

SMaS Schema Metropolitano dell'area Senese



SMaS: progetto dei Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Siena e Sovicille
con l'Amministrazione Provinciale di Siena

coordinamento: Ufficio di Piano del Comune di Siena

con il contributo della Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Modello di traffico del trasporto privato

Systematica · Alberto Brignone, Paolo Mariotti
Ldp Associati · Antonio Mugnai
Anna Calocchi

QM
r2

Schema Metropolitano dell'area Senese

progetto dei Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Siena e Sovicille

con l'Amministrazione Provinciale di Siena

coordinamento: Ufficio di Piano del Comune di Siena

con il contributo della Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Modello di traffico del trasporto privato

Systematica

Alberto Brignone

Paolo Mariotti

Ldp Associati

Antonio Mugnai

dicembre 2004

Ufficio del Piano del Comune di Siena

Responsabili del procedimento: Fabrizio Valacchi, Rolando Valentini

Coordinatore: Andrea Filpa

Collaboratori: Gabriele Comacchio, Valeria Lingua, Paola Loglisci, Benedetta Mocenni, Raffello Pin

Responsabile Cartografia Informatizzata: Mauro Lusini; Consulente SIT: Luca Gentili

1 Indice

1	INDICE	1
1.1	Figure.....	2
1.2	Tabelle	2
2	INTRODUZIONE	3
2.1	Introduzione	3
3	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI TRAFFICO	4
3.1	Caratteristiche del modello	4
4	CODIFICA DEL GRAFO STRADALE E DELLE INTERSEZIONI.....	6
4.1	Aggiornamento della rete	6
4.2	Codifica delle zone	10
4.3	Codifica delle intersezioni.....	10
5	IL MODELLO DELL'ORA DI PUNTA ANTIMERIDIANA.....	18
5.1	La matrice per il trasporto privato	18
5.2	Il processo di Stima Matriciale.....	18
5.2.1	<i>Programma MVESTM - caratteristiche</i>	<i>19</i>
5.2.2	<i>Programma MVESTM - dati di alimentazione.....</i>	<i>20</i>
5.2.3	<i>Programma MVESTM - processi di stima.....</i>	<i>21</i>
5.3	Calibrazione e validazione del modello	26
5.3.1	<i>Scopi.....</i>	<i>26</i>
5.3.2	<i>Convergenza del modello.....</i>	<i>26</i>
5.3.3	<i>Prestazioni generali del modello</i>	<i>30</i>
5.3.4	<i>Validazione.....</i>	<i>31</i>
6	STATO DI FATTO 2004	35
6.1	Percorrenze veicolari.....	35
6.2	Flussi sugli archi	36
6.3	Velocità lungo gli archi.....	37
6.4	Tempi di percorrenza.....	37
6.5	Criticità lungo gli archi.....	38
6.6	Perditempo alle intersezioni	39
6.7	Costi generalizzati di spostamento su strada.....	39

1.1 Figure

Figura 1 - Modello di Traffico.....	4
Figura 2 - Curve di deflusso Urbane.....	9
Figura 3 - Curve di deflusso Extraurbane.....	9
Figura 4 - Rete stradale completa	13
Figura 5 - Rete stradale nell'intorno del comune di Siena.....	14
Figura 6 - Intersezioni semaforizzate	15
Figura 7 - Intersezioni a rotatoria.....	16
Figura 8 - Intersezioni a precedenza.....	17
Figura 9 – Screenlines.....	23
Figura 10 – Convergenza del Modello di Traffico.....	29
Figura 11 – Correlazione fra dati osservati e modellati (ora di punta antimeridiana).....	34
Figura 12 - Flussi di traffico modellati per arco – Area SMS (veicoli equivalenti - ora di punta antimeridiana).....	40
Figura 13 - Flussi di traffico modellati per arco – Comune di Siena (veicoli equivalenti - ora di punta antimeridiana).....	41
Figura 14 - Velocità modellate per arco – Area SMS (Km/h – ora di punta antimeridiana)	42
Figura 15 - Velocità modellate per arco – Comune di Siena (Km/h – ora di punta antimeridiana)	43
Figura 16 – Criticità lungo gli archi – Area SMS (Veicoli/Capacità – ora di punta antimeridiana)	44
Figura 17 - Criticità lungo gli archi – Comune di Siena (Veicoli/Capacità – ora di punta antimeridiana)	45
Figura 18 – Perditempo modellati per intersezione – Area SMS (minuti – ora di punta antimeridiana)	46
Figura 19 - Perditempo modellati per intersezione – Comune di Siena (minuti – ora di punta antimeridiana).....	47

1.2 Tabelle

Tabella 1 – Tipologia degli archi.....	7
Tabella 2 – Indicatori di capacità degli archi Urbani.....	8
Tabella 3 – Indicatori di capacità degli archi Extraurbani	8
Tabella 4 – Sintesi dei criteri utilizzati per MVESTM.....	21
Tabella 5 – convergenza del processo di stima	24
Tabella 6 – Calibrazione delle screenlines/postazioni con MVESTM	24
Tabella 7 – Parametri di convergenza.....	28
Tabella 8 – Parametri di convergenza del modello di traffico.....	29
Tabella 9 – Validazione per singola screenlines	31
Tabella 10 – Percorrenze veicolari Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana)	36
Tabella 11 – Velocità media per tipologia Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana).....	37
Tabella 12 – Tempi di percorrenza veicolari Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana).....	38
Tabella 13 – Costi generalizzati di spostamento su strada Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana).....	39

2 Introduzione

2.1 Introduzione

Questo rapporto descrive le attività svolte da Systematica per l'aggiornamento del Modello di Traffico della città di Siena. Il modello è basato sul pacchetto CUBE TRIPS, composto da una serie di programmi per calcolatore prodotti dalla società anglo americana Citilabs Ltd di Londra, ed è riferito all'intervallo di punta antimeridiano compreso fra le 7.30 e le 8.30.

A partire dal modello di traffico sviluppato in occasione della stesura del Piano di riassetto del Trasporto Pubblico locale del comune di Siena nel 2001 sono state effettuate specifiche operazioni di aggiornamento e correzione delle caratteristiche del grafo di rete e delle intersezioni. Queste operazioni saranno descritte nel capitolo 4. In particolare sono state oggetto di elaborazione:

- La verifica e l'aggiornamento delle caratteristiche delle infrastrutture viarie introdotte/modificate dal 2001 ad oggi ed eventualmente non inserite nel modello;
- La verifica e l'aggiornamento delle caratteristiche funzionali della rete stradale;
- La verifica e l'aggiornamento delle intersezioni (semafori, rotatorie, precedenza) con particolare attenzione agli impianti semaforizzati. Le ultime versioni del software permettono, infatti, di descrivere in modo assai preciso fasi, tempi e cicli semaforici e l'utilizzo delle corsie, con effetto notevole durante il processo di calibrazione del modello;
- Ampliamento del grafo di rete alla cosiddetta area SMS (Schema Metropolitano Senese), costituita, oltre che dal comune di Siena, dai comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni e Sovicille;
- Descrizione delle principali intersezioni presenti nelle nuove infrastrutture viarie inserite nel modello.

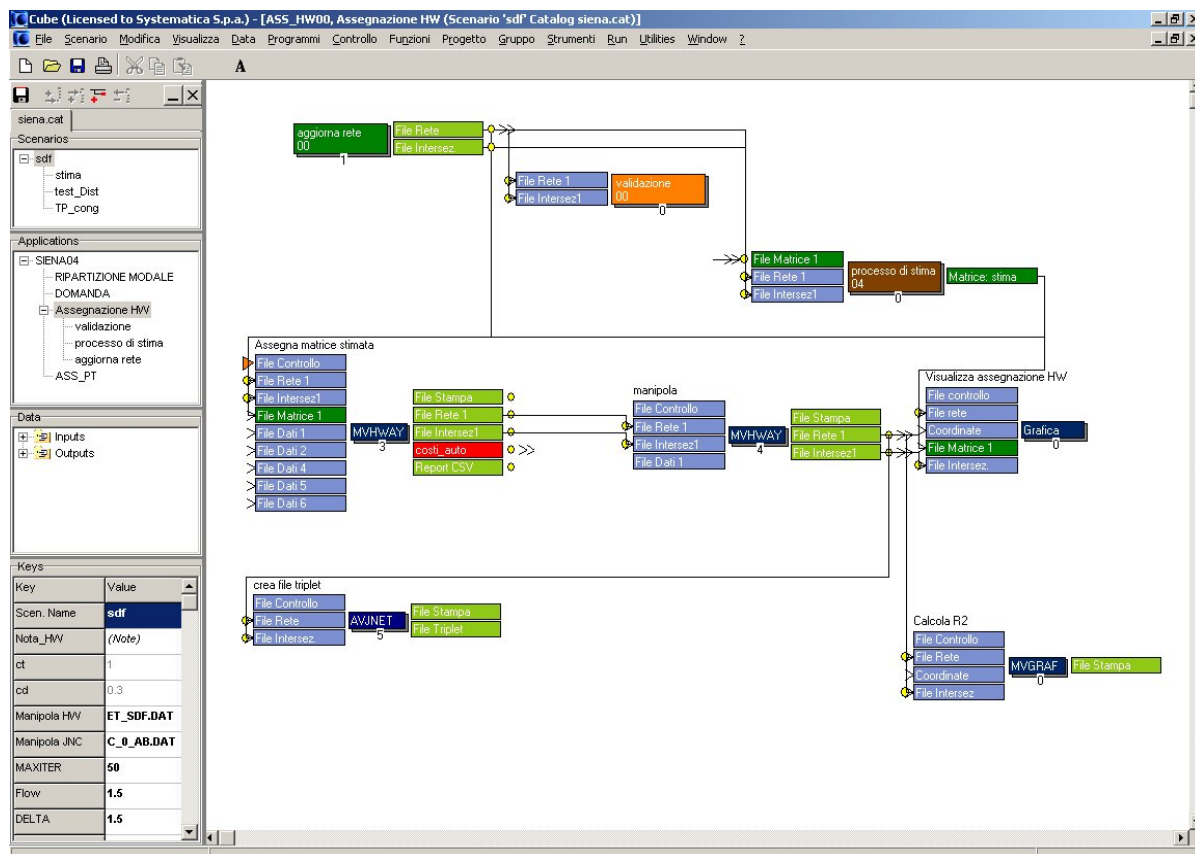
Oltre all'aggiornamento del grafo di rete (offerta infrastrutturale) è stata applicata una procedura per l'aggiornamento della "domanda di mobilità" finalizzato ad aggiornare il quadro della mobilità dell'*ora di punta antimeridiana* di un giorno medio feriale.

3 Caratteristiche del Modello di Traffico

3.1 Caratteristiche del modello

Il Modello di Traffico costruito per l'area dello SMS è basato sul codice CUBE TRIPS. Per completarne tutte le fasi che lo caratterizzano sono stati utilizzati diversi programmi fra loro legati secondo un complesso schema presentato nell'immagine seguente:

Figura 1 - Modello di Traffico



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;
- MVHWAY, per identificare i cammini ad impedenza minima fra ciascuna coppia di zone O/D presenti in rete, per ricalcolare i tempi di percorrenza sugli archi ed alle intersezioni in funzione dei carichi veicolari assegnati (processo comunemente conosciuto con il termine capacity restraint).

In fase di analisi è stato principalmente utilizzato il programma CUBE GRAPHICS, con cui controllare graficamente i risultati ottenuti al termine dei processi simulativi.

Una breve descrizione del funzionamento del processo simulativo appare a questo punto indispensabile. Il programma che, lavorando in sequenza, permette di simulare il comportamento del traffico in rete è MVHWAY.

Esso, in una progressione di operazioni iterative, identifica i cammini a costo minimo 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 sono interpretati congiuntamente alle curve di deflusso veicolare così da ricalcolare i tempi di percorrenza lungo i singoli archi ed i perditempo alle intersezioni. Questi valori rappresentano a loro volta la nuova alimentazione del programma, 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.

Nel caso specifico di Siena 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 0,65;
- utilizzo, nella sequenza iterativa tendente alla convergenza del modello, della tecnica del "volume mediato".

4 Codifica del grafo stradale e delle intersezioni

4.1 Aggiornamento della rete

Sulla base dei dati forniti da professionisti incaricati e sopralluoghi compiuti sul posto è stato possibile effettuare un'operazione di aggiornamento delle informazioni presenti nel grafo del modello CUBE TRIPS utilizzato nel 2001 ampliandolo in modo da coprire le aree interessate dallo sviluppo dello SMS.

Il grafo di rete è stato costruito attraverso un accurato processo di analisi e verifica, con particolare attenzione rivolta alle seguenti caratteristiche strutturali e amministrative:

- Capacità di ogni arco stradale in veicoli omogenei per ora;
- Velocità di libero deflusso;
- Curve di deflusso associate ad ogni arco;
- Presenza e caratteristiche della sosta
- Sensi di marcia;
- Presenza di corsie riservate;
- Presenza degli archi in Zone a Traffico Limitato.

Ogni arco è quindi stato descritto caratterizzandolo in base a:

- nodo di inizio arco (Anode);
- nodo di fine arco (Bnode);
- lunghezza dell'arco;
- velocità sull'arco in libero deflusso;
- tipologia (gerarchia della rete);
- indicatore di capacità (associato alle curve di deflusso);
- capacità dell'arco;
- codice d'area (per analisi selettive sui quartieri).

Sulla base di tali dati è stato possibile codificare interamente la rete stradale dello SMS, comprese le strade minori dell'area urbanizzata che, pur presentando valori di traffico

assolutamente trascurabili allo stato di fatto, costituiscono in linea teorica alternativa agli itinerari significativi.

Il grafo della rete stradale descritto nel formato CUBE TRIPS è composto da:

- 6225 nodi;
- 14078 archi suddivisi in 17 tipologie;
- 306 zone O/D.

Esso è presentato in Figura 4 e Figura 5.

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 16 tipologie funzionali effettive di archi, riportate in Tabella 1, a cui verranno successivamente aggiunte altre tipologie per fini tecnici in fase di simulazione degli interventi di piano (archi stradali di progetto).

