

*ATP Cavalli Casiroli Brusetti*

Comune di Borgomanero

**Piano Generale del Traffico Urbano**

**Calibrazione del Modello**

*Aprile 1999*

***Responsabili del progetto:***

*Arch. Fabio Casiroli  
Arch. Giuseppe Brusetti*

***Gruppo di Lavoro:***

*Ing. Claudia Ponti  
Dott. Stefano Riva*

***Consulente:***

***Codice Progetto:***

*98V2109*

*Hanno inoltre offerto il loro prezioso contributo di conoscenza e di informazioni l'Arch. Patergnani dell'Ufficio Urbanistica, l'Ufficio Anagrafe del Comune di Borgomanero e il Corpo della Polizia Municipale.*

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Codifica del grafo stradale e delle intersezioni .....</b>	<b>3</b>
2.1	Codifica della rete.....	3
2.2	Codifica delle intersezioni.....	4
2.3	Delimitazione e azionamento dell'area di studio.....	5
<b>3</b>	<b>Costruzione della matrice degli spostamenti.....</b>	<b>7</b>
3.1	La matrice degli spostamenti.....	7
<b>4</b>	<b>Caratteristiche del modello di traffico.....</b>	<b>8</b>
4.1	Caratteristiche del modello.....	8
<b>5</b>	<b>Applicazione dei processi di stima matriciale .....</b>	<b>11</b>
5.1	Introduzione.....	11
5.2	Programma MVESTM - caratteristiche.....	11
5.3	Programma MVESTM - dati di alimentazione .....	12
5.3.1	La matrice di partenza.....	12
5.3.2	Itinerari.....	12
5.3.3	Screenlines.....	13
5.4	Programma MVESTM - processi di stima.....	13
<b>6</b>	<b>Calibrazione e validazione del modello .....</b>	<b>15</b>
6.1	Obiettivi.....	15
6.2	Strumenti.....	15
6.2.1	Modifiche alla rete.....	15
6.2.2	Modifiche alle intersezioni.....	16
6.2.3	Modifiche alla matrice .....	16
6.3	Convergenza del modello.....	16
6.4	Prestazioni generali del modello.....	21
6.4.1	Percorsi.....	21
6.4.2	Flussi sugli archi.....	21
6.4.3	Velocità lungo gli archi.....	22
6.4.4	Perditempo alle intersezioni.....	22
6.5	Validazione.....	23
6.5.1	Confronto ai cordoni ed alle <i>screenlines</i> .....	23
<b>7</b>	<b>Conclusioni sulla calibrazione della rete di base.....</b>	<b>30</b>

# 1 **Introduzione**

Questo rapporto descrive le attività svolte dal gruppo di lavoro per la costruzione e la calibrazione del modello di traffico della città di Borgomanero. In esso viene illustrata l'attività modellistica del Piano, vale a dire quella relativa alla costruzione, alla calibrazione ed alla validazione del modello di traffico. In seguito il modello verrà utilizzato come strumento per simulare alcuni scenari di progetto oggetto del PGTU.

Infatti, una delle finalità del modello di traffico è costituita dalla possibilità di valutare l'efficacia di molteplici schemi stradali, riferibili sia a scenari di breve che di lungo termine.

Il modello è basato sul pacchetto TRIPS, composto da una serie di programmi per calcolatore prodotti da MVA Systematica di Londra, ed è riferito all'intervallo di punta antimeridiano compreso fra le 7.30 e le 8.30.

La codifica del grafo di rete e delle intersezioni viene descritto nel capitolo 2. La costruzione della matrice iniziale degli spostamenti veicolari a partire dai dati raccolti sul campo, dai dati fornitici dall'ISTAT e dalle fonti censuarie è descritta nel capitolo 3, mentre il capitolo 4 descrive le caratteristiche del modello di traffico.

All'interno del capitolo 5 viene riportata la descrizione dettagliata della procedura di stima matriciale effettuata. Il capitolo 6, infine, illustra la calibrazione e la validazione del modello.

## 2 Codifica del grafo stradale e delle intersezioni

### 2.1 Codifica della rete

La rete stradale di Borgomanero è stata interamente codificata, fatta eccezione per le strade minori dell'area extraurbana che non costituiscono, neppure in linea teorica, alternativa agli itinerari principali.

Il grafo della rete stradale descritto nei formati TRIPS è composto da 339 nodi, 992 archi stradali e 46 zone O/D.

La codifica del grafo della rete stradale, finalizzata alle verifiche simulate, è consistita nella definizione delle seguenti caratteristiche:

- nodo di inizio arco (Anode),
- nodo di fine arco (Bnode),
- lunghezza dell'arco,
- velocità sull'arco in libero deflusso,
- capacità dell'arco,
- tipologia (gerarchia della rete),
- indicatore di capacità (associato alle curve di deflusso).

La tipologia determina la classe funzionale di ciascun arco e può essere usata sia in fase di assegnazione *-attraverso appropriate funzioni di costo generalizzato del trasporto-* che nella preparazione delle sintesi statistiche.

Sono state definite sette tipologie di archi, riportate in tabella 1.1.

Tabella 1.1 Tipologia degli archi

Tipologia	Descrizione
1	Connettori di zona (archi fittizi)
3	Strade extraurbane principali /tratto urbano
4	Strade urbane principali
5	Strade vicinali
7 e 8	Strade urbane secondarie
9	Strade locali

Fonte: Nostre elaborazioni

Gli indici di capacità determinano le modalità con cui le velocità assegnate ai singoli archi variano in rapporto ai flussi che li percorrono.

Sono stati definiti 9 indicatori di capacità che sono descritti in tabella 1.2. Ciascun indicatore di capacità è stato associato a specifiche curve di deflusso veicolare, in cui viene definita la velocità media probabile al variare del rapporto volume/capacità. Le curve di deflusso sono illustrate nella Figura seguente.

Tabella 1.2 Indicatori di capacità degli archi

Indicatore	Descrizione
1	Collegamenti zonali
2	1,5 corsie, da 3,5 a 4,5 m senza sosta
3	1,5 corsie da 3,5 a 4,5 m con sosta
4	1,0 corsie da 2,0 a 3,0 no sosta
5	1,0 corsie da 2,0 a 3,0 m con sosta
6	Vicoli urbani con sosta
7	1,5 corsie senza sosta in pendenza
12	Strade extraurbane principali 1,5 corsie
14	Strade extraurbane di collegamento locale

Fonte: Nostre elaborazioni

Tutte le caratteristiche descritte sono state controllate attraverso il pacchetto grafico MVGRAF (parte del codice TRIPS) e attraverso la costruzione di percorsi fra diverse coppie di zone, basati sulla distanza, sul tempo e sul costo generalizzato del trasporto.

## 2.2 Codifica delle intersezioni

Per garantire la massima affidabilità possibile al modello di traffico di Borgomanero, si è deciso di descrivere dettagliatamente le principali intersezioni stradali cittadine. Il numero di intersezioni totali descritte è risultato pari a 84, così suddivise:

- 14 intersezioni controllate da semafori
- 70 intersezioni a precedenza con segnaletica verticale e/o orizzontale.

Dalle immagini allegate risulta immediatamente evidente come esse prendano in esame tutti i principali punti di conflitto all'interno della città e come siano distribuite in modo da coprire l'intera area indagata.

La codifica di queste 84 intersezioni ha comportato la raccolta di una consistente quantità di informazioni, vale a dire:

- tipologia dell'intersezione,
- numero di bracci dell'intersezione,
- larghezza complessiva di ogni braccio, numero di corsie e manovre consentite da ciascuna corsia,
- flussi di saturazione,
- dati completi sui caratteri degli impianti presenti (durata del ciclo, numero di fasi e loro tempi, tempi di sgombero ed eventuale sincronizzazione),
- gerarchia delle intersezioni a precedenza esplicita.

Molte intersezioni a precedenza esplicita possono essere considerate appartenenti a gruppi standard. Per questa ragione alle 84 intersezioni non corrispondono 84 diverse descrizioni, ma 28 gruppi tipologici.

Il *file* di descrizione delle intersezioni è stato utilizzato come alimentazione del programma AVJNET, attraverso cui è stato possibile correggere eventuali errori di trascrizione dei dati censiti. Si è quindi avviata la fase di controllo e comparazione fra i risultati prodotti dal programma ed i dati raccolti sul campo.

