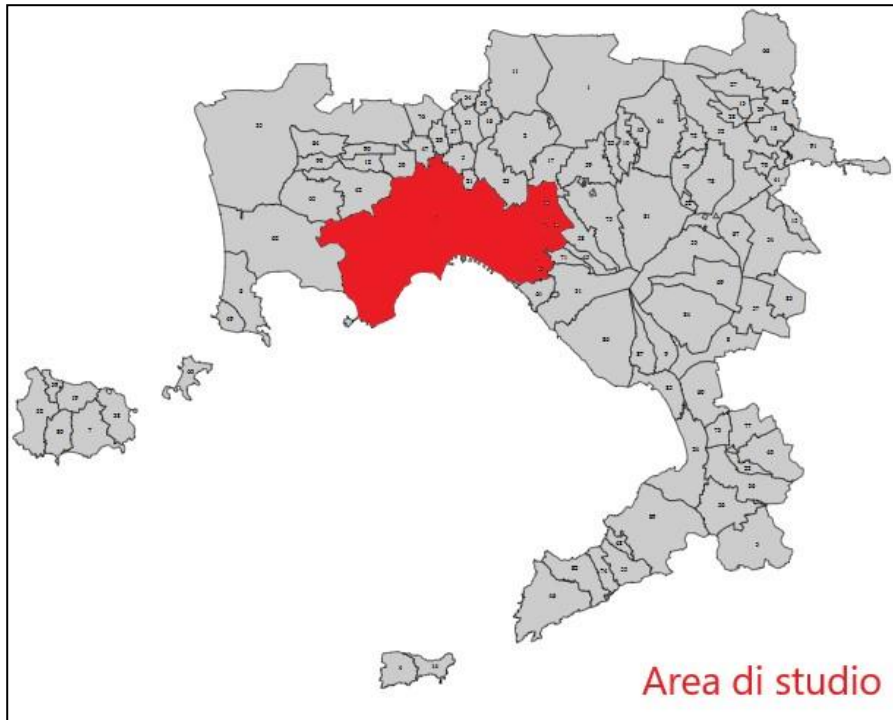


Figura A1.1 – Area di studio

L'area di intervento comprende i quartieri di Ponticelli, Barra e San Giovanni a Teduccio.

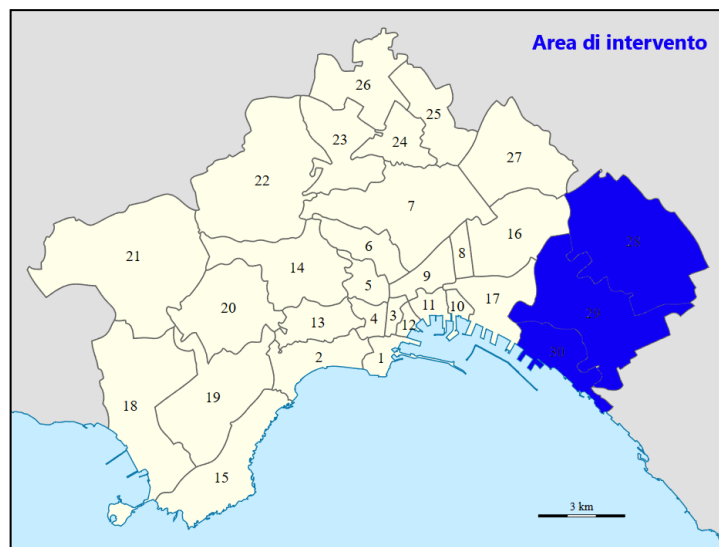


Figura A1.2 – Area di intervento

Per procedere alla modellizzazione del sistema e, quindi, schematizzare gli spostamenti che avvengono tra punti specifici dell'area di studio, si è suddivisa l'area di studio in *zone di traffico* fra le quali avvengono gli spostamenti che interessano il sistema in esame: uno spostamento, infatti, può iniziare e terminare in qualsiasi punto del territorio,

pertanto, si discretizza il territorio suddividendolo in zone (zone di traffico, appunto) tra le quali si concentrano gli spostamenti in atto. Gli spostamenti che interessano la singola zona di traffico, in altre parole, iniziano e terminano all'interno della stessa, e che non sono considerati nell'ambito del modello implementato, sono definiti *intrazonali*, mentre quelli che avvengono tra zone diverse sono definiti *interzonali*.

Poiché l'obiettivo della zonizzazione è quello di approssimare tutti i punti di inizio e fine degli spostamenti interzonali con un unico punto detto *centroide* di zona, il criterio seguito per procedere alla zonizzazione è quello di individuare le porzioni dell'area per le quali tale concentrazione rappresenti un'ipotesi accettabile.

Nel caso specifico, i criteri sono stati:

- coincidenza dei confini delle zone con i confini delle sezioni di censimento ISTAT;
- uniformità (e presumibilmente omogeneità) delle destinazioni d'uso dei suoli di ciascuna zona;
- rispetto di linee di discontinuità del territorio (i rilevati della ferrovia, di assi autostradali, ecc.);
- contenimento delle dimensioni trasversali delle zone edificate al di sotto di distanze che possono essere considerate certamente "pedonali";
- individuazione di zone con un numero di residenti comparabili.

Si sono così ottenute complessivamente 239 zone di traffico così distribuite:

- 43 zone di traffico costituenti i vari comuni appartenenti all'area metropolitana di Napoli ad eccezione di Napoli,
- 192 zone di traffico costituenti il comune di Napoli;
- 4 centroidi al cordone schematizzanti le interrelazioni tra l'area di studio e l'esterno suddividendo, quest'ultimo, in zone origine e/o destinazione di spostamenti che interessano l'area di studio.

Tali zone sono state aggregate in base all'arteria che esse utilizzano per il collegamento con l'area. Si è assunto, per semplicità di schematizzazione, che un insieme di zone che utilizzano la stessa direttrice di collegamento siano rappresentate da un centroide posto al confine dell'area, lungo la direttrice stessa. Per i comuni a sud si è posto un centroide sull'A3 che rappresenta tutti i comuni della provincia di Salerno che utilizzano l'autostrada, ed uno sulla SS18 nel comune di Scafati per gli spostamenti interni, un centroide per i veicoli provenienti dalla costiera sorrentina (la SS145), un centroide per i comuni a Nord che utilizzano la SS 268.

A1.1.2. Schematizzazione dell'offerta stradale

Al fine di rappresentare l'offerta stradale, ovvero l'insieme delle componenti fisiche e organizzative che consentono lo spostamento di persone e mezzi nell'area di studio che, per gli scopi perseguiti dal presente studio, si limita alla offerta di trasporto privato, è stata definita la rete viaria oggetto di studio. Detta rete è costituita da tutte le principali strade a servizio dell'area di studio.

In particolare:

- dalle autostrade A1 e A3 nei tratti rientranti nell'area di studio;
- dalla SS18;
- dalle principali strade urbane ordinarie dei comuni rientranti nell'area di studio.

Sulla base dello schema di rete individuato, si è, quindi, implementato il modello matematico di simulazione dell'offerta stradale mediante la costruzione del grafo, a cui sono state associate le caratteristiche geometriche e funzionali delle strade rilevate attraverso opportune indagini *ad hoc* effettuate sul campo.

Tale grafo è costituito da un insieme di nodi e di archi; i primi rappresentano gli estremi del tronco stradale considerato, i secondi, il collegamento di una coppia ordinata di nodi sul quale transita un flusso unidirezionale di utenti (esempio: una strada a doppio senso, compresa fra due successive intersezioni – nodi – è rappresentata con due archi di verso opposto).

Occorre precisare che non tutti i nodi rappresentano gli estremi di un tronco stradale; infatti, alcuni individuano punti singolari, come ad esempio un restringimento della carreggiata oppure una curva; altri, i cosiddetti nodi *centroidi*, ovvero, quei nodi nei quali si ipotizzano concentrati i punti terminali degli spostamenti in ingresso o in uscita da ciascuna zona di traffico e posti in maniera baricentrica rispetto alla popolazione della zona che rappresentano.

Infine ad ogni arco sono state associate le caratteristiche geometriche e funzionali in parte rilevate sul campo mediante indagini eseguite *ad hoc*; in parte opportunamente calcolate come la velocità a flusso nullo e la capacità.