Tabella 1 – Tipologia degli archi

Tipologia	Descrizione
1	Connettori di zona (archi fittizi)
2	Superstrada
3	Extraurbana principale
4	Extraurbana secondaria
7	Urbana principale
8	Urbana secondaria
9	Urbana locale
10	ZTL
12	Pedonali ZTL
15	Ipotesi modello PGTU anno 2000 – Comune di Siena
20	Svincoli
22	Corsia preferenziale + Pedoni
25	Ferrovia
29	Meccanizzate chiuse
30	Pedonale
31	Viabilità park
32	Connettori ombra

Fonte: Nostre elaborazioni

Gli indicatori di capacità determinano le modalità con cui le velocità assegnate ai singoli archi variano in rapporto ai flussi che li percorrono. Sono stati definiti 27 indicatori di

capacità a cui sono state associate specifiche curve di deflusso veicolare, nelle quali viene definita la velocità media probabile al variare del rapporto volume/capacità. Le curve di deflusso principali sono elencate nella Tabella 2 e Tabella 3.

Nella Figura 2 e Figura 3 è rappresentato l'andamento delle curve urbane ed extraurbane utilizzate per Siena.

Tabella 2 – Indicatori di capacità degli archi Urbani

Indicatore	Descrizione	Capacità (Vph)	Velocità massima (km/h)
2	Viabilità principale	2600	60
3	Viabilità principale	2500	60
4	Viabilità secondaria	1600	40
5	Viabilità secondaria	1400	55
6	Viabilità secondaria	1300	50
7	Viabilità secondaria	1100	40
8	Viabilità locale	400	45
9	Viabilità locale	800	40
10	Viabilità locale	600	40
11	Viabilità locale	450	38
12	Viabilità locale	500	30
13	Viabilità locale	2500	30

Fonte: Nostre elaborazioni

Tabella 3 – Indicatori di capacità degli archi Extraurbani

Indicatore	Descrizione	Capacità (Vph)	Velocità massima (km/h)
20	Superstrada	4000	100
21	Viabilità principale	1700	70
22	Viabilità principale	1300	60
23	Viabilità principale	1400	60
24	Viabilità secondaria	800	50
25	Viabilità secondaria	900	50
26	Viabilità secondaria	500	40
27	Viabilità principale	1700	80
28	Viabilità secondaria	800	60

Figura 2 - Curve di deflusso Urbane

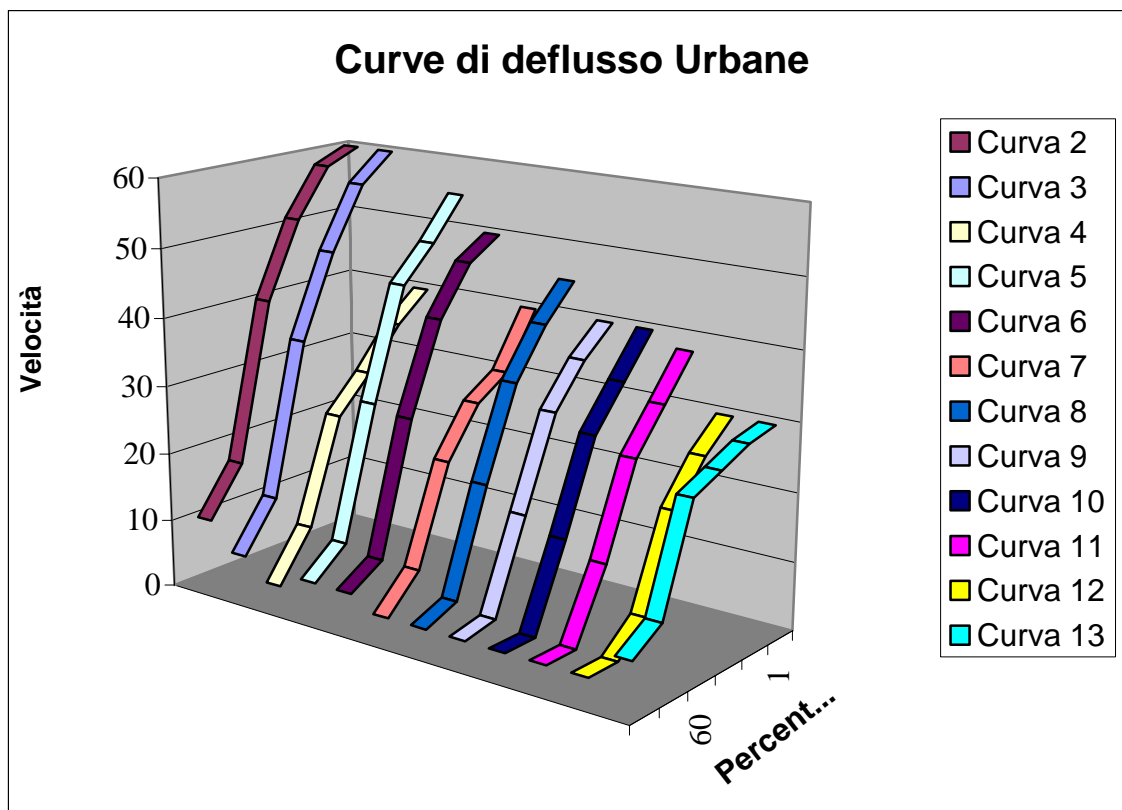
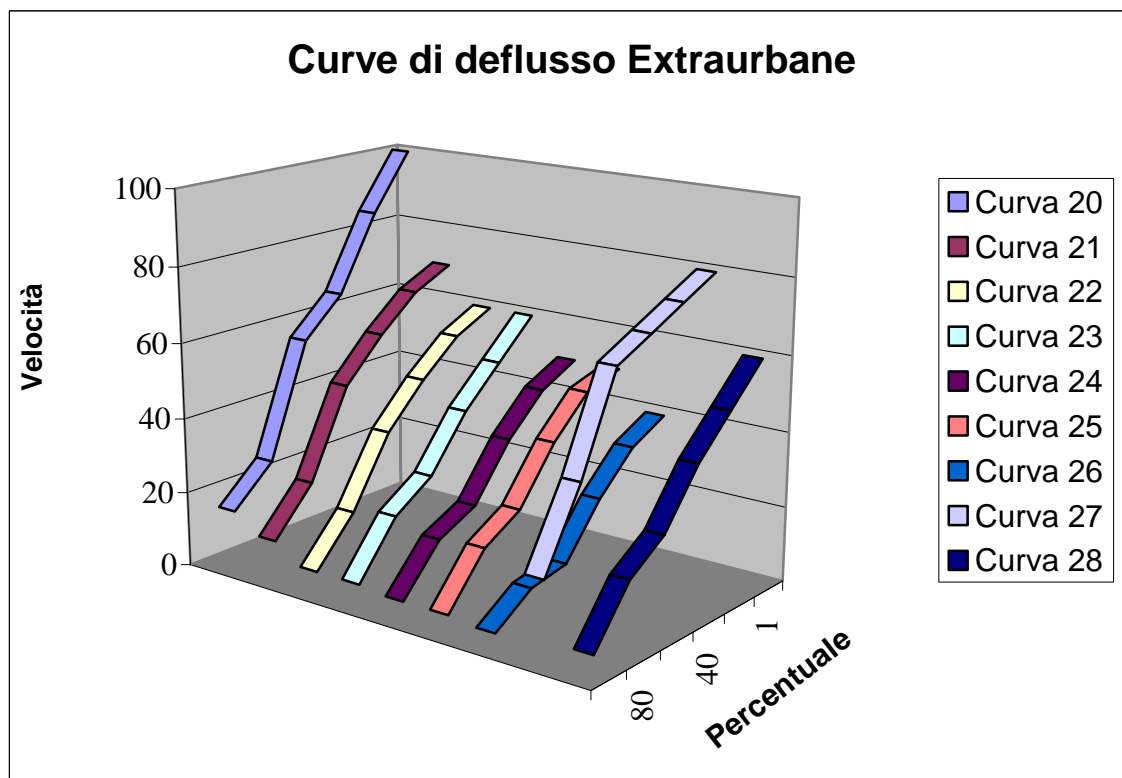


Figura 3 - Curve di deflusso Extraurbane



E' importante sottolineare come non vi sia una relazione biunivoca tra il codice d'arco (Link Type) e l'indicatore di capacità. E' infatti possibile associare ad archi di analoga tipologia curve di deflusso differenti.

Tale procedura permette di gestire il modello con elasticità tale da poter ben rappresentare la situazione osservata.

Tutte le caratteristiche descritte sono state controllate attraverso il pacchetto grafico "CUBE Graphics" e attraverso la costruzione di percorsi fra diverse coppie di zone, basati sulla distanza, sul tempo e sul costo generalizzato del trasporto.

4.2 Codifica delle zone

La definizione del nuovo sistema di azionamento necessita di alcuni approfondimenti. Il modello della città di Siena del 2001 è composto da 241 zone di traffico Origine/Destinazione. Il sistema previsto era strutturato in maniera tale da avere una elevata densità e distribuzione all'interno della città, per caratterizzarsi da una struttura maggiormente aggregata verso l'esterno.

A seguito dell'ampliamento del grafo di rete e della descrizione dell'offerta di servizi di trasporto pubblico è stato necessario ridefinire il sistema di azionamento, disaggregando le zone esterne alla città e definendo dei nuovi centroidi di Origine/Destinazione sufficientemente densi.

In seguito ad una dettagliata analisi dei dati territoriali (popolazione residente, attivi, addetti...) e delle informazioni relative ai flussi di traffico agenti sui vari assi viari e sulle linee del trasporto pubblico, sono state introdotte 65 nuove zone. In totale, quindi, le zone considerate nel presente studio sono 306.

4.3 Codifica delle intersezioni

Per garantire la massima affidabilità possibile al Modello di Traffico dello SMS, si è reso opportuno aggiornare oltre alla rete anche il database delle intersezioni. Il numero di intersezioni totali descritte è risultato pari a 401, così suddivise:

- 10 intersezioni controllate da semafori;

- 18 intersezioni organizzate con schema a rotatoria;
- 264 intersezioni a precedenza con segnaletica verticale e/o orizzontale.

Oltre alle intersezioni descritte, sono state introdotte delle penalità di svolta che includono in larga misura i divieti di svolta nelle residue intersezioni non modellizzate.

La localizzazione delle intersezioni è rappresentata nelle seguenti immagini:

- Figura 6 - Intersezioni semaforizzate
- Figura 7 - Intersezioni a rotatoria
- Figura 8 - Intersezioni a precedenza

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

La codifica di queste 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,
- analisi dei 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 possono essere considerate appartenenti a gruppi *standard*. Per descrivere i semafori e le rotatorie, ovviamente, è stato necessario utilizzare tipologie distinte per ciascun impianto, non potendo essere assimilabili a caratteristiche comuni.