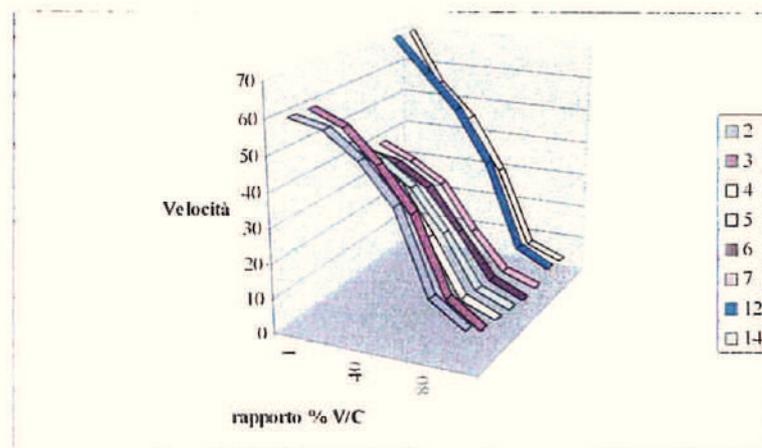


Figura 1.2 - Curve di deflusso

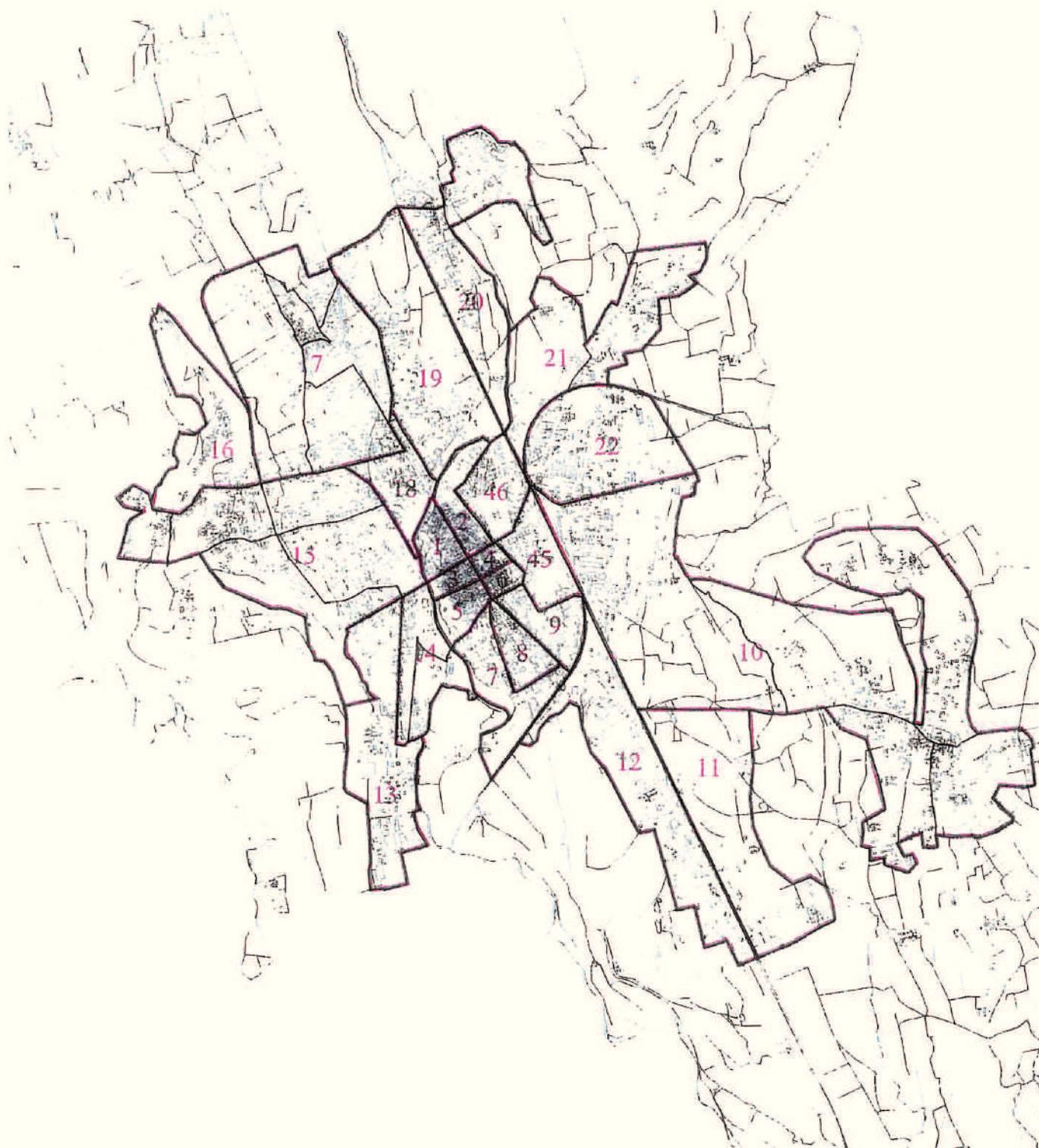
Nota: I valori in ordinata sono espressi in Kilometri ora, mentre i valori in ascissa rappresentano il rapporto percentuale fra Volume e Capacità.

### 2.3 Delimitazione e azionamento dell'area di studio

Il territorio comunale di Borgomanero è stato suddiviso in 27 zone sulla base delle zone censuarie. Ulteriori 19 zone esterne rappresentano il bacino di traffico extracomunale che interessa la rete stradale di Borgomanero. Le zone esterne non si riferiscono sempre a singoli

comuni, ma a gruppi di comuni che utilizzano la stessa direttrice di traffico.

Figura 1.3 - Azionamento interno

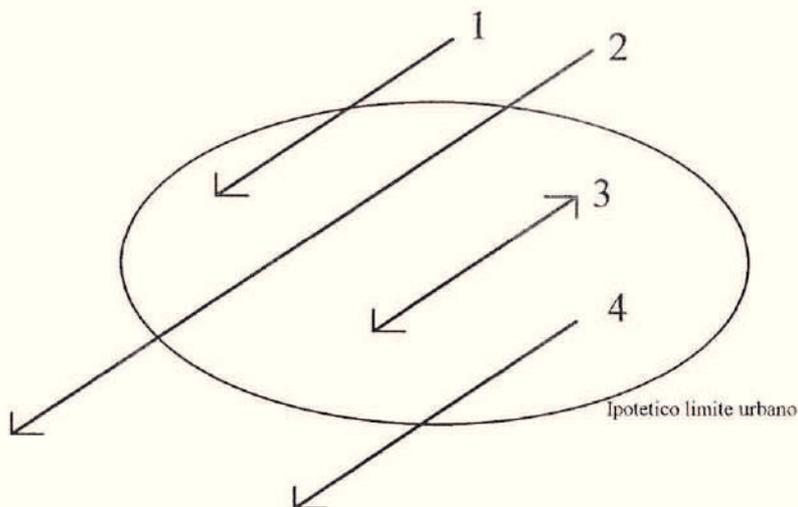


## 3 Costruzione della matrice degli spostamenti

### 3.1 La matrice degli spostamenti

Le indagini Origine/Destinazione (O/D) sono finalizzate alla conoscenza della struttura degli spostamenti autoveicolari che intersecano un dato territorio. L'informazione è fondamentale per la costruzione delle matrici degli spostamenti, che alimenteranno il modello di traffico. Obiettivi ulteriori sono la ricerca delle principali direttrici di comunicazione e la comprensione del ruolo delle diverse aree nella dinamica del traffico locale, nonché la valutazione di alcune caratteristiche salienti della domanda.

In termini generali le tipologie di spostamenti che si possono manifestare in una città sono di quattro tipi, sinteticamente illustrati dallo schema seguente.



Le quattro tipologie consistono in:

- tipologia 1 (da altri comuni verso Borgomanero);
- tipologia 2 (traffico di attraversamento);
- tipologia 3 (spostamenti interni a Borgomanero);
- tipologia 4 (spostamenti da Borgomanero verso l'esterno).

## 4 Caratteristiche del modello di traffico

### 4.1 Caratteristiche del modello

Il modello di traffico costruito per la città di Borgomanero è basato sul codice TRIPS. Per completarne tutte le fasi che lo caratterizzano sono stati utilizzati sei programmi fra loro legati secondo lo schema logico illustrato in Figura 4.1. Quattro di questi sono stati usati per sviluppare il modello:

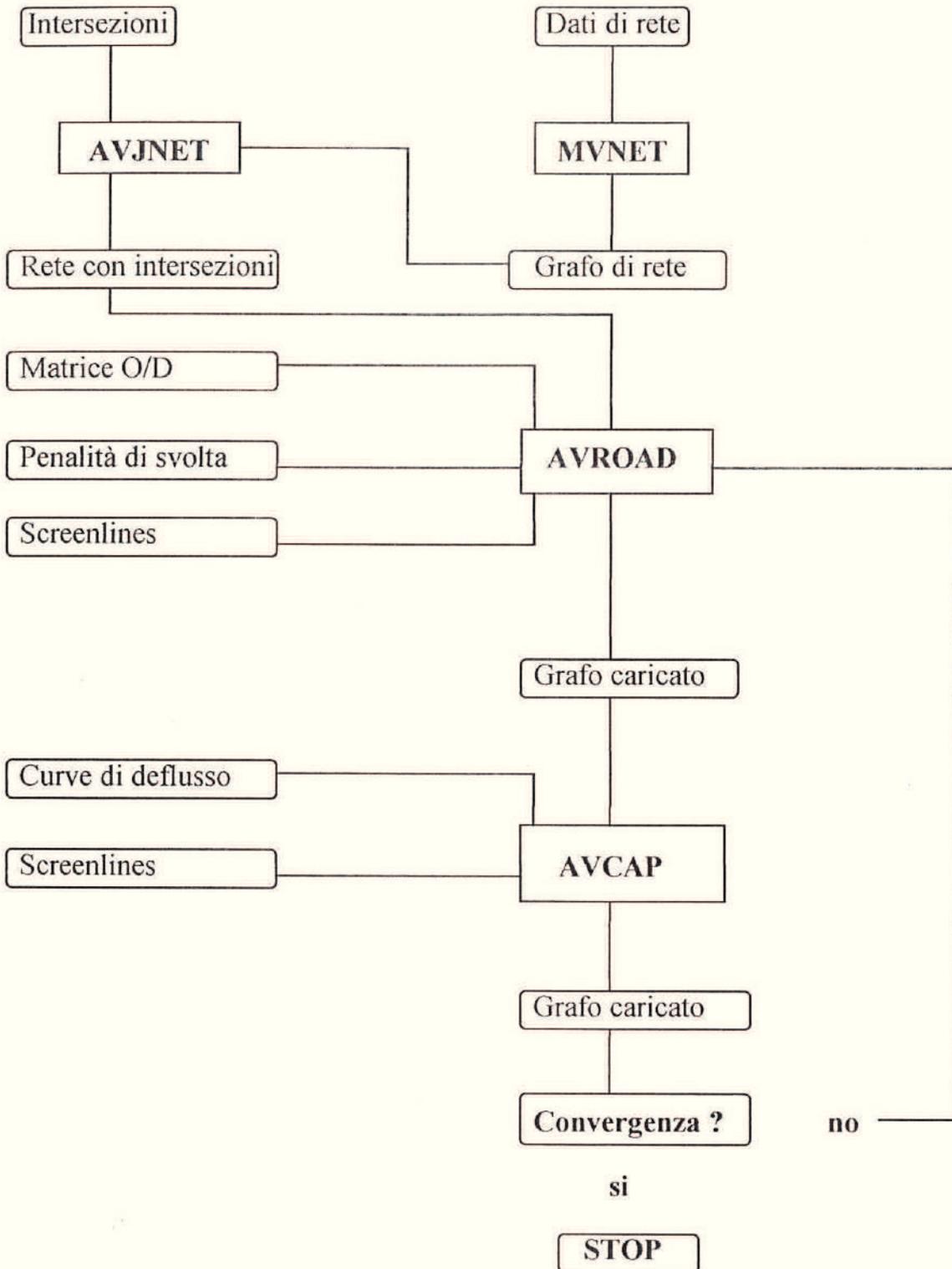
- MVNET, per generare e validare il *file* di rete;
- AVJNET, per generare e validare il *file* delle intersezioni;
- AVROAD, per identificare i cammini ad impedenza minima fra ciascuna coppia di zone O/D presenti in rete;
- AVCAP, per ricalcolare i tempi di percorrenza sugli archi ed alle intersezioni in funzione dei carichi veicolari assegnati. Questo processo è comunemente conosciuto con il termine *capacity restraint*.

