IN. CO. SE. T. S.r.l. – a socio unico
Società di Ingegneria Consulenze e Servizi per l'Ambiente e il Territorio
via A. Balzico 50, 84013 Cava de' Tirreni (SA) tel. 089/8420196 info@incoset.it www.incoset.it

Comune di Napoli

Provincia di Napoli

Progetto:

Progetto Preliminare di Piano Urbanistico Attuativo

(ai sensi della L.R. 16/04 e della Disposizione Dirigenziale n. 18 del 14/03/2008)

Ubicazione:

Napoli (Na) - via del Gran Paradiso

STUDIO TRASPORTISTICO

Committente:

"Merlino Gas S.r.l."
Corso Europa n. 2
80029 - Sant'Antimo (NA)

Data: luglio 2021

I Tecnici:
IN. CO. SE. T. S.r.l. – a socio unico
Società di Ingegneria Consulenze e Servizi per l'Ambiente e il Territorio
Ing. Claudio Troisi

ORDINE DEGLI INGEGNERI PROVINCIA DI SALERNO
CLAUDIO TROISI
ALBO N. 3730

SOMMARIO

PREMESSA 2
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA D'INTERVENTO 3
1.1 Localizzazione area d'intervento 3
1.2 Viabilità stato di fatto 3
2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: LE PROPOSTE DEL PUA 7
3 ANALISI TRASPORTISTICHE DELLO SCENARIO ATTUALE 9
3.1 Condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario attuale 9
4 ANALISI TRASPORTISTICHE DEGLI SCENARI DI PROGETTO 12
4.1 Stima della domanda generata dal PUA 12
4.2 Le condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario di progetto 13
4.3 Valutazione degli impatti 18
5 CONCLUSIONI 21
APPENDICE 22
A1.1. IL MODELLO DI OFFERTA DI TRASPORTO 23
A1.1.1. Delimitazione dell'area di studio e zonizzazione 23
A1.1.2. Schematizzazione dell'offerta stradale 25
A1.1.3. Definizione di velocità e capacità di un arco 25
A1.1.4. Le curve di deflusso 27
A1.2. LA STIMA DELLA DOMANDA 30
A1.3. IL MODELLO DI ASSEGNAZIONE 31
A1.3.1. Caratteristiche generali del software T.Model 31
A1.3.2. Implementazione del modello di offerta stradale su TModel 37
A1.3.3. Verifica del modello di offerta mediante T.Road 38

PREMESSA

Il documento che si presenta illustra le analisi ed i risultati condotti di uno Studio Trasportistico relativo ad un Piano urbanistico attutivo (PUA) per la realizzazione di un impianto di distribuzione-carburante con bar annesso e area verde che include n. 2 campi sportivi su un'area ubicata tra Strada Vicinale Cardone e Via del Gran Paradiso, nei pressi della caserma militare Boscariello della città di Napoli.

La realizzazione di tali interventi prevede una nuova viabilità di accesso che andrà ad integrare l'offerta stradale dell'area e consentirà di mitigare gli effetti, in termini di congestione e tempi di attesa, connessi all'attrazione e generazione degli spostamenti conseguenti agli insediamenti previsti.

Il tutto è stato articolato in 2 macro fasi:

1. nella FASE 1 si è proceduto all'analisi delle attuali condizioni di funzionamento del sistema stradale dell'area di studio;
2. nella FASE 2 si è proceduto alla simulazione delle condizioni di funzionamento del sistema stradale dell'area di studio in seguito alla realizzazione degli interventi del PUA.

Nella *prima fase* è stata effettuata l'analisi dello stato di fatto, denominato "scenario attuale": a partire dai dati disponibili, si è riprodotto il funzionamento attuale del sistema di trasporto stradale con l'ausilio di un modello matematico di simulazione di traffico per l'ora di punta mattutina e serale di un giorno medio feriale della città di Napoli.

Nella *seconda fase* sono state progettate migliorie per la viabilità di progetto, proponendo due ipotesi di progetto e verificando, per ogni scenario il funzionamento del sistema stradale con il modello matematico di simulazione messo a punto.

Il seguente elaborato si compone di 5 capitoli:

- nel capitolo 1 si localizza l'area di intervento e la viabilità stradale al suo servizio;
-nel capitolo 2 si descrivono gli interventi proposti dal PUA;
-nel capitolo 3 si descrivono le elaborazioni e le analisi trasportistiche condotte per la valutazione delle condizioni di funzionamento della rete stradale allo stato attuale;
-nel capitolo 4 si descrivono le elaborazioni e le analisi trasportistiche condotte per la valutazione delle condizioni di funzionamento della rete stradale nei due scenari di progetto;
-nel capitolo 5 si giunge alle conclusioni tramite un confronto dei tre scenari.

A completamento del documento vi è l'Appendice, ove è riportata la descrizione del modello di simulazione e di previsione dei flussi di traffico utilizzato, e in allegato 3 tavole progettuali:

- tavola T01: inquadramento dell'area di intervento;
- tavola T02: sezione tipo di Strada Vicinale Cardone, in caso di apertura alla circolazione;
- tavola T03: schema di circolazione attuale.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA D'INTERVENTO

1.1 Localizzazione area d'intervento

L'area di intervento, o area di piano, è ubicata nel quartiere di Secondigliano, nella parte settentrionale della città di Napoli (cfr. Figura 1-1).

Secondigliano fa parte della VII municipalità di Napoli, insieme ai quartieri di Miano e San Pietro a Patierno, ed ha una popolazione di 55000 abitanti, con una densità abitativa di 18707,48 ab/km$^{2.}$

Confina a nord-ovest con il quartiere di Scampia; ad ovest con il quartiere di Miano; a sud con i quartieri di San Carlo all'Arena e San Pietro a Patierno, ed a est con i comuni di Arzano e Casavatore.

Figura 1-1 – Localizzazione dell'area

1.2 Viabilità stato di fatto

L'area d'intervento (cfr. Figura 1-2), situata ad Ovest del quartiere di Secondigliano, al confine col quartiere di Scampia è servita dalle seguenti strade:

- Via del Gran Paradiso;
- Strada vicinale Cardone;
- Via Miano;
- Via Monte Rosa;
- Via Cupa Cardone;
- Strada Statale 7bis;
- Via Napoli Capodimonte.

Figura 1-2 - Area di Intervento

Allo stato attuale non tutte le strade sono praticabili. In particolare Strada Vicinale Cardone, ossia la strada che collega Via del Gran Paradiso e Via Cupa Cardone, è chiusa al traffico tramite un cancello ed è costituita da una strada sterrata priva di adeguate caratteristiche geometriche e funzionali per un'eventuale circolazione.

Figura 1-3 - Ingresso all'area da via del Gran Paradiso

Figura 1-4 - La strada vicinale Cardone procedendo verso l'ingresso di Cupa Cardone

Figura 1-5 - L'ingresso da Cupa Cardone

Via cupa Cardone, che dovrebbe collegare via Monte Rosa e Via Miano e su cui è presente l'accesso per Strada Vicinale Cardone, allo stato attuale si presenta come un vicolo cieco in quanto l'accesso a Via Miano è interrotto da paletti delimitatori in ferro (cfr. Figura 1-6).

Allo stato di fatto l'unico accesso diretto all'area è da Via Gran Paradiso.

Figura 1-6 - Accesso di Via Cupa Cardone su Via Miano, attualmente chiuso al traffico

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: LE PROPOSTE DEL PUA

Il Piano urbanistico attuativo di iniziativa privata prevede la realizzazione di:

- un distributore di carburante con bar ed autolavaggio annesso, con accesso da via Gran Paradiso;
- n. 2 campi sportivi, uno di bocce ed uno di pallacanestro
- un'area di "foresta urbana".

Inoltre tale progetto, prevede la riapertura e la riqualificazione di Strada Vicinale Cardone, attualmente chiusa
.