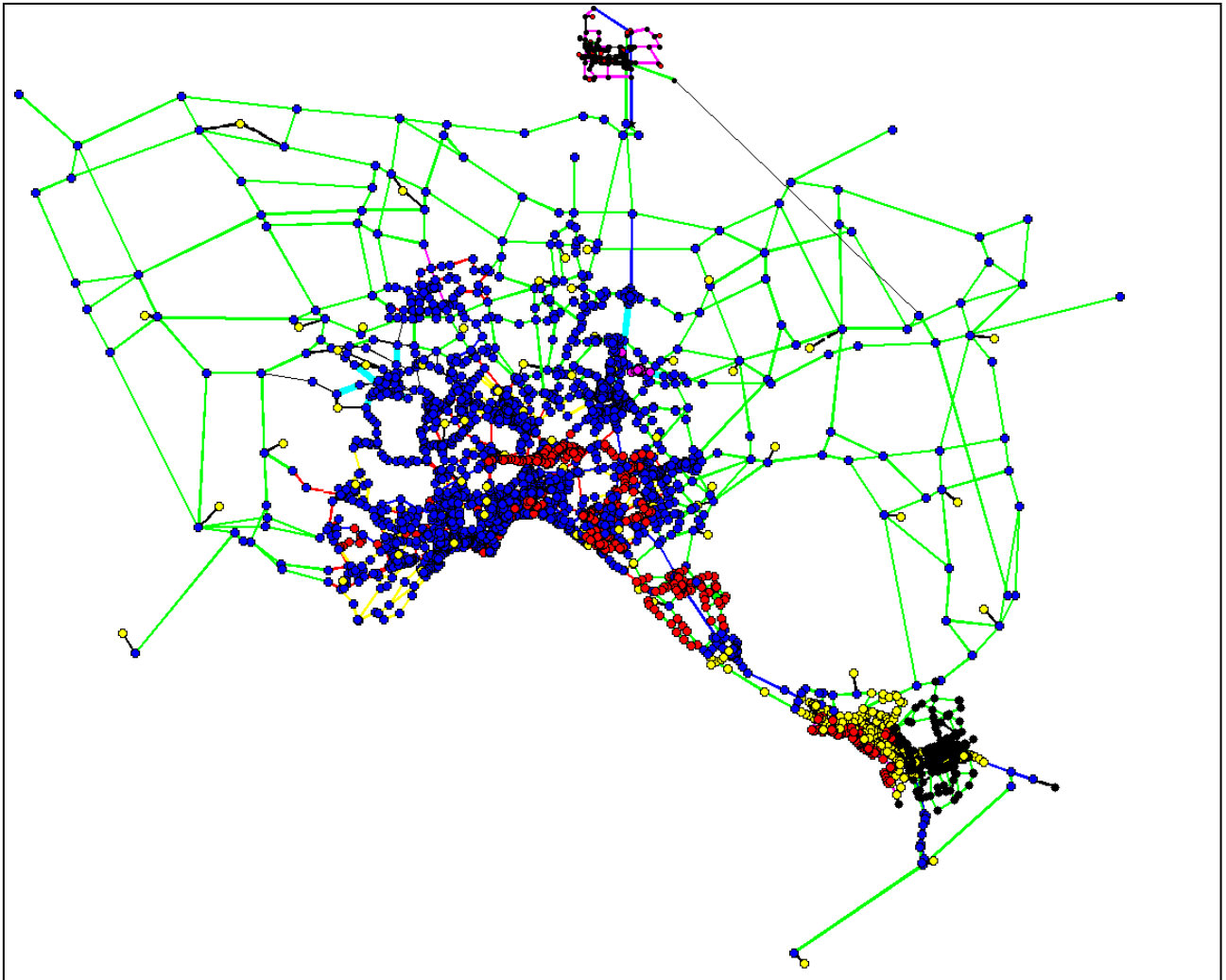


Figura A1.3 – Grafo stradale

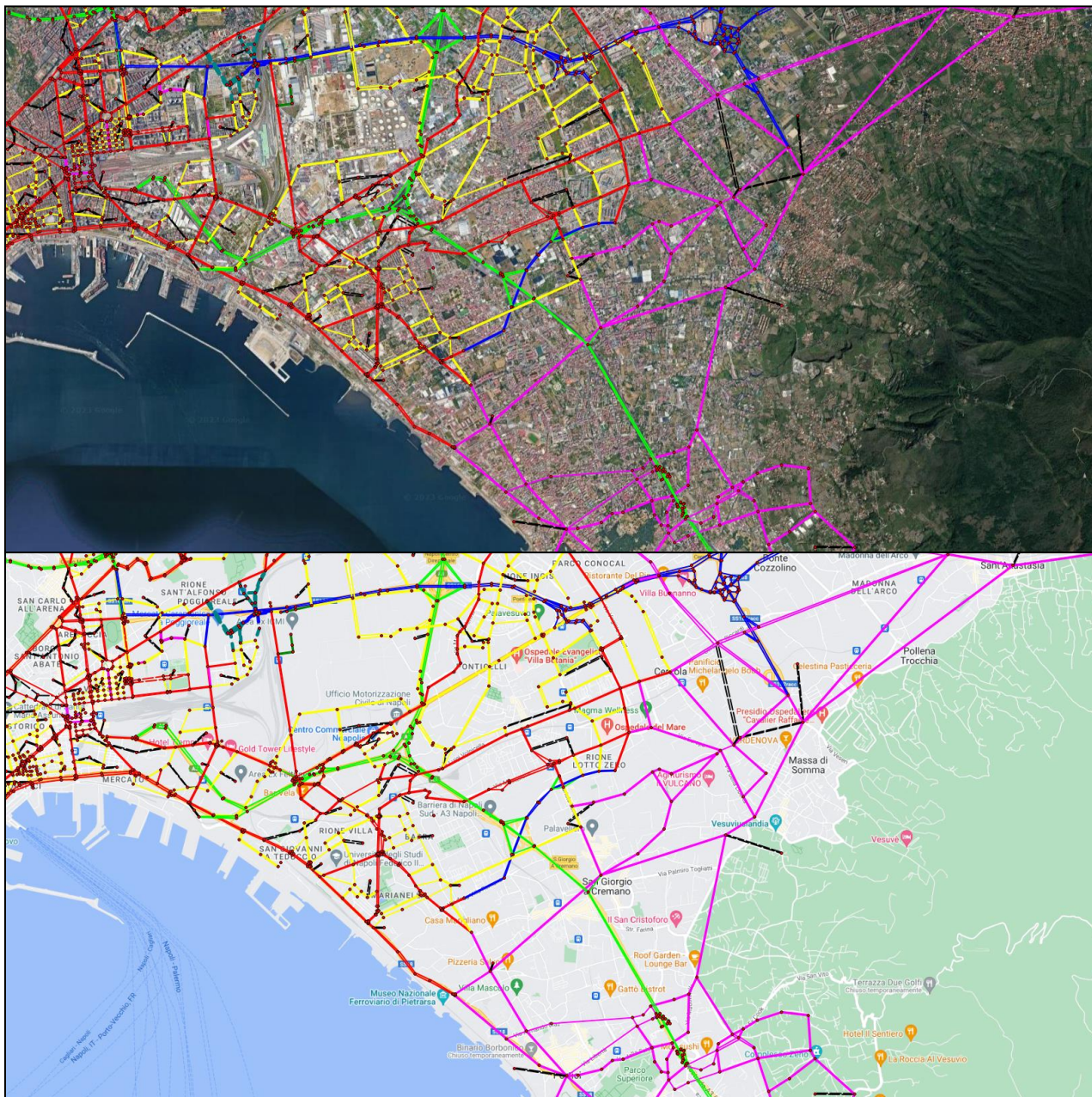


Figura A1.4 – Grafo dettagliato dell'area di intervento. Scenario attuale. Inquadramento su Google Satellite e Google Road

A1.1.3. Definizione di velocità e capacità di un arco

Sulla base delle caratteristiche geometriche e funzionali di ogni strada è stato possibile calcolare la capacità e la velocità a flusso nullo di un arco:

- la capacità di un arco è il massimo numero di veicoli che percorre l'arco nell'unità di tempo;
- la velocità a flusso nullo è la velocità di percorrenza dell'arco in assenza di veicoli.

