

# **Analisi di una rete di traffico urbano mediante la simulazione**

Roberto Mosca  
DIPTTEM - Università di Genova  
Via All'Opera Pia 15/a  
16145 GENOVA GE

Matteo CASU  
CO.S.MO.S. s.r.l.  
Piazza Corvetto 2/1a 16122 GENOVA

## **Sommario**

La progettazione di piani di viabilità si appoggia sempre più spesso su modelli di simulazione al computer, che permettono l'esame di un numero elevato di alternative in tempi ragionevolmente brevi, consentendo soprattutto una valutazione a priori delle conseguenze delle decisioni prese.

I modelli di simulazione di traffico attualmente usati considerano i flussi veicolari in modo analogo a flussi idraulici, e studiano le reti di traffico sulla base di relazioni di bilancio fra le portate entranti e uscenti ai vari archi costituenti la rete. Il vantaggio di tale approccio è la semplicità della schematizzazione del modello, la sua maneggevolezza e capacità di produrre risultati in tempi ragionevolmente brevi anche su reti estese.

Al contrario il grado di dettaglio consentito da questi modelli è estremamente grossolano: il flusso veicolare è visto come un unicum, senza possibilità di esaminare le caratteristiche di ciascun veicolo, e le sue interazioni con l'ambiente circostante (altri veicoli, caratteristiche delle strade, perturbazioni e comportamenti analoghi).

Il presente documento si propone di illustrare le caratteristiche di un modello di microsimulazione di traffico urbano, un modello cioè in cui le capacità di modellizzazione siano molto dettagliate. Le caratteristiche del modello e i suoi possibili campi di applicazione verranno illustrati discutendo un caso reale.

## **Parole Chiave**

Simulazione object-oriented, microsimulazione, reti di traffico urbano

## 1. Introduzione

Un modello di microsimulazione di traffico consente l'analisi dell'influenza sul flusso veicolare urbano di fattori quali:

- fattori riguardanti la tipologia della rete:
  - ◆ numero di corsie per arco
  - ◆ tipologia di corsia (riservata bus, libera)
  - ◆ presenza di semafori
  - ◆ velocità di progetto
- fattori propri del singolo veicolo:
  - ◆ tipologia (auto, bus, camion)
  - ◆ equazioni del moto
  - ◆ comportamento del guidatore (lento, veloce)
  - ◆ percorso seguito

in modo da poter proporre soluzioni alternative nel caso di:

- progettazione di piani di viabilità
- definizione di cicli semaforici
- gestione situazioni anomale (es: riasfaltature, lavori in corso, etc.)
- pianificazione dei parcheggi
- limitazioni alla circolazione
- introduzione di corsie preferenziali.
- definizione dei percorsi e delle fermate dei mezzi pubblici

I parametri di controllo della bontà delle soluzioni proposte sono:

- velocità del flusso veicolare (valore medio e distribuzione intorno alla media)
- formazione di code (entità media e distribuzione intorno alla media)
- tempo di permanenza in coda (valore medio e distribuzione intorno alla media)
- saturazione della rete di traffico.

Il termine "*micro*" [1][2] nei modelli di simulazione di traffico significa che viene analizzato il comportamento di ogni singolo veicolo nelle sue equazioni di moto e nelle sue caratteristiche:

- tipologia
- percorso
- posizione
- velocità
- accelerazione
- svolte
- cambi di corsia
- sorpassi
- interazioni con altri veicoli
- comportamenti "anomali":
  - ◆ guasti
  - ◆ fermate / parcheggi
  - ◆ incidenti.

Da un modello di questo tipo è possibile ricavare, oltre che i dati "tipici" dei modelli classici di flusso anche l'influenza di fenomeni come:

- il comportamento seguito da ciascun veicolo
- la saturazione di una strada in relazione al saturarsi di un'altra a monte

- tipo di flusso (traffico commerciale, privato o pubblico)
- l'intersezione tra i flussi veicolari
- i dati di progetto:
  - ◆ semafori e loro cicli
  - ◆ sensi unici
  - ◆ numero di corsie
  - ◆ corsie riservate per bus
  - ◆ corsie riservate a parcheggio
- le ripercussioni che hanno sul traffico condizioni "anomale" quali la fermata o l'incidente di un veicolo
- la chiusura di una parte di una corsia (per es. per lavori in corso)

Oltre a ciò è possibile determinare con elevata precisione, in quanto costituisce un risultato immediatamente deducibile dai risultati della simulazione l'inquinamento dovuto alla congestione del traffico (microclima).

E' quindi evidente che il pregio di un modello di questo tipo è quello di avere un elevato grado di dettaglio.

Di contro vi sono dei difetti quali:

- notevole complessità del modello
- elevati tempi di esecuzione della simulazione dovuti al numero notevole di equazioni ed eventi da esaminare nell'unità di tempo simulato (equazioni di moto di ogni veicolo) e, quindi, impossibilità di analizzare reti di grandi dimensioni.

Nonostante questi inconvenienti un approccio di tipo micro analizza il problema del traffico alla radice ed è quindi una buona, se non l'unica, possibilità per stimare gli effetti di interventi correttivi su processi di traffico complessi. E' possibile infatti suddividere una rete complessa in sotto-modelli, ricavare il comportamento di ciascuno di essi ed estrapolare il comportamento "equivalente" su di un modello di macrosimulazione.

## 2. Descrizione del modello concettuale di microsimulazione

Il modello è stato sviluppato utilizzando MODSIM II® [3], un moderno linguaggio di simulazione sviluppato dalla CACI Products Co. (La Jolla, California U.S.A.).