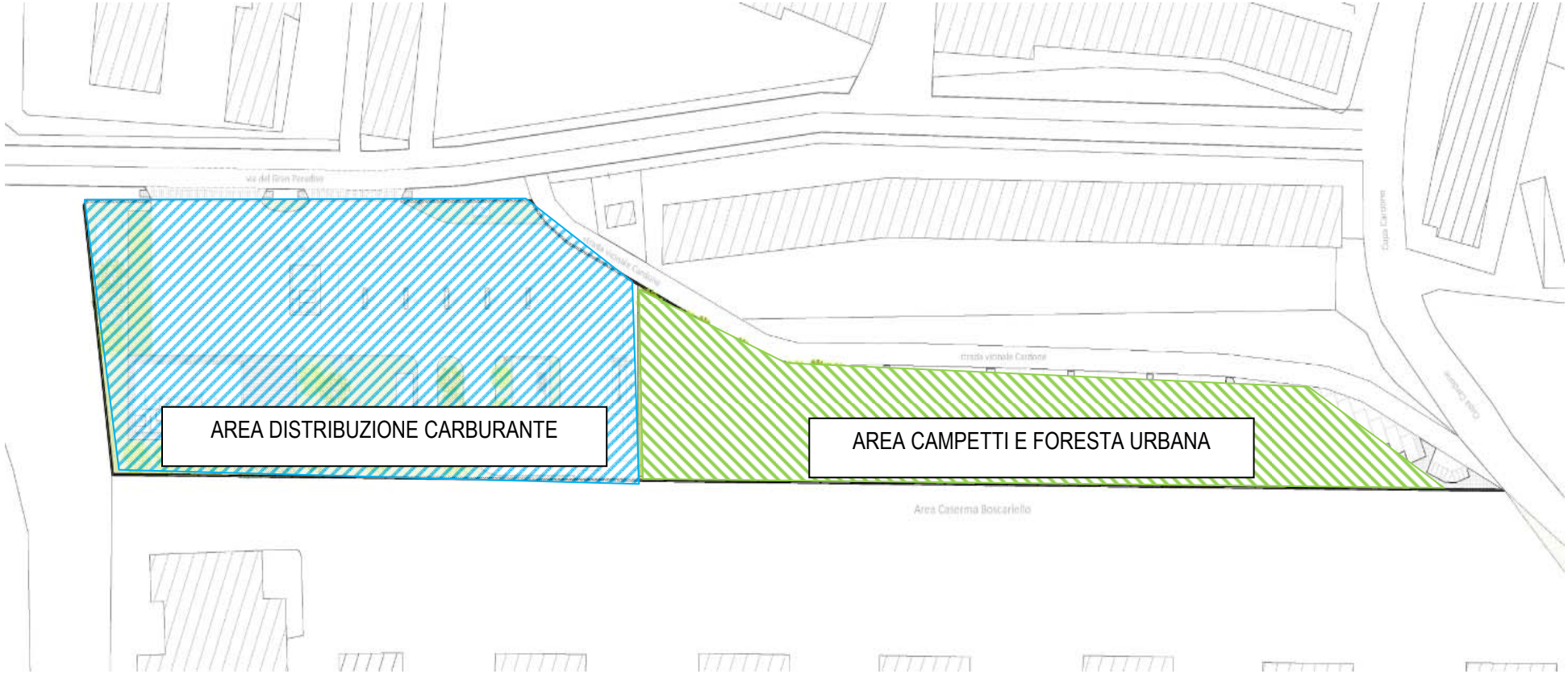

Figura 2-1 – planimetria di progetto

3 ANALISI TRASPORTISTICHE DELLO SCENARIO ATTUALE

L'utilizzo di un modello matematico di macro-simulazione del traffico veicolare e dei relativi livelli di congestione, ovvero il rapporto tra il flusso che percorre l'arco e la capacità di quest'ultimo, ha consentito di effettuare un'analisi della distribuzione dei flussi veicolari su ogni arco stradale in modo da valutare il funzionamento attuale della rete stradale dell'area di studio esaminata.

Sulla base di osservazioni del traffico precedentemente effettuate per lavori analoghi nella medesima area di studio, si è visto come la distribuzione del traffico, per lo più costante, mostra dei picchi nelle ore tra le 7:30 e le 8:30 e tra le 19:00 e le 20:00. Pertanto le simulazioni si riferiscono allo stato del sistema stradale nell'ora di punta della mattina (7:30 – 8,30) e nell'ora di punta della sera (19:00 – 20:00).

La descrizione del modello di simulazione, utilizzato per lo studio condotto, è dettagliatamente riportata in Appendice, alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

3.1 Condizioni di funzionamento della rete stradale nello scenario attuale

L' analisi dei risultati delle simulazioni eseguite per l'ora di punta della mattina e della sera, riporta la distribuzione dei flussi veicolari e i gradi di congestione (rapporto tra il flusso che percorre l'arco stradale e la capacità di quest'ultimo) delle strade a servizio dell'area d'intervento.

Da una prima valutazione della distribuzione dei flussi su rete si evince che la situazione attuale, per l'ora di punta della mattina (cfr. Figura 3-1) non presenta fenomeni di sovrasaturazione. In tale scenario, i tratti con maggiore rapporto flusso/capacità (indice di congestione) sono:

- Via Monte Rosa in direzione di Strada Statale 7bis;
- Strada Statale 7 bis verso Via Napoli Capodimonte;
- Via Napoli Capodimonte verso SS 7bis.

Nell'ora di punta della sera (cfr. Figura 3-2) risulta un notevole un incremento del carico veicolare con il manifestarsi di fenomeni di sovrasaturazione (rapporto flusso/capacità maggiore di uno), in particolare:

- Via Roma verso Scampia (SS 7bis) risulta soprasatura;
- Via Comunale Limitone d'Arzano risulta soprasatura verso Via Miano mentre è satura (indice di congestione=1) nel senso di marcia opposto;
- Via Napoli Capodimonte risulta soprasatura verso SS7 bis, mentre è satura (indice di congestione=1) nel senso di marcia opposto.

Le altre strade e l'area del PUA mostrano un indice di congestione molto basso in entrambe le fasce orarie.

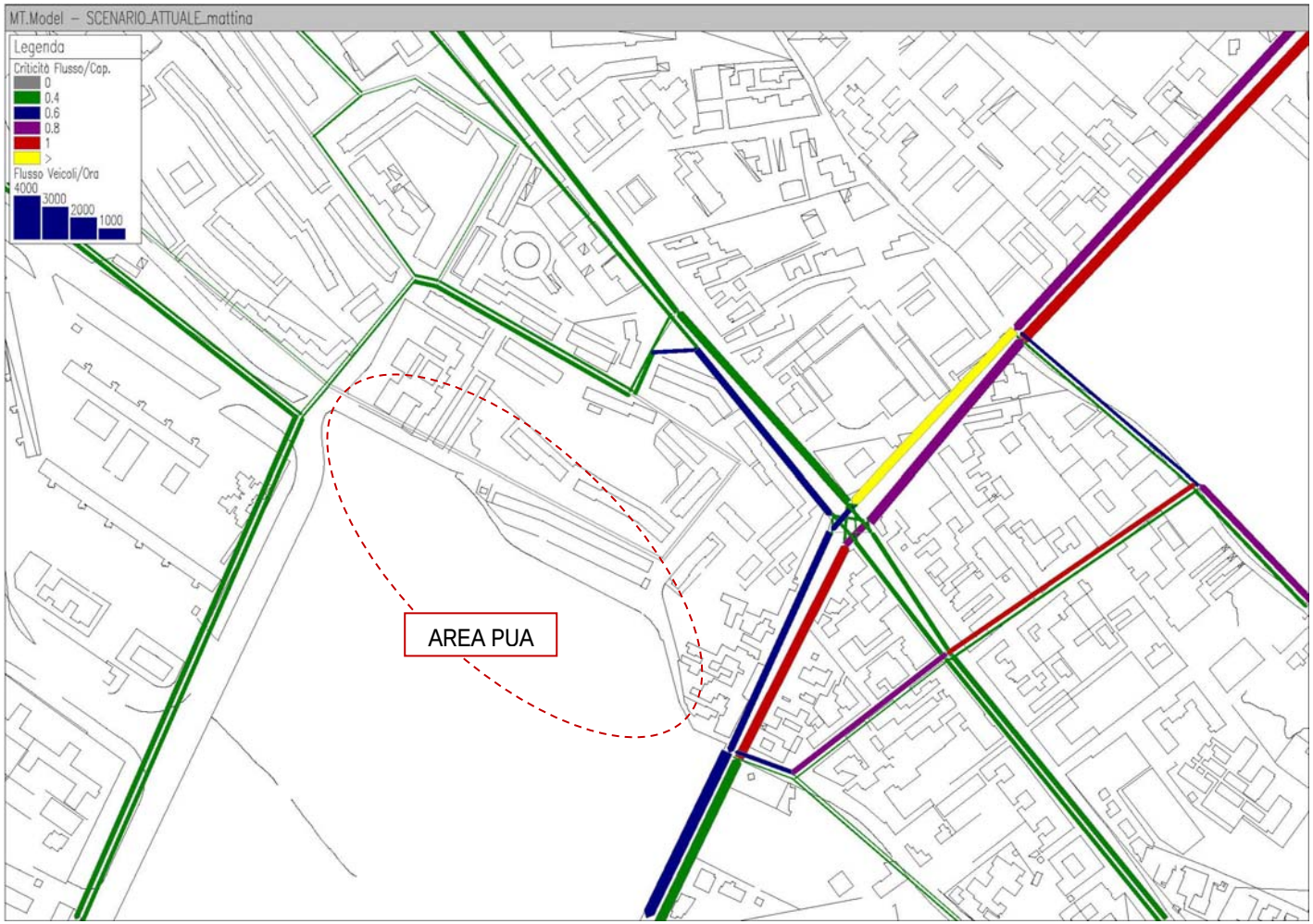

Figura 3-1 - Distribuzione dei flussi e relativo grado di congestione in prossimità dell'Area di Intervento – Scenario attuale. Ora di punta della mattina.