Per le **strade urbane** la capacità è stata ottenuta applicando la seguente relazione sperimentale:

$$C = \min [525 \cdot L_{usc}; 525 \cdot L_{uaf} \cdot k \cdot p]$$

dove:

- L_{usc} = larghezza utile sezione corrente (m)

- L_{uaf} = larghezza utile sezione finale (m)

- k = coefficiente correttivo dato dal rapporto verde/ciclo

- p = coefficiente correttivo che tiene conto della presenza dei mezzi pesanti dato da:

PF EG 03– Relazione trasportistica

$$p = (1 - \%pes) * [1 / (1 - \%pes + \%pes * E_i)]$$

-E_i = coefficiente di equivalenza che vale¹:

Tabella A1.1 – Coefficienti di equivalenza

Autovetture e veicoli merci leggeri	E _a = 1.00
Veicoli pesanti medi e grandi	E _p = 1.75
Autobus	E _b = 2.25
Tram	E _t = 2.50
Motocicli	E _m = 0.33

La velocità a flusso nullo è stata calcolata mediante la seguente relazione sperimentale:

$$V_0 = 31.1 + 2.8 * Lu - 1.2 * P - 12.8 * T_2 - 10.4 * D - 1.4 * (int/L)$$

dove:

- Lu = Larghezza utile in metri dell'arco
- P = pendenza in % (positiva in salita)
- T = grado di tortuosità (1 alto, 0.66 medio, 0.33 basso, 0 nullo)
- D = grado di disturbo (vedi tortuosità)
- int = numero di intersezioni secondarie
- L = lunghezza in Km dell'arco

il valore di V₀ deve essere comunque >=10 km/h e <= di 50 km/h.

Per le **strade extraurbane** rientranti nell'area di studio, autostrade, viabilità provinciale, eccetera, la capacità e la velocità a flusso nullo è stata ricavata da relazioni sperimentali, riportate nella tabella A1.2.

Tabella A1.2 - Classificazione delle strade extraurbane e relative caratteristiche

Tipologia	Classe	V _o [Km/h]	V _c [Km/h]	Capacità [veic.eq./h]	N_corsie
Autostrade					
Autostrade di prima categoria a pedaggio fisso	A1f	110	60	2000*N_corsie	3
Autostrade di prima categoria a pedaggio chilometrico	A1k	110	60	2000*N_corsie	3
Autostrade di seconda categoria a pedaggio fisso	A2f	100	60	2000*N_corsie	2
Autostrade di seconda categoria a pedaggio chilometrico	A2k	100	60	2000*N_corsie	2
Strade extraurbane di scorrimento	B1	90	50	2000*N_corsie	2
Strade extraurbane ordinarie					
Strade a Basso Grado di Disturbo	C1	70	35	1800	1
Strade a Medio Grado di Disturbo	C2	50	25	1400	1
Strade a Alto Grado di Disturbo	C3	30	15	900	1

A completamento della rete extraurbana vi sono gli *archi di svincolo*, ovvero gli archi di collegamento tra le autostrade e le strade di scorrimento o quelle ordinarie, questi vengono suddivisi in più classi così come riportato in tabella A1.3.

Tabella A1.3 – Suddivisione degli svincoli in funzione della modalità di pedaggio

Tipologia	Classe
-svincoli senza pedaggio e senza ritiro di tagliando	A3
-svincoli di autostrade con pedaggio chilometrico	A4k
-svincoli di autostrade con pedaggio fisso	A4f
-svincoli con ritiro di tagliando	A5
-barriere di autostrade con pedaggio chilometrico	A6k
-barriere di autostrade con pedaggio fisso	A6f
-barriera con ritiro di tagliando	A7

¹ Ennio Cascetta, "Teoria e metodi dell'ingegneria dei sistemi di trasporto", UTET(1998), pp 61

La suddivisione degli svincoli in funzione del tipo di autostrada che essi servono (a pedaggio fisso o a pedaggio chilometrico) si è resa necessaria per la differente curva di deflusso che viene adottata nell'uno o nell'altro caso, come sarà descritto in seguito.

Come si è già avuto modo di dire, una funzione di costo (curva di deflusso) è la relazione matematica che lega il costo medio di trasporto ai flussi che lo influenzano ed alle caratteristiche fisiche e funzionali del collegamento rappresentato dall'arco stesso.

Le funzioni di costo normalmente utilizzate sono le BPR (Bureau of Public Road) e le BPR casello, le Doherty e le Doherty casello.

Nel caso in esame, per la rete extraurbana, le curve di deflusso che sono sembrate simulare meglio il costo subito dagli utenti nell'attraversamento dell'arco sono le BPR e le Doherty casello secondo lo schema riportato in tabella A1.4.

Tabella A1.4 – Tipologie di strade extraurbane e relative curve di deflusso

Tipologia	Curva di deflusso
Autostrade	
-autostrade di prima categoria a pedaggio fisso	BPR
-autostrade di prima categoria a pedaggio chilometrico	Doherty casello
-autostrade di seconda categoria a pedaggio fisso	BPR
-autostrade di seconda categoria a pedaggio chilometrico	Doherty casello
Strade extraurbane di scorrimento	
-strade extraurbane di scorrimento	BPR
Strade extraurbane ordinarie	
-strade a basso grado di disturbo	Doherty casello
-strade a medio grado di disturbo	Doherty casello
-strade a alto grado di disturbo	Doherty casello
Svincoli e barriere	
-svincoli senza pedaggio e senza ritiro di tagliando	Doherty casello
-svincoli di autostrade con pedaggio chilometrico	Doherty casello
-svincoli di autostrade con pedaggio fisso	Doherty casello
-barriere di autostrade con pedaggio chilometrico	Doherty casello
-barriere di autostrade con pedaggio fisso	Doherty casello
-barriere con ritiro di tagliando	Doherty casello

A1.1.4. Le curve di deflusso

Ciascun arco del grafo impiegato per rappresentare il sistema di trasporto è caratterizzato da un tempo di trasferimento e/o da altri oneri sopportati dall'utente per spostarsi dal nodo iniziale a quello finale: tali oneri opportunamente omogeneizzati vanno sotto il nome di "costo generalizzato" del trasporto sull'arco i,j , (i = nodo iniziale, j = nodo finale); esso, inoltre, è funzione sia del flusso che percorre quell'arco, che di quelli che percorrono altri archi del grafo. A tale funzione si dà il nome di *funzione di costo* o *curva di deflusso*.

Le curve di deflusso adottate per la rete stradale dell'area di studio sono note in letteratura con il nome *Doherty* e BPR.

Doherty: essa è data dalla somma di due aliquote *tempo di running* dato da:

$$T_r = 3.6 \frac{l}{V}$$

dove:

- l = lunghezza dell'arco in metri
- V pari a:

$$V = V_0 + a * \left(\frac{f}{L_u} \right)^2$$

con:

- V_0 = velocità a vuoto in km/h
- $a = 0.0001$
- f = flusso in veic/h
- L_u = larghezza utile sezione corrente in metri
- (se $V < 5$ km/h si pone $V = 5$ km/h)

tempo di attesa dato da:

$$T_a = A + 0.55 \cdot \frac{3600}{C} \cdot \frac{X}{1-X} \quad \text{se } X \leq 0.95$$

$$T_a = \alpha + \beta X \quad \text{se } X > 0.95$$

dove:

A è pari a:

$$A = \frac{1}{2} (1 - \mu)^2 * c$$

μ = rapporto tra tempo di verde effettivo e tempo di ciclo

c = tempo di ciclo in secondi

C = capacità dell'arco in veicoli equivalenti/h

X = rapporto tra flusso e capacità

$$\alpha = |T_a|_{X=0.95} - \frac{209 * 3600}{C}$$

$$\beta = \frac{209 * 3600}{C}$$

BPR

Secondo la funzione di costo **BPR** (*Bureau of Public Road*) il tempo di percorrenza t_i dell'arco i dipende dal flusso f_i rapportato alla capacità C_i dell'arco stesso e dal tempo di percorrenza a flusso nullo t_0 .

$$t_i = \frac{l_i}{V_{0i}} * \left(1 + \alpha \left(\frac{f_i}{C_i} \right)^\beta \right) + T_i$$

In generale la forma funzionale è:

dove:

- l_i = lunghezza dell'arco i -esimo
- V_{0i} = velocità a vuoto dell'arco i -esimo
- f_i = flusso sull'arco i -esimo
- C_i = Capacità dell'arco i -esimo
- α e β = parametri caratteristici della curva di deflusso
- T_i = eventuale tempo aggiuntivo

Per le Doherty casello il tempo di percorrenza dell'arco viene calcolato come somma di tre aliquote:

tempo di running dato da:

$$T_r = \left[\frac{1}{V_o} + \left(\frac{1}{V_c} - \frac{1}{V_o} \right) \cdot \left(\frac{f}{C} \right)^3 \right] \cdot 3.6$$

dove:

- V_o = velocità a flusso nullo (Km/h)
- V_c = velocità a carico (km/h)
- l = lunghezza dell'arco (metri)

tempo di attesa dato da:

$$T_a = T_s + 0.5 \cdot \frac{f}{N_{cas} \cdot 3600} \cdot \frac{T_s^2}{1 - X} \quad \text{se } X \leq 0.95$$

$$T_a = T_s + T_s^2 \cdot \left(200 \cdot \frac{f}{N_{cas} \cdot 3600} \cdot \frac{180,5}{T_s} \right) \quad \text{se } X > 0.95$$

dove:

- N_{cas} è il numero di caselli all'estremità finale dell'arco;
- X è il rapporto tra flusso e Capacità;

- $T_s = \frac{3600 \cdot N_{cas}}{C}$ è il tempo di servizio in secondi.

tempo aggiuntivo dato, nel caso specifico, da:

$$T^* = C_4 \cdot l$$

dove:

- C_4 è un coefficiente utilizzato per schematizzare il pedaggio autostradale
- l è la lunghezza dell'arco.