### 2.1 Definizione della rete stradale

La rete stradale è stata schematizzata in maniera classica da nodi e archi. I **nodi** rappresentano gli incroci o qualunque altro punto significativo della rete. Gli **archi** rappresentano le strade, e collegano mono-direzionalmente, fra loro, due nodi. Il "comportamento" di un arco durante una simulazione è controllabile mediante:

- velocità media di percorrenza dell'arco
- veicoli mediamente usciti dall'arco ogni minuto
  - numero dei veicoli transitati sull'arco suddivisi in totale dei veicoli, veicoli privati e veicoli pubblici

Ogni arco ha associata una o più **corsie**. Queste sono caratterizzate da:

- svolte permesse:
- "tipo" (corsia libera, corsia con semaforo, corsia con stop)
- una coda che si può eventualmente formare in caso di traffico congestionato, o in caso di semaforo e stop.

Il "comportamento" della corsia è controllato da:

- numero di veicoli mediamente in coda
- tempo medio di permanenza in coda

- numero di veicoli mediamente sulla corsia.

In presenza di un semaforo, il comportamento dei veicoli presenti sulla corsia è influenzato da:

- tempo di ciclo
- tempo di verde.

## 2.2 Gestione della rete

Ogni elemento "fisico" della rete viene controllato da un "gestore".

Il **gestore dei nodi** è un elemento che deve:

- fungere da contenitore per tutti i nodi della rete in modo da poter rintracciare il nodo richiesto quando ne sia richiesto qualche dato
  - "amministrare" il passaggio del veicolo da un arco al successivo, scegliendo la corsia che il veicolo andrà ad occupare, e controllando che esistano le condizioni necessarie affinché tale passaggio si verifichi
- risvegliare i veicoli, che si trovano su archi entranti un nodo, in attesa di un segnale (es: veicoli in attesa dello "spazio fisico" per poter entrare nell' arco successivo, veicolo in attesa del verde di un semaforo).

Il **gestore degli archi** deve:

- fungere da contenitore per gli archi costituenti la rete
- permettere di rintracciare l'arco desiderato sia in base al suo nodo origine e nodo destinazione, sia in base al suo identificativo, in modo da poter definire la successione di archi di percorrenza di un veicolo all' interno della rete.

Il **gestore delle corsie** deve:

- fungere da contenitore per le corsie appartenenti ad un arco
- permettere di rintracciare la corsia desiderata in base al suo identificativo.

## 2.3 Caratteristiche dei veicoli

L'unità di traffico del modello è costituita dal singolo **veicolo** inteso come "*somma*" delle caratteristiche del veicolo propriamente detto e del suo guidatore.

Esso è caratterizzato da:

- tipologia (auto, camion, bus)
- lunghezza
- posizione corrente
- velocità corrente
- accelerazione corrente
- velocità massima
- accelerazione massima
- velocità iniziale
- identificativo (numero intero progressivo)
- corsia corrente
- arco corrente
- cammino da percorrere
- tempo di ingresso sulla rete.

## 2.4 Gestione dei veicoli all'interno della rete

Quando il veicolo sta percorrendo un arco generico della rete stradale valuta nell'ordine:

- la posizione, la velocità e l'accelerazione del veicolo che lo precede

- le svolte consentite dalla corsia su cui si trova
  - la svolta che eseguirà cambiando arco
- In base alle informazioni raccolte il veicolo può:

- rimanere sulla stessa corsia
- cambiare corsia a sinistra
- cambiare corsia a destra.

Viene anche contemplata la possibilità che un veicolo possa invadere la corsia riservata ai bus.

Una volta generato, il veicolo viene immesso su una corsia del primo arco che deve percorrere. Tale corsia viene assegnata al veicolo in maniera casuale.

Successivamente il veicolo confronta, ad ogni step di tempo, l'indice della corsia su cui si trova con la direzione che dovrà intraprendere alla fine dell'arco in questione (destra, sinistra, diritto). Se tale corsia non consentisse la svolta che il veicolo dovrà effettuare, esso provvederà a spostarsi su quella giusta appena le condizioni del traffico consentiranno la manovra.

Il veicolo controlla se sulla corsia futura esiste la "finestra" necessaria per potersi inserire e, quindi, si sposta istantaneamente mantenendo la stessa posizione ed adeguando velocità ed accelerazione alle nuove condizioni di traffico.

Nel caso in cui non fossero soddisfatte le condizioni di cambio corsia, il veicolo rimanda il tentativo di effettuare la manovra al successivo step di tempo in cui verrà effettuata la scansione della rete.

Il principio che è stato adottato per la gestione del veicolo è quello di fargli raggiungere la fine di ciascun arco del suo itinerario nel tempo più basso possibile, compatibilmente con i limiti di velocità di progetto dell'arco stesso. In conseguenza di tale principio, esso cambierà corsia ogniqualvolta si trova davanti un veicolo che procede più lentamente, fermo restando il controllo della direzione che esso dovrà intraprendere alla fine dell'arco. Nel caso in cui, alla fine di questo, il veicolo si trovasse su una corsia sbagliata cambierà in ogni caso arco.

In ogni intervallo di tempo il veicolo ricalcola le sue equazioni di moto. In funzione di posizione, velocità e accelerazione al tempo  $t-dt$ , ed alle condizioni al contorno (situazione corsia, percorso del veicolo e suoi dati caratteristici) si calcola innanzitutto il nuovo valore di accelerazione al tempo  $t$ . In base a questa accelerazione e allo step di tempo stabilito si calcolano i nuovi valori di posizione e velocità.