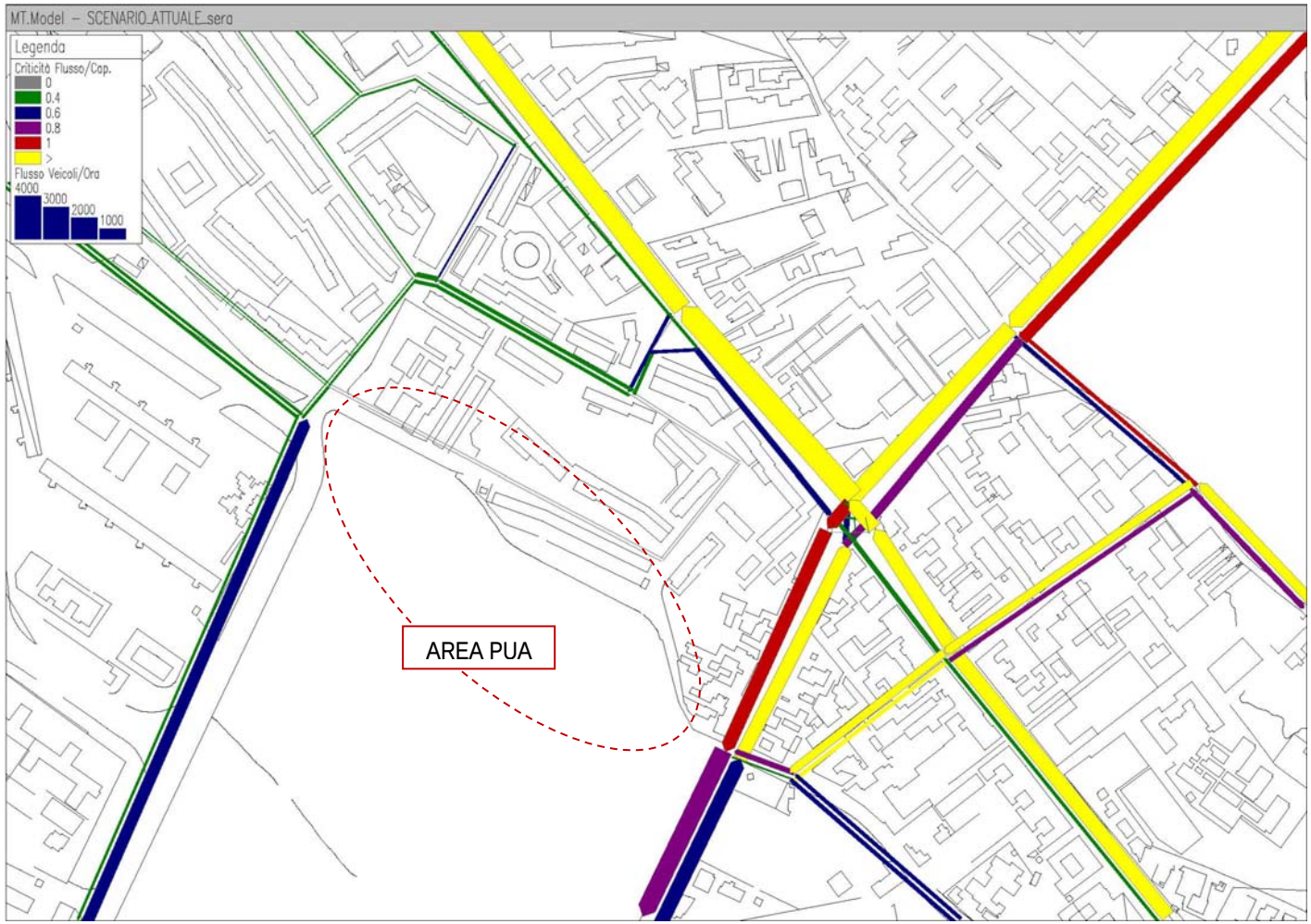

Figura 3-2 - Distribuzione dei flussi e relativo grado di congestione in prossimità dell'Area di Intervento – Scenario attuale. Ora di punta della sera.

4 ANALISI TRASPORTISTICHE DEGLI SCENARI DI PROGETTO

L'attuazione del Pua comporta, dal punto di vista della domanda, l'incremento dei flussi generati e attratti, stimati con le metodologie descritte nel successivo paragrafo. Nel prosieguo si illustrerà l'adeguamento dell'offerta prevista in due scenari di progetto:

- *Scenario di progetto 1*: si prevede l'apertura e la realizzazione di Strada Vicinale Cardone a senso unico di marcia;
- *Scenario di progetto 2*: si prevede l'apertura sia di Strada Vicinale Cardone che di Via Cupa Cardone; quest'ultima a senso unico di marcia da Strada Vicinale Cardone verso Via Miano. Pertanto, gli utenti che da Strada Vicinale Cupa dovranno immettersi su Via Miano, potranno scegliere di utilizzare Via Cupa Cardone.

In riferimento agli scenari di progetto, è stato valutato il funzionamento del sistema stradale dell'area con l'attivazione del PUA.

4.1 Stima della domanda generata dal PUA

Al fine di stimare la domanda generata dal nuovo insediamento si è fatto riferimento ai valori forniti dalla letteratura e a flussi generati e attratti da insediamenti analoghi già stimati in precedenti studi trasportistici.

Si sono valutati separatamente i flussi attratti dall'area sportiva e dall'area di servizio, nell'ora di punta della mattina e della sera.

- Per l'area sportiva (cfr.Tabella 4.1) si è considerato uno svolgimento delle attività dal pomeriggio alla sera. Quindi per la mattina si stima un flusso di 4veic/h in ingresso, di cui un addetto alle pulizie e 3 visitatori che fanno accesso all'area verde, e 3 veic/h in uscita.
  Nell'ora di punta della sera, l'area sportiva risulta essere in piena attività e la domanda di trasporto, tabellata in base all'estensione dell'area, pari a 25 veic/h in ingresso e 25 veic/h in uscita *(cfr. Montella, B. (1996). Pianificazione e controllo del traffico urbano. Modelli e metodi. CUEN).*

- Per l'area di servizio (cfr. Tabella 4.2), che comprende bar autolavaggio e distributore, si considera un'attività principalmente mattutina, con addetti che avranno raggiunto il posto di lavoro prima dell'ora di punta della mattina, e con chiusura dell'attività di autolavaggio e passaggio alla modalità self-service del distributore all'ora di punta della sera. Tale elemento garantisce che il traffico relativo alla media struttura di vendita non andrà a sovrapporsi con le punte di maggiore intensità del normale traffico dell'area interessata. Si stima pertanto, facendo riferimento ad osservazioni precedentemente fatte in situazioni analoghe, la mattina un flusso sia in ingresso che in uscita di 58 veic/h e la sera 25 veic/h in ingresso e 27 veic/h in uscita, di cui due addetti che staranno lasciando la postazione al distributore di carburante.

Le tabelle che seguono sintetizzano i valori della domanda stimata in termini di auto equivalenti in ingresso e in uscita nell'ora di punta della mattina e della sera di un giorno feriale.

Tali stime si traducono nell'incremento della matrice Origine/Destinazione con la domanda generata dal nuovo insediamento.

Tabella 4.1 – Auto equivalenti attratte ed emesse dall'area sportiva

Quantificazione veicoli attratti da area sportiva				
	Ora di punta del mattino (07:30-08:30)		Ora di punta della sera (19:00-20:00)	
	IN	OUT	IN	OUT
Addetti	1	0	0	0
Visitatori	3	3	25	25
Totale	4	3	25	25

Tabella 4.2 – Auto equivalenti attratte ed emesse dall'area di servizio

Quantificazione veicoli attratti dall'area di servizio (bar, autolavaggio e distributore)				
	Ora di punta del mattino (07:30-08:30)		Ora di punta della sera (19:00-20:00)	
	IN	OUT	IN	OUT
Addetti	0	0	0	2
Visitatori	58	58	25	25
Totale	58	58	25	27

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

Le simulazioni all'ora di punta della mattina mostrano come le condizioni di funzionamento tra i due scenari siano molto simili.

L'unica criticità si manifesta nell'ora di punta della sera, per entrambi gli scenari, con un indice di congestione maggiore di uno e quindi con una sovrasaturazione su Via Roma verso Scampia e Via Comunale Limitone d'Arzano verso Via Miano; così come lo risultavano nello scenario attuale.

In particolare, lo scenario di progetto 1 evidenzia che l'inserimento delle attività sopracitate, comporta un flusso sui tratti di strade adiacenti alle attività, che prima risultavano perlopiù scariche. Nell'ora di punta del mattino (cfr. Figura 4-1) il grado di congestione delle strade limitrofe rimane invariato.
Nell'ora di punta della sera (cfr. Figura 4-2) risulta esserci un decongestionamento di Strada Statale 7bis – via Roma Verso Scampia, che nello scenario attuale presenta un grado di congestione maggiore di 1.

Nello scenario di progetto 2, con l'apertura di Via Cupa Cardone che consente l'accesso a Via Miano, si ha sia nell'ora di punta della mattina (cfr. Figura 4-3) che della sera (cfr. Figura 4-4) una leggera ridistribuzione dei flussi, con un incremento su Via del Gran Paradiso che però continua a mantenere un rapporto flusso/capacità basso (colore verde). Nell'ora di punta della sera, anche nello scenario di progetto 2 si ha una decongestione si SS 7 bis, anche se leggermente inferiore allo scenario di progetto 1.