Un programma è stato utilizzato nella fase di analisi dei risultati:

- MVGRAF, per controllare graficamente i risultati ottenuti al termine dei processi simulativi;

Una breve descrizione del funzionamento del processo simulativo appare a questo punto indispensabile. I due programmi che, lavorando in sequenza, permettono di simulare il comportamento del traffico in rete sono AVROAD ed AVCAP. AVROAD identifica i cammini ad impedenza minima fra ciascuna coppia di zone O/D presenti in rete ed assegna loro i valori letti nelle corrispondenti celle della matrice degli spostamenti. I flussi per arco e per direzione che ne derivano alimentano il programma AVCAP, che *-utilizzando le curve di deflusso veicolare-* ricalcola i tempi di percorrenza lungo i singoli archi ed i perditempo alle intersezioni. Questi valori rappresentano a loro volta la nuova alimentazione del programma AVROAD, che seleziona i nuovi cammini ad impedenza minima tenendo conto dei nuovi tempi e perditempo. Il modello procede iterativamente fra i due programmi fino a quando non raggiunge la convergenza.

Figura 5.1 - Struttura del modello TRIPS



Nel caso specifico di Borgomanero sono stati selezionati i seguenti principali parametri ed opzioni di caratterizzazione:

- identificazione dei cammini a minima impedenza fondata sulla tecnica del Tutto-o-Niente;
- identificazione dei cammini a minima impedenza fondata su una funzione di costo generalizzato del trasporto in cui si è associato al tempo di percorrenza un fattore di pesatura pari a 1,0 ed alla distanza da percorrere un fattore di pesatura pari a 0,3;
- utilizzo, nella sequenza iterativa tendente alla convergenza del modello, della tecnica del "volume mediato".

## **5 Applicazione dei processi di stima matriciale**

### **5.1 Introduzione**

Prima di procedere alle attività di calibrazione e di validazione del modello di traffico, è nostra consuetudine -*anche nel caso in cui la matrice di partenza presenti dati molto affidabili*- accertarci che i valori relativi agli spostamenti appartenenti alle quattro tipologie base fossero congruenti con i valori rilevati nelle sezioni di conteggio, cioè per quanto riguarda gli spostamenti E-I ed E-E i valori derivanti dalla matrice sono stati confrontati con i conteggi effettuati al cordone, mentre per le altre tipologie sono state utilizzate le sezioni di conteggio posizionate all'interno del territorio comunale.

Le sezioni di filtro vengono tradizionalmente collocate secondo sequenze che permettono di isolare intere aree o settori urbani e di definire univoci confini lungo i quali intercettare i flussi di traffico che si spostano da un settore urbano all'altro. Tali linee di filtro sono tecnicamente identificate con il termine *screenlines*.

La procedura di reciproco controllo fra i dati osservati alle *screenlines* ed i dati contenuti in matrice è chiamata processo di stima matriciale.

I processi di stima matriciale sviluppati con il codice simulativo TRIPS si avvalgono di uno specifico programma di calcolo denominato MVESTM.

### **5.2 Programma MVESTM - caratteristiche**

MVESTM è un potente strumento capace di stimare una matrice a partire da una ampia gamma di dati di alimentazione, fra cui:

- matrice di partenza (*prior matrix*);
- percorsi multi-itinerario generati dai modelli di assegnazione;
- conteggi direzionali di traffico su archi accorpabili in cordoni o *screenlines*;
- potenziale teorico di mobilità generata ed attratta da ciascuna zona di traffico, fondata sulla sua struttura socio-economica.

Una peculiare caratteristica di MVESTM è quella di tenere in debito conto la variabilità e la potenziale contraddittorietà dei diversi dati. Ogni variabile considerata viene infatti associata ad un proprio livello di confidenza, che viene utilizzato da MVESTM per dirimere i casi contraddittori.

MVESTM è in grado dunque di procedere alla stima di una matrice fondando i propri calcoli su rigorosi criteri di analisi statistica dei dati di alimentazione.

Per approfondimenti relativi alle procedure scientifiche utilizzate da MVESTM si veda "*Miles Logie & Al Hynd, MVESTM matrix estimation, Traffic Engineering + Control, Vol. 31, Sept. & Oct. 1990*".

### 5.3 Programma MVESTM - dati di alimentazione

Ciascuna delle quattro variabili sopra citate, utilizzate per alimentare il programma di stima della matrice, è descritta di seguito.

#### 5.3.1 La matrice di partenza

La matrice di partenza descritta nel secondo capitolo è stata utilizzata per alimentare ciascuna delle relazioni delle 46 zone di traffico, per un totale di 2116 celle O/D. Alle singole celle della matrice sono stati associati livelli di confidenza dei dati pari a valori compresi fra un minimo di 80 ed un massimo di 100. Il livello di confidenza attribuito alle zone periurbane ed esterne è particolarmente elevato in quanto il dato ricostruito attraverso conteggi è parso particolarmente affidabile fin dalla prima assegnazione. Nonostante il valore attribuito alle zone urbane possa apparire modesto, va ricordato che, essendo stato attribuito a gran parte delle celle della matrice, l'effetto sinergico che ne deriva è molto alto.

#### 5.3.2 Itinerari

Preliminarmente alle procedure di assegnazione della matrice alla rete è stato attivato un processo di identificazione dei possibili percorsi di connessione fra ciascuna coppia di zone O/D. Il calcolo dei percorsi avviene attraverso l'identificazione della sequenza di archi che minimizzano la funzione di costo generalizzato del trasporto, inteso come sommatoria pesata del tempo e della distanza che caratterizza ogni arco di rete.

Il calcolo dei percorsi ha preso in considerazione anche i perditempo nei nodi *-fondamentali nella comprensione della mobilità in ambito urbano-* e si è basato su una funzione di tipo stocastico, descritta attraverso l'algoritmo di Burrell.

Questa scelta ha permesso di identificare per ciascuna coppia di zone O/D 3 percorsi ragionevoli, intendendo con questo termine identificare le alternative di itinerario comprese entro un ragionevole intervallo rispetto alla funzione di costo generalizzato del trasporto desunta dagli attributi della rete.

In complesso, dunque, sono stati generati ben 6348 percorsi.

Questi percorsi sono stati poi memorizzati all'interno di un unico *file* di scelta dei percorsi probabili (*route choice probability file*), che alimenta MVESTM.

### 5.3.3 Screenlines

I dati raccolti con i conteggi di traffico sono stati raggruppati in 25 *screenlines* monodirezionali.

Tutti i conteggi direzionali così accorpati sono stati utilizzati dunque per alimentare il programma MVESTM. Va sottolineato come sia stato caricato in MVESTM il flusso totale direzionale che attraversa ogni *screenline* e non il singolo flusso rilevato alle diverse postazioni di conteggio.

Ad ogni cordone e *screenline* è stato associato un livello di confidenza che va da un valore minimo di 60 ad un massimo di 200. Questa diversità nei livelli di confidenza, è dovuta alla qualità del dato introdotto, poiché è sufficiente una piccola variazione nelle condizioni "normali", per causare forti oscillazioni nei volumi di traffico transitanti da un arco stradale (ad esempio la presenza di un cantiere stradale, o semplicemente delle condizioni meteorologiche avverse).

## 5.4 Programma MVESTM - processi di stima

I dati di alimentazione del programma MVESTM ed i relativi livelli di confidenza sono sintetizzati nella Tabella 4.1.

Tabella 4.1 - Sintesi dei criteri utilizzati per MVESTM

Criteri	Medio	Massimo	Minimo	Elementi
Livelli di confidenza della matrice di partenza	86.9	100.0	80.0	831
Livelli di confidenza di cordoni e screenlines	109.6	200.0	60.0	25

Fonte: nostre elaborazioni

Le successive applicazioni del programma hanno portato alla convergenza dopo 41 iterazioni ed hanno generato una matrice composta da un totale di 8307 spostamenti. Questo valore, confrontato con i 6654 spostamenti della matrice di partenza, rappresenta un incremento pari al 24.8 %.

La buona qualità della matrice finale generata è testimoniata dal confronto alle *screenlines* fra flussi di traffico osservati sul campo e flussi restituiti dal modello.