Un veicolo accelera se:

- la sua velocità corrente è minore della velocità massima desiderata e:
  - ◆ non vi è alcun veicolo davanti
  - ◆ il veicolo davanti è a distanza superiore ad un certo valore
  - ◆ tale distanza è inferiore ma il veicolo che precede è più veloce
- deve ripartire dopo essersi fermato a causa di un semaforo, di una coda o di un ostacolo di altro genere.

Il veicolo decelera se:

- Il veicolo che lo precede si trova a distanza minore di quella di sicurezza ed ha velocità inferiore
- Il veicolo che lo precede è fermo
- si trova in prossimità di uno stop o di un semaforo rosso
- l'arco successivo è saturo.

Il valore della decelerazione viene calcolato in funzione della propria velocità, della velocità di chi si ha davanti e dello spazio tra due veicoli decurtato di un opportuno valore al fine di mantenere comunque una distanza di sicurezza dal veicolo che si ha davanti.

## 2.5 Generazione dei flussi di traffico

I flussi di traffico che percorrono la rete urbana vengono gestiti da **generatori di traffico** che provvedono:

- a determinare in modo casuale il tempo intercorrente tra la generazione di un veicolo ed il successivo (portata di traffico), sulla base delle distribuzioni dei flussi in ingresso
  - a generare il veicolo
    - fissare, mediante estrazioni casuali la velocità massima desiderata del veicolo e la sua velocità iniziale
  - a "comunicare" al veicolo generato i parametri caratteristici e il percorso da seguire.
- I generatori di traffico sono precisabili per categoria di veicoli, e per coppia origine-destinazione.

## **2.6 Determinazione del percorso da seguire**

A ogni coppia O/D, e quindi a ogni veicolo generato per tale coppia, viene associato un percorso da seguire che è caratterizzato da:

- origine
- destinazione
- successione di archi da percorrere.

Il percorso da seguire viene determinato univocamente prima che la simulazione abbia inizio. Ogni veicolo generato ha così un riferimento fisso alla successione di archi da percorrere; non è perciò possibile riassegnare il percorso a un veicolo una volta che esso abbia intrapreso il suo cammino all'interno della rete.

La decisione che ha portato a questa soluzione non è dipesa dalle difficoltà di modellizzazione di questo approccio, peraltro facilmente inseribile in versioni o personalizzazioni successive, quanto dalla considerazione che la determinazione dei percorsi ottimali, e delle relative percentuali di veicoli che li seguono, è già stabilita da modelli di macrosimulazione, di cui il presente modello costituisce il naturale complemento.

## **2.7 Dati di configurazione del modello**

Per migliorare la flessibilità del modello e la sua adattabilità alle diverse situazioni, la maggior parte dei dati caratteristici di un modello è parametrizzabile, e caricabile e memorizzabile su file.

La gestione di questi file, e delle operazioni di lettura e scrittura è gestita da oggetti manager.

## **2.8 Animazione**

Il programma consente un'animazione dettagliata di ciascuna simulazione. E' possibile controllare l'evoluzione del flusso nella rete considerata a livello di:

- singolo veicolo
- singolo arco
- singola corsia

effettuare operazioni di zoom, interrompere e riprendere la simulazione, per controllare i parametri di interesse relativi a ciascun elemento del sistema.

## **3. Un caso reale**

Il presente paragrafo illustra l'utilizzo del modello di microsimulazione a un caso reale, e, precisamente, alla zona circostante l'Ospedale di San Martino a Genova. [4]

Questa zona della circoscrizione di S. Martino risulta piuttosto congestionata a causa del collo di bottiglia del sistema viario creato dalla svolta a sinistra in Via Pastore dei

veicoli diretti all'Ospedale S.Martino e agli edifici universitari limitrofi. L'attuale configurazione crea, infatti, la formazione di code consistenti nella corsia dedicata alla svolta che si ripercuotono negativamente sull'incrocio con Viale Benedetto XV con conseguenze negative su tutta la circolazione veicolare.

Nella tabella successiva vengono riportate tutte le caratteristiche delle strade sopra elencate e l'identificativo numerico progressivo che permetterà una più agevole individuazione delle strade stesse; si ricorda che i nodi rappresentano gli incroci. Uno schema della rete nella configurazione attuale è riportato in Figura 1.

Arco	Descrizione	Corsie
1	Corso Europa - dir. levante fino a incrocio con Viale Benedetto XV	3
2	Corso Europa - dir. ponente fino a incrocio con Via Mosso	3
3	Via Mosso	1
4	Viale Benedetto XV	2
5	Corso Europa - dir. levante - da incrocio con Viale Benedetto XV a incrocio con Via Pastore	3
6	Corso Europa - dir. levante da incrocio con Via Pastore a incrocio con Via Mosso	2
7	Corso Europa - dir. ponente da incrocio con Via Mosso a incrocio con Via Pastore	2 + 1 bus
8	Corso Europa - dir. ponente - da incrocio con Via Pastore a incrocio con Viale Benedetto XV	2 + 1 bus
9	Via Pastore	1
10	Via San Martino	1 + 1 bus

Al fine di migliorare la situazione delle condizioni attuali del traffico nella zona nei pressi dell'Ospedale S. Martino, sono state studiate due possibili alternative; entrambe prevedono la costruzione di un sottopasso fra i nodi 1 e 6.