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 4 - Rete stradale completa

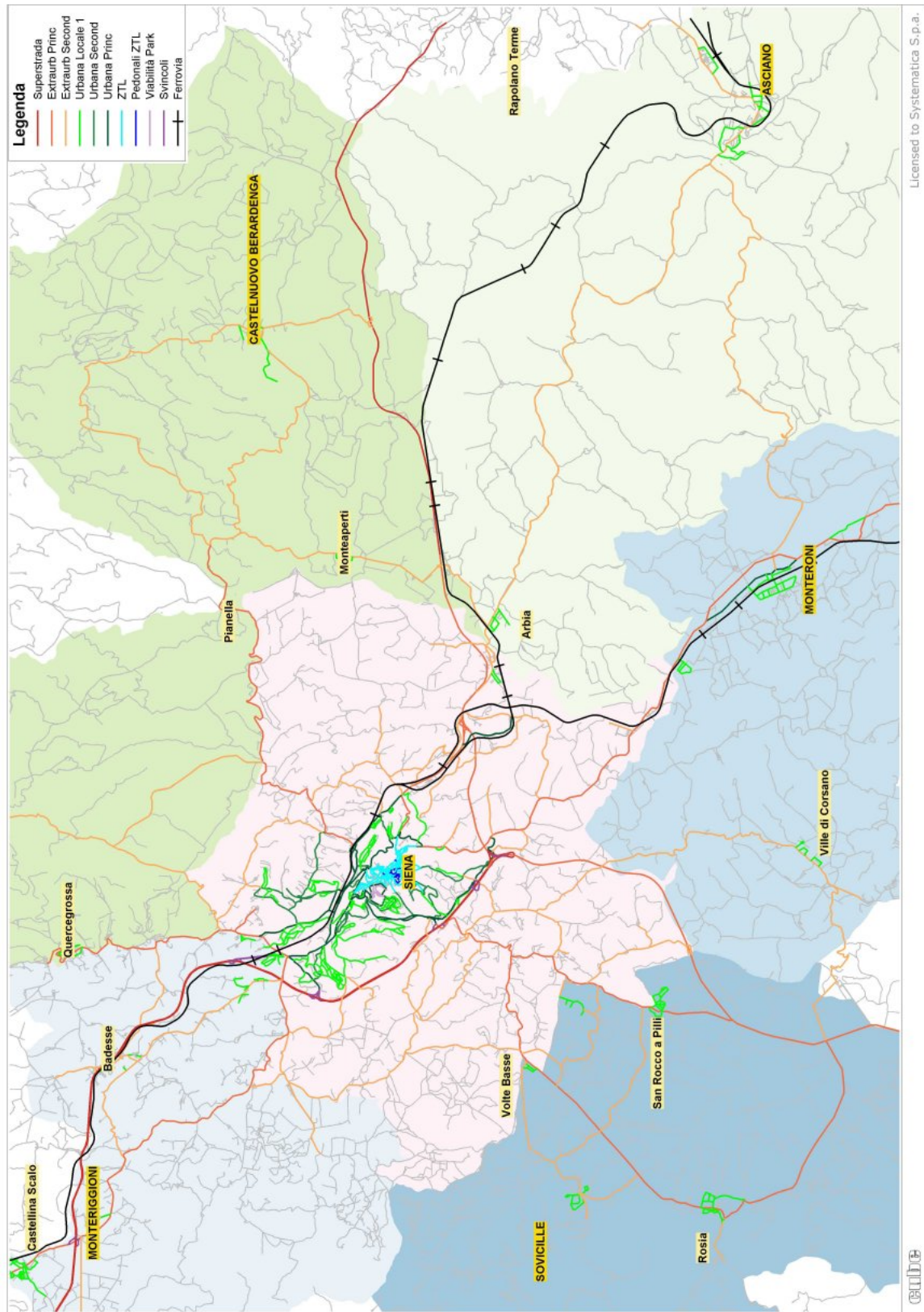


Figura 5 - Rete stradale nell'intorno del comune di Siena

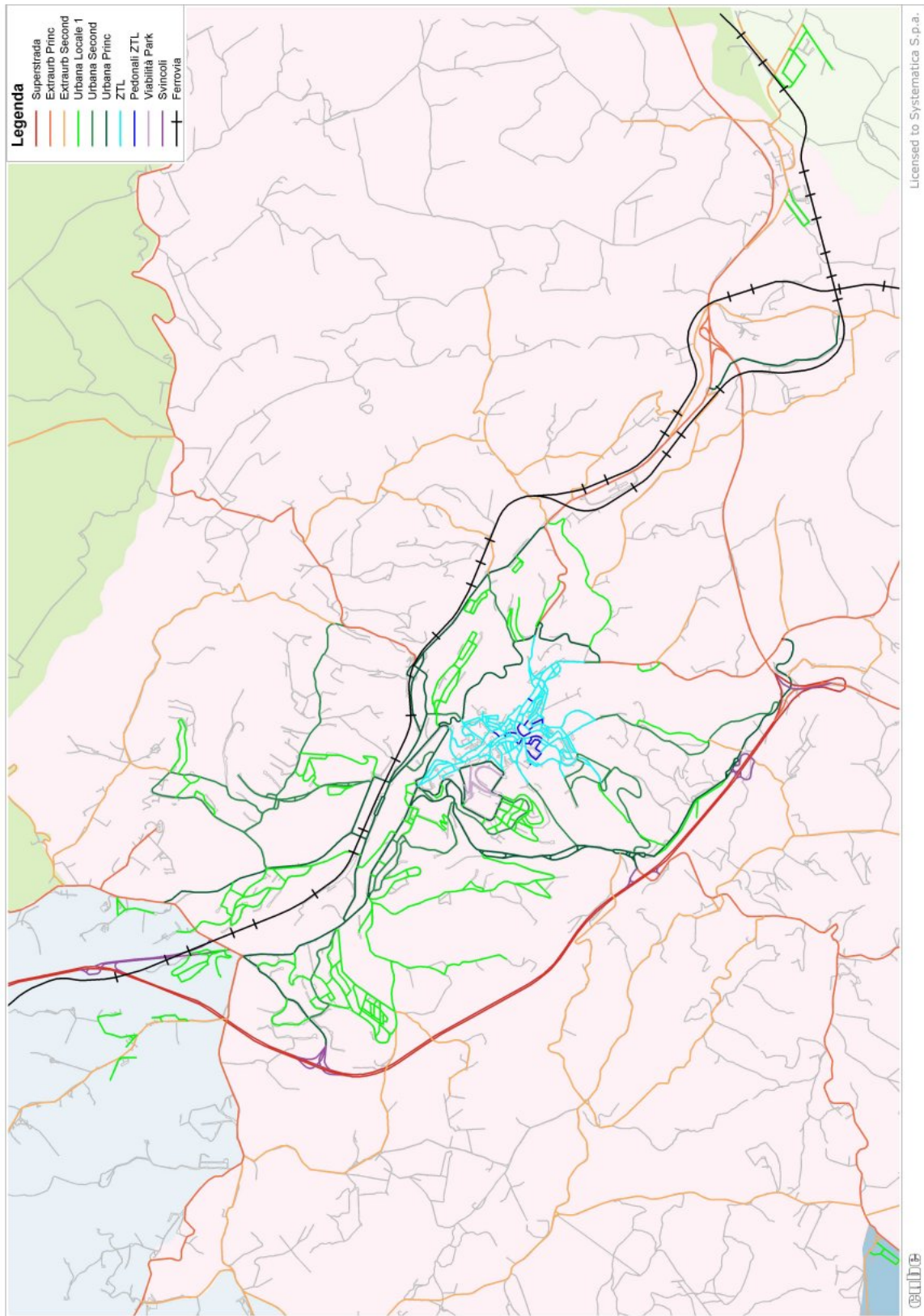


Figura 6 - Intersezioni semaforizzate

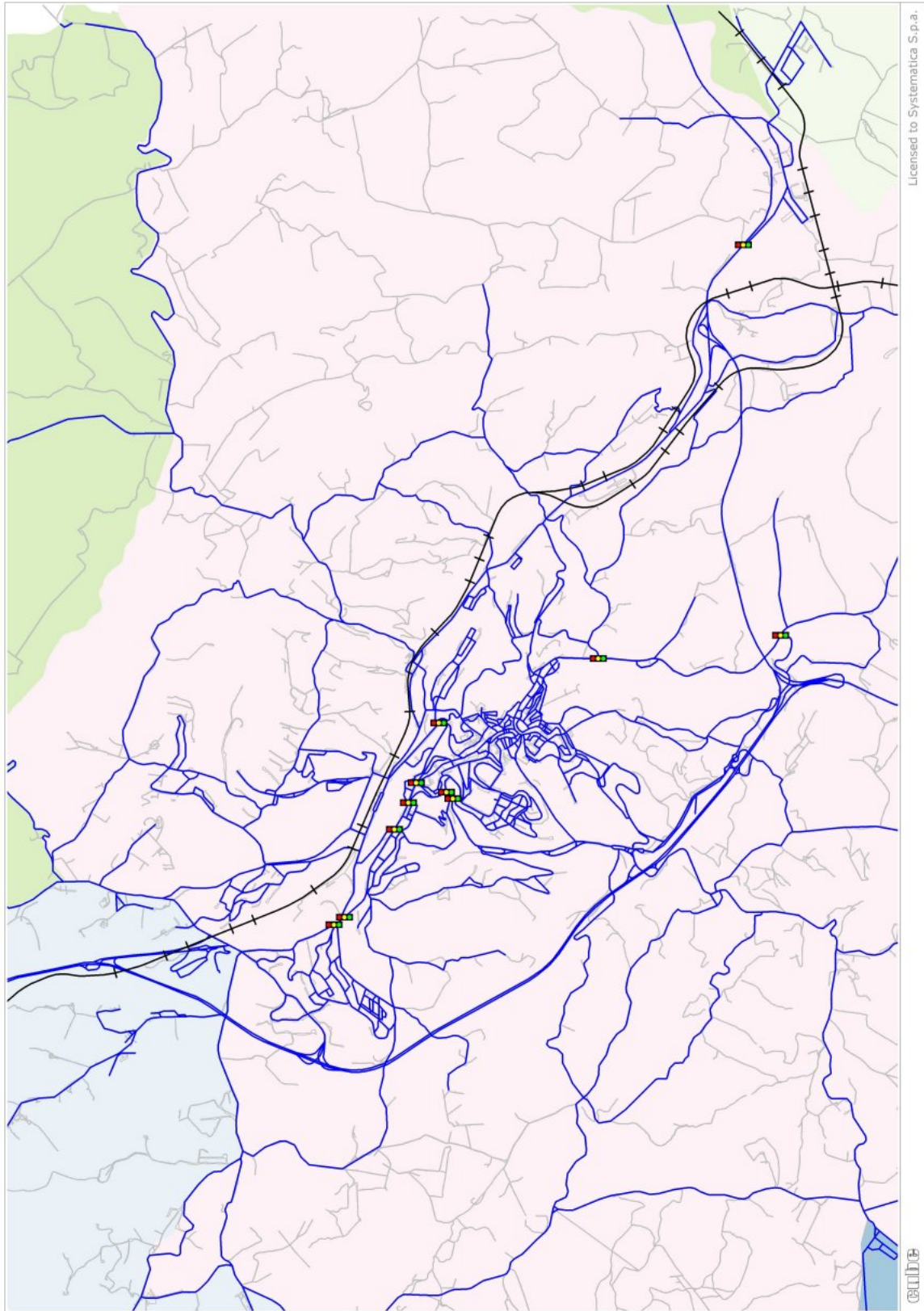


Figura 7 - Intersezioni a rotatoria

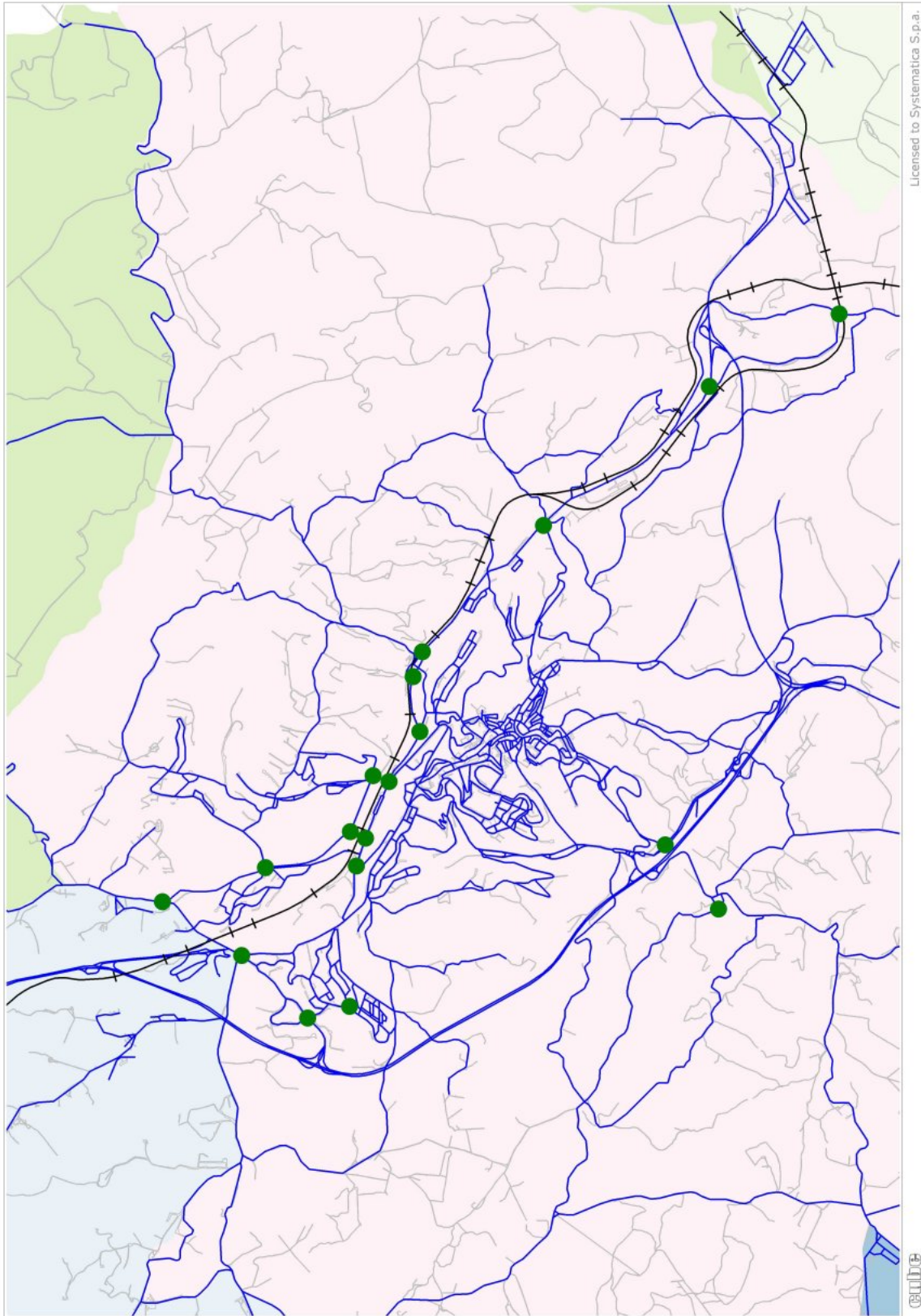
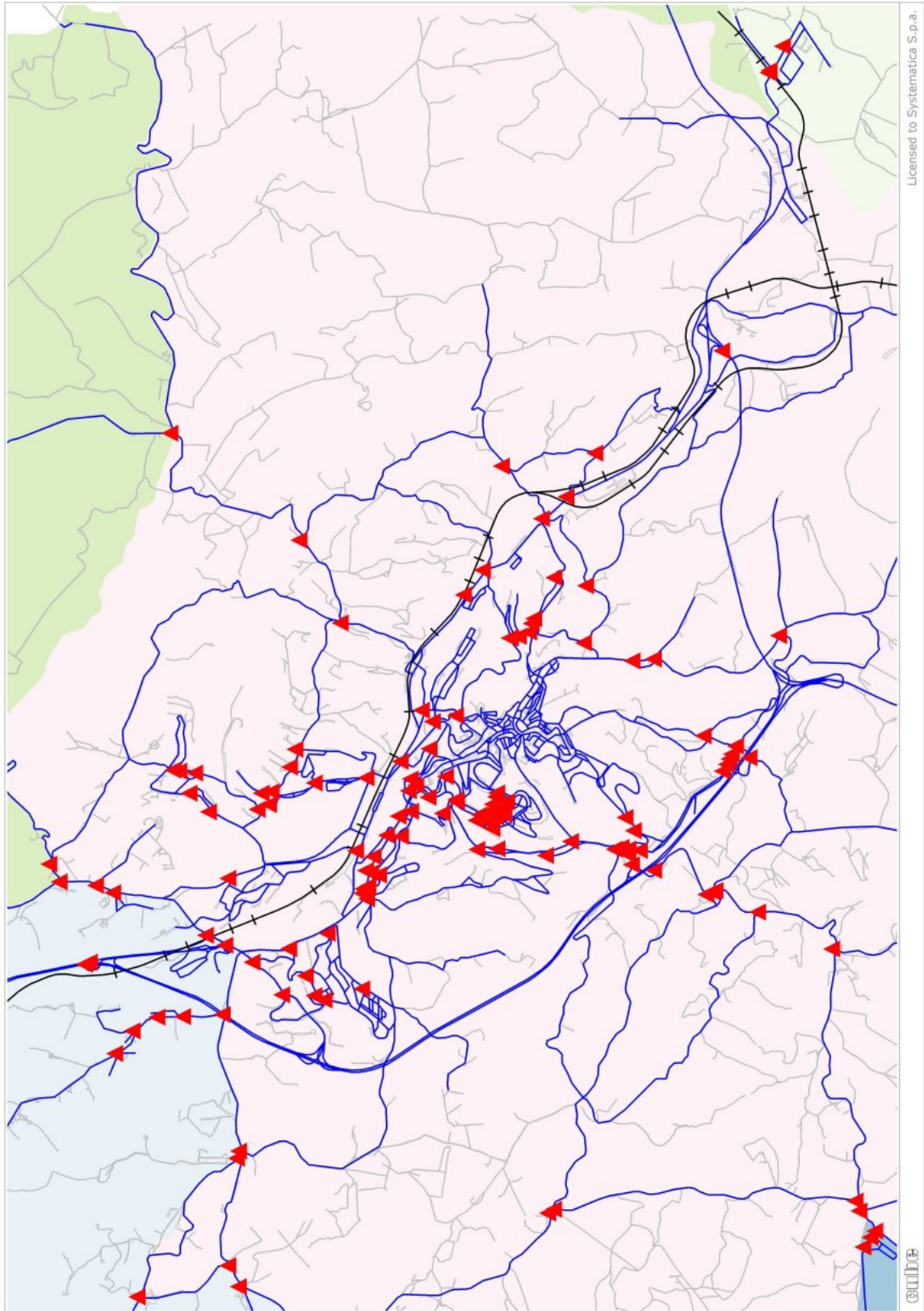


Figura 8 - Intersezioni a precedenza



Licensed to Systematica S.p.A.