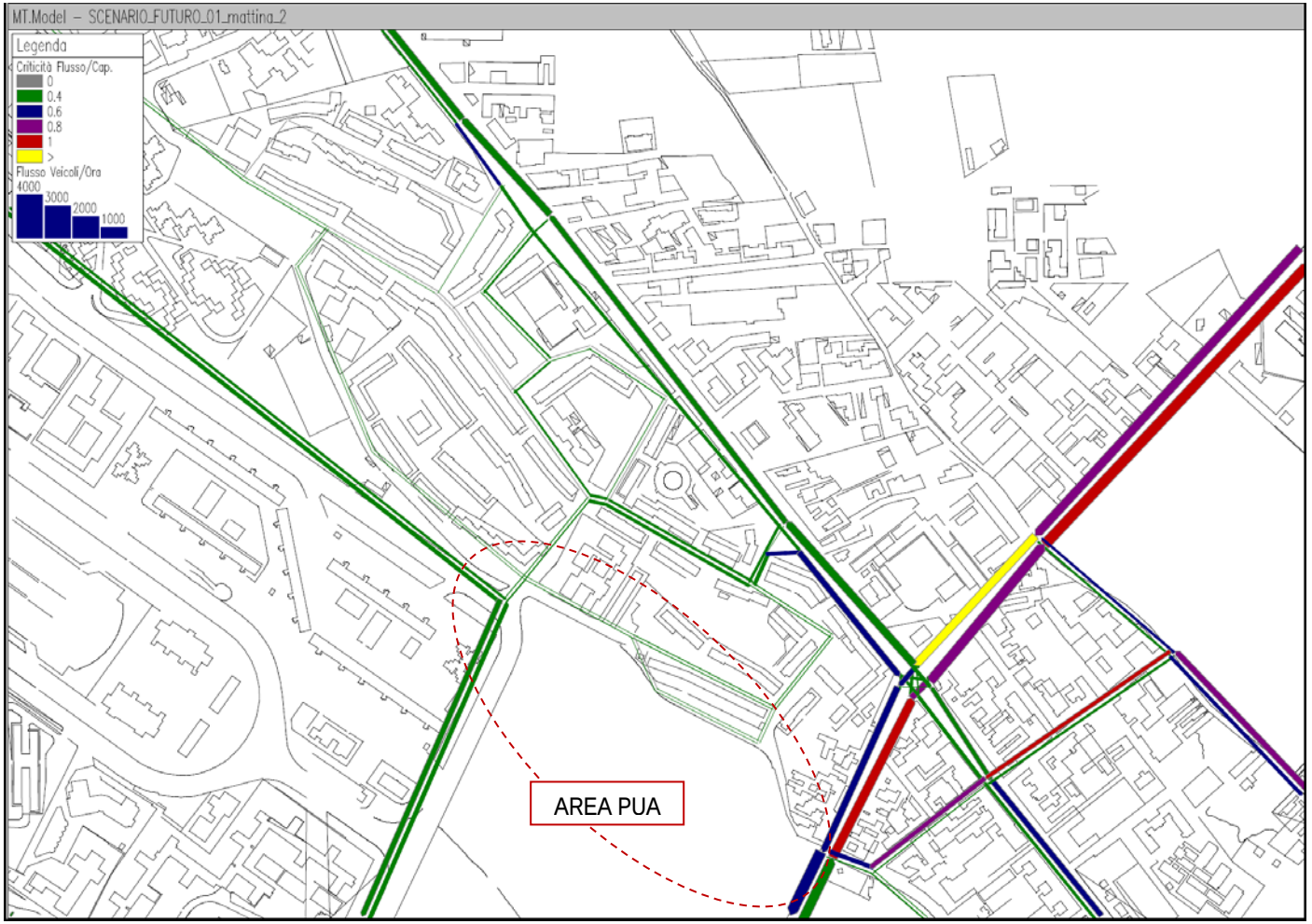

Figura 4-1 - Distribuzione dei flussi e relativo grado di congestione in prossimità dell'Area di Intervento – Scenario di Progetto 1. Ora di punta della mattina.

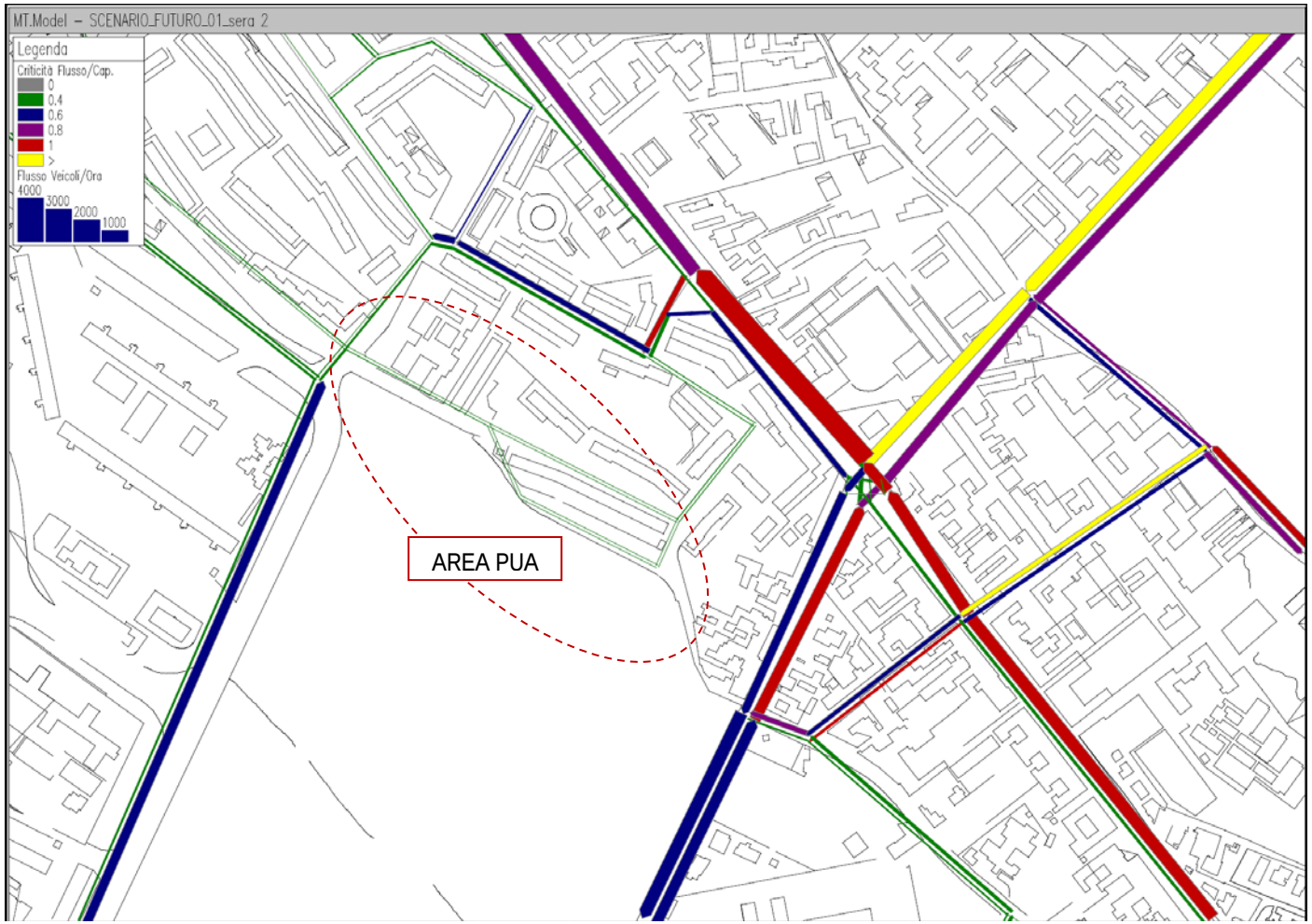

Figura 4-2 - Distribuzione dei flussi e relativo grado di congestione in prossimità dell'Area di Intervento – Scenario di Progetto 1. Ora di punta della sera.

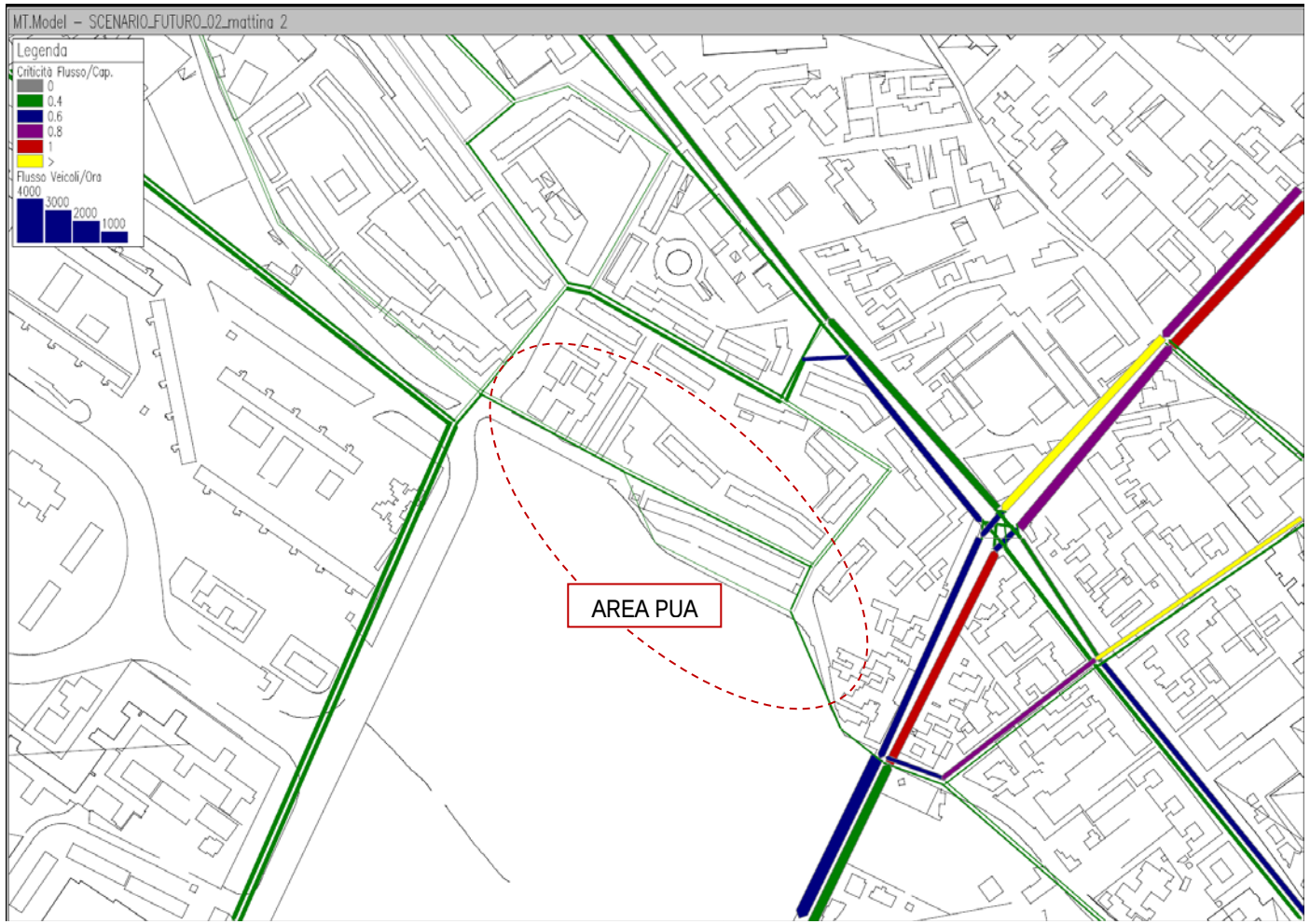

Figura 4-3- Distribuzione dei flussi e relativo grado di congestione in prossimità dell'Area di Intervento – Scenario di Progetto 2. Ora di punta della mattina.