Nella prima viene ipotizzata la costruzione di un sottopasso ad una sola corsia e quindi percorribile in una sola direzione che è quella che va verso l'Ospedale (Figura 2).

Nell'altra configurazione è prevista la creazione di un sottopasso a doppio senso di circolazione secondo cui è possibile anche muoversi dall'Ospedale verso il centro città (Figura 2).

Entrambe le alternative permettono, comunque, di dirottare la percentuale (piuttosto consistente) del flusso totale proveniente dal centro e diretta verso l'Ospedale e l'Università nel sottopasso, alleggerendo il traffico in Corso Europa e permettendo l'eliminazione della corsia di svolta in Via Pastore, causa del rallentamento del flusso provocato dalla formazione di lunghe e frequenti code.

La sperimentazione sul nodo di traffico illustrato ha quindi messo a confronto l'introduzione di un sottopasso mono-direzionale (SP1), o bi-direzionale (SP2), fra l'arco 1 e l'arco 6, in modo da separare i flussi diretti verso l'ospedale da quelli insistenti nelle direttrici principali (levante-ponente e viceversa), con la situazione attuale. In entrambi i casi l'arco 9 è stato reso bi-direzionale, per consentire ai veicoli uscenti dall'ospedale e diretti a levante di evitare il tragitto lungo gli archi 4 e 5. Nel caso di sottopasso bi-direzionale i veicoli uscenti dall'ospedale raggiungono direttamente il nodo 1, rendendo completamente inutile il semaforo presente attualmente in prossimità del nodo 2.

Esempi dei risultati ottenuti dalla sperimentazione sono riportati di seguito. I confronti sono stati fatti con la situazione attuale (ATT).

La Figura 3 riporta gli andamenti delle velocità (valori medi e dispersione intorno alla media) per il totale dei veicoli, e separatamente per le autovetture e gli autobus, relativamente all'itinerario 1-6.

Si nota come la velocità delle autovetture risulta praticamente raddoppiata nel caso di introduzione dei sotto-passi, mentre per i mezzi pubblici l'incremento è più modesto. Tale itinerario è infatti quello interessato all'inserimento del sotto-passo, che deve proprio evitare ai veicoli diretti all'ospedale di percorrere il tragitto composto dagli archi 1, 5 e 9, con i relativi rallentamenti dovuti ai semafori esistenti.

La Figura 4 si riferisce all'itinerario 5-2 (direttrice di Corso Europa verso il centro). Specie nel caso di configurazione con sotto-passo bidirezionale, si ottengono notevoli incrementi di velocità media (circa il 25%) per le autovetture, mentre per gli autobus tale incremento è meno significativo. Ciò è spiegato dal fatto che gli autobus godono già nella situazione attuale dei benefici indotti dalla corsia riservata (con cordolo); tali benefici sono evidenziati dal fatto che le velocità commerciali degli autobus per questo itinerario sono superiori a quelle delle autovetture in tutte le configurazioni.

I benefici globali sono indotti principalmente dalle variazioni dei cicli semaforici sui nodi 2 e 3, non essendovi più i flussi incrocianti degli archi 4 e 5 (Viale Benedetto XV e Corso Europa con svolta in Via Pastore).

L'unico itinerario che viene penalizzato è il 6-4, che, pur risultando più breve, è svantaggiato dal passaggio in Via Pastore, con tempo di verde molto breve per non intralciare il flusso in Corso Europa.

La Figura 5 riporta invece, per l'arco 1 dove tale fenomeno è risultato più evidente, l'andamento del numero di veicoli in coda, e del relativo tempo in coda, nelle diverse configurazioni.

I benefici delle nuove configurazioni, specie nel caso di sotto-passo bi-direzionale, sono evidenti, e ciò è particolarmente importante perché ogni congestione in prossimità del nodo 2 viene risentita immediatamente dal nodo 1, nevralgico anche per altre zone del centro città. Diminuire la congestione al nodo 2 significa ridurre le probabilità di un blocco di intere zone cittadine.

## 4. Prospettive

Il modello attuale è stato strutturato in modo da rendere agevole l'introduzione di ulteriori funzionalità, quali:

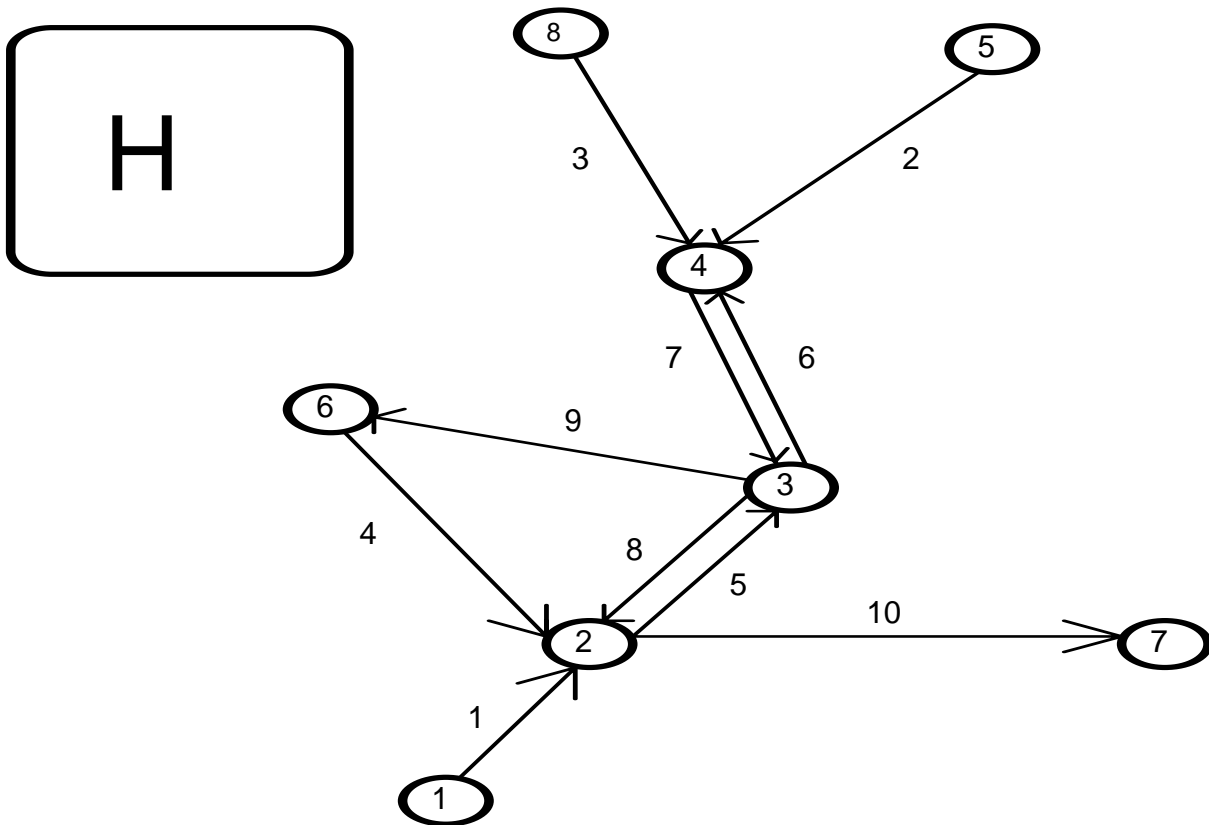
- interfaccia con i macrosimulatore
- introduzione di parametri di inquinamento
- analisi di reti estese
- acquisizione "automatica" dei dati di traffico

L'uso del modello potrà essere esteso dalla fase di **progettazione** di piani di viabilità (definizione degli itinerari, dei sensi unici, introduzione di corsie preferenziali o protette, progettazione dei cicli semaforici), alla fase di **gestione operativa** e **previsione** dei flussi veicolari (gestione eventi anomali, determinazione dei percorsi alternativi in "tempo reale").