Tabella 4.2 - Calibrazione delle *screenlines* con MVESTM

nr. scr	nome screenline	Rilevamento	Calibrazione	delta %	diff. ass.	diff. perc.
1	Novara in	928	851	-9,05	-77	-8,30%
2	Novara out	834	681	-22,47	-153	-18,35%
3	Romagnano in	708	763	7,21	55	7,77%
4	Romagnano out	585	751	22,1	166	28,38%
5	Gattico in	523	558	6,27	35	6,69%
6	Gattico out	412	489	15,75	77	18,69%
7	Arona in	736	841	12,49	105	14,27%
8	Arona out	640	624	-2,56	-16	-2,50%
9	Gozzano in	611	685	10,8	74	12,11%
10	Gozzano out	900	922	2,39	22	2,44%
11	Nord in	952	1067	10,78	115	12,08%
12	nord out	92	33	-178,79	-59	-64,13%
13	s. stefano in	584	405	-44,2	-179	-30,65%
14	mazzini in	624	695	10,22	71	11,38%
15	Curreggio in	81	101	19,8	20	24,69%
16	Curreggio out	139	41	-239,02	-98	-70,50%
17	sud in	900	676	-33,14	-224	-24,89%
18	alfieri out	596	484	-23,14	-112	-18,79%
19	ghiglione in	174	147	-18,37	-27	-15,52%
20	ghiglione out	49	47	-4,26	-2	-4,08%
21	Sempione in	596	474	-25,74	-122	-20,47%
22	Sempione in	708	933	24,12	225	31,78%
23	V. Veneto out	396	437	9,38	41	10,35%
24	Via Piave in	452	361	-25,21	-91	-20,13%
25	Via Piave out	400	406	1,48	6	1,50%

## **6 Calibrazione e validazione del modello**

### **6.1 Obiettivi**

Il modello di traffico della città di Borgomanero è stato costruito per valutare gli effetti di possibili variazioni degli schemi di traffico in ambito urbano e extraurbano, della realizzazione di nuove infrastrutture o del potenziamento delle esistenti, della variazione dei regimi di traffico e di ogni altro intervento amministrativo ed infrastrutturale ragionevolmente ipotizzabile. Una volta calibrato, il modello può essere naturalmente utilizzato sia per la valutazione degli scenari a breve, che a medio o lungo termine.

Per essere certi di poter utilizzare il modello nelle fasi simulative è necessario assicurarsi che il modello riproduca correttamente la situazione attuale. Il processo valutativo sulla qualità del modello di traffico prodotto è chiamato validazione.

Nel paragrafo 6.2 vengono descritti gli strumenti che sono stati utilizzati per eseguire la validazione.

Nel paragrafo 6.3 viene discussa la convergenza raggiunta con le procedure iterative di assegnazione.

Nel paragrafo 6.4 vengono illustrate le prestazioni fornite dal modello, in termini di flussi veicolari modellati, perditempo alle intersezioni e velocità medie sugli archi.

Nel paragrafo 6.5 viene esaminata l'aderenza dei valori osservati sul campo ai valori restituiti attraverso il processo simulativo con una analisi ai cordoni, alle *screenlines* e sui singoli archi.

### **6.2 Strumenti**

Per poter raggiungere la calibrazione del modello di traffico si sono rese necessarie alcune operazioni di adeguamento sui tre elementi essenziali che lo costituiscono: la rete, le intersezioni e la matrice.

Ciascuna delle attività svolte al proposito sono descritte di seguito.

#### **6.2.1 Modifiche alla rete**

La rete è stata attentamente verificata, sicché non sono risultati necessari né aggiustamenti né variazioni di alcun tipo rispetto ai caratteri fisici e funzionali dei singoli archi.

Solamente per alcune zone esterne è stato necessario introdurre degli aggiustamenti, che hanno riguardato i connettori esterni; infatti durante il procedimento di assegnazione alcuni itinerari non seguivano gli itinerari più logici, per cui nella fase di calibrazione sono state introdotte alcune

leggere pesature dei connettori, nel caso di connessioni multiple, in modo da ripartire il numero di spostamenti e renderlo simile ai conteggi.

Le quantità di traffico osservate in ciascuna postazione ubicata lungo il cordone esterno sono state comparate con i valori di matrice riferiti alle zone di traffico esterne. Il confronto è stato fatto naturalmente fra le zone e le postazioni rispettivamente interconnesse.

### 6.2.2 Modifiche alle intersezioni

Le intersezioni sono state modellate con le caratteristiche attuali senza aver apportato particolari modifiche.

### 6.2.3 Modifiche alla matrice

Dopo il processo di stima della matrice, descritto nel capitolo 5, la matrice ha restituito correttamente le quantità di traffico osservate, per cui non è stato necessario apportare nessuna modifica. La matrice definitiva che è stata utilizzata nel processo iterativo di calibrazione corrisponde alla matrice prodotta da MVESTM.

La matrice che è stata assegnata alla rete stradale di Borgomanero è visualizzata nella figura 5.2.

## 6.3 Convergenza del modello

E' fondamentale per l'affidabilità delle verifiche simulative che il modello sia basato su risultati stabilizzati. Nel nostro caso la stabilità del modello calibrato è stata misurata attraverso il grado di convergenza progressiva dei risultati del processo iterativo fra i programmi AVROAD ed AVCAP.

Il grado di convergenza viene normalmente analizzato attraverso il calcolo della differenza assoluta  $|TA - TB|$  fra la somma dei tempi di percorrenza degli archi ed i perditempo alle intersezioni di ciascuna iterazione rispetto alla precedente e pesando quindi questa differenza sulla variazione di flusso. I valori osservati nel processo iterativo sono riportati nella figura 5.3 - convergenza del modello di traffico.

Come era facilmente prevedibile, il modello presenta forti oscillazioni nel corso delle prime iterazioni. Alla sesta iterazione il modello raggiunge una precalibrazione. La presenza di alcune intersezioni prossime alla capacità tuttavia, richiede ulteriori nove iterazioni per stabilizzare il modello. Una volta arrivati alla quindicesima iterazione si può ritenere che il modello abbia raggiunto una eccellente stabilità, dato che le oscillazioni registrate sono ampiamente inferiori all'un per cento di quelle fatte segnare dalla prima iterazione.

Già alla seconda iterazione si rileva uno scostamento rispetto all'assegnazione precedente pari al 3% e dopo la decima iterazione lo stesso valore è nell'ordine dell'1%.

L'indicatore di convergenza fornito dal modello è denominato delta ed è pari a 1.437.

$$\delta = \frac{\sum_{ijr} T_{ijr} (C_{ijr} - C_{ij}^*)}{\sum_{ij} T_{ij} C_{ij}^*}$$

- $T_{ij}$  Numero di spostamenti dalla zona i alla zona j
- $T_{ijr}$  Numero di spostamenti dalla zona i alla zona j del percorso r
- $C_{ij}^*$  Costo minimo dello spostamento dalla zona i alla zona j
- $C_{ijr}^*$  Costo minimo dello spostamento dalla zona i alla zona j del percorso r

Un ulteriore indicatore è rappresentato dalla regressione tra i valori rilevati nelle postazioni di conteggio e i valori assegnati dal modello; la rappresentazione grafica è illustrata nella figura 5.4, che fornisce anche il valore di scarto quadratico medio pari a 0.815, valore che è da considerarsi più che soddisfacente.

Tutti questi riscontri quantitativi ci fanno considerare il modello di traffico di Borgomanero assestato e calibrato.