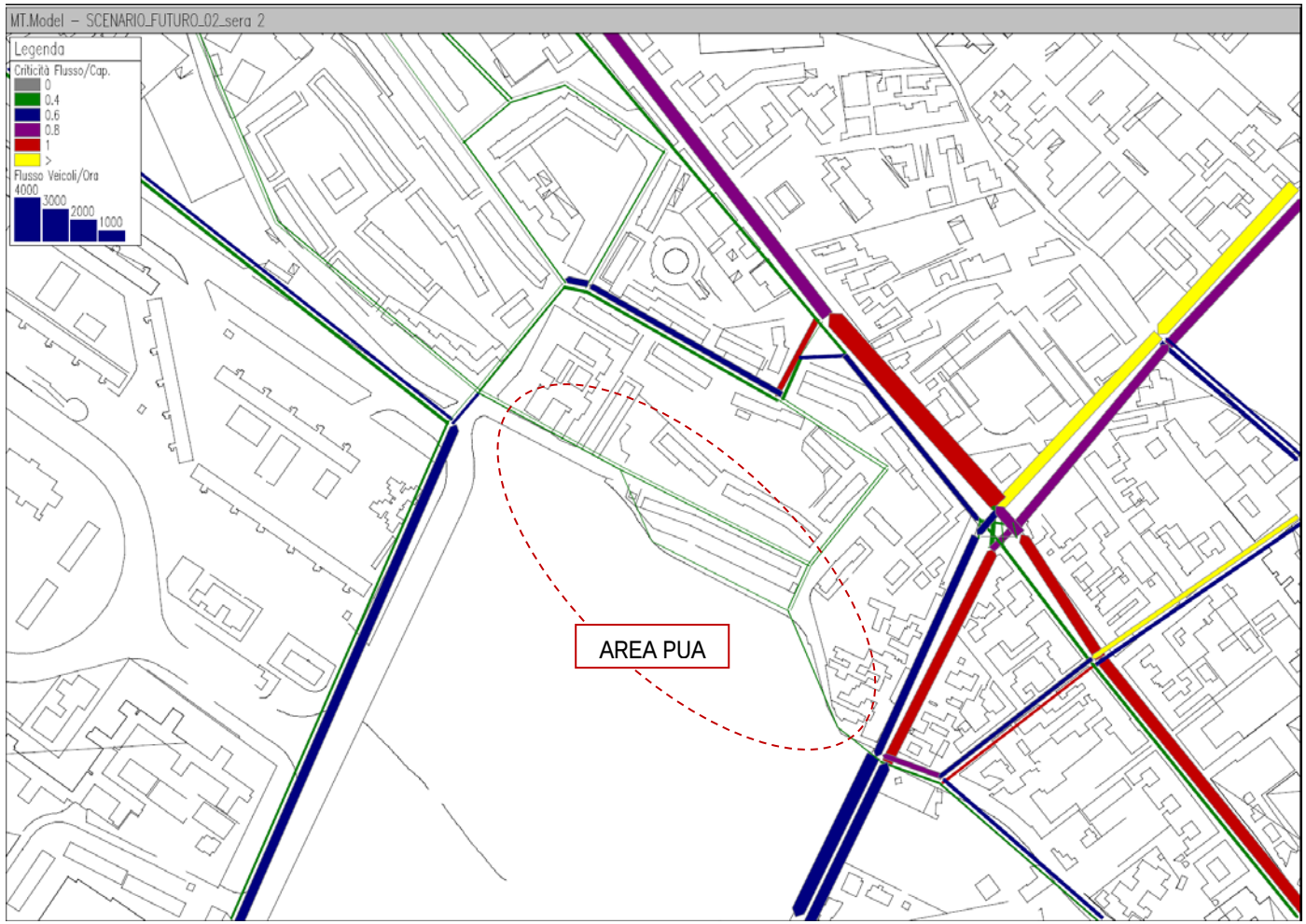

Figura 4-4 - Distribuzione dei flussi e relativo grado di congestione in prossimità dell'Area di Intervento – Scenario di Progetto 2. Ora di punta della sera.

4.3 Valutazione degli impatti

La distribuzione dei flussi di traffico sulla rete stradale dell'area ed i relativi livelli di congestione mostrano che la realizzazione del nuovo insediamento non influenza eccessivamente l'incremento di carico che si registra su rete.

Per valutare l'influenza dell'intervento a livello globale, si sono calcolati degli indicatori di prestazione medi sugli archi stradali in prossimità dell'area di intervento, evidenziati nella Figura 4.5; gli archi sono suddivisi per categoria di strada, secondo il *Regolamento Viario del comune di Napoli, delibera di C.C. n°210 del 21/12/2001.*

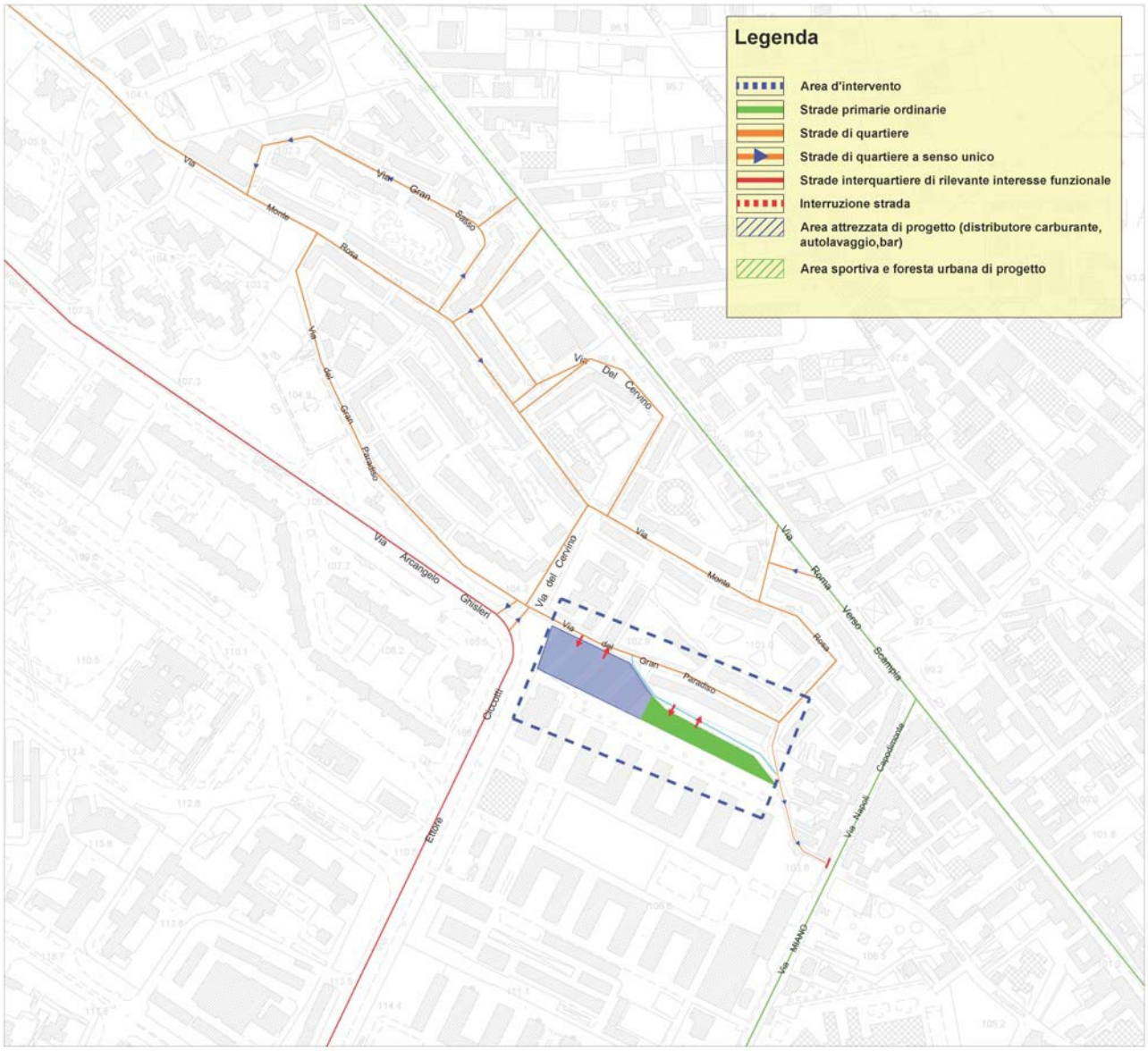

Figura 4-5 - Archi stradali estratti in prossimità dell'area di intervento per il calcolo degli indicatori di prestazione, suddivisi per categoria di strada, secondo il regolamento viario (delibera di C.C. n°210 del 21/12/2001).