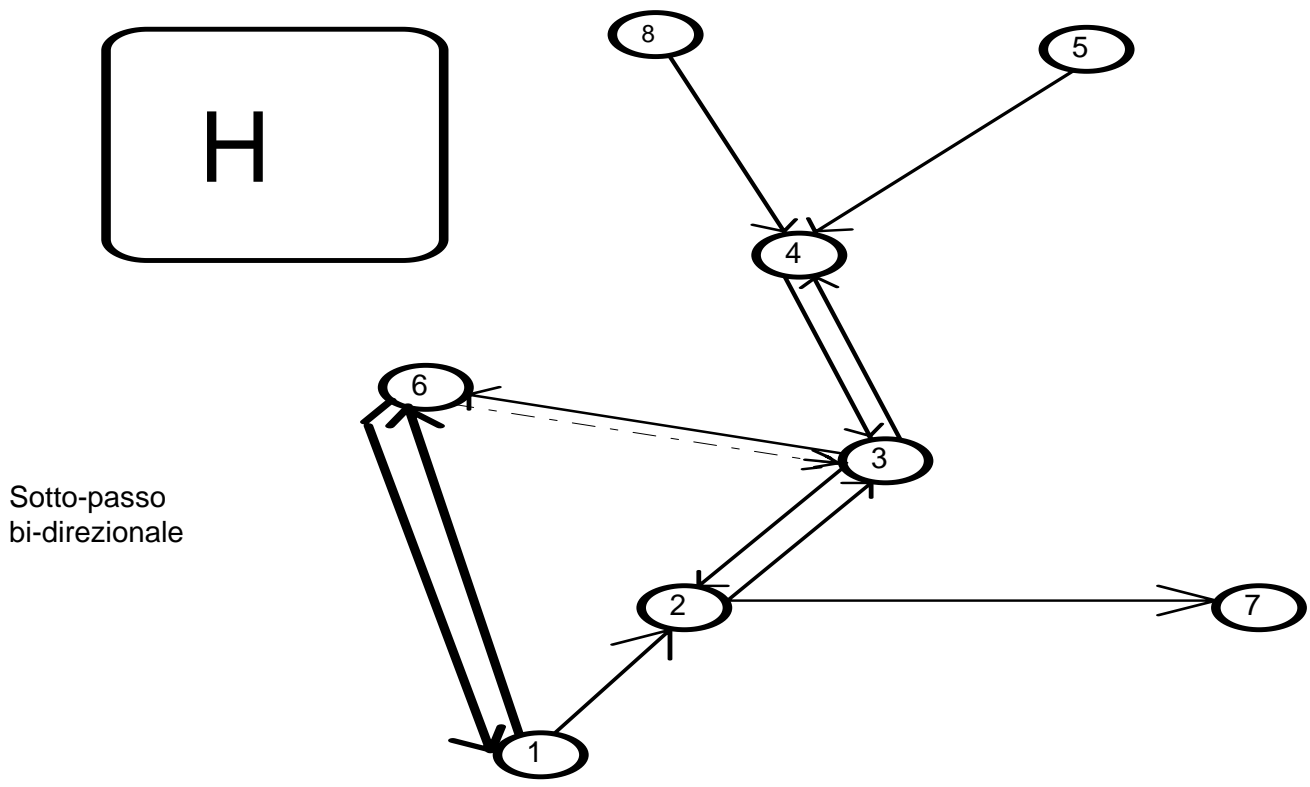
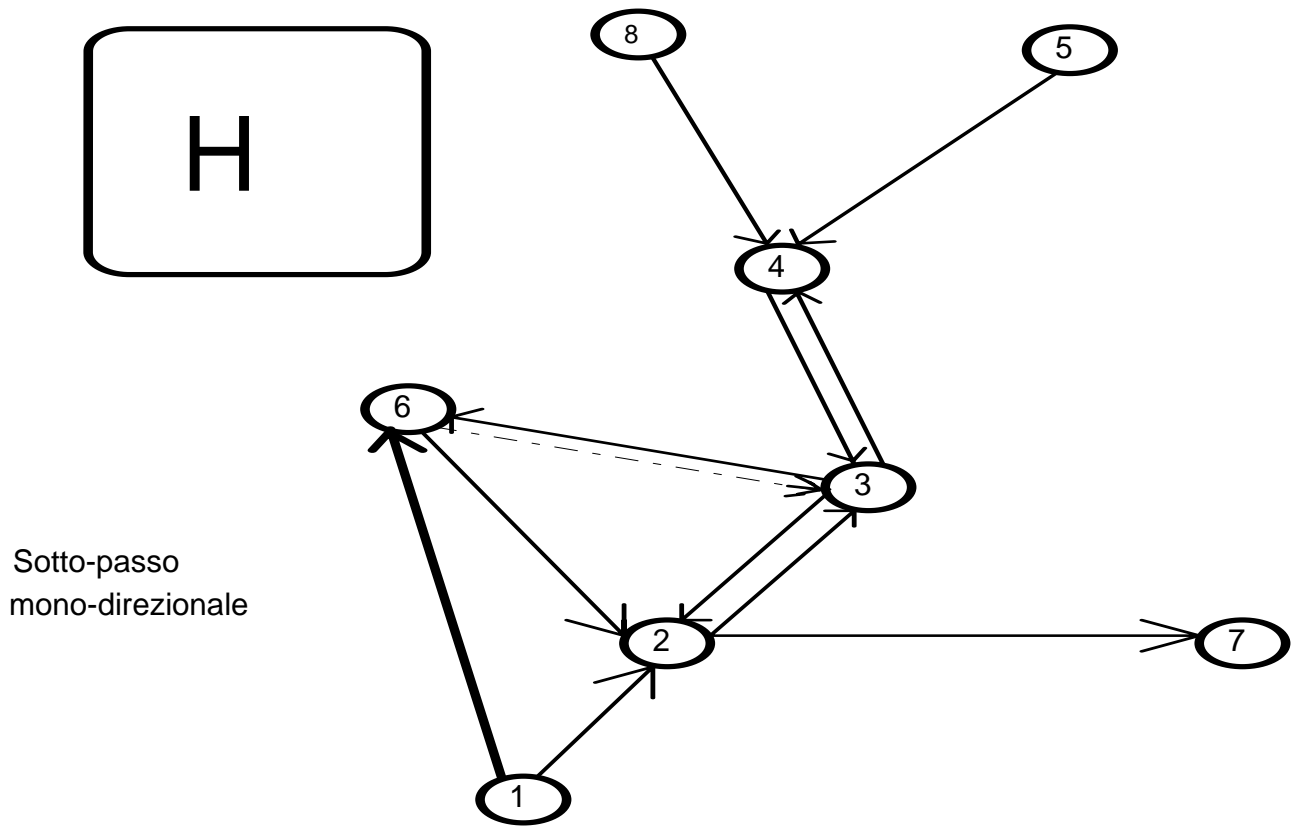
## BIBLIOGRAFIA



- [1] T. Benz: 'The Microscopic Traffic Simulator AS (Autobahn Simulator)',proc. Modelling And Simulation ESM'93, Lyon (F) June 1993
- [2] G.F. Gynnerstedt: 'Two-way highway Traffic Simulation Model System', proc. Modelling And Simulation ESM'93, Lyon (F) June 1993
- [3] MODSIM II Reference Manual. CACI Products Co. 1993  
MODSIM II è marchio registrato della CACI Products Co.
- [4] R. Mosca, P. Giribone, M. Schenone, M. Casu: 'Modelli di Microsimulazione per reti di traffico veicolare', AILog-AIRO '94, Savona, settembre 1994