5 Il modello dell'ora di punta antimeridiana

5.1 La matrice per il trasporto privato

La matrice OD messa a punto nel presente studio è riferita alle condizioni osservabili in un giorno medio feriale scolastico fra le ore 7.30 e le ore 8.30 antimeridiane. Le ragioni di questa scelta sono motivate dall'analisi dei rilievi di traffico che indicano questo come l'intervallo più critico della mattina.

Il nuovo sistema di azzonamento, che come detto precedentemente comprende un numero di zone maggiore e più disaggregato rispetto al modello di partenza, ha determinato due operazioni fondamentali per l'aggiornamento della matrice OD.

- Spalmatura della vecchia matrice da 241 zone alle attuali 306.
- Inserimento delle relazioni non considerate nella vecchia matrice, che riguardano sostanzialmente quelle tra le zone dei cinque comuni dello SMS esterni a Siena e da queste stesse zone verso l'esterno.

Queste operazioni hanno permesso di determinare una matrice OD per il trasporto privato con **18.544** spostamenti.

5.2 Il processo di Stima Matriciale

Prima di procedere alle attività di calibrazione e di validazione del Modello di Traffico, è stato necessario verificare che le dimensioni complessive della matrice e la dimensione dei flussi osservati nel medesimo intervallo temporale nelle sezioni di indagine abbiano i medesimi ordini di grandezza. Questa verifica si rende indispensabile nei casi in cui, come a Siena, la matrice OD disponibile sia da aggiornare.

Il metodo con cui le sezioni di indagine vengono tradizionalmente collocate parte dalla necessità di individuare delle “sequenze” che permettono di isolare intere aree o settori urbani, e di definire quindi univoche linee di filtro direzionale lungo le quali intercettare i flussi.

Tali linee di filtro sono identificate con il termine *screenlines*. La procedura di reciproco controllo fra i dati osservati alle *screenlines*, i dati contenuti in matrice ed i percorsi probabilistici calcolati dal modello è chiamata stima matriciale.

Le stime matriciali sviluppate con il pacchetto CUBE TRIPS si avvalgono di uno specifico programma di calcolo denominato MVESTM.

5.2.1 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 accorpati in cordoni o *screenlines*.

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*".

5.2.2 Programma MVESTM - dati di alimentazione

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

La matrice di partenza

La matrice di partenza è stata usata per alimentare ciascuna delle relazioni "ij" delle 306 zone di traffico, per un totale di 93.636 celle O/D. Alle singole celle della matrice è stato poi associato un livello di confidenza del dato.

In realtà, considerando solo le celle con valori di flusso diversi da 0, le relazioni "ij" realmente considerate nel processo di stima sono 17.469.

Itinerari

Nella procedura di assegnazione della matrice di partenza alla rete sono state memorizzate tutte le "famiglie" di percorsi generati nel corso del processo iterativo. Queste "famiglie" sono state trasformate in un *file* di scelta dei percorsi probabili (*route choice probability file*), che alimenta MVESTM.

Screenlines

I dati raccolti con i conteggi di traffico sono stati raggruppati in 7 *screenlines* aggregate descritte come segue e rappresentate graficamente nell'immagine di Figura 9:

- Screenline 101, Strada prov. Colligiana, Superstrada Firenze - Siena, Via Cassia (uscita da Nord Ovest);
- Screenline 102, Strada prov. Colligiana, Superstrada Firenze - Siena, Via Cassia (ingresso da Nord Ovest);
- Screenline 103, Acquacalda, Siena Nord (ingresso da Nord);
- Screenline 104, Via Cassia Sud, SS 223 - E78 (ingresso da Sud);
- Screenline 105, Via Cassia Sud, SS 223 - E78 (uscita da Sud);
- Screenline 106, San Marco, Siena Tufi 1 e 2 (ingresso dalla tangenziale Sud);
- Screenline 107, San Marco, Siena Tufi 1 e 2 (uscita dalla tangenziale Sud).

Si osservi che nell'elenco precedente non esiste la screenline in uscita da Nord che aggrega le postazioni di conteggio di Acquacalda e Siena Nord. Questo perché nel giorno in cui sono stati effettuati i conteggi, la rampa in uscita dallo svincolo Acquacalda era chiusa. Di conseguenza, si è ritenuto opportuno considerare separatamente i conteggi in uscita delle due postazioni sopra citate.

Tutti i conteggi direzionali così accorpati sono stati utilizzati dunque per alimentare il programma MVESTM. Ad ogni *screenline* è stato associato un valore di confidenza pari a 300 per riflettere il grado di importanza del dato, che riveste un importante punto di riferimento per l'intero processo di stima. In particolare le postazioni "singole" sono state considerate di minor confidenza rispetto alle *screenlines* aggregate.

5.2.3 Programma MVESTM - processi di stima

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

Tabella 4 – Sintesi dei criteri utilizzati per MVESTM

Criteri	Medio	Massimo	Minimo	Elementi
Livelli di confidenza della matrice di partenza	10	10	10	17.469
Livelli di confidenza delle screenlines/postazioni	139	300	100	61

Fonte: nostre elaborazioni

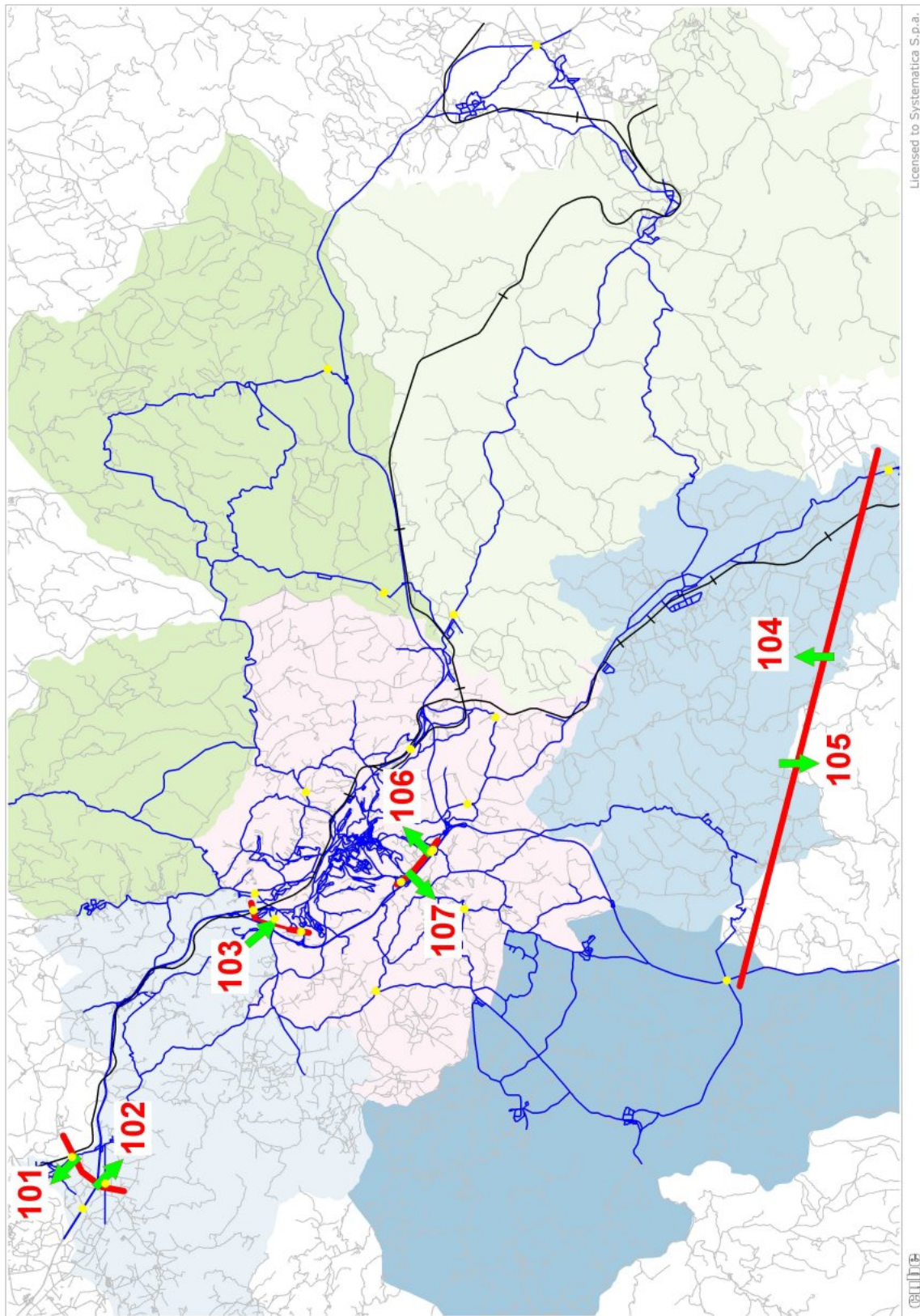
La procedura seguita nell'applicazione del programma MVESTM ha portato all'utilizzo di moduli di **assegnazione** e **stima** tra loro concatenati, in una procedura ciclica, in modo tale da garantire la maggior convergenza possibile del processo di stima. Ad ogni passaggio vengono calcolati i percorsi probabilistici basati sulla matrice ottenuta nel passaggio precedente. Essi divengono poi input del processo di stima, che genera una nuova matrice. Essa, assegnata, genererà nuovi percorsi che diverranno input del processo di stima e così via. Il processo termina quando le matrici stimate in due passaggi successivi sono tra loro prossime.

Al termine del processo di stima si è giunti a convergenza dopo 3 loop con la generazione di una matrice composta da un totale di **23.937** spostamenti. Questo

valore, confrontato con i 18.544 spostamenti della matrice di partenza rappresenta un incremento di 5.393 spostamenti, pari al 29 per cento, come sintetizzato nella Tabella 5.

La buona qualità della matrice finale generata è testimoniata dal confronto ai cordoni ed alle *screenlines* fra flussi di traffico osservati sul campo e flussi restituiti simulativamente dal modello. Tale confronto, presentato nella Tabella 6, presenta valori molto buoni, con uno scarto medio inferiore a mezzo punto percentuale.

Figura 9 – Screenlines



Il processo di modifica della matrice durante il processo di loop è sintetizzato nella seguente tabella. Si nota come durante il processo la matrice cresca percentualmente di valori sempre più contenuti, indice di convergenza del processo.

Tabella 5 – convergenza del processo di stima

Iterazione	Matrice iniziale	Matrice stimata	Differenza assoluta	Differenza percentuale
1	18.544	23.286	4.742	25,6%
2	23.286	23.727	442	1,9%
3	23.727	23.937	209	0,9%

Tabella 6 – Calibrazione delle screenlines/postazioni con MVESTM

Screenline	Etichetta	Flussi osservati	Flussi modellati	Differenza assoluta	Differenza percentuale	OD intercettate
101	Uscita Nord Ovest	1.697	1.701,8	4.8	0.30%	665
102	Ingresso Nord Ovest	2.675	2.677,4	2.4	0.10%	433
103	Ingresso Nord	1.563	1.570	7	0.40%	2.888
104	Ingresso Sud	1.137	1.132,5	-4.5	-0.40%	492
105	Uscita Sud	755	754.3	-0.7	-0.10%	499
106	Ingresso Tang	2.657	2.657,9	0.9	0.00%	4.622
107	Uscita Tang	1.525	1.519,8	-5.2	-0.30%	2.975

Postazione	Etichetta	Flussi osservati	Flussi modellati	Differenza assoluta	Differenza percentuale	OD intercettate
1	SanMarco IN	1.438	1.439,3	1,3	0,10%	3.578
2	SienaBett IN	1.674	1.659,4	-14,6	-0,90%	1.667
3	SienaBett OUT	602	593,4	-8,6	-1,40%	1.240
4	Acquacalda IN	661	692,2	31,2	4,70%	2.530
5	Acquacalda OUT	350	368,6	18,6	5,30%	1.970
6	SienaTufi1 OUT	132	132,5	0,5	0,40%	631
7	SienaTufi1 IN	656	649,4	-6,6	-1,00%	2.020
8	SienaTufi2 IN	563	569,2	6,2	1,10%	1.352
9	SienaTufi2 OUT	367	364,1	-2,9	-0,80%	893
10	SienaNord OUT	715	703,5	-11,5	-1,60%	1.068
11	SienaNord IN	902	877,8	-24,2	-2,70%	691
12	Braccio OUT	516	516,1	0,1	0,00%	1.894
13	Braccio IN	824	827	3	0,40%	1.886
14	CassiaSud OUT	556	557,6	1,6	0,30%	718
15	CassiaSud IN	1.187	1.178,7	-8,3	-0,70%	838
16	Botteganova OUT	217	216	-1	-0,50%	223
17	Botteganova IN	567	577,5	10,5	1,90%	790
18	Chiantigiana IN	831	817,5	-13,5	-1,60%	719