Gli indicatori di prestazione più significativi sono:

- *tempo totale di percorrenza*, di tutti gli archi considerati;
- *velocità media;*
- *indice di criticità medio.*

Dal confronto degli indicatori, si nota che in entrambe le fasce orarie non si ha notevole differenza di prestazione della rete tra i due scenari di progetto, è però evidente il miglioramento delle prestazioni in seguito all'intervento.

Gli indici di criticità maggiori si registrano nell'ora di punta della sera e in particolare sulle strade primarie ordinarie (Via Roma verso Scampia, Via Miano, via Napoli Capodimonte) con il 92% nello scenario attuale che si riduce del 23% nello scenario di progetto 1 e del 21% nello scenario di progetto 2 (cfr. Tabella 4.8). Sulle strade di quartiere si registrano invece valori più bassi dove, nell'ora di punta della sera, si ha un indice di criticità del 43% nello scenario attuale; esso si riduce del 8% nello scenario 1 e del 9% nello scenario 2 (cfr. Tabella 4.8).

Nell'ora di punta della mattina si registrano indici di criticità inferiori: nelle strade di quartiere si ha un indice di criticità del 21% nello scenario attuale, che si riduce dell'3% nello scenario di progetto 1 e del 4% nello scenario di progetto 2. Nelle strade ordinarie primarie l'indicatore di criticità si mantiene costante, con solo un incremento dell'1% nello scenario di progetto 2 (cfr. Tabella 4.5). Nelle tabelle che seguono si riportano in dettaglio gli indicatori di prestazione.

Tabella 4.3 – Indicatori di prestazione per strade di quartiere nell'ora di punta della mattina

STRADA DI QUARTIERE

MATTINA				
Scenario	Km tot [km]	Tempo tot [h]	Velocità media [km/h]	Indice di Criticità medio []
ATTUALE	241,727	4,028783333	18,32027	21%
PROGETTO 1	303,757	5,062617	19,94792	18%
PROGETTO 2	323,05	5,384166667	19,85258075	17%

Tabella 4.4 – Indicatori di prestazione, per strade di interquartiere di rilevante interesse funzionale nell'ora punta della mattina

STRADA DI INTERQUARTIERE DI RILEVANTE INTERESSE FUNZIONALE

MATTINA				
Scenario	Km tot [km]	Tempo tot [h]	Velocità media [km/h]	Indice di Criticità medio []
ATTUALE	1078,24	17,97066667	34,78369	26%
PROGETTO 1	1146,504	19,1084	34,58904	25%
PROGETTO 2	1064,341	17,73901667	34,92289157	22%

Figura 4-6 - indicatori di prestazione per strade primarie ordinarie nell'ora punta della mattina

STRADA PRIMARIA ORDINARIA

MATTINA				
Scenario	Km tot [km]	Tempo tot [h]	Velocità media [km/h]	Indice di Criticità medio []
ATTUALE	2777	46	25	50%
PROGETTO 1	3513	58	26	50%
PROGETTO 2	3548	60	26	51%

Tabella 4.5 – Indicatori di prestazione per strade di quartiere nell'ora di punta della sera

STRADA DI QUARTIERE

SERA				
Scenario	Km tot [km]	Tempo tot [h]	Velocità media [km/h]	Indice di Criticità medio []
ATTUALE	559	9	16	43%
PROGETTO 1	534	8,9	17	35%
PROGETTO 2	541	9	17	34%

Tabella 4.6 – Indicatori di prestazione, per strade di interquartiere di rilevante interesse funzionale nell'ora punta della sera

STRADA DI INTERQUARTIERE DI RILEVANTE INTERESSE FUNZIONALE

SERA				
Scenario	Km tot [km]	Tempo tot [h]	Velocità media [km/h]	Indice di Criticità medio []
ATTUALE	1253	21	34	40%
PROGETTO 1	1000	17	35	33%
PROGETTO 2	1226	20	34	35%

Figura 4-7 - indicatori di prestazione per strade primarie ordinarie nell'ora punta della mattina

STRADA PRIMARIA ORDINARIA

SERA				
Scenario	Km tot [km]	Tempo tot [h]	Velocità media [km/h]	Indice di Criticità medio []
ATTUALE	6387	106	15	92%
PROGETTO 1	4844	80	21	69%
PROGETTO 2	4902	82	22	68%

5 CONCLUSIONI

Lo studio trasportistico condotto sull'intera rete stradale cittadina con particolare riferimento alla porzione direttamente a servizio dell'area del PUA, si riferisce a tre scenari: uno attuale e due di progetto.

Gli scenari di progetto prevedono dal lato della domanda l'attivazione del PUA con la generazione e attrazione degli spostamenti conseguenti, dal lato dell'offerta l'apertura alla circolazione di Strada Vicinale Cardone e Via Cupa Cardone, adiacenti all'area del PUA.

Dal punto di vista trasportistico, dalle simulazioni di traffico effettuate emerge che, allo stato di fatto, per l'ora di punta della mattina, non vi sono fenomeni di congestione rilevanti. Mentre per l'ora di punta della sera si registrano fenomeni di congestione sui Via Roma verso Scampia e sul tratto di Via Miano che continua verso Via Comunale Limitone d'Arzano.

Per gli scenari di progetto, si è visto che l'attuazione del Pua non comporta una sovrasaturazione della rete stradale dell'area ma soltanto un incremento del rapporto flusso/capacità (indice di congestione) che comunque resta sempre al di sotto dello 0,8, limite tecnico di soddisfacente funzionalità trasportistica. Anzi l'apertura delle due strade comporta, nell'ora di punta della sera, una decongestione di quelle strade che allo stato attuale risultano in condizioni di sovrasaturazione.

Tra i due scenari di progetto, il primo che prevede l'apertura solo di Strada Vicinale Cardone e il secondo che prevede l'apertura anche di Via Cupa Cardone con senso unico a scendere verso Via Miano, non ci sono rilevanti variazioni di prestazione.

APPENDICE

Il modello matematico di simulazione e previsione dei flussi di traffico

La simulazione del funzionamento di un sistema di trasporto, in generale, 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, dove si ritiene si esauriscono la maggior parte degli effetti determinati dagli interventi progettati, coincide con l'intera area metropolitana di Napoli per la quale si dispone di un modello di simulazione dei flussi di traffico.

Per procedere alla modellizzazione del sistema e, quindi, schematizzare gli spostamenti che avvengono tra punti specifici dell'area, 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 SS 145), un centroide per i comuni a Nord che utilizzano la SS 268.

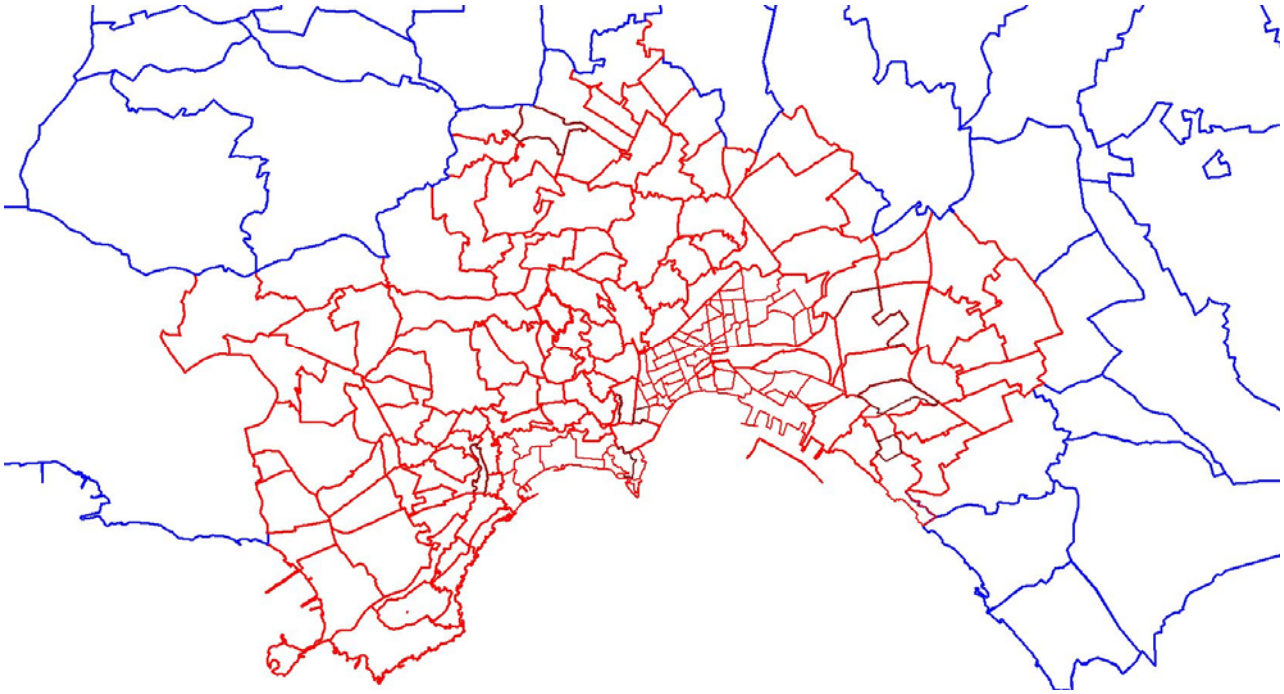

Figura A.1.1 - zonizzazione

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 da:

- dall'autostrada A1 – MI – NA;
- dall'autostrada A3 – NA – Pompei – SA;
- dalla tangenziale di Napoli;
- dalle strade a doppia carreggiata e svincoli sfalsati quali la Circumvallazione Esterna, la tangenziale di Soccavo, la SS 265, la SS 162;
- dalle principali strade urbane ordinarie del comune di Napoli come individuate e classificate nel Regolamento viario comunale.