Per gli archi di svincolo è stato necessario introdurre il numero di caselli N_{cas} . Per tutti i rimanenti archi della rete, il numero di caselli si pone uguale a zero, in tal modo il tempo di attesa si annulla ed il tempo di percorrenza dell'arco coincide con il tempo di running più l'eventuale tempo aggiuntivo.

La simulazione del pedaggio sui rami autostradali avviene mediante il coefficiente C_4 , presente tra l'altro in uno dei file input del software T.Road utilizzato per l'assegnazione dei flussi veicolari sulla rete stradale: mediante tale coefficiente si introduce nell'espressione del tempo di percorrenza un tempo aggiuntivo T^* dato dal prodotto di C_4 per la lunghezza "l" dell'arco.

Occorre distinguere i due casi:

- pedaggio chilometrico
- pedaggio fisso.

Nel primo caso si pone il coefficiente C_4 relativo all'arco autostradale in esame, pari al tempo equivalente al pedaggio chilometrico:

$$C_4 = \frac{Ped}{\beta}$$

dove:

- Ped è il pedaggio chilometrico espresso in €/Km;
- β è il valore monetario del tempo espresso in €/min.

In tal modo il pedaggio è distribuito uniformemente lungo tutto il tratto di autostrada percorso, a differenza di quanto accade quando il pedaggio è fisso.

In questo caso, infatti, il pedaggio si sconta soltanto sull'arco di svincolo in cui è presente il casello (arco di classe A4f o A6f). Per tale arco il coefficiente C_4 si pone uguale al tempo equivalente al pedaggio (fisso), che è dato da:

$$C_4 = \frac{Ped}{l \cdot \beta}$$

dove:

- Ped è il pedaggio fisso espresso in €;
- β è il valore monetario del tempo espresso in €/min;
- l è la lunghezza dell'arco di svincolo in Km, che nel nostro caso è posta per tutti gli svincoli pari a 0.2 e a 0,001 per le barriere.

Il pedaggio chilometrico è posto pari a circa 0,05 €/Km, mentre il valore monetario del tempo si assume pari 0,086 €/min (=5,16 €/h).

A1.2. LA STIMA DELLA DOMANDA

La domanda di trasporto può essere definita come il numero di spostamenti che avvengono su un determinato sistema di trasporto in un prefissato periodo di tempo.

Naturalmente il numero di spostamenti può variare non solo nelle diverse ore della giornata, ma anche nel corso della settimana, dei mesi e degli anni. Per gli scopi perseguiti dallo studio in oggetto, ha interesse conoscere la domanda di spostamenti relativa all'ora di punta della mattina di un giorno feriale invernale rispetto alla quale dimensionare gli interventi previsti.

Dal punto di vista spaziale gli spostamenti che interessano una determinata area possono suddividersi in tre aliquote:

- spostamenti interni all'area, se i punti di inizio e termine dello spostamento sono interni all'area in esame;
- di scambio, se l'origine e la destinazione dello spostamento sono uno interno all'area e l'altro esterno o viceversa;
- di attraversamento, se entrambi i punti di origine e destinazione sono esterni all'area ma l'attraversano nel corso dello spostamento.

La domanda complessiva è composta da una matrice O/D, già disponibile per l'intera area di studio, che è stata "corretta" utilizzando un modello matematico di correzione che utilizza il metodo dei "Minimi Quadrati Generalizzati" basato sull'utilizzo dei flussi rilevati di traffico in sezioni significative dell'area di intervento, come descritto al paragrafo successivo.

A1.2.1. Controllo della matrice O/D attuale mediante i flussi rilevati

La matrice O/D attuale già disponibile è stata confrontata mediante rilievi di flussi di traffico forniti dalla committenza al fine di valutare eventuali fluttuazioni dei flussi di traffico e correggere la matrice.

La correzione della matrice O/D avviene utilizzando il modulo T.OD del software T.Model. Tale modulo effettua la stima delle matrici OD utilizzando modelli di correzione della domanda di mobilità con conteggi di flussi veicolari; tali modelli si basano sul metodo dei **Minimi Quadrati Generalizzati (GLS)** che tendono a minimizzare lo scarto tra i flussi conteggiati e i flussi che si otterrebbero assegnando una matrice di partenza.

Il modulo T.OD è strettamente legato al modulo di assegnazione (T.Road); infatti, uno dei dati di input fondamentali è la matrice dei coefficienti *alfaiOD* generata dal modello di assegnazione e che fornisce la percentuale (comunemente denominata con "coefficiente alfa") di veicoli, con una determinata origine e una determinata destinazione, che usano un determinato arco della rete.

I passi da seguire sono i seguenti:

- predisposizione di uno scenario di assegnazione che generi i coefficienti *alfaiod*;
- esecuzione il modulo di assegnazione mediante T.Road;
- predisposizione dello scenario di stima;
- configurazione dello scenario di stima;
- esecuzione del modulo T.OD.

I dati di input sono stati quelli già descritti per il modulo T.Road (NODI.DBF, ARCHIR.DBF, MATOD_VIAGGI.DBF e CDEFL.DBF) con l'aggiunta di un file in cui sono riportati i flussi di autovetture rilevati, attraverso le indagini di traffico descritte precedentemente (FLUSSIRIL.DBF).

I campi del file FLUSSIRIL.DBF sono:

- NA: è il codice numerico che identifica il nodo iniziale dell'arco stradale rappresentativo della strada dove è stato eseguito il rilievo;
- NB: è il codice numerico che identifica il nodo finale dell'arco stradale rappresentativo della strada dove è stato eseguito il rilievo;
- TIPO: indica la tipologia di arco già specificata per il file ARCHIR.DBF;
- FLUSSO: è un valore numerico che rappresenta il flusso misurato sull'arco in questione omogeneizzato in autovetture equivalenti.

Caricati i file di input si procede ad una assegnazione di tipo deterministico per la determinazione dei coefficienti alfa quindi, fissati i valori dei parametri (numero di iterazioni, epsilon di arresto, peso domanda e peso flussi) si lancia il modulo T.OD.

I veicoli sono stati classificati, al fine di distinguere: auto, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, biciclette, moto e autobus trasformati in veicoli equivalenti mediante opportuni coefficienti.

I conteggi vengono effettuati per fasce temporali di 15 minuti, allo scopo di individuare l'ora di punta, costituita da quattro fasce consecutive di 15 minuti, nella quale i flussi rilevati sono quelli massimi.

I flussi utilizzati per la calibrazione del modello fanno riferimento a flussi rilevati nella fascia oraria 7.30-9.30 nei giorni di ottobre 2022.

Sono stati rilevati i flussi riportati nella seguente figura.