**Figura 1. Situazione attuale**



**Figura 2: Ipotesi di sotto-passo nelle due configurazioni**

## Velocità media - OD1-6

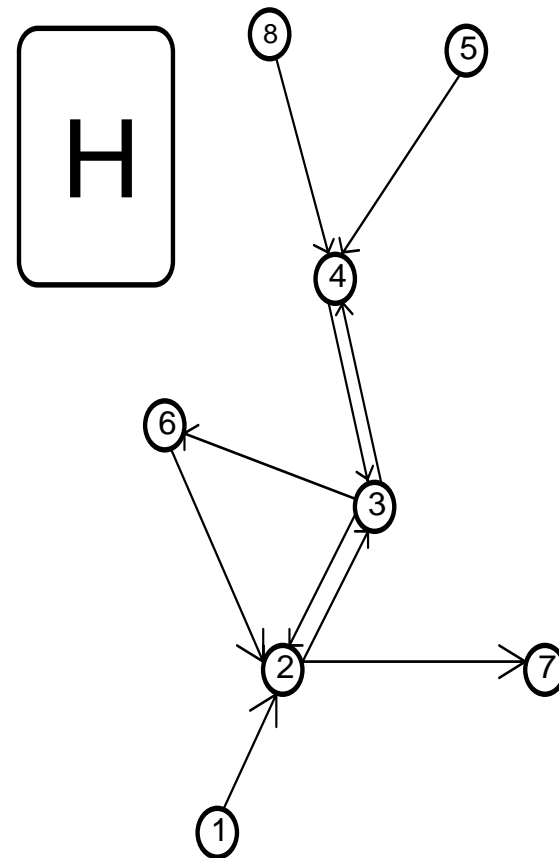
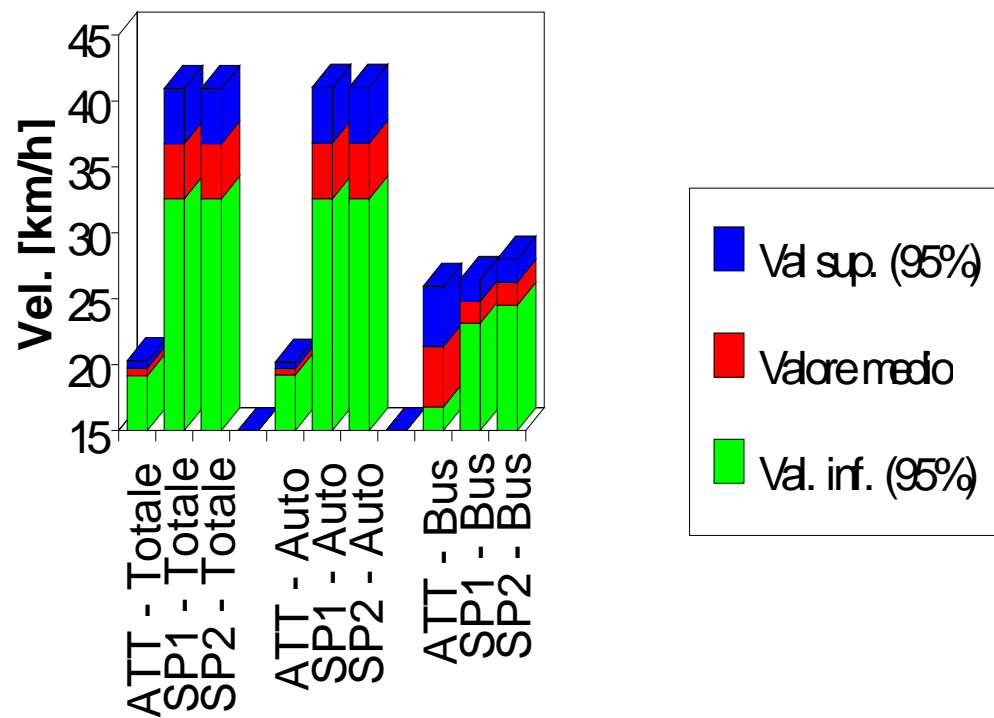
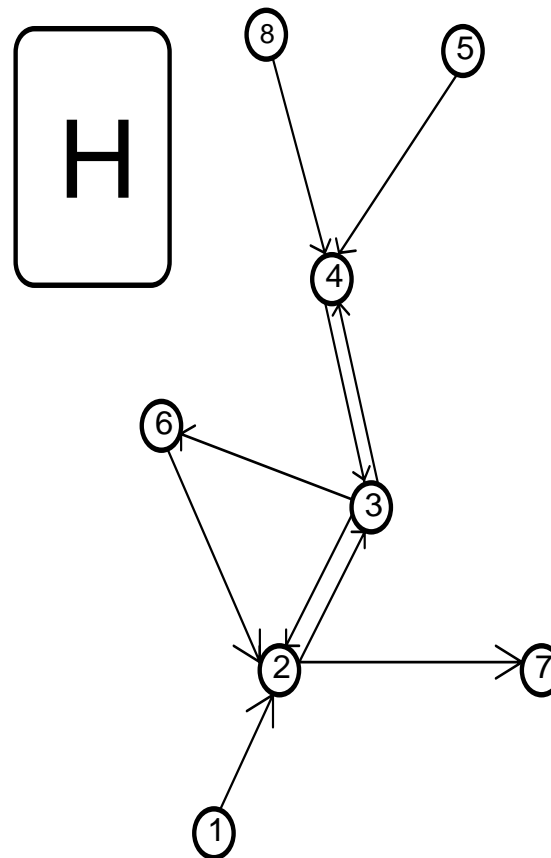
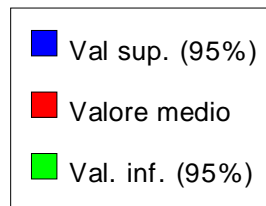
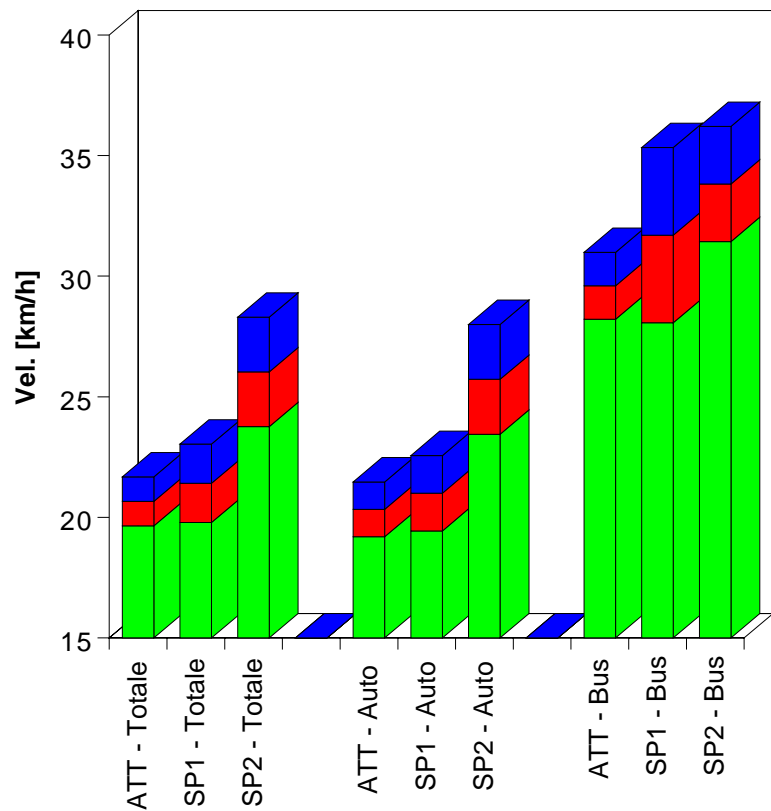


