

Geomatica e Microsimulazione. Una metodologia integrata per l'analisi di un'intersezione stradale urbana

Prof. Giuseppe Salvo (*), Ing. Luigi Caruso (**), Ing. Roberto Marino (***)

(*) Università di Palermo – Viale delle Scienze – Tel 091 23842415 Fax 091 423105 e-mail salvo@ditra.unipa.it

(**) Università di Palermo – Viale delle Scienze – Tel 091 23842411 Fax 091 423105 e-mail caruso@ditra.unipa.it

(***) Università di Palermo – Viale delle Scienze – Tel 091 23842412 Fax 091 423105 e-mail maro@ditra.unipa.it

Abstract

La costante crescita del numero di vetture che giornalmente circolano lungo la rete stradale urbana esercita una pressione sempre più forte sull'ambiente, non solo dovuta al trend crescente di emissioni di gas nocivi che vengono immesse in atmosfera, ma anche a causa di altri effetti quali l'inquinamento acustico, le vibrazioni e il numero di incidenti, generalizzate come "esternalità" dai trasporti. Per verificare se le misure intraprese sono in grado di ridurre la congestione stradale, è possibile utilizzare dei modelli di microsimulazione, che consentono analisi di dettaglio a livello locale delle scelte progettuali e delle soluzioni pianificate. Grazie a tali strumenti è possibile valutare le variazioni dei tempi di percorrenza, la durata e lunghezza delle code, i consumi di carburante, le emissioni di inquinanti, visualizzando l'evoluzione del traffico della rete stradale attraverso il movimento dei singoli veicoli (moto, auto, furgoni e mezzi pubblici). Tali modelli cercano di riprodurre comportamenti aggregati descrivendo le dinamiche dei singoli veicoli, sulla base di algoritmi decisionali di tipo comportamentale che stabiliscono di volta in volta il cambio di corsia, regolano la distanza dal veicolo che precede, l'immissione nelle corsie di accelerazione e decelerazione, i sorpassi, ecc.. Lo scopo di questo paper è quello di indagare la circolazione stradale ed i relativi flussi di traffico in uno dei nodi più importanti della rete stradale urbana della città di Palermo, attraverso due differenti strumenti di analisi. Dapprima si è utilizzato il modello di microsimulazione e poi tramite la geomatica si sono confrontate, scelte in maniera stocastica, le performance di alcuni veicoli, ottenute dal modello, in modo da validarne il modello ed evidenziare le criticità presenti nell'arco del nodo analizzato.

The micro-simulation model allows detailed analysis at local level for design choices and solution planning. Through these tools it is possible to evaluate variations in travel time, queues duration and length, fuel consumption, emissions of pollutants, while displaying the evolution of traffic on the road network, by tracking the movement of single vehicles (motorcycles, cars, vans and public transport). The purpose of this paper is to investigate road traffic and the traffic flows in one of the most important nodes of urban road network of the city of Palermo, through two different analytical tools. First a micro-simulation model is used to simulated traffic flows then through Geomatics, the performances of stochastically selected vehicles are evaluated to highlight critical spots on the studied arc.

Introduzione

Le intersezioni stradali, qualunque sia la soluzione geometrico-funzionale adottata (rotatoria, semaforizzata, etc.), possono essere analizzate attraverso i tradizionali metodi statistici e semi-probabilistici, ma anche utilizzando