Postazione	Etichetta	Flussi osservati	Flussi modellati	Differenza assoluta	Differenza percentuale	OD intercettate
19	Renaccio IN	372	382,3	10,3	2,80%	977
20	Renaccio OUT	242	245	3	1,20%	341
21	Costalpino1 IN	550	545,7	-4,3	-0,80%	888
22	SanMarco Out	1.026	1.023,1	-2,9	-0,30%	1.913
23	Costalpino1 OUT	306	305,1	-0,9	-0,30%	607
24	Costalpino2 IN	956	944,7	-11,3	-1,20%	1.514
25	Costalpino3 OUT	116	117,7	1,7	1,50%	307
26	Costalpino2 OUT	359	360,6	1,6	0,50%	785
27	Costalpino3 IN	469	461,1	-7,9	-1,70%	659
28	PonteArbia OUT	334	335,4	1,4	0,40%	340
29	PonteArbia IN	531	532,5	1,5	0,30%	341
30	BivioOrgia1 OUT	560	564,1	4,1	0,70%	317
31	BivioOrgia1 IN	660	663,9	3,9	0,60%	390
32	BivioOrgia3 OUT	421	418,9	-2,1	-0,50%	159
33	BivioOrgia4 OUT	25	24,6	-0,4	-1,50%	12
34	BivioOrgia2 OUT	245	246,4	1,4	0,60%	164
35	BivioOrgia3 IN	606	600	-6	-1,00%	151
36	BivioOrgia4 IN	19	18,9	-0,1	-0,30%	9
37	Castelnuovo OUT	184	184,9	0,9	0,50%	135
38	Castelnuovo IN	151	149	-2	-1,30%	116
39	Asciano OUT	57	58,8	1,8	3,20%	158
40	Asciano IN	191	192,5	1,5	0,80%	178
41	Rapolano IN	875	883,4	8,4	1,00%	355
42	Rapolano OUT	571	574	3	0,50%	255
43	SienaFI OUT	1.130	1.135,3	5,3	0,50%	447
44	SienaFI IN	1.862	1.850,8	-11,2	-0,60%	292
45	Castellina OUT	335	336,6	1,6	0,50%	218
46	Castellina IN	532	531,8	-0,2	0,00%	141
47	PianCasone OUT	232	229,9	-2,1	-0,90%	104
48	PianCasone IN	281	294,8	13,8	4,90%	109
49	PonteRigo IN	221	226,4	5,4	2,40%	791
50	PonteRigo OUT	158	156	-2	-1,30%	116
51	BivioOrgia2 IN	166	170,8	4,8	2,90%	248
52	Monteaperti OUT	177	179,9	2,9	1,60%	143
53	Monteaperti IN	159	155,6	-3,4	-2,10%	164
54	Chiantigiana OUT	335	331,5	-3,5	-1,10%	991
Totale		28.172	28.171,8	-0,2	0,00%	

Fonte: nostre elaborazioni

5.3 Calibrazione e validazione del modello

5.3.1 Scopi

Un modello di traffico permette di valutare gli effetti di possibili variazioni degli schemi di traffico in ambito urbano, della realizzazione di nuove infrastrutture o del potenziamento delle esistenti, della variazione dei regimi di traffico e sosta 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 questi ultimi occorrerà, evidentemente, operare anche rispetto alla variabile "domanda" oltre che alla variabile "offerta".

Per essere certi di poter utilizzare il modello nelle fasi simulative è necessario prenderne in esame la capacità di *descrivere la realtà osservata allo stato di fatto*. Il processo valutativo sulla qualità del Modello di Traffico prodotto è chiamato *validazione*.

Nel paragrafo 5.3.2 viene discussa la convergenza raggiunta con le procedure iterative di assegnazione.

Nel paragrafo 5.3.3 vengono illustrate le prestazioni fornite dal modello, in termini di flussi veicolari modellati, perditempo alle intersezioni e velocità medie sugli archi.

Nel paragrafo 5.3.4 viene esaminata l'aderenza dei valori osservati sul campo ai valori restituiti attraverso il processo simulativo con una analisi al cordone, alle *screenlines* e sui singoli archi.

5.3.2 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 sviluppato tramite il programma MVHWAY.

Il grado di convergenza viene normalmente analizzato attraverso il calcolo di quattro parametri principali:

- parametro delta (detto anche gap statistico) rappresenta la differenza tra tutti gli spostamenti che usano il percorso di costo minimo dell'ultima iterazione e tutti i

carichi ottenuti nei passaggi precedenti del ciclo iterativo. Matematicamente è dato da:

$$\delta = \frac{\sum_a C_a^n (V_a^n - L_a^{n+1})}{\sum_a C_a^n L_a^{n+1}}$$

- parametro AAD (average absolute difference) rappresenta il valore della differenza media assoluta dei flussi sugli archi tra iterazioni successive. Il valore obiettivo si raggiunge quando il valore calcolato di AAD è inferiore ad un prefissato numero di veicoli equivalenti per ora. Matematicamente è dato da:

$$AAD = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |V_k^n - V_k^{n-1}|$$

- parametro RAAD (relative average absolute difference) rappresenta il valore della differenza media assoluta relativa dei flussi sugli archi tra iterazioni successive. Il valore obiettivo si raggiunge quando il valore calcolato di RAAD è inferiore ad una proporzione di archi specificata prefissato numero di veicoli equivalenti per ora. Matematicamente è dato da:

$$RAAD = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|V_k^n - V_k^{n-1}|}{V_k^{n-1}}$$

- parametro FLOW (percentuale degli archi di rete in cui si ha una variazione dei flussi tra un'iterazione e quella precedente superiore al 5%);

Nelle formule precedenti si ha:

- a: Pedice associato agli archi ed alle svolte;
- k: Pedice associato agli archi, ma non alle svolte;
- N: Numero di archi nella rete;
- V_b^n : Flusso all'iterazione 'n' sull'elemento 'b';
- L_b^n : Flusso a costo minimo (tutto o niente) all'iterazione 'n' sull'elemento 'b';
- C_b^n : Costo di passaggio su b all'iterazione n;

I valori osservati nel processo iterativo sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 7 – Parametri di convergenza

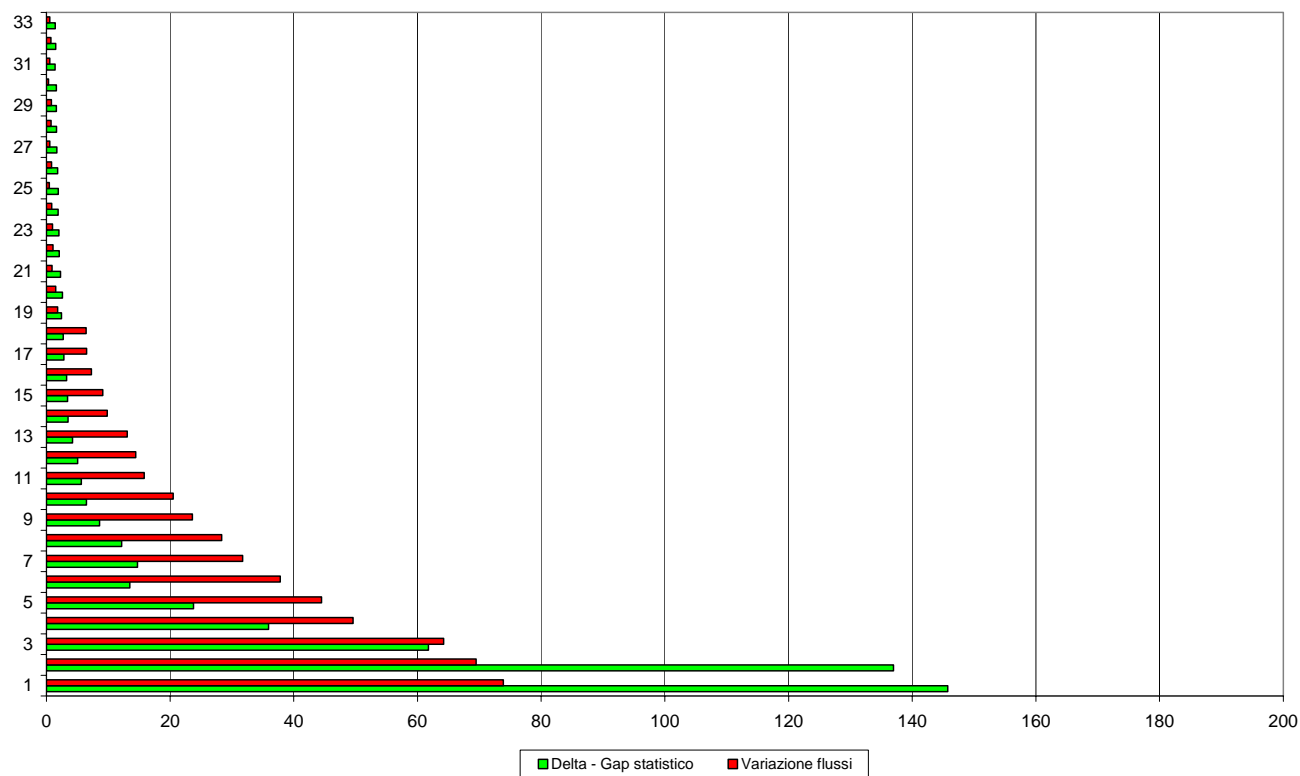
Iter	Delta (%)	AAD	RAAD	FLOW (%)
1	182.567	114.705	35.108	77.251
2	159.134	60.397	0.947	73.757
3	68.399	36.117	0.265	63.968
4	57.071	23.214	0.168	55.475
5	31.290	16.220	0.084	49.490
6	25.771	10.950	0.065	37.975
7	15.399	9.446	0.070	35.666
8	16.557	7.757	0.040	31.263
9	9.376	6.161	0.034	26.192
10	10.261	5.330	0.201	19.962
11	6.460	5.486	0.029	20.782
12	7.941	4.421	0.024	16.358
13	5.119	3.767	0.021	13.384
14	5.346	3.053	0.018	11.943
15	4.364	2.926	0.017	9.262
16	5.213	2.798	0.016	9.101
17	3.847	2.785	0.016	8.547
18	3.555	2.250	0.014	6.864
19	3.504	1.999	0.012	1.542
20	3.509	1.970	0.012	1.179
21	2.881	1.655	0.010	0.796
22	2.643	1.539	0.010	1.320
23	2.939	1.646	0.011	1.653
24	2.615	1.557	0.009	0.857
25	2.488	1.298	0.009	0.978
26	2.318	1.581	0.010	1.330
27	2.144	1.299	0.008	0.272
28	2.103	1.137	0.008	0.988
29	2.110	1.269	0.008	1.129
30	1.980	1.122	0.007	0.443
31	1.836	1.043	0.007	0.595
32	1.905	1.204	0.007	0.534
33	1.736	0.956	0.006	0.433
34	1.736	0.939	0.006	0.695
35	1.765	0.873	0.006	1.129

Iter	Delta (%)	AAD	RAAD	FLOW (%)
36	1.534	0.825	0.005	0.373
37	1.516	0.676	0.005	0.161
38	1.567	0.759	0.005	0.635
39	1.460	0.712	0.005	0.171
40	1.347	0.727	0.005	0.746
41	1.376	0.748	0.005	0.464

Tabella 8 – Parametri di convergenza del modello di traffico

Come facilmente prevedibile, il modello presenta forti oscillazioni nel corso delle prime iterazioni. Tuttavia, una volta arrivati alla ventunesima iterazione, il modello raggiunge la stabilità.

Figura 10 – Convergenza del Modello di Traffico



5.3.3 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.

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 dal programma MVHWAY sono stati memorizzati e controllati a video. Sono stati presi in esame tutti i percorsi che impegnano le principali strade cittadine per essere certi che non si fossero generati itinerari improbabili.

Attraverso una utilissima opzione offerta dal medesimo programma sono state costruite alcune sub-matrici di test per evidenziare le relazioni che impegnano alcuni significativi archi stradali. Questo ha permesso di accertare la correttezza della procedura di assegnazione, non essendo presenti lungo questi archi-chiave relazioni OD improprie.

Le verifiche hanno sortito entrambe esito positivo.

Flussi su archi e nodi

I flussi veicolari direzionali che impegnano la rete stradale dello SMS nell'ora di punta antimeridiana e il rapporto tra volume di traffico e capacità sono stati attentamente verificati utilizzando i conteggi effettuati al cordone e le capacità inserite nel modello.

Velocità

La velocità commerciale media calcolata dal modello sull'intera rete stradale è pari a 27,4 km/ora. Gli archi con velocità maggiori sono quelli appartenenti alla rete extraurbana, che presentano valori medi compresi tra 40 e 60 km/h. In ambito urbano, invece, le velocità medie di percorrenza si attestano su valori compresi tra 20 e 40 km/h.

5.3.4 Validazione

Il Modello di Traffico è stato allora 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.

Confronto al cordone esterno ed alle *screenlines*

Le sezioni di indagine vengono tradizionalmente collocate secondo sequenze che permettono di isolare intere aree o settori urbani e di definire univoche linee di filtro direzionale lungo le quali intercettare i flussi. Tali linee di filtro sono identificate con il termine *screenlines*.

Altro parametro significativo per valutare la qualità del modello assegnato è il parametro GEH, definito come:

$$GEH = \sqrt{\frac{(\text{flusso}_{simulato} - \text{flusso}_{osservato})^2}{(\text{flusso}_{simulato} + \text{flusso}_{osservato}) * 0.5}}$$

La letteratura di settore (riferimento al DMRB, Design Manual for Roads and Bridges) indica che tale valore deve avere un valore inferiore a 5 almeno per l' 80% delle postazioni analizzate. I valori osservati e modellati sono stati messi a confronto sulle *screenlines* e nelle postazioni di conteggio. I relativi risultati sono stati sintetizzati nella Tabella 9.

Tabella 9 – Validazione per singola screenlines

Screenline numero	Nome	Flussi modellati	Flussi osservati	Delta ass	Delta %	GEH
101	Uscita Nord Ovest	1702	1697	4.81	0.3%	0.12
102	Ingresso Nord Ovest	2677	2675	2.38	0.1%	0.05
103	Ingresso Nord	1608	1563	45.39	2.9%	1.14
104	Ingresso Sud	1072	1137	-65.35	-5.7%	1.97
105	Uscita Sud	756	755	0.57	0.1%	0.02
106	Ingresso Tang	2611	2657	-46	-1.7%	0.90
107	Uscita Tang	1458	1525	-66.98	-4.4%	1.73
		11884	12009	-125.18	-1.0%	1.15

Fonte: nostre elaborazioni

Le variazioni tra i flussi assegnati e osservati alle screenlines in termini assoluti e percentuali sono minime. Il valore GEH delle varie screenlines presenta sempre valori inferiori a 5, come richiesto con una media di **1,15**.