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.

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:

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

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:

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

-E_i = coefficiente di equivalenza
che vale[1]:

Autovetture e veicoli merci leggeri	E_a = 1.00
Veicoli pesanti medi e grandi	E_p = 1.75

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

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:

V0 = 31.1 + 2.8*Lu - 1.2*P - 12.8 *T2 - 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 A1.1.

Tabella A1.1 - Classificazione delle strade extraurbane e relative caratteristiche.

Tipologia	Classe	Vo [Km/h]	Vc [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
Circumvallazione esterna	B2	80	50	1500*N_corsie	2
SS 268 – SS 162	B3	80	50	2000	1
Tipologia	Classe	Vo [Km/h]	Vc [Km/h]	Capacità [veic.eq./h]	N_corsie
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 A1.2.

Tabella A1.2 – 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

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 A1.3.

Tabella A1.3 – 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*
-circumvallazione esterna	*BPR*
-SS 268 – SS 162	*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 tagiando	*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:
– V0 = velocità a vuoto in km/h
– a = 0.0001
– f = flusso in veic/h
– Lu = larghezza utile sezione corrente in metri
– (se V < 5 km/h si pone V = 5 km/h)

tempo di attesa dato da:

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

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

dove:
A è pari a:

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

=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

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

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.
In generale la forma funzionale è:

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

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:

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

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

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:

$$T^* = C_4 * l$$

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 C4 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 C4 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 (ad eccezione di quelli della tangenziale di Napoli, per i quali si dispone di misure dirette) 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. In generale questa matrice va "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. Poiché l'emergenza Covid ha determinato una generale riduzione dei flussi veicolari, si sarebbero ottenuti dei flussi di traffico alterati rispetto alle condizioni normali; pertanto si è preferito non correggere la matrice.

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.

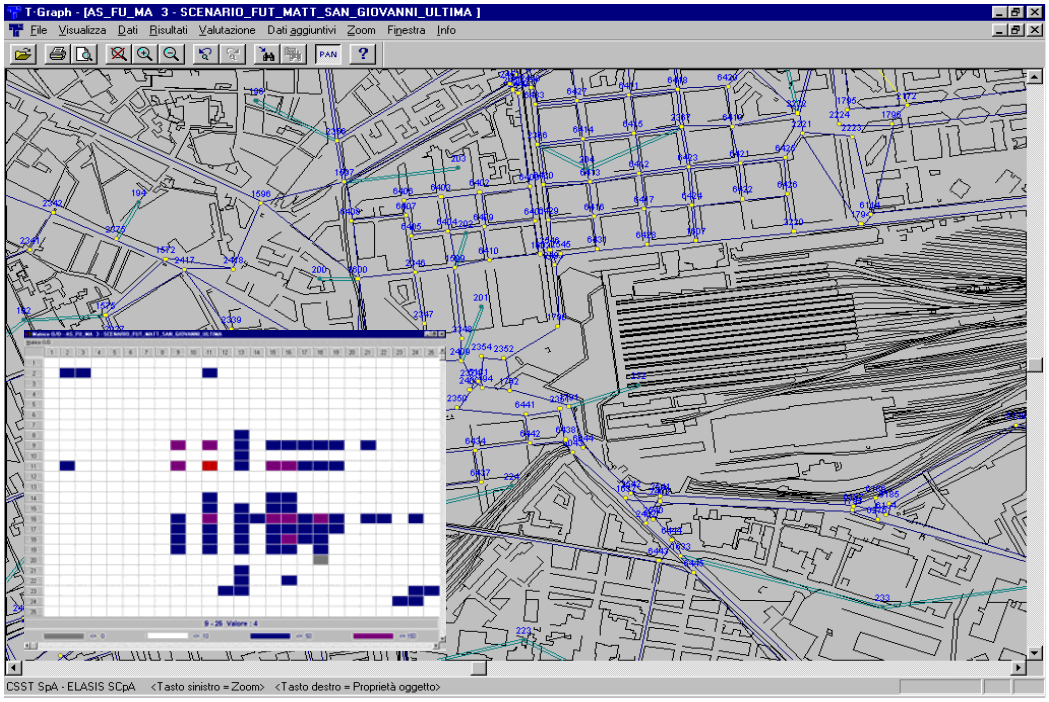

Figura A1.2 - Rappresentazione della rete e della matrice o/d con valori della domanda di spostamenti suddivisa in classi

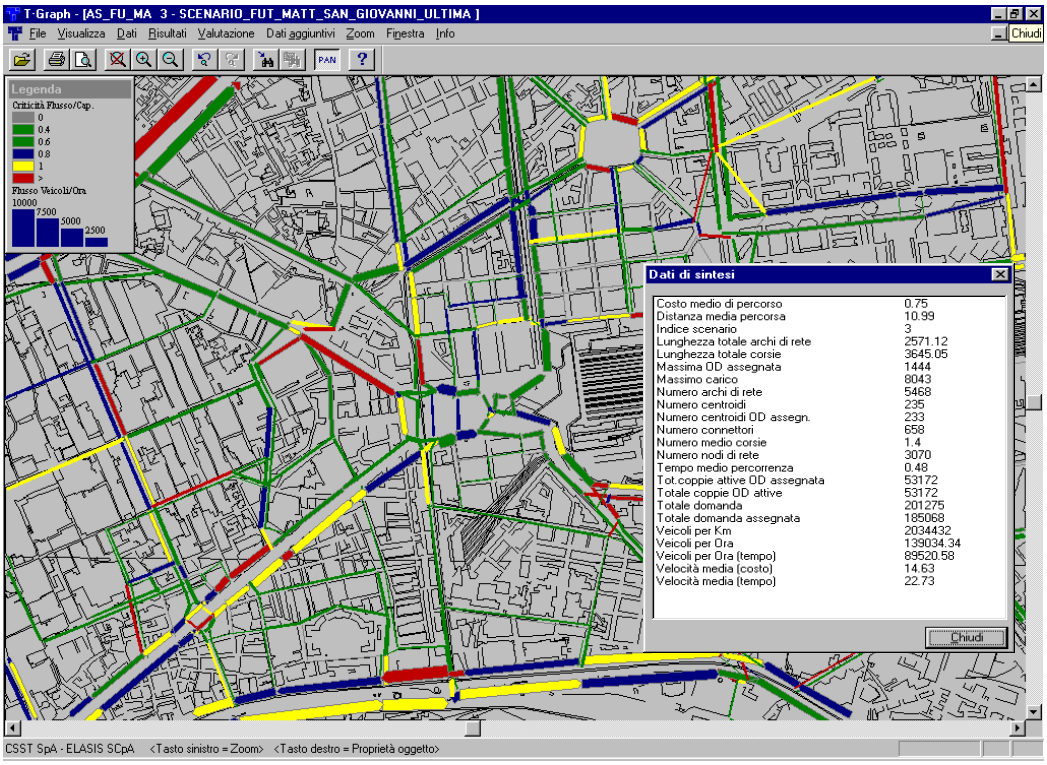

Figura A1.3 - Rappresentazione della rete stradale con in scala colore la criticità (flusso/capacità) degli archi. La tabella riporta i risultati aggregati

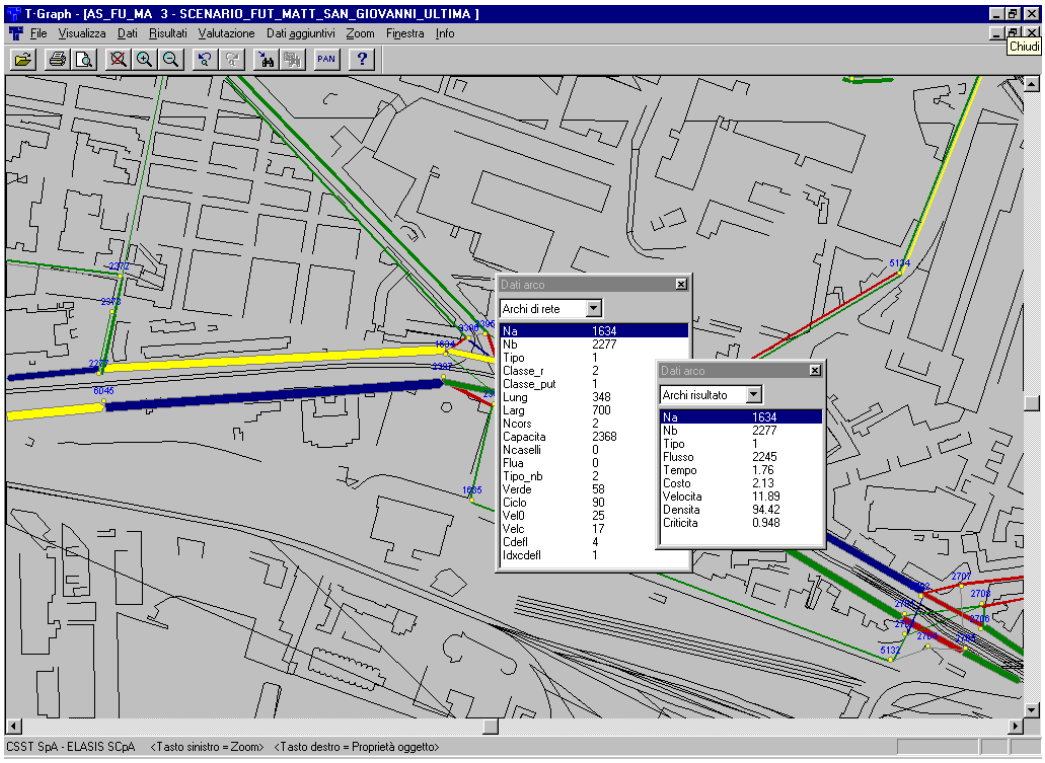

Figura A1.4 - Rappresentazione della rete stradale con dati di input e di output di un arco selezionato