Figura 5.2 - Matrice degli spostamenti

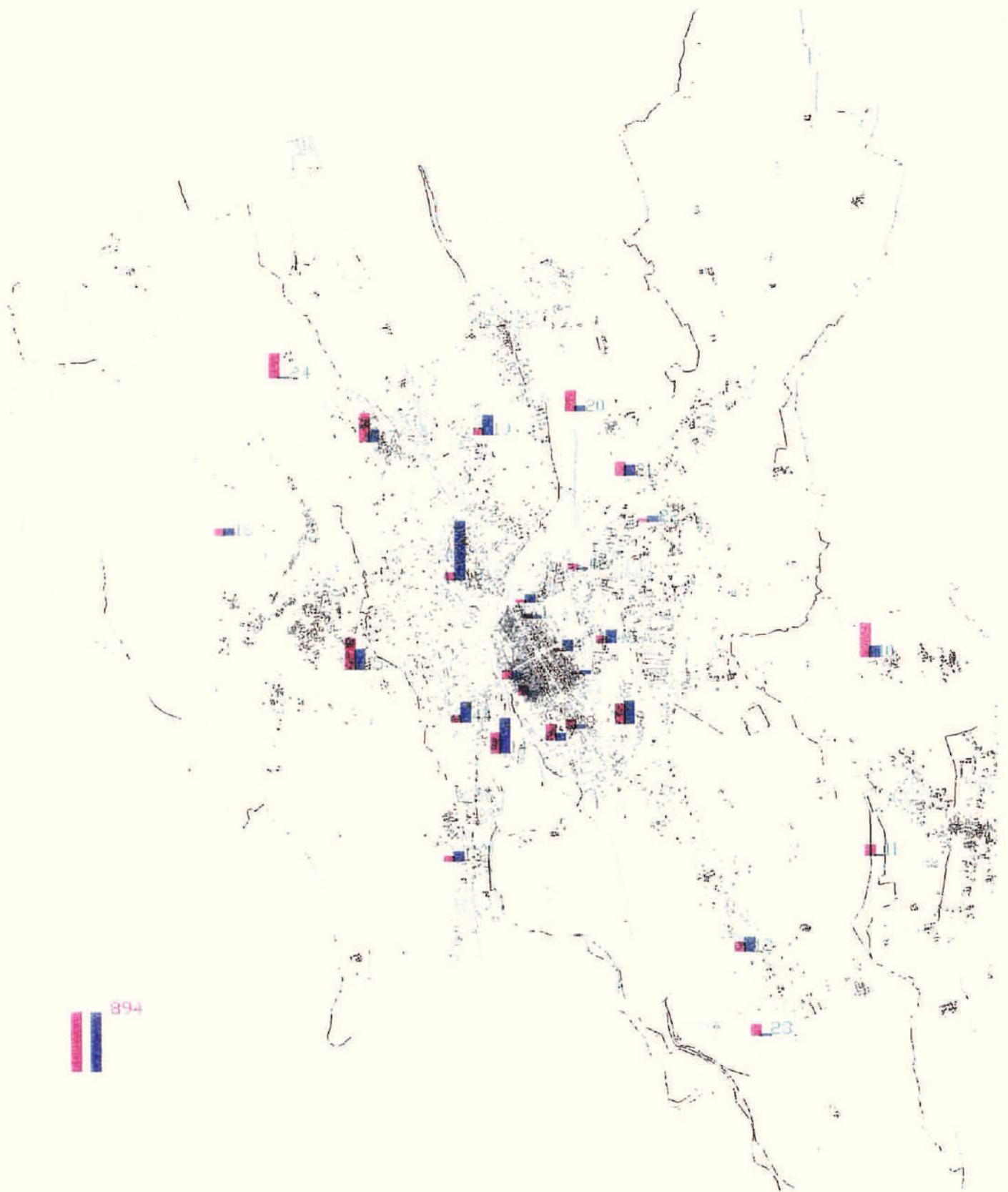


Figura 5.3 Convergenza del modello di traffico

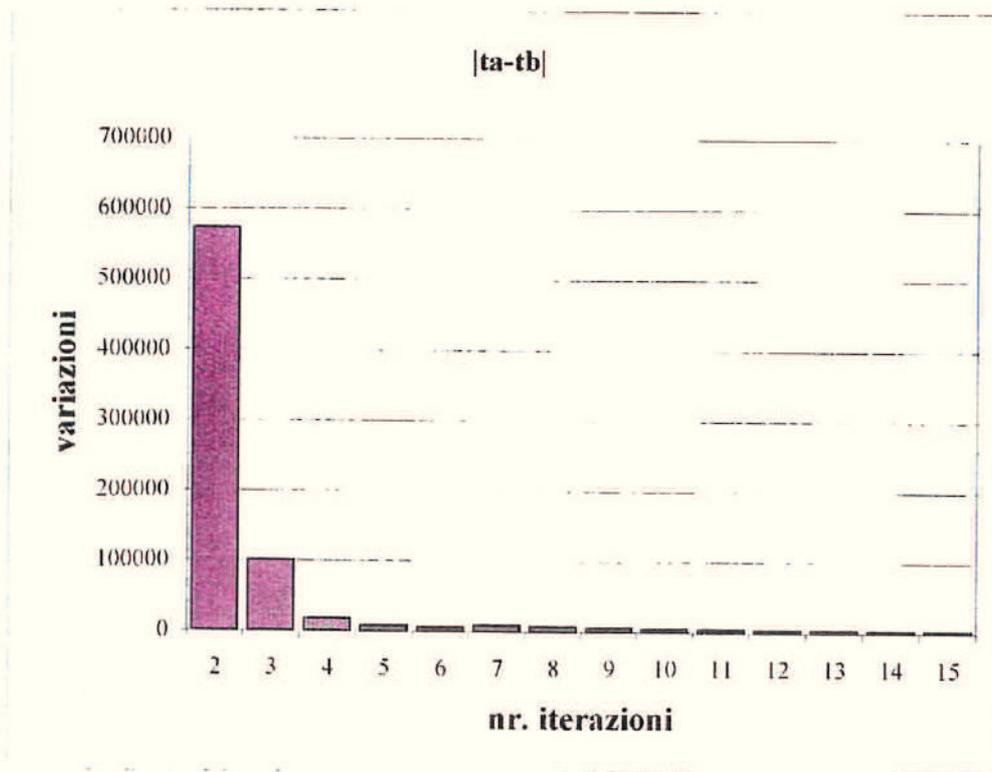
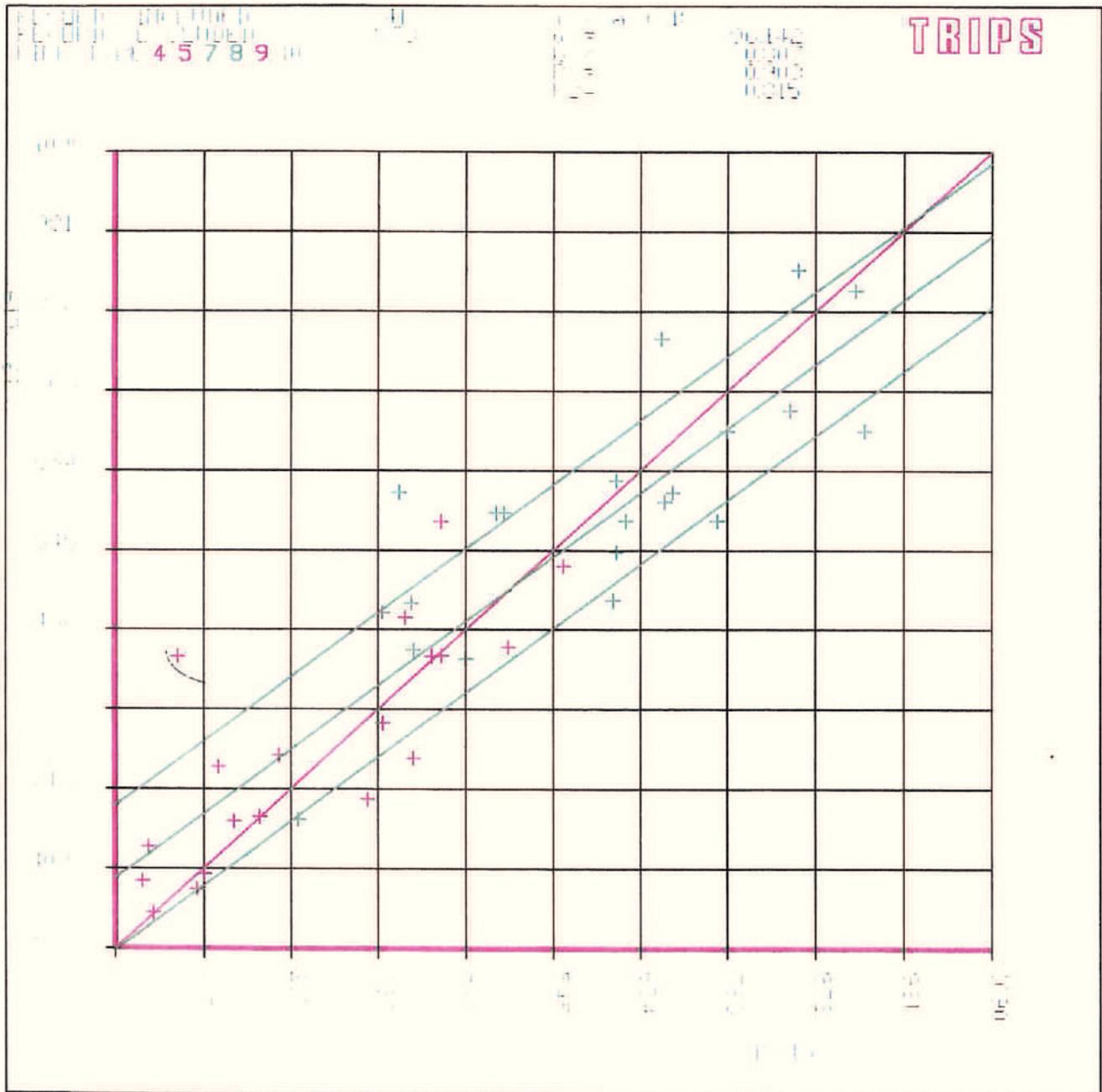


Figura 5.4 Regressione tra valori osservati e modellati



## 6.4 Prestazioni generali del modello

Le prestazioni generali fornite dal modello sono state esaminate prendendo in esame quattro variabili da esso generate: i percorsi, i flussi sugli archi, le velocità lungo gli archi ed i perditempo alle intersezioni.

Il modello di traffico riproduce le condizioni di traffico in particolare sulla base dei rilevamenti effettuati. Ogni condizione anomala della circolazione deve pertanto essere presa in considerazione per mettere a punto un modello che si riferisca alla condizione tipo. I rilevamenti vengono infatti effettuati in giorni medi feriali, escludendo ad esempio le giornate di mercato. Per questo motivo il modello di Borgomanero è stato calibrato per la condizione, esistente al momento dei rilevamenti, di chiusura per lavori del ponte sulla ferrovia da via Roma.

In seguito, dopo aver effettuato alcune verifiche, valutando l'adattamento del modello in condizioni di ponte aperto e Via S. Cristinetta chiusa e confrontando i valori risultanti con indagini apposite, è stato riprodotto il modello di traffico del Comune di Borgomanero in condizioni normali.

All'interno del presente fascicolo viene riportato il risultato della calibrazione e della validazione. Le tavole rappresentano solamente la versione definitiva del modello.

### 6.4.1 Percorsi

I percorsi seguiti dai veicoli all'interno della rete per connettere le diverse coppie di zone O/D rappresentano un utile indicatore della credibilità del modello. I percorsi calcolati nelle ultime quattro iterazioni del programma AVROAD sono stati memorizzati e controllati a video utilizzando il pacchetto grafico. Sono stati presi in esame tutti i percorsi che impegnano le principali strade cittadine per essere certi che non si fossero generati itinerari improbabili.

Le verifiche hanno sortito esito positivo.

### 6.4.2 Flussi sugli archi

I flussi veicolari direzionali che impegnano la rete stradale della città di Borgomanero nell'ora di punta antimeridiana sono visualizzati nella Tavola 4. Non sempre la distribuzione dei volumi di traffico in rete coincide con la gerarchia della rete. Le principali direttrici di traffico corrispondono con le direzioni d'ingresso alla città da Novara, da Romagnano Sesia, da Gozzano, da Arona e da Gattico, dove si raggiungono i flussi massimi (fino a 1200 veicoli/h per senso di marcia).

In ambito urbano i flussi modellati nell'ora di punta del mattino confermano la presenza di una forte intensità di traffico in prossimità dell'area del distretto scolastico. Lungo la circonvallazione (parallela al torrente Agogna) si osservano flussi nell'ordine dei 600 veicoli/h per direzione di marcia.

L'analisi dei rapporti volume/capacità (Tavola 5) mostra chiaramente quali siano le zone con volumi di traffico maggiori:

- Corso Sempione presso il ponte sull'Agogna,
- Via Novara oltre via Alfieri.

Questi dati appaiono del tutto conformi alle condizioni note.

#### **6.4.3 Velocità lungo gli archi**

La velocità di percorrenza del centro storico è inferiore ai 40 km/h, mentre nella restante parte della maglia stradale si stimano velocità medie anche superiori a 50 km/h.

#### **6.4.4 Perditempo alle intersezioni**

Sommando i perditempo di ciascun braccio e di ciascuna manovra si ottengono i perditempo totali per ogni intersezione.

I perditempo maggiori si registrano alle intersezioni semaforiche dislocate lungo le principali arterie in ingresso.

## 6.5 Validazione

Generalmente un modello di traffico viene validato seguendo due criteri valutativi:

- il confronto fra valori osservati e valori modellati ai cordoni ed alle *screenlines*;
- il confronto fra valori osservati e modellati lungo singoli archi.

In questo caso quasi tutti i dati esistenti sono stati utilizzati come *screenline*; pertanto non vengono valutate due fasi distinte.

### 6.5.1 Confronto ai cordoni ed alle *screenlines*

I valori osservati e modellati sono stati messi a confronto per ciascuna delle *screenlines*, i risultati sono stati sintetizzati nella tabella 5.1

La sostanziale corrispondenza fra valori di flusso osservati e modellati, ci permette considerare comunque i risultati ottenuti molto buoni.

Le evidenti differenze percentuali che appaiono in alcuni punti della tabella non significano necessariamente una insufficienza del modello: variazioni assolute confrontate con valori totali piccoli danno luogo a percentuali elevate.

A conferma della bontà del modello, il valore medio relativo a tutte le sezioni identificate indica uno scostamento medio in valore assoluto pari a 148 veicoli ora, che corrispondono a un valore percentuale prossimo all'unità (-1,09%).

L'analoga verifica effettuata sulle sole sezioni al cordone confermano uno scostamento di solo 4 punti percentuali, riferiti ad un volume totale di 6877 veicoli omogenei osservati e 7165 veicoli omogenei stimati.

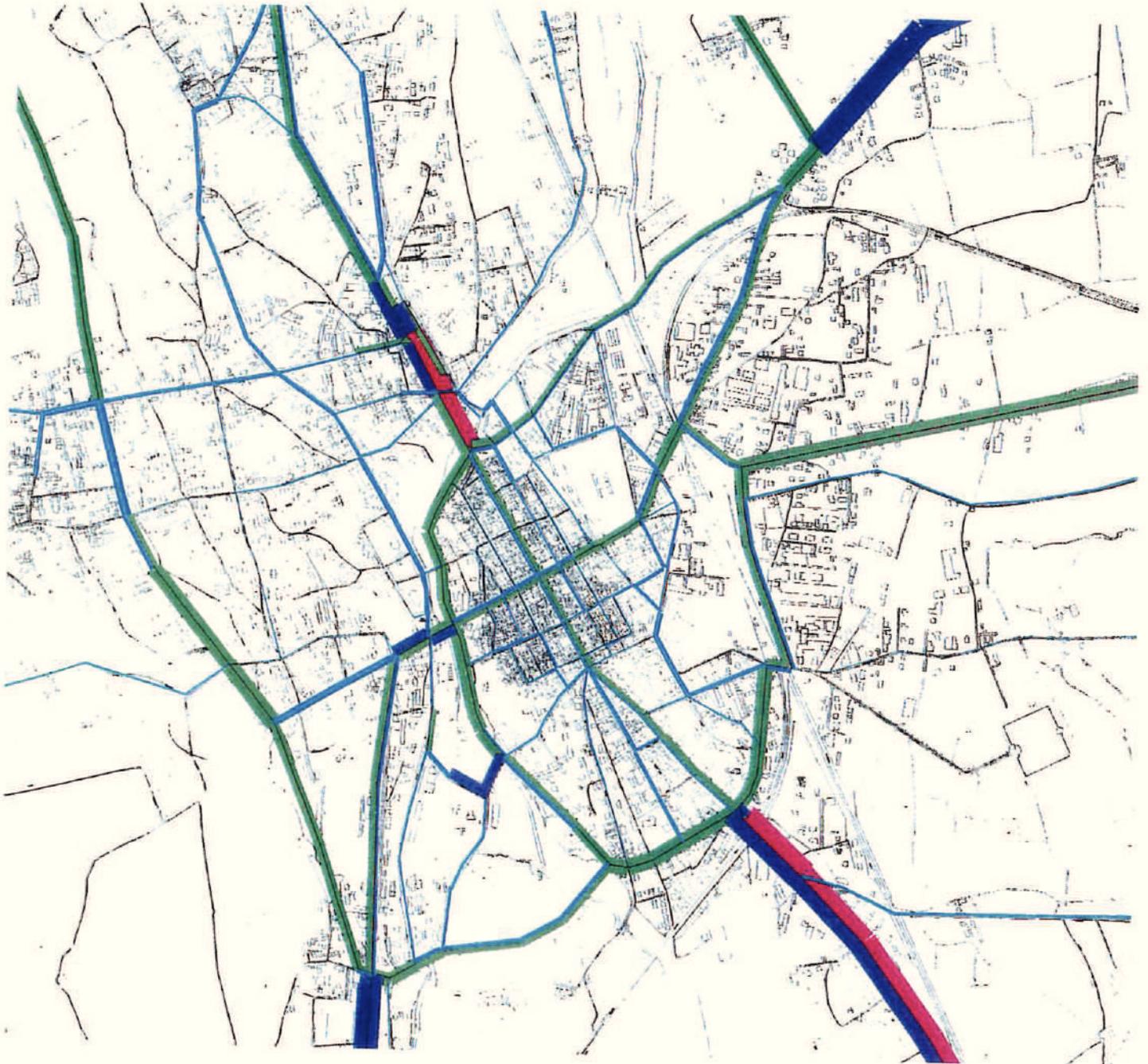
Tabella 5.1 - Validazione per singola postazione di cordone - screenlines

nr.	nome screenline	sdf	calibrazi one	delta %	diff. ass.	diff. %	modello	delta %	diff. ass.	diff. %.
1	Novara in	928	851	-9,05	-77	-8,30%	853	-8,79	-75	-8,08%
2	Novara out	834	681	-22,47	-153	-18,35%	686	-21,57	-148	-17,75%
3	Romagnano in	708	763	7,21	55	7,77%	761	6,96	53	7,49%
4	Romagnano out	585	751	22,1	166	28,38%	747	21,69	162	27,69%
5	gattico in	523	558	6,27	35	6,69%	537	2,61	14	2,68%
6	gattico out	412	489	15,75	77	18,69%	401	-2,74	-11	-2,67%
7	Arona in	736	841	12,49	105	14,27%	857	14,12	121	16,44%
8	Arona out	640	624	-2,56	-16	-2,50%	714	10,36	74	11,56%
9	Gozzano in	611	685	10,8	74	12,11%	685	10,8	74	12,11%
10	Gozzano out	900	922	2,39	22	2,44%	922	2,39	22	2,44%
11	Nord in	542	624	13,14	82	15,13%	617	12,16	75	13,84%
11	Nord in	102	110	7,27	8	7,84%	108	5,56	6	5,88%
11	Nord in	308	333	7,51	25	8,12%	348	11,49	40	12,99%
12	nord out	92	33	-178,79	-59	-64,13%	30	-206,67	-62	-67,39%
13	s. stefano in	584	405	-44,2	-179	-30,65%	386	-51,3	-198	-33,90%
14	mazzini in	624	695	10,22	71	11,38%	647	3,55	23	3,69%
15	Curreggio in	81	101	19,8	20	24,69%	122	33,61	41	50,62%
16	Curreggio out	139	41	-239,02	-98	-70,50%	42	-230,95	-97	-69,78%
17	sud in	472	369	-27,91	-103	-21,82%	323	-46,13	-149	-31,57%
17	sud in	180	179	-0,56	-1	-0,56%	194	7,22	14	7,78%
17	sud in	248	128	-93,75	-120	-48,39%	132	-87,88	-116	-46,77%
18	alfieri out	596	484	-23,14	-112	-18,79%	499	-19,44	-97	-16,28%
19	Ghiglione in	174	147	-18,37	-27	-15,52%	147	-18,37	-27	-15,52%
20	Ghiglione out	49	47	-4,26	-2	-4,08%	47	-4,26	-2	-4,08%
21	Sempione in	596	474	-25,74	-122	-20,47%	521	-14,4	-75	-12,58%
22	Sempione out	708	933	24,12	225	31,78%	935	24,28	227	32,06%
23	V. Veneto out	396	437	9,38	41	10,35%	387	-2,33	-9	-2,27%
24	Via Piave in	452	361	-25,21	-91	-20,13%	425	-6,35	-27	-5,97%
25	Via Piave out	400	406	1,48	6	1,50%	414	3,38	14	3,50%

Fonte: nostre elaborazioni

Figura 5.5 Volumi di traffico – Borgomanero (NO)

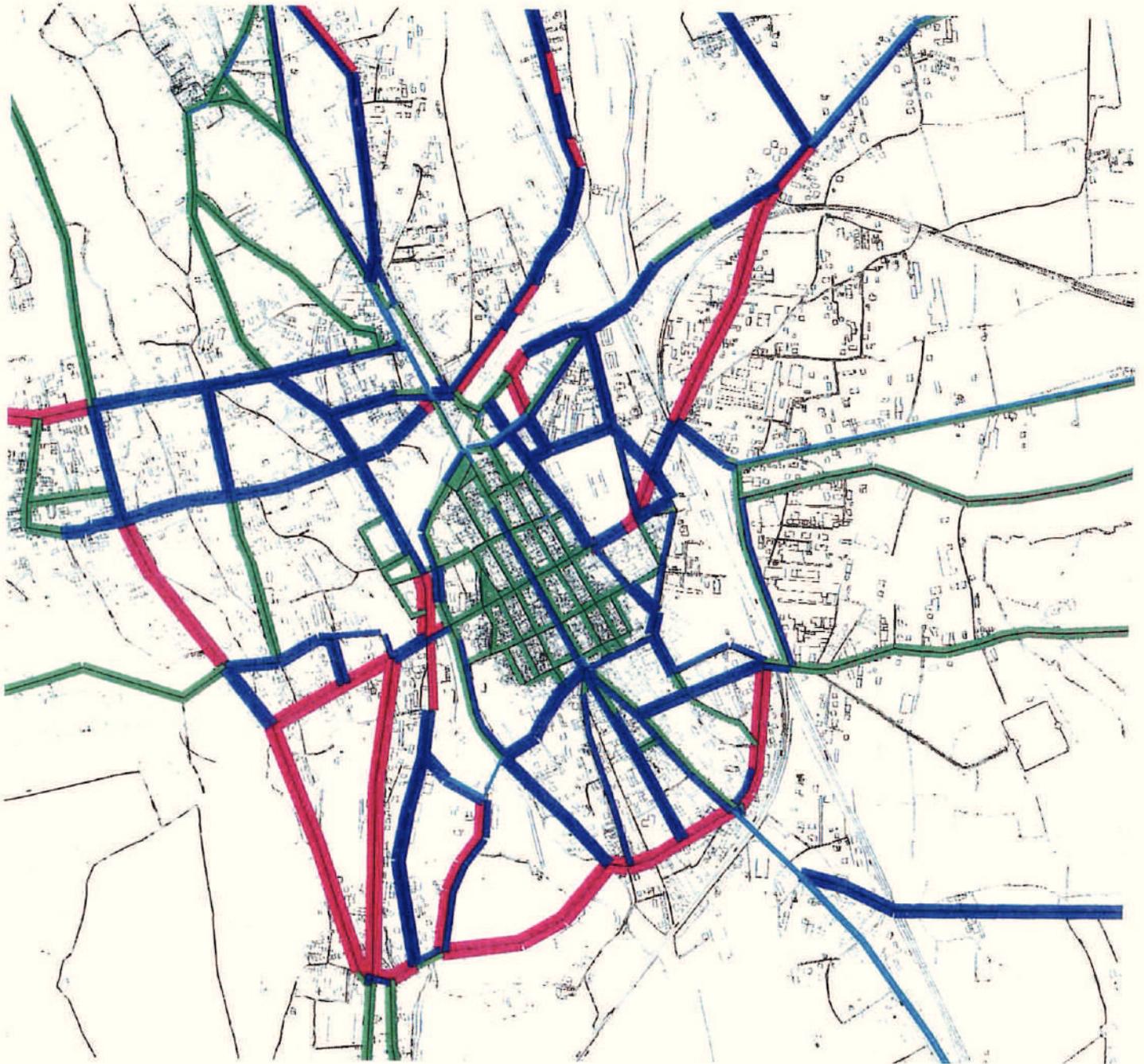
HDP 7.30 – 8.30



Azzurro - fino a 300 veicoli  
Verde - da 301 a 600 veicoli  
Blu - da 601 a 900 veicoli  
Rosso - oltre i 900 veicoli

Figura 5.6 -- Velocità Borgomanero (NO)

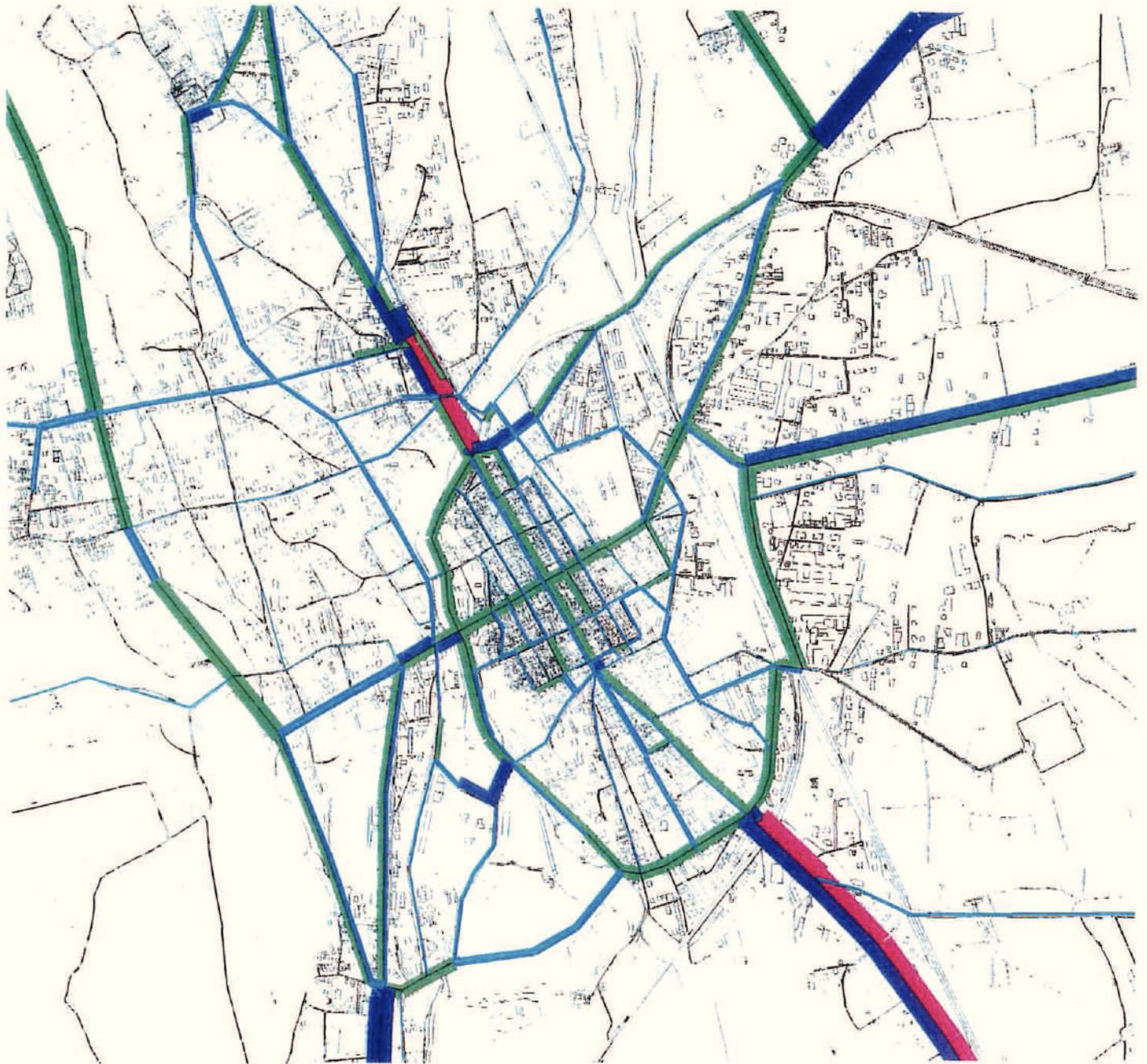
HDP 7.30 – 8.30



Azzurro - fino a 30 km h  
Verde - da 31 a 40 km h  
Blu - da 41 a 50 km h  
Rosso - oltre i 50 km h

Figura 5.7 – Rapporto V C: Borgomanero (NO)

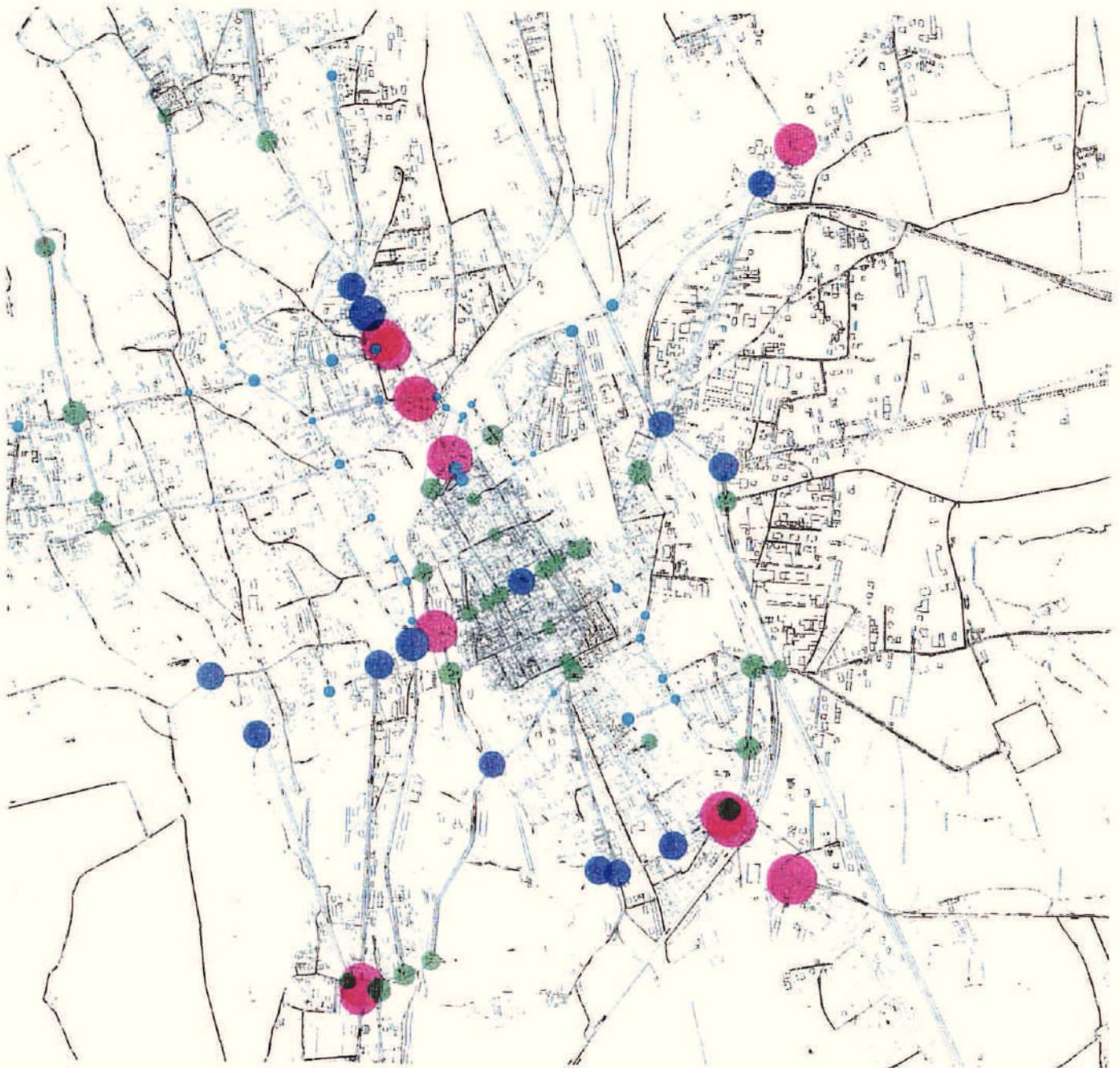
HDP 7.30 – 8.30



Azzurro - fino a 0.25  
Verde - da 0.26 a 0.50  
Blu - da 0.51 a 0.75  
Rosso - oltre 0.75

Figura 5.8 – Volumi di traffico alle intersezioni

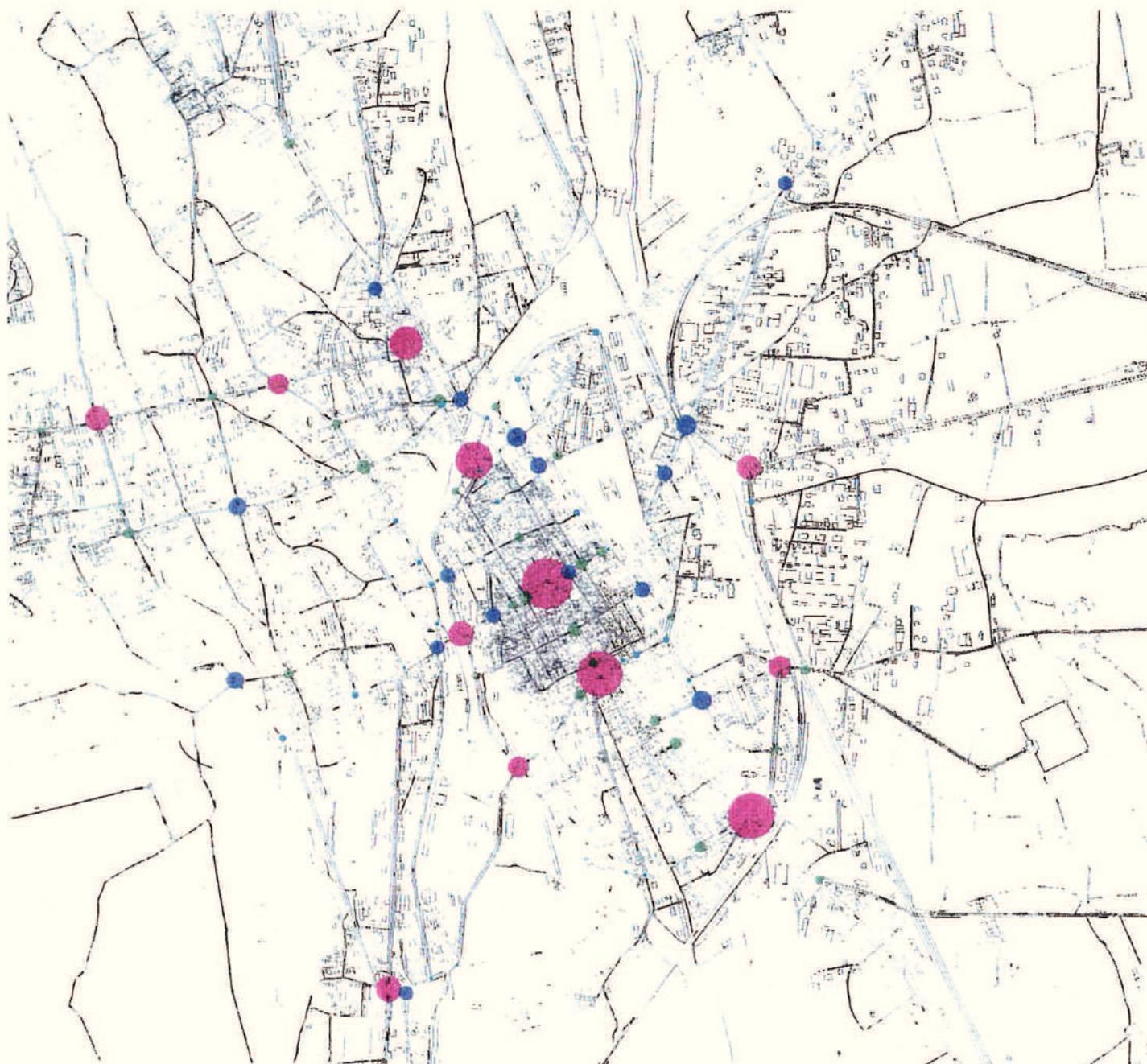
Borgomanero (NO) - HDP 7.30 – 8.30



Azzurro - fino a 500 veicoli  
Verde - da 501 a 1000 veicoli  
Blu - da 1001 a 1500 veicoli  
Rosso - oltre i 1500 veicoli

Figura 5.9 – Perditempo alle intersezioni

Borgomanero (NO) - HDP 7.30 - 8.30



Azzurro - fino a 0.5 minuti  
Verde - da 0.5 a 1.0 minuti  
Blu - da 1.0 a 1.5 minuti  
Rosso - oltre i 1.5 minuti

## **7 Conclusioni sulla calibrazione della rete di base**

Le molteplici verifiche svolte ed i risultati ottenuti ci consentono di giudicare calibrato il modello di traffico della città di Borgomanero e ci consentono anche di ritenerlo strumento affidabile per le necessarie verifiche simulative che seguiranno.

E' giusto ricordare che le quantità restituite dal modello rappresentano valori medi riferiti all'ora di punta antimeridiana di un giorno medio feriale e che la suddivisione del territorio in zone di traffico - *per quanto ben dettagliate* - implica una evidente concentrazione dei carichi in rete in prossimità dei collegamenti fra centroidi di zona e rete stradale.

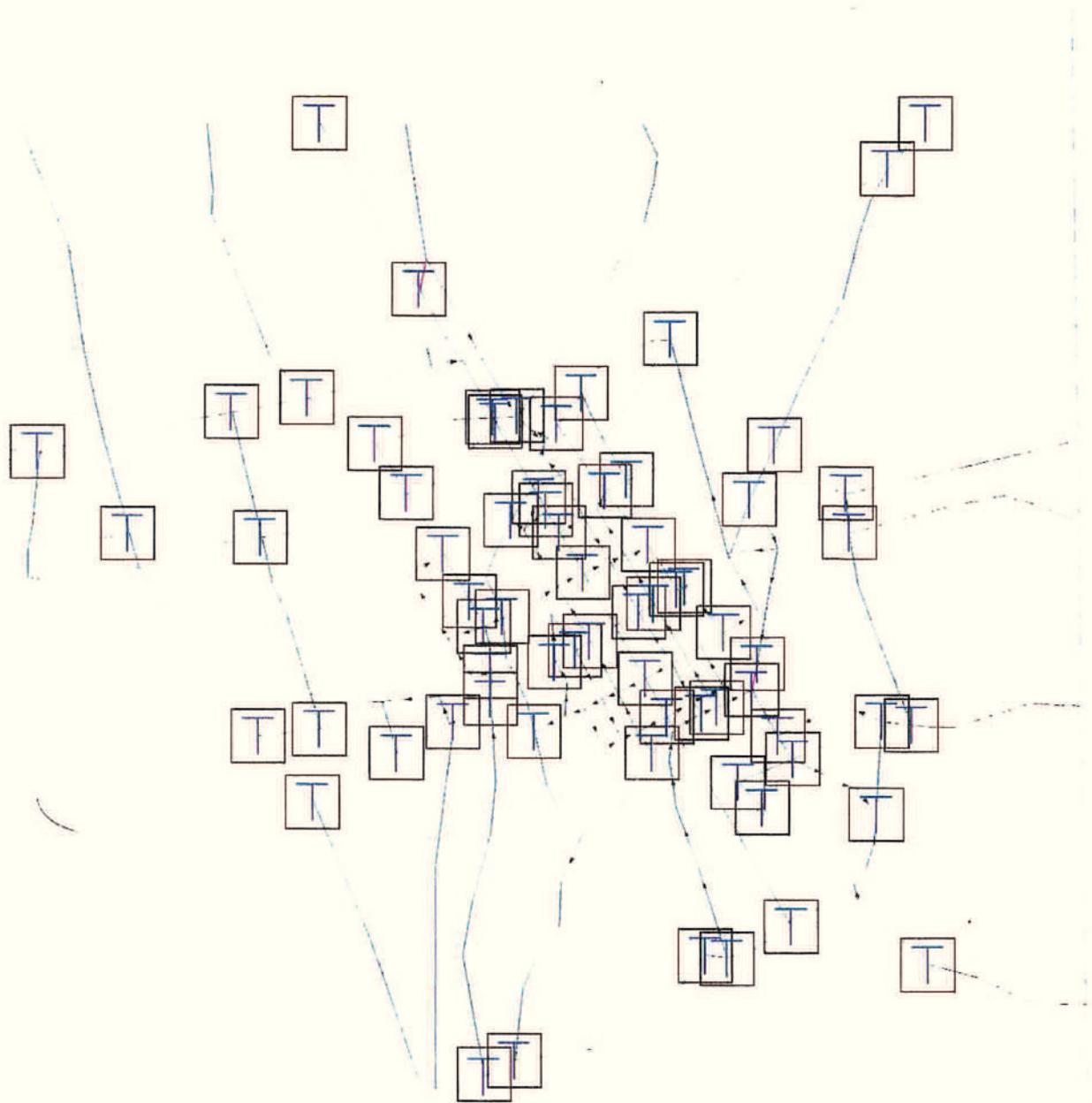
La lettura dei valori sui singoli archi deve pertanto essere "ragionata" ed accettare le inevitabili semplificazioni che sottendono ogni descrizione modellistica.

Fatte queste puntualizzazioni, è possibile utilizzare il modello per avere un riscontro e per verificare alcuni scenari progettuali proponibili nel breve, medio e lungo periodo.

Il modello rimane comunque uno strumento di verifica e di riscontro per le scelte progettuali che vengono proposte nel PGTU di Borgomanero con l'obiettivo di migliorare la circolazione veicolare nel suo insieme, aumentare la sicurezza pedonale e ciclabile, risolvendo alcune situazioni puntuali di congestione.

## *Allegati*

*Intersezioni a precedenza modellate*



*Intersezioni semaforizzate modellate*