Analizzando le singole postazioni abbiamo:

Postazione numero	Nome	Flussi modellati	Flussi osservati	Delta ass	Delta %	GEH
1	SanMarco IN	1.439	1.438	1,31	0,1%	0,03
2	SienaBett IN	1.484	1.674	-189,8	-11,3%	4,78
3	SienaBett OUT	599	602	-3,13	-0,5%	0,13
4	Acquacalda IN	703	661	42,44	6,4%	1,62
5	Acquacalda OUT	314	350	-35,66	-10,2%	1,96
6	SienaTufi1 OUT	92	132	-39,7	-30,1%	3,75
7	SienaTufi1 IN	538	656	-117,82	-18,0%	4,82
8	SienaTufi2 IN	634	563	70,51	12,5%	2,88
9	SienaTufi2 OUT	315	367	-51,57	-14,1%	2,79
10	SienaNord OUT	667	715	-47,95	-6,7%	1,82
11	SienaNord IN	905	902	2,95	0,3%	0,10
12	Braccio OUT	545	516	28,62	5,5%	1,24
13	Braccio IN	843	824	18,93	2,3%	0,66
14	CassiaSud OUT	562	556	5,54	1,0%	0,23
15	CassiaSud IN	1.112	1.187	-75,35	-6,3%	2,22
16	Botteganova OUT	214	217	-3,25	-1,5%	0,22
17	Botteganova IN	638	567	70,91	12,5%	2,89
18	Chiantigiana IN	792	831	-38,67	-4,7%	1,36
19	Renaccio IN	382	372	9,8	2,6%	0,50
20	Renaccio OUT	240	242	-1,63	-0,7%	0,10
21	Costalpino1 IN	484	550	-65,95	-12,0%	2,90
22	SanMarco Out	1.050	1.026	24,29	2,4%	0,75
23	Costalpino1 OUT	310	306	3,5	1,1%	0,20
24	Costalpino2 IN	852	956	-104,4	-10,9%	3,47
25	Costalpino3 OUT	113	116	-2,73	-2,4%	0,25
26	Costalpino2 OUT	361	359	2,05	0,6%	0,11
27	Costalpino3 IN	429	469	-39,74	-8,5%	1,88
28	PonteArbia OUT	337	334	2,71	0,8%	0,15
29	PonteArbia IN	472	531	-59,35	-11,2%	2,65
30	BivioOrgia1 OUT	561	560	0,5	0,1%	0,02
31	BivioOrgia1 IN	692	660	31,69	4,8%	1,22
32	BivioOrgia3 OUT	419	421	-2,14	-0,5%	0,10
33	BivioOrgia4 OUT	25	25	-0,37	-1,5%	0,07
34	BivioOrgia2 OUT	243	245	-2,19	-0,9%	0,14
35	BivioOrgia3 IN	600	606	-6	-1,0%	0,24
36	BivioOrgia4 IN	23	19	4,2	22,1%	0,91
37	Castelnuovo OUT	185	184	0,65	0,4%	0,05
38	Castelnuovo IN	140	151	-10,63	-7,0%	0,88
39	Asciano OUT	60	57	2,7	4,7%	0,35
40	Asciano IN	190	191	-0,59	-0,3%	0,04

Postazione numero	Nome	Flussi modellati	Flussi osservati	Delta ass	Delta %	GEH
41	Rapolano IN	944	875	69,2	7,9%	2,29
42	Rapolano OUT	573	571	1,8	0,3%	0,08
43	SienaFI OUT	1.126	1.130	-3,79	-0,3%	0,11
44	SienaFI IN	1.810	1.862	-52,26	-2,8%	1,22
45	Castellina OUT	337	335	1,59	0,5%	0,09
46	Castellina IN	532	532	-0,25	0,0%	0,01
47	PianCasone OUT	239	232	7,01	3,0%	0,46
48	PianCasone IN	336	281	54,89	19,5%	3,13
49	PonteRigo IN	271	221	49,86	22,6%	3,18
50	PonteRigo OUT	159	158	1,36	0,9%	0,11
51	BivioOrgia2 IN	194	166	28,29	17,0%	2,11
52	Monteaperti OUT	199	177	21,86	12,4%	1,59
53	Monteaperti IN	146	159	-12,51	-7,9%	1,01
54	Chiantigiana OUT	348	335	12,99	3,9%	0,70
Totale		27.777	28.172	-395,28	-1,4%	2,36

Fonte: nostre elaborazioni

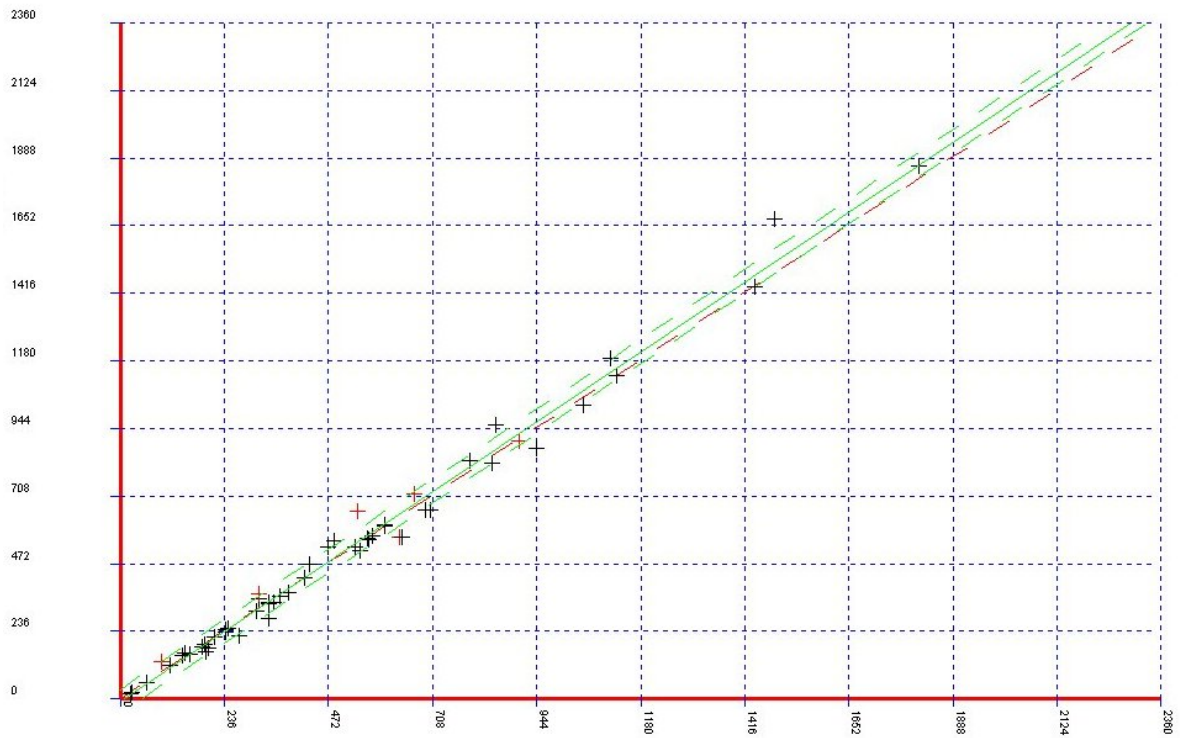
La sostanziale corrispondenza fra valori di flusso osservati e modellati, dell'ordine del mezzo punto percentuale, ci fanno considerare buoni i risultati ottenuti. Inoltre, come richiesto da letteratura, oltre il **90%** delle postazioni presenta **GEH <5**, con un valore medio di **2,36**.

La valutazione sulla bontà del lavoro svolto può essere evidenziata anche attraverso l'uso di un indicatore statistico, l'errore medio assoluto, calcolato sommando fra loro le differenze assolute degli scostamenti fra valori osservati e valori modellati sui singoli archi e dividendo quindi il risultato ottenuto con il totale dei flussi osservati. Questo consente di evitare che le differenze positive e negative fatte segnare dai flussi modellati si elidano a vicenda, generando quindi un grave errore valutativo. Si ha:

- somma delle differenze assolute alle postazioni: **1.540**
- errore medio assoluto: **5,46%**

Questo valore deve essere comparato alla percentuale del 20%, generalmente considerata ottima nella Comunità Europea. Un ultimo indicatore sintetico della qualità del Modello di Traffico predisposto è dato dall'indice di correlazione R^2 , il cui valore raggiunge un ottimo **0,988**. La distribuzione degli scostamenti rispetto alla teorica linea di regressione ottimale è illustrata nella Figura 11.

Figura 11 – Correlazione fra dati osservati e modellati (ora di punta antimeridiana)



6 Stato di fatto 2004

Il modello appena descritto è stato calibrato sulla base dei conteggi effettuati nei mesi di maggio e giugno 2004, periodo durante il quale lo svincolo in uscita verso nord ad Acquacalda era chiuso alla circolazione per lavori. Allo stato di fatto 2004, tuttavia, tale svincolo è aperto. È stato quindi necessario creare un apposito scenario intitolato “Stato di fatto 2004” basato sul modello appena calibrato, ma con lo svincolo aperto.

I risultati ottenuti dal modello di traffico in tale scenario sono illustrati nelle tavole che seguono e sono costituiti da:

- Percorrenze veicolari
- Flussi sugli archi;
- Velocità lungo gli archi;
- Tempi di percorrenza;
- Criticità lungo gli archi;
- Perditempo alle intersezioni;
- Costi generalizzati di spostamento su strada.

6.1 Percorrenze veicolari

Nella successiva Tabella 10 sono riportati gli indicatori forniti dal modello relativi alle percorrenze veicolari.

Il primo indicatore ha la finalità di evidenziare la quantità di chilometri percorsi dai veicoli che, nell’ora di punta antimeridiana, impegnano la rete viaria urbana.

Distanza Totale Percorsa dai Veicoli = \sum (volumi di traffico x lunghezza dell’arco)

dove:

- i volumi di traffico rappresentano i veicoli assegnati dal modello su base oraria.
- la distanza è espressa in Chilometri.

Il secondo indicatore, ottenuto dal rapporto tra la *distanza totale percorsa dai veicoli* e il numero totale di veicoli assegnati, rappresenta la **distanza media percorsa da un veicolo** per compiere il proprio spostamento.

Tabella 10 – Percorrenze veicolari Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana)

Distanza Totale Percorsa dai Veicoli (Veh*km)	354.787,8
Distanza media Percorsa a Veicolo (km)	14,8

6.2 Flussi sugli archi

I flussi veicolari direzionali che impegnano la rete stradale dello SMS nell'ora di punta antimeridiana sono visualizzati nella Figura 12 e Figura 13.

I flussi veicolari più consistenti si possono osservare lungo le principali strade di accesso al comune di Siena, come ad esempio sulla:

- Super Strada Firenze – Siena,
- La tangenziale Ovest di Siena;
- Siena – Bettole,
- Via Cassia Sud (proveniente da Monteroni),
- SS 223 (proveniente da Grosseto),

e, seppure in misura inferiore:

- Via Cassia Nord (proveniente da Monteriggioni),
- SS 222 (proveniente da Quercegrossa),
- SS 408 (strada Chiantigiana, proveniente da Pianella)
- SS 73 (proveniente da Sovicille e Rosia).

In ambito urbano, i tratti di viabilità caratterizzati da flussi di traffico consistenti sono:

- Strada Pescaia;
- Via Toselli;
- Via Sclavo;

- Via Fiorentina;
- Via Piccolomini.

Questi dati appaiono del tutto conformi alle condizioni note.

6.3 Velocità lungo gli archi

La velocità commerciale media calcolata dal modello sull'intera rete stradale è pari a 27,4 km/ora. Le velocità di percorrenza lungo i singoli archi sono presentate nella Figura 14 e Figura 15, mentre nella Tabella 11 sono elencate le velocità medie distinte per tipologia di arco.

Tabella 11 – Velocità media per tipologia Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana)

Tipologia	Descrizione	Velocità media
2	Super strada	69,7
3	Extraurbana principale	26,2
4	Extraurbana secondaria	30,5
7	Urbana principale	16,6
8	Urbana secondaria	17,5
9	Urbana locale	18,7
10	ZTL	8
20	Svincoli	20,6
31	Viabilità park	5,7
Media		27,4

Nel leggere tale tabella, si tenga presente che nel calcolo delle velocità medie di percorrenza sono compresi i perditempo subiti alle intersezioni. In realtà quindi, come si può notare dalle Figure sopra indicate, le velocità di percorrenza sugli archi sono leggermente più alte di quanto indicato nella Tabella 11.

6.4 Tempi di percorrenza

Nella successiva Tabella 12 sono riportati gli indicatori forniti dal modello relativi ai tempi di percorrenza veicolari.

Il primo indicatore ha la finalità di mostrare il tempo impiegato dai veicoli per raggiungere la propria destinazione.

Tempo Totale di Percorrenza = $\Sigma[\text{volumi di traffico} \times (T - \text{arco} + T - \text{int})]$

dove:

- T - arco = tempo impiegato per percorrere il dato arco nelle condizioni di deflusso assegnate dal modello (ovvero secondo la curva di deflusso caratteristica della data sezione stradale)
- T - int = tempo di impegno delle intersezioni nelle condizioni di deflusso assegnate dal modello (ovvero secondo le caratteristiche codificate della data intersezione)

Il secondo indicatore, ottenuto dal rapporto tra il *tempo totale di percorrenza* e il numero totale di veicoli assegnati, rappresenta il **tempo medio di percorrenza di un veicolo** per compiere il proprio spostamento.

Tabella 12 – Tempi di percorrenza veicolari Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana)

Tempo Totale di Percorrenza (ore)	12.927
Tempo Medio di Percorrenza a Veicolo (minuti)	32

6.5 Criticità lungo gli archi

La Figura 16 e Figura 17 mostrano il grado di criticità osservato lungo i singoli archi stradali, determinato dal rapporto tra il volume di traffico assegnato e la relativa capacità.

La sua lettura incrociata permette di evidenziare come in ambito urbano vi sia aderenza fra i volumi di traffico osservati e le criticità emergenti.