Figura 3: Velocità media flusso OD 1-6

**Velocità media - OD 5-2**



**Figura 4: Velocità media flusso OD 1-6**

### Arco 1 - Parametri delle code

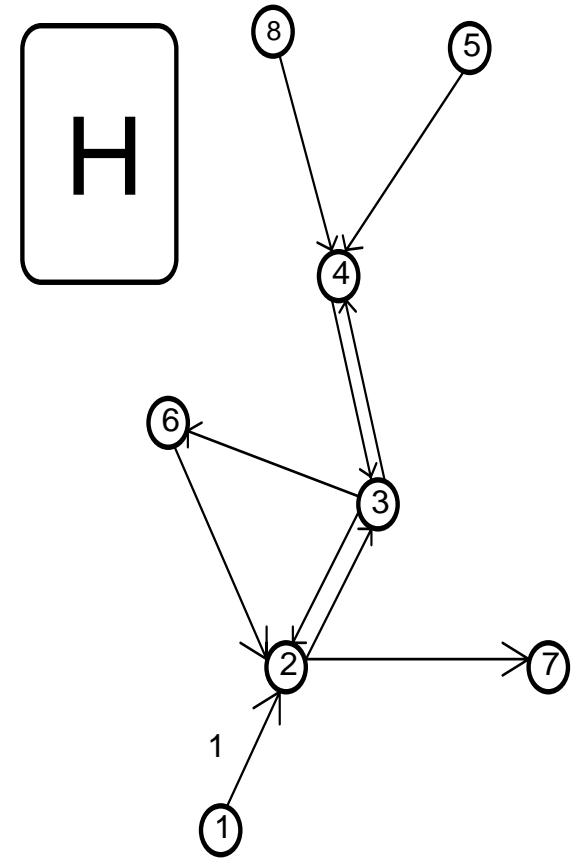
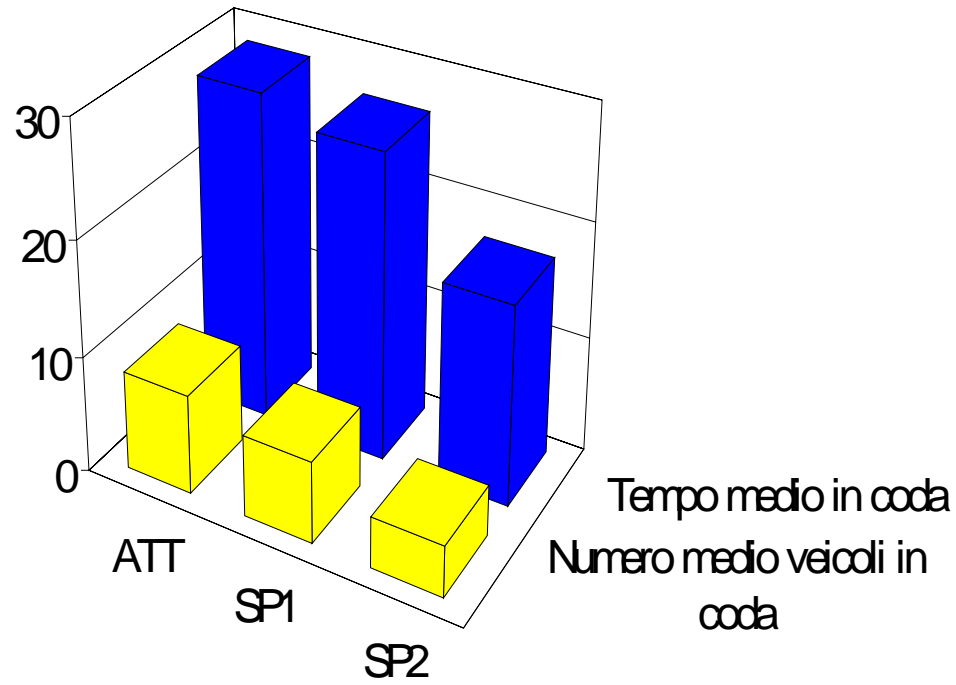


Figura 5 Parametri delle code per arco 1