Estensione della rete ciclabile cittadina: ambito orientale



Figura A1.5 – Sezioni di rilievo dei flussi di traffico

Estensione della rete ciclabile cittadina: ambito orientale

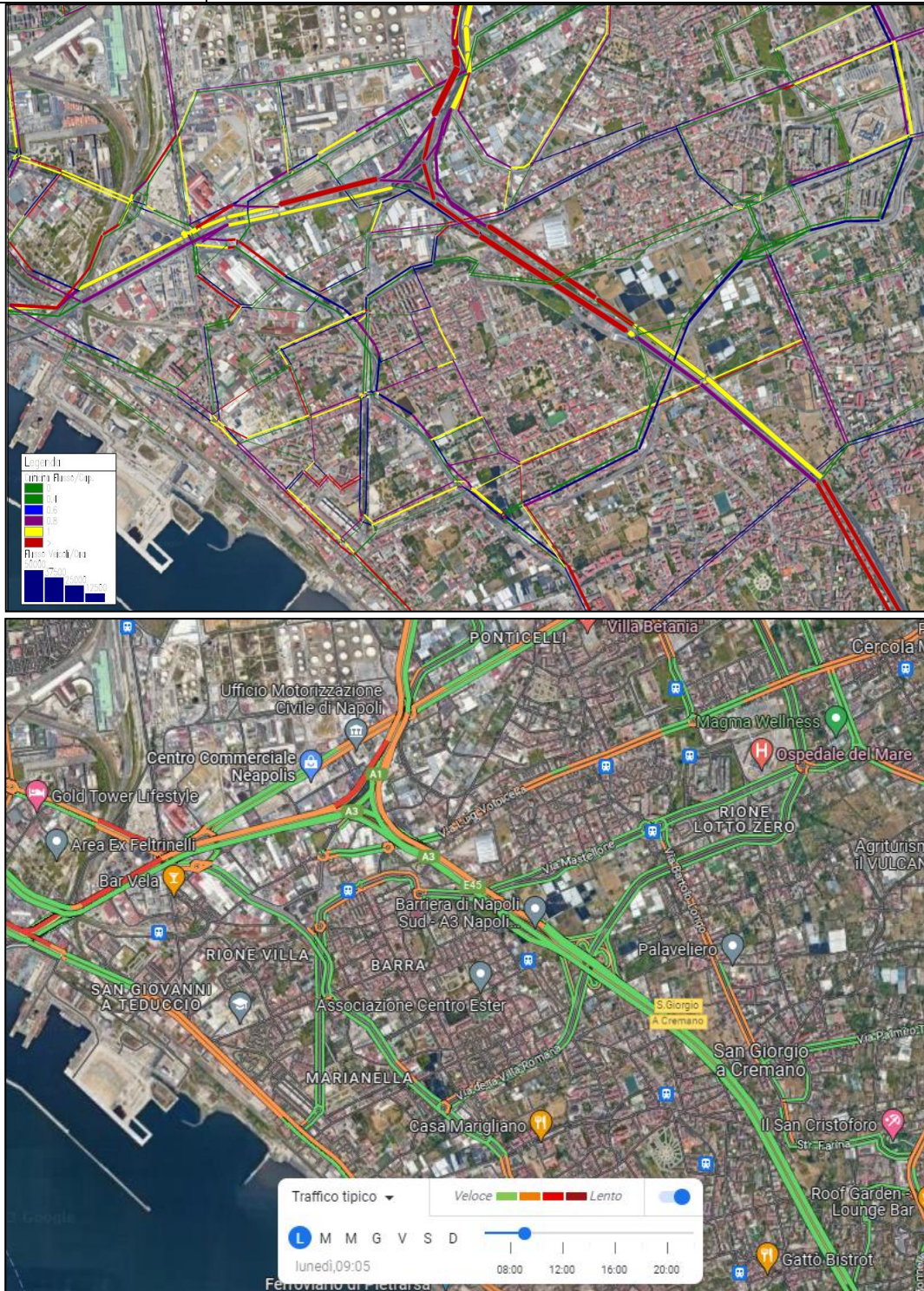


Figura A1.6 – Confronto condizioni di deflusso. Modello di simulazione e Modello Google Traffic

L'analisi del funzionamento della viabilità dello stato attuale è stata proposta attraverso l'osservazione dei dati di traffico desumibili dall'applicativo Google Maps Traffic®.

Come illustrato nella figura A1.6, l'analisi su dati Google conferma, a grandi linee, le stime da modello nell'area di intervento analizzata: si tenga presente che le curve di deflusso rappresentano la variazione del tempo di percorrenza dell'arco in funzione del rapporto flusso/capacità dello stesso.

A1.3. IL MODELLO DI ASSEGNAZIONE

I modelli di assegnazione ad una rete di trasporto simulano l'interazione domanda-offerta e consentono di calcolare i flussi di utenti e le prestazioni di ciascun elemento del sistema di offerta (archi della rete) come risultato dei flussi di domanda Origine-Destinazione tra differenti zone di traffico, dei comportamenti di scelta del percorso e delle reciproche interazioni fra domanda e offerta.

Essi, quindi, svolgono un ruolo centrale nella costruzione di un modello complessivo di un sistema di trasporto, in quanto un tale modello si pone l'obiettivo di simulare il funzionamento del sistema mentre i risultati ottenuti costituiscono gli elementi di ingresso per la progettazione e/o verifica del sistema di trasporto.

I modelli di assegnazione possono classificarsi in base a ipotesi sul comportamento degli utenti (funzioni di domanda, scelta del percorso, informazione disponibile) e sul tipo di approccio utilizzato per lo studio delle interazioni domanda-offerta. Senza, ovviamente, entrare nel merito della trattazione dei modelli di assegnazione, quelli usualmente utilizzati nella pratica possono essere classificati:

- riguardo al tipo di approccio utilizzato per lo studio della interazione domanda-offerta, come:
 - *modelli di assegnazione di equilibrio*, poiché ricercano la configurazione di equilibrio del sistema, cioè quelle configurazioni nelle quali i flussi di domanda, di percorso fra le varie coppie o/d e di arco siano congruenti con i costi che da essa derivano;
 - *modelli di assegnazione a reti congestionate*, poiché i costi dipendono dai flussi sugli archi in virtù del fenomeno della congestione;
- riguardo al comportamento degli utenti come:
 - *modelli di scelta del percorso deterministici* se tutti gli utenti scelgono l'itinerario di minimo costo;
 - *probabilistici o stocastici* se gli utenti possono scegliere anche itinerari non di minimo costo.

Il software utilizzato per le assegnazioni di traffico, denominato T.Model, è descritto nel paragrafo seguente.

A1.3.1. Caratteristiche generali del software T.Model

Il software utilizzato è costituito da un sofisticato sistema di modelli matematici di simulazione e previsione di supporto per la progettazione e la pianificazione del traffico e dei trasporti.

Essi supportano:

- la progettazione e la verifica degli interventi in una logica globale del sistema della mobilità, dell'ambiente e della pianificazione urbanistica;
- la valutazione di misure tese al miglioramento dell'offerta di trasporto ed al controllo ed all'orientamento della domanda di mobilità.

Il sistema, denominato T.MODEL, è costituito da quattro componenti principali:

- a. i modelli matematici;
- b. la base dati;
- c. la grafica interattiva;
- d. il sistema di gestione.

In questa ottica, il sistema T.MODEL non si propone come uno strumento di progetto, per cui non fornisce la soluzione ottimale, ma consente la verifica ed il confronto fra differenti scenari.

La flessibilità e rapidità d'uso di T.MODEL e le caratteristiche di relazionalità della base dati consentono, in tempi relativamente brevi, di testare e confrontare un altissimo numero di scenari alternativi conseguenti alle composizioni degli interventi progettati con la possibilità di poter scegliere l'insieme ottimale di interventi.

L'ossatura principale di T.MODEL è costituita da un sistema di modelli matematici che permettono la simulazione del processo di pianificazione nella sua completezza. Essi si possono suddividere nelle seguenti tipologie:

- a. modelli di domanda (TMOB);
- b. modelli di offerta (TNET);
- c. modelli di interazione domanda offerta o di assegnazione dei veicoli alla rete stradale (TROAD) e dei passeggeri al sistema di trasporto pubblico (TBUS);
- d. modelli di stima e aggiornamento delle matrici O/D a partire dai flussi di traffico (TOD).

Tra i moduli sopra indicati quelli utilizzati sono stati: T.Road, T.OD e T.ENV; in questo paragrafo si descriverà il primo e la fase di implementazione dell'offerta stradale ottenuta come descritto precedentemente e il modulo di valutazione ambientale.

Il modulo T.OD è descritto nel paragrafo A.3 insieme alla procedura di correzione della matrice origine destinazione

Il modulo T.Road. T.Road assegna il traffico privato alla rete stradale consentendo di valutare la bontà degli interventi progettati in funzione di alcuni indicatori fra i quali si evidenziano:

- il grado di saturazione di ogni strada;
- il tempo e la velocità di percorrenza su ogni singola strada;
- il flusso di autovetture su ogni strada;
- i km totali percorsi sulla rete;
- il tempo totale speso sulla rete;
- tempi, distanze e velocità medie di percorrenza per ogni coppia di zone di traffico origine-destinazione.

Tutti gli indicatori possono essere calcolati sia a livello disaggregato, cioè relativamente ad ogni arco stradale, che a livello aggregato e quindi per l'intera area di studio o parti di essa.

Per quanto attiene specificamente il processo di assegnazione del traffico privato, T.ROAD consente di utilizzare modelli di assegnazione sia in ipotesi deterministiche che stocastiche. Evidentemente sarà possibile utilizzare il modello più congeniale per la valutazione dei carichi sulla rete, delle relative criticità e di tutti gli indicatori utili per la valutazione ed il confronto degli scenari di progetto.

In ipotesi di rete congestionata, qui accettata, come descritto al paragrafo precedente, T.ROAD assicura un'assegnazione di tipo deterministico, (*Deterministic User Equilibrium* o *DUE*), o di tipo stocastico (*Stochastic User Equilibrium* o *SUE*).

La base dati di T.Road. La base dati di T.Road è strutturata in modo da contenere tutti i dati di interesse per il sistema di traffico e di trasporto.

Dal punto di vista logico la base dati si può supporre suddivisa in sezioni che contengono diverse tipologie di informazioni. La prima (*dati scenari*) riguarda le informazioni, sia di input che di output, che andranno a costituire i diversi scenari. Si tratta pertanto di dati relativi al sistema di domanda (*matrici O/D*), dati relativi all'offerta di trasporto (rete privata con rispettive caratteristiche geometriche e funzionali), flussi di traffico, dati ottenuti dalle funzioni di costo e di valutazione delle prestazioni e di tutte le altre informazioni che permettono di definire ed individuare un particolare scenario. Questa associazione a tutte le informazioni relative ad un unico scenario è fondamentale per il controllo dei risultati. Infatti in questo modo risulta estremamente semplice gestire eventuali modifiche nei dati di input.

Una seconda sezione (*dati integrativi*) è dedicata a dati non indispensabili per il funzionamento dei modelli, ma utili per le sue valutazioni e decisioni.

Per facilitare l'interpretazione dei risultati ottenuti dalle elaborazioni, una porzione di *Data Base (dati per rappresentazione)* è riservata alle informazioni di carattere topologico indispensabili per ottenere una rappresentazione del territorio e delle caratteristiche topografiche di maggior rilievo dell'area di studio.

Un ultimo settore (*dati di gestione*) viene riservato per i dati utili alla gestione dei processi (numero di iterazioni, valori di tolleranza, parametri di input ai processi, ecc.).

Fisicamente tutte le informazioni presenti in T.Road sono inserite in un database relazionale (DBMS). Tutti i dati di uno stesso progetto sono contenuti in un unico database. I dati sono classificati a seconda della loro tipologia detta *classe di tabella* o semplicemente tabella. Ogni occorrenza di tabella è detta *istanza*. Vi possono essere più istanze della stessa tabella, ad esempio la matrice O/D che rappresenta la domanda di mobilità attuale e la matrice O/D che rappresenta la domanda futura sono due istanze della stessa tabella.

La grafica interattiva di T.Road. L'interfaccia di T.Road, denominato T.Graph, consente la visualizzazione grafica e tabellare delle grandezze di input e di output dei modelli relative al grafo viario ed al traffico veicolare, sia utilizzate come dati di ingresso dai modelli che prodotte come risultato delle simulazioni; inoltre, consente di interagire direttamente con i dati definendo o modificando interattivamente sia dati che parametri.

In particolare l'interfaccia svolge essenzialmente le seguenti funzioni:

- rappresentare attributi dei grafi stradali (e.g. velocità, criticità, flussi, svolte alle intersezioni) secondo diverse tipologie grafiche;
- visualizzare graficamente e numericamente le matrici O/D;
- effettuare interattivamente procedure di analisi e calcolo dei percorsi minimi;
- visualizzare in forma numerica tutti gli elementi della base dati;
- consentire la modifica degli oggetti che può visualizzare, di inserirne dei nuovi o di eliminare quelli esistenti operando in modo interattivo con il sistema;

- effettuare tutte le operazioni, quindi apertura file, rappresentazione multifinestre, stampe, ecc. secondo standard ormai consolidati nell'ambito del sistema operativo Windows.
- Esempi di visualizzazione dei risultati sono riportati nelle successive figure.

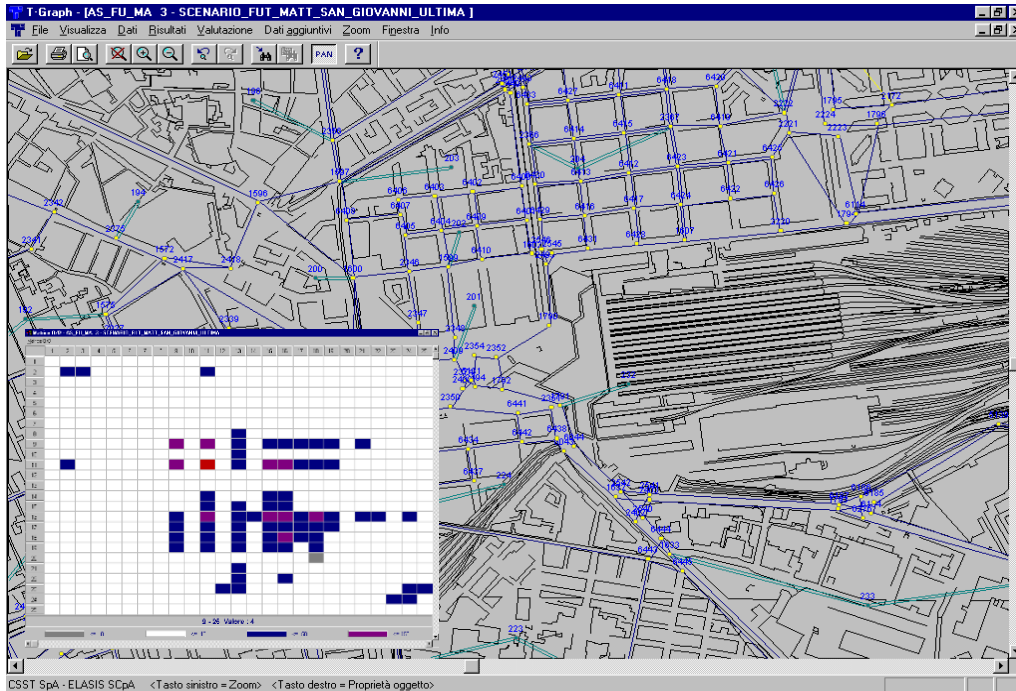


Figura A1.7 - Rappresentazione della rete e della matrice o/d con valori della domanda di spostamenti suddivisa in classi.

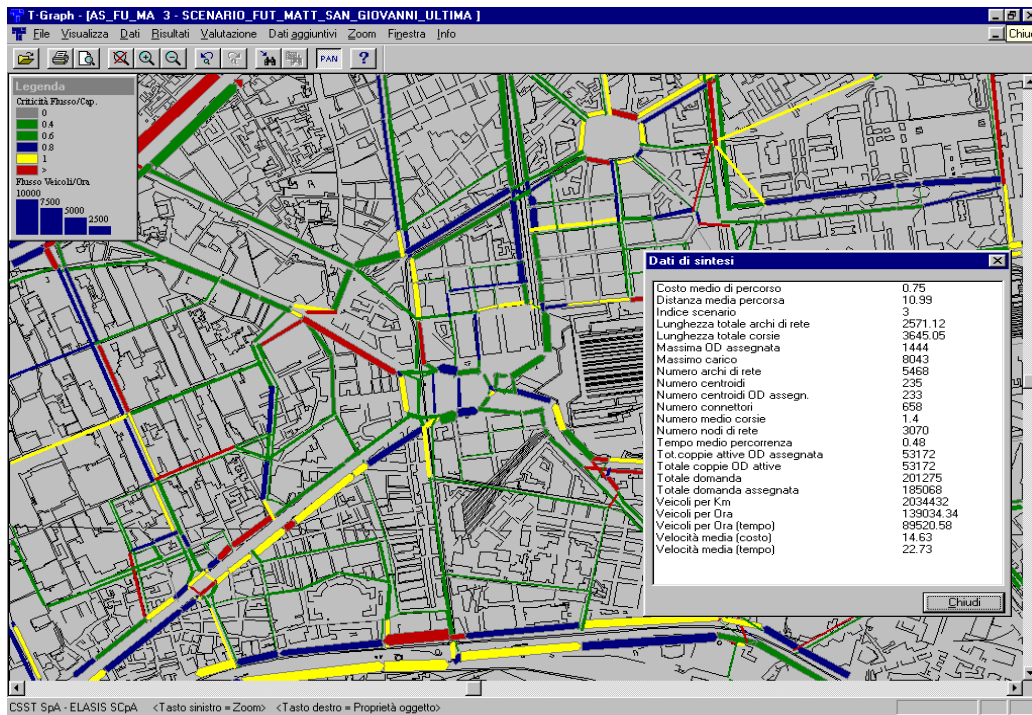


Figura A1.8 - Rappresentazione della rete stradale con in scala colore la criticità (flusso/capacità) degli archi. La tabella riporta i risultati aggregati.

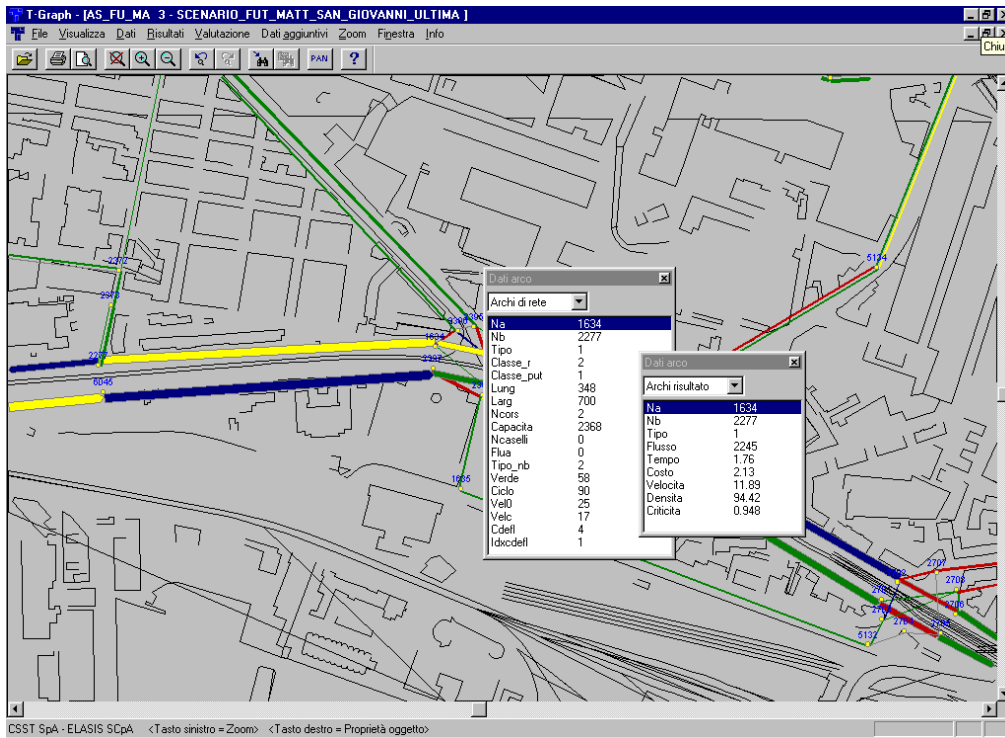


Figura A1.9 - Rappresentazione della rete stradale con dati di input e di output di un arco selezionato.

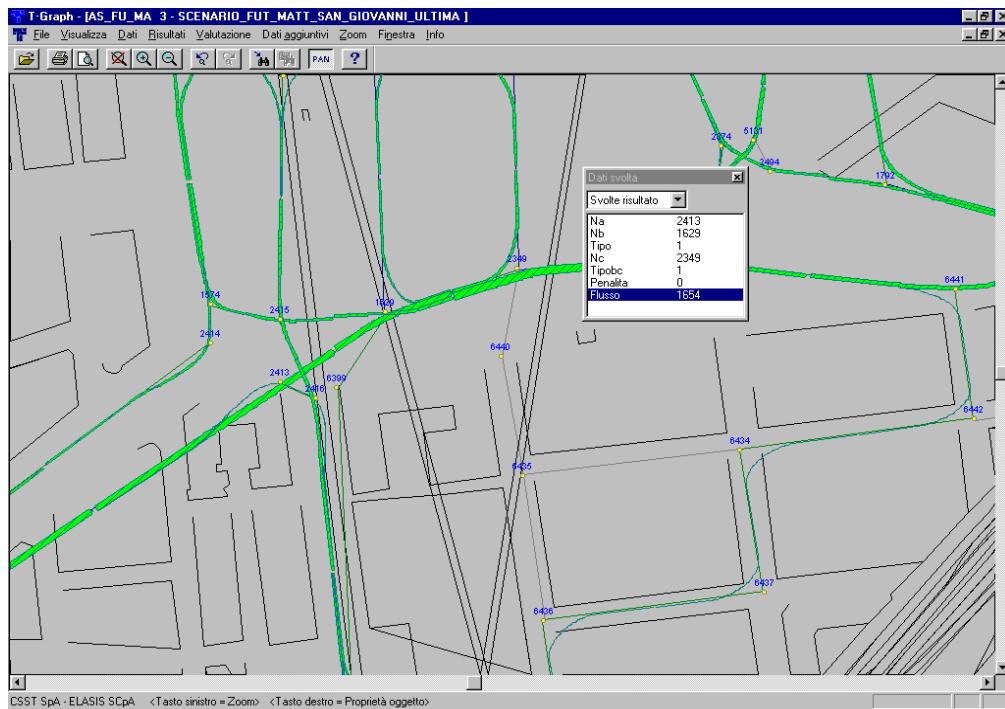


Figura A1.10 - Rappresentazione dei flussi di svolta per un nodo "implicitamente esploso" e dei dati numerici relativi ad una svolta.

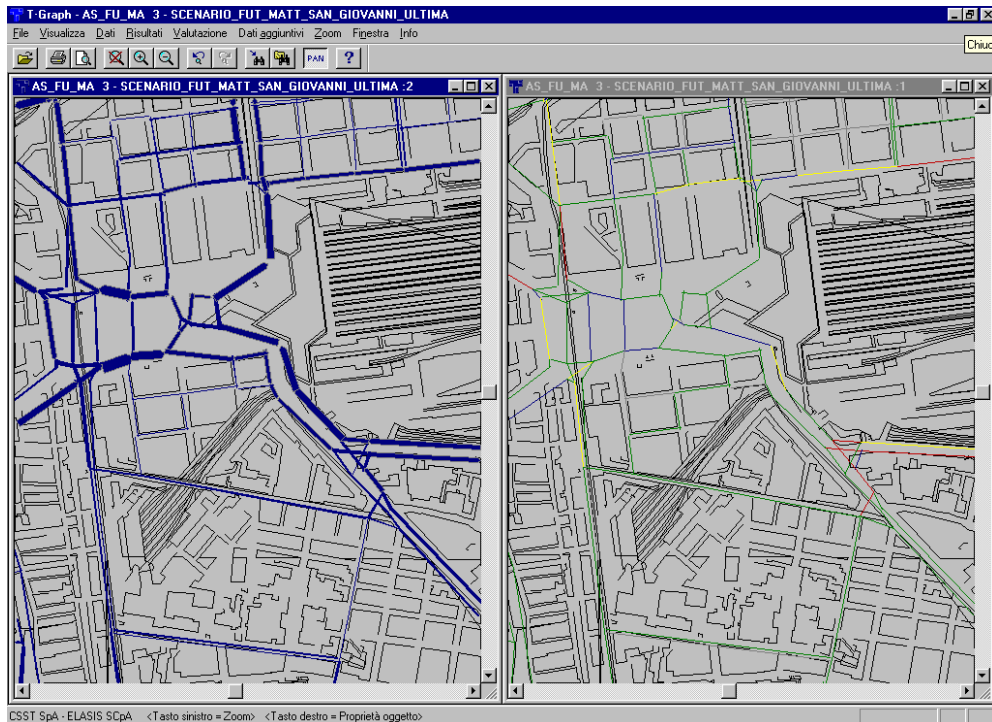


Figura A1.11 - Rappresentazione di un minimo percorso fra coppia OD e caratteristiche dello stesso all'equilibrio.

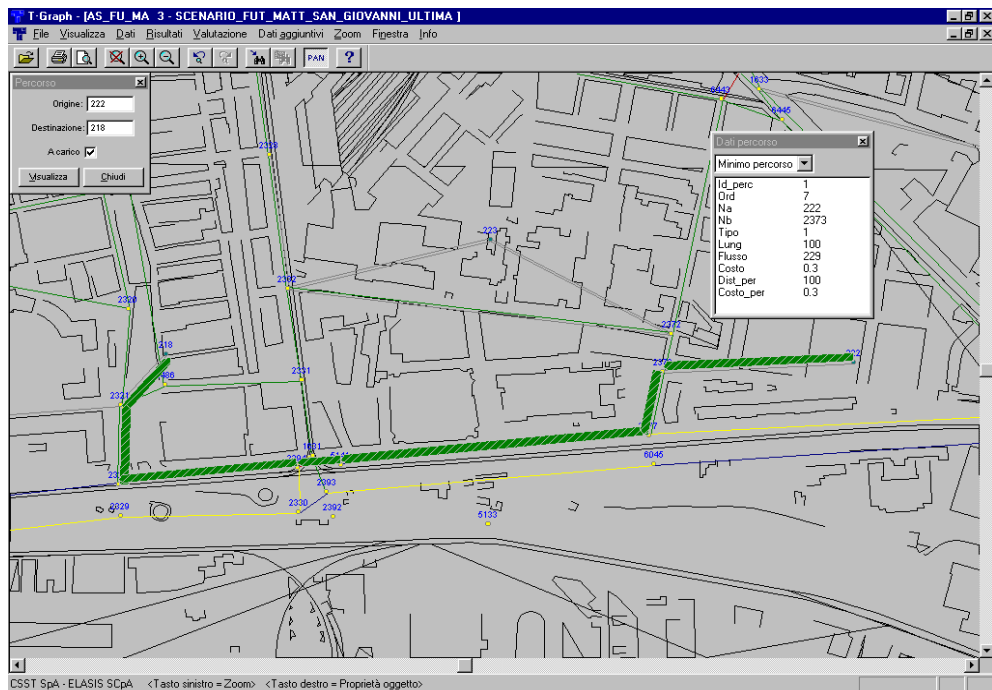


Figura A1.12 - Rappresentazione multiwindows. La finestra di sinistra rappresenta i flussi in scala spessore, quella di destra le criticità in scala colore.

A1.3.2. Implementazione del modello di offerta stradale su TModel

Per eseguire una assegnazione di traffico privato mediante il modulo T.Road è necessario:

- inserire nella base dati la descrizione della rete di traffico sulla quale effettuare la simulazione
- disporre di una matrice O/D di spostamenti da assegnare alla rete
- definire lo scenario di assegnazione
- configurare lo scenario di assegnazione
- eseguire il modulo T.Road

Per quanto concerne la rete considerata, si è costruito un file in cui sono contenute le informazioni relative ai nodi (*NODI.DBF*), un file contenente le caratteristiche degli archi (*ARCHIR.DBF*) rilevate con le indagini eseguite, un file in cui per coppia di zone di traffico Origine/Destinazione è fornito il valore degli spostamenti in auto nell'ora di punta, ottenuto come descritto nel precedente capitolo A.2, (*MATOD_VIAGGI.DBF*), ed un file in cui sono contenuti i parametri che entrano in gioco nelle funzioni di costo prescelte (*CDEFL.DBF*).

I campi del file **NODI.DBF** sono:

- 1) **COD**: contiene il codice numerico che identifica il nodo
- 2) **TIPO**: è un codice numerico che identifica il tipo di nodo (1=centroide, 2=nodo di rete)
- 3) **COORDX**: coordinata x del nodo (corrispondente alla georeferenziazione eseguita sulla mappa);
- 4) **COORDY**: coordinata y del nodo (corrispondente alla georeferenziazione eseguita sulla mappa);
- 5) **ZONA**: è il codice del centroide relativo alla zona di traffico in cui è contenuto il nodo in questione
- 6) **GRUPPO**: contiene un codice che serve ad identificare nodi omogenei;
- 7) **ESPLOSO**: contiene un codice 1 o 0 a seconda che il nodo sia stato considerato un nodo di svolta o meno, tale campo è necessario nella schematizzazione delle svolte.

I campi del file **ARCHIR.DBF** sono:

- 1) **NA**: è il codice numerico che identifica il nodo iniziale dell'arco;
- 2) **NB**: è il codice numerico che identifica il nodo finale dell'arco;
- 3) **TIPO**: è una classificazione che permette di distinguere un arco in funzione del grado di parallelismo in questo caso è sempre stato posto uguale ad 1;
- 4) **CLASSE_R**: è un campo numerico che serve a classificare l'arco (1=connettore, 2=arco reale);
- 5) **CLASSE_PUT**: è un codice che serve a classificare l'arco secondo le direttive dei PUT, nel caso specifico è stato posto sempre pari ad 1;
- 6) **LUNG**: lunghezza dell'arco espressa in metri;
- 7) **LARG**: larghezza utile dell'arco espressa in cm;
- 8) **NCORS**: numero di corsie dell'arco rilevate;
- 9) **CAPACITA'**: capacità dell'arco calcolata come descritto;
- 10) **NCASELLI**: numero di caselli, diverso da zero per gli archi casello;
- 11) **FLUA**: eventuale precarico sull'arco;
- 12) **TIPO_NB**: è un codice numerico che consente di definire il tipo di nodo finale (1=centroide, 2=incrocio ritardato, 3=incrocio non ritardato);
- 13) **VERDE**: durata di verde all'intersezione in secondi;
- 14) **CICLO**: durata del ciclo semaforico in secondi;
- 15) **VELO**: velocità a flusso nullo calcolata come descritto;
- 16) **VELC**: velocità a carico calcolata come descritto;
- 17) **CDEFL**: codice numerico che identifica il tipo di curva di deflusso (2=BPR, 4=Doherty, 5=Doherty casello);
- 18) **IDXCDEFL**: indice della curva di deflusso associata all'arco.

I campi del file **MATOD_VIAGGI.DBF** sono:

- 1) **ORIG**: codice del centroide rappresentativo della zona di traffico origine;
- 2) **DEST**: codice del centroide rappresentativo della zona di traffico destinazione;
- 3) **VAL**: numero di spostamenti in autovetture equivalenti nell'ora di punta.

I campi del file **CDEFL.DBF** sono:

- 1) **CDEFL**: è un valore che identifica il tipo di curva di deflusso (1 per i connettori, 2=BPR, 4=Doherty, 5=Doherty casello);
- 2) **IDXCDEFL**: è un codice numerico che identifica la curva di deflusso;
- 3) **COEFF1**: vale -1 per le BPR e le Doherty, è uguale alla velocità a carico per le Doherty casello;

- 4) **COEFF2**: per le BPR contiene il coefficiente α della funzione, per la Doherty vale -1 , per la Doherty casello contiene il numero di caselli;
- 5) **COEFF3**: per le BPR contiene il coefficiente β della funzione, per la Doherty e la Doherty casello vale -1 ;
- 6) **COEFF4**: contiene il parametro t^* che tiene conto dell'eventuale tempo aggiuntivo da scontare.

Avendo costruito la base dati come descritto si è configurato lo scenario di assegnazione, si è scelto cioè il tipo di assegnazione di traffico da eseguire (*DUE* o *SUE*), si sono caricati i *file* di input e definiti i *file* di output (*ARCHIRIS.DBF*) e si sono fissati i valori dei parametri (numero di iterazioni, soglia di arresto dell'algoritmo e soglia di confronto) dell'assegnazione.

A valle di quanto descritto si è lanciato il modulo T.Road.

A1.3.3. Verifica del modello di offerta mediante T.Road

I risultati dell'assegnazione di traffico effettuata per la situazione attuale con il modello di offerta costruito come descritto, hanno imposto una verifica dello stesso.

Mediante la grafica interattiva di T.Road si è proceduto ad una analisi dei dati di input:

- capacità
- velocità a flusso nullo
- numero di corsie

nonché ad una valutazione degli output dell'assegnazione:

- distribuzione dei flussi
- grado di saturazione, ovvero rapporto tra i flussi che percorrono l'arco e la capacità dello stesso;
- velocità di percorrenza dell'arco
- tempi di percorrenza su rete

Infine la visualizzazione dei minimi percorsi a flusso nullo per zone di traffico dell'area di studio ritenute significative ha consentito un'ulteriore valutazione circa la validità del modello di offerta.