La stessa osservazione vale, sostanzialmente, in ambito extraurbano. Particolarmente critici risultano essere il tratto finale della Via Cassia Sud e della Siena Bettole (dove la strada passa da due ad una corsia per senso di marcia). Le altre strade principali di accesso al Comune di Siena, invece, mostrano un'adeguata capacità per smaltire i consistenti flussi veicolari che le interessano.

6.6 Perditempo alle intersezioni

I perditempo alle intersezioni sono graficamente illustrati nella Figura 18 e Figura 19. Moltiplicando i perditempo di ciascuna manovra per il numero di veicoli che interessano la manovra stessa si ottengono i perditempo **complessivi** per ogni intersezione. Questo parametro permette di individuare le intersezioni che presentano maggiori “peso” all’interno della rete.

6.7 Costi generalizzati di spostamento su strada

Nella seguente Tabella 13 sono riportati i costi generalizzati di spostamento su strada ottenuti in funzione dei parametri inseriti nel modello in fase di calibrazione.

Tabella 13 – Costi generalizzati di spostamento su strada Stato di Fatto 2004 (ora di punta antimeridiana)

Tempo (min)	2.056.773,87
Distanza (km)	863.167,65
Costo generalizzato (min)	3.271.521,30

Figura 12 - Flussi di traffico modellati per arco – Area SMS (veicoli equivalenti - ora di punta antimeridiana)

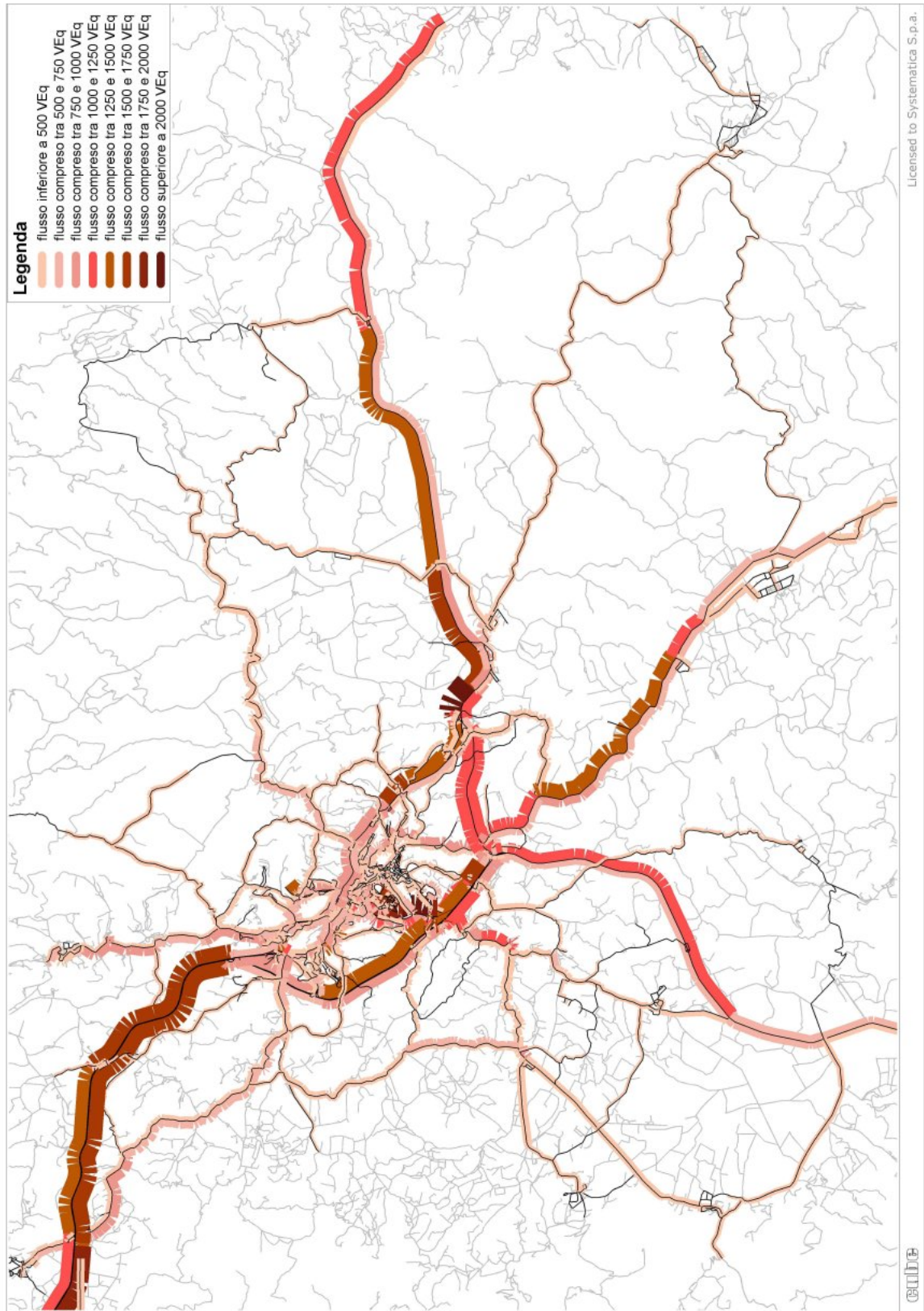


Figura 13 - Flussi di traffico modellati per arco – Comune di Siena (veicoli equivalenti - ora di punta antimeridiana)

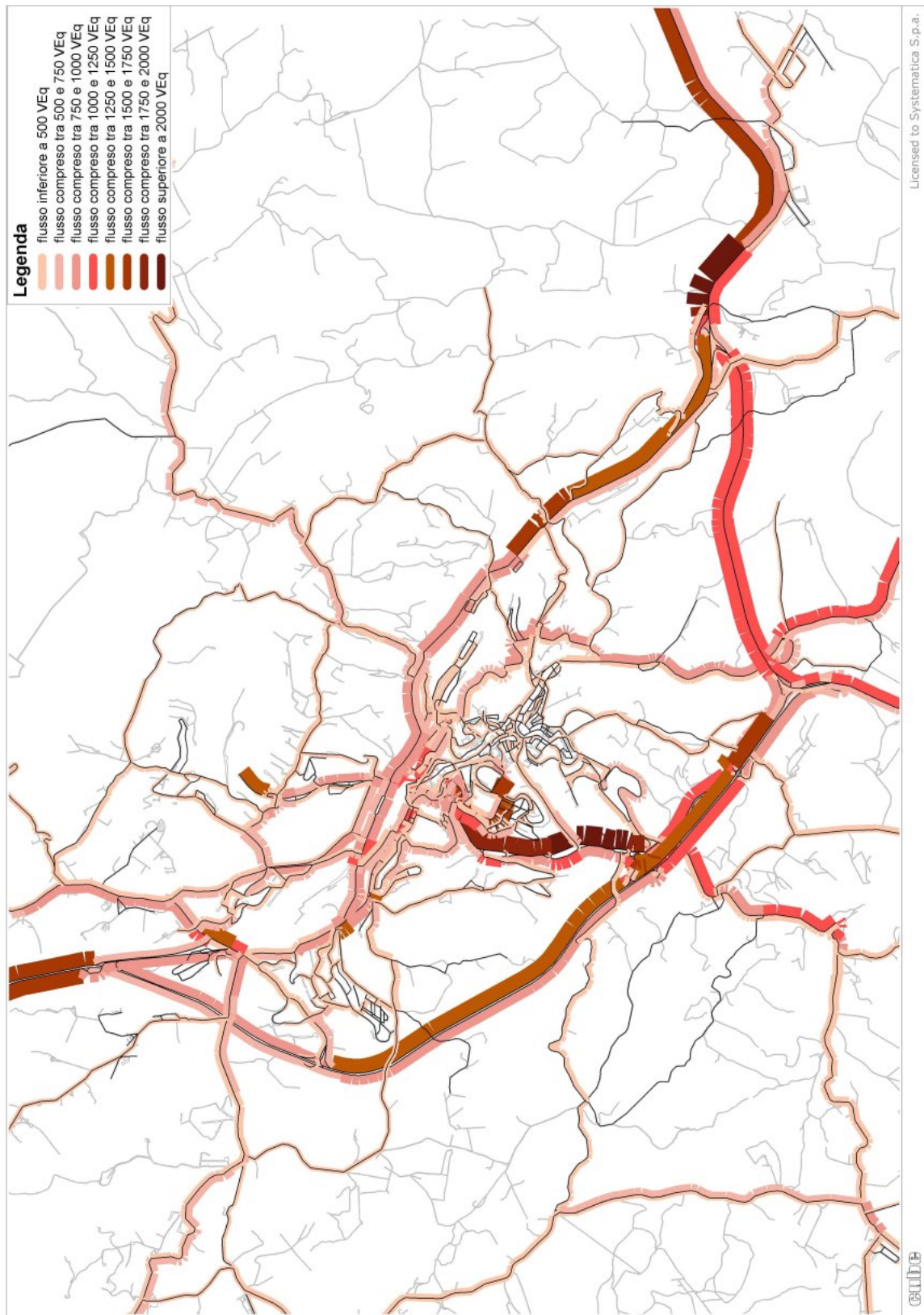


Figura 14 - Velocità modellate per arco – Area SMS (Km/h – ora di punta antimeridiana)

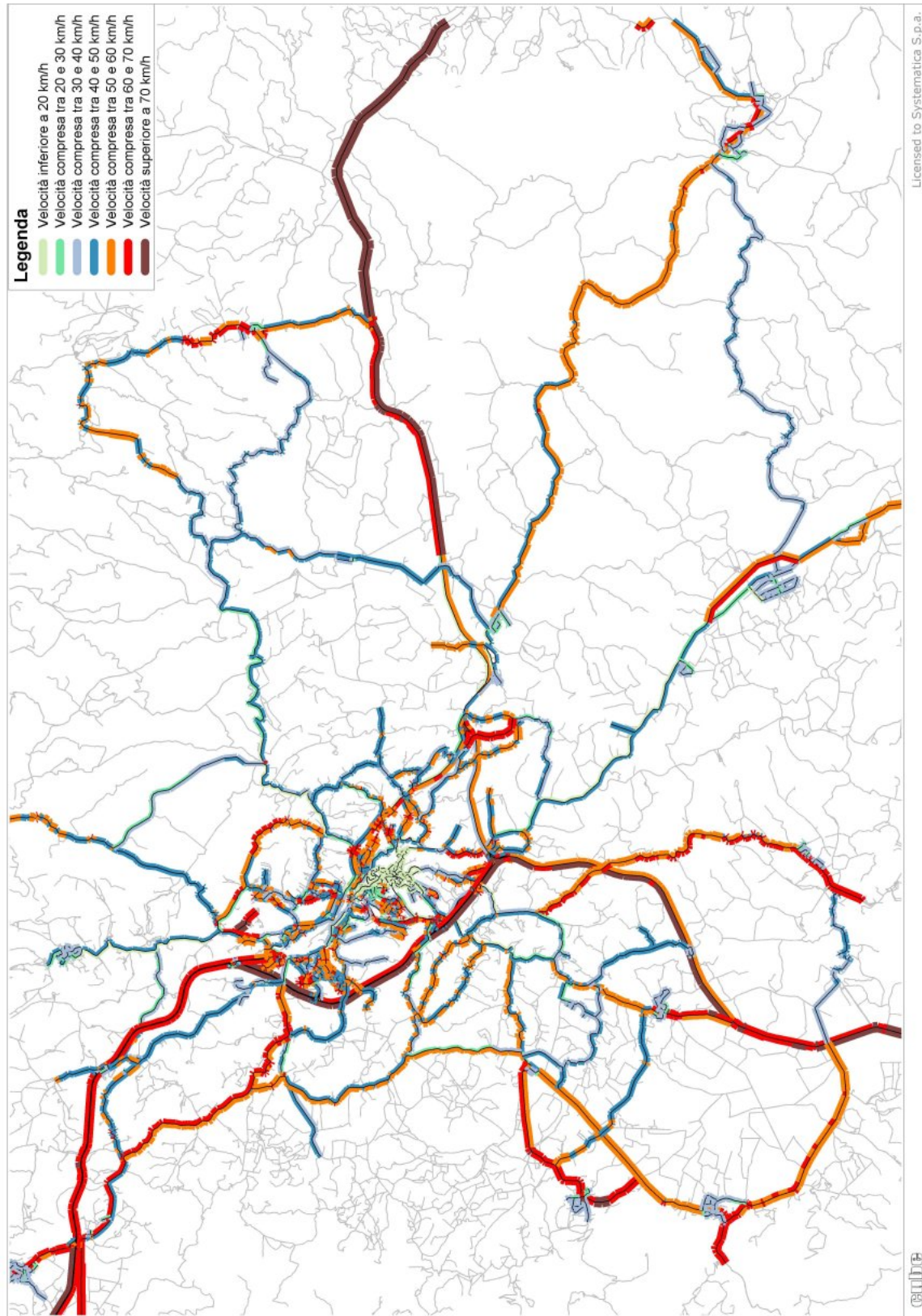


Figura 15 - Velocità modellate per arco – Comune di Siena (Km/h – ora di punta antimeridiana)

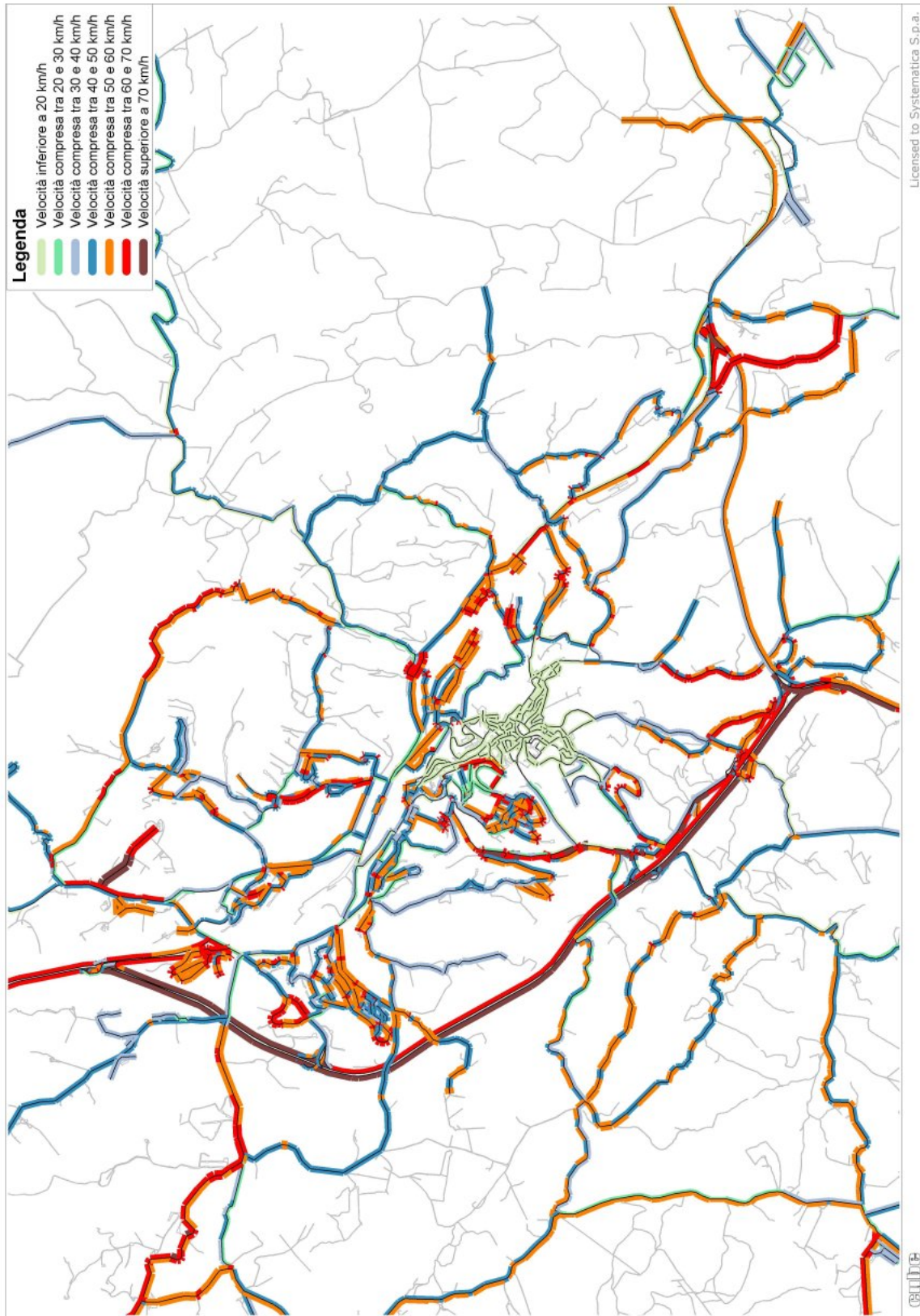


Figura 16 – Criticità lungo gli archi – Area SMS (Veicoli/Capacità – ora di punta antimeridiana)

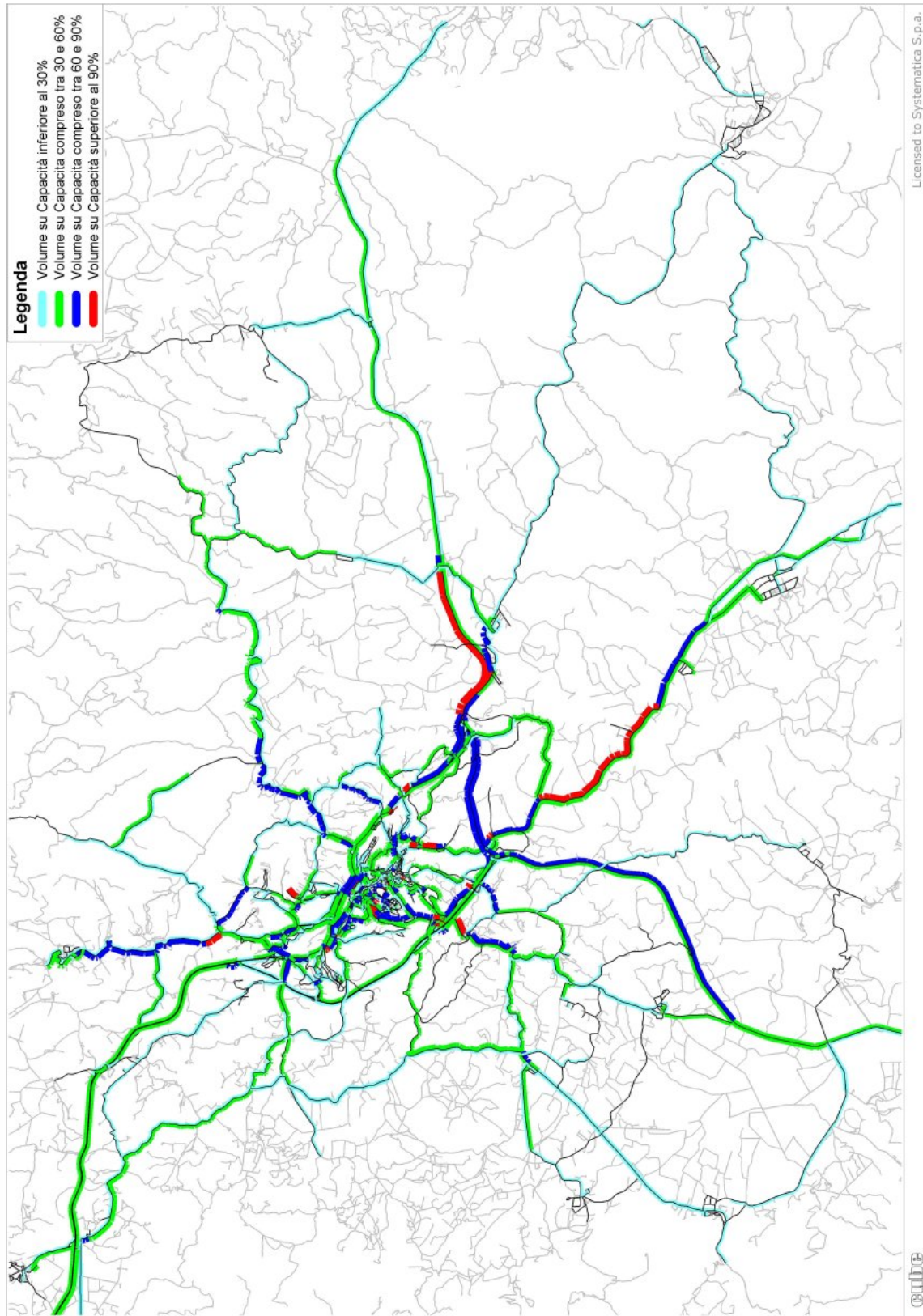


Figura 17 - Criticità lungo gli archi – Comune di Siena (Veicoli/Capacità – ora di punta antimeridiana)

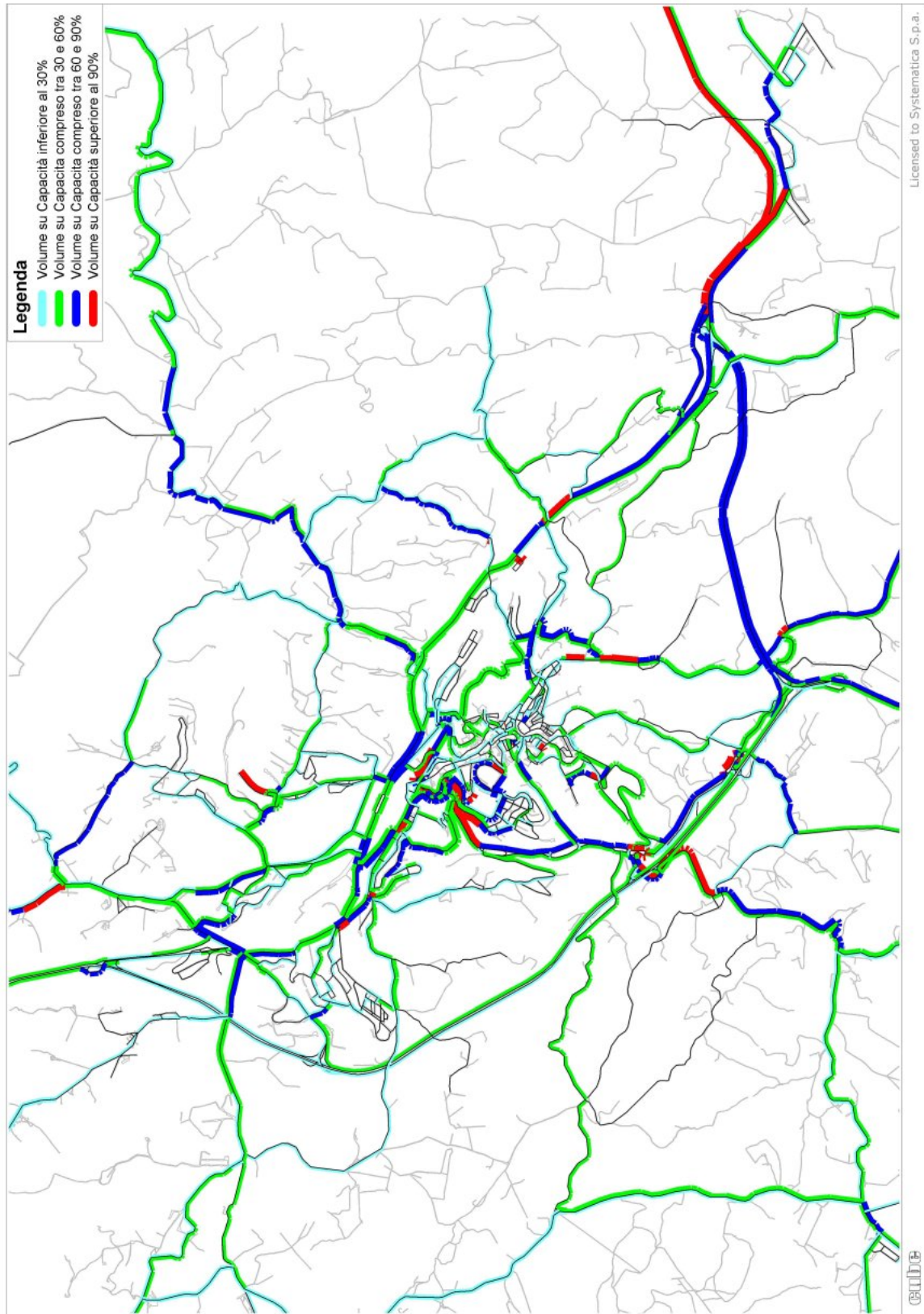


Figura 18 – Perditempo modellati per intersezione – Area SMS (minuti – ora di punta antimeridiana)

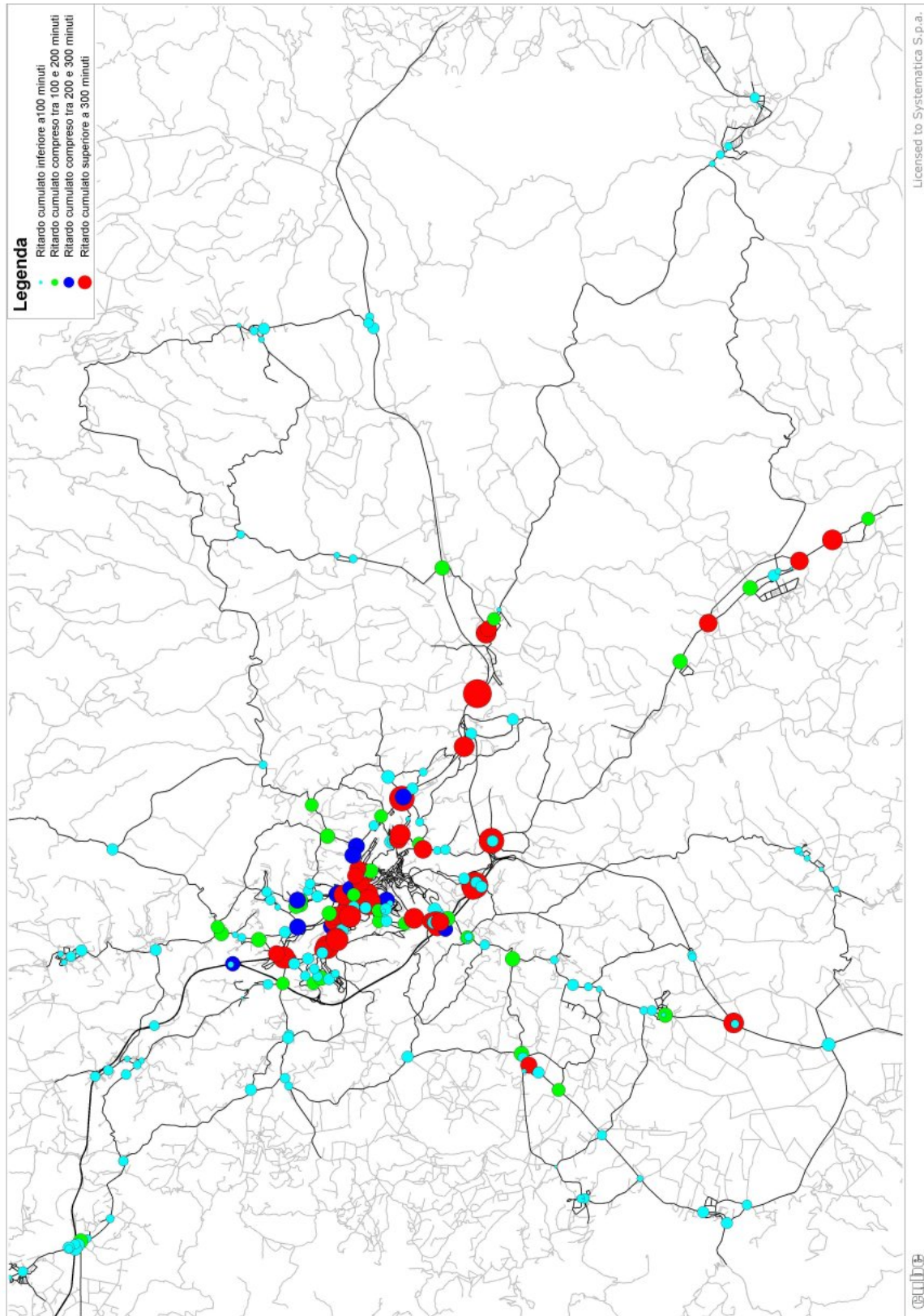


Figura 19 - Perditempo modellati per intersezione – Comune di Siena (minuti – ora di punta antimeridiana)