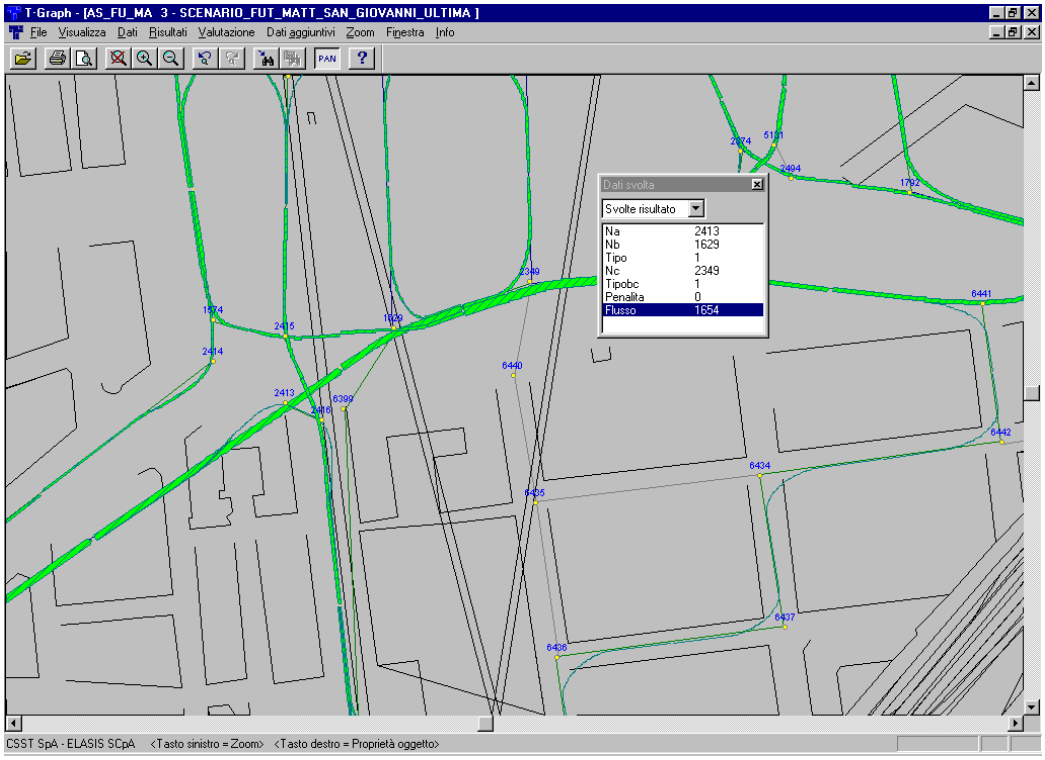

Figura A1.5 - Rappresentazione dei flussi di svolta per un nodo "implicitamente esploso" e dei dati numerici relativi ad una svolta

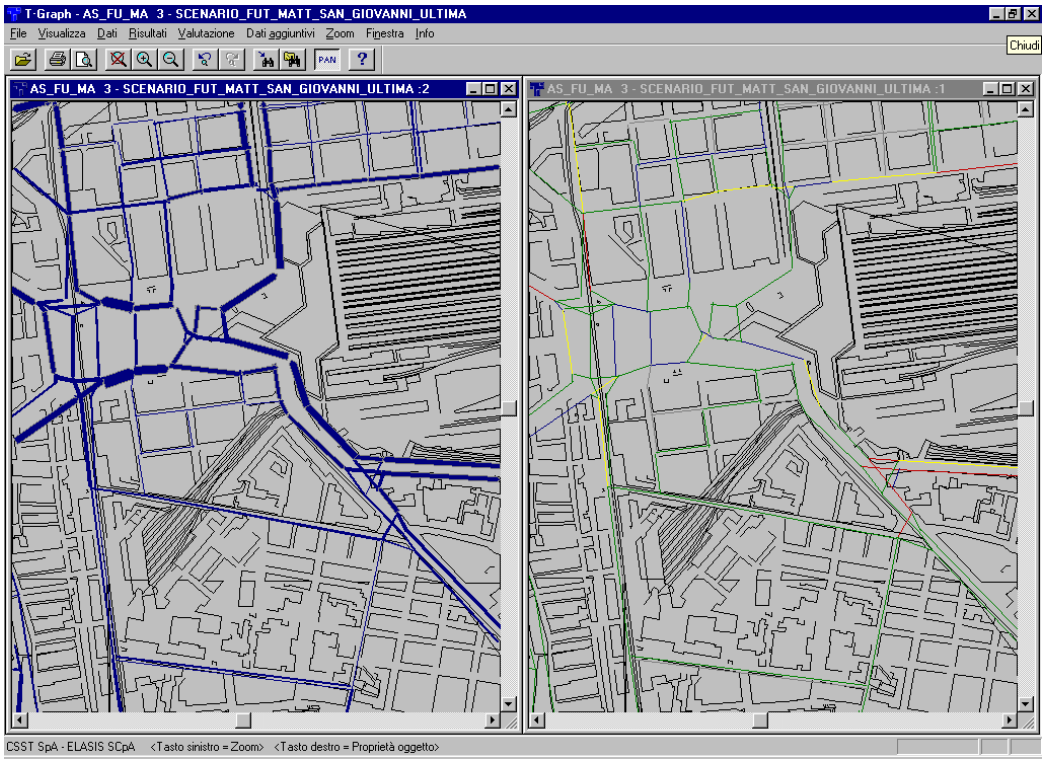

Figura A1.6 - Rappresentazione di un minimo percorso fra coppia OD e caratteristiche dello stesso all'equilibrio

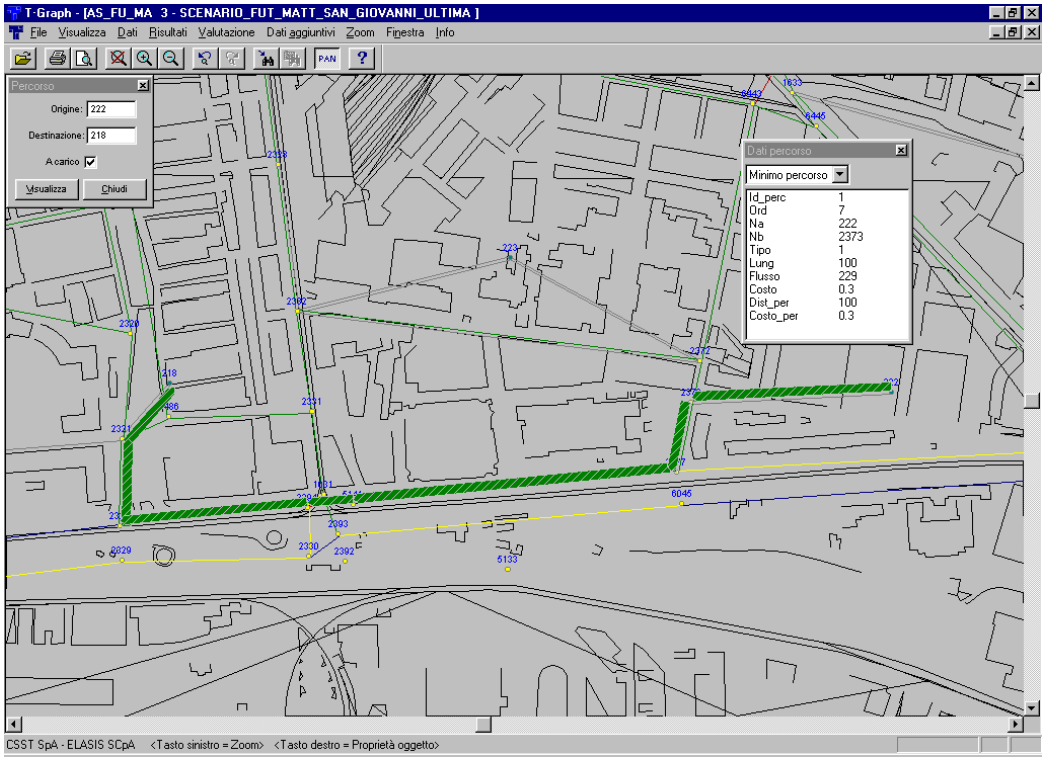

Figura A1.7 - Rappresentazione multiwindows. La finestra di sinistra rappresenta i flussi in scala spessore, quella di destra le criticità in scala colore

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 scenari 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 precedenta 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) VEL0: 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 della funzione, per la Doherty vale –1, per la Doherty casello contiene il numero di caselli;
5) COEFF3: per le BPR contiene il coefficiente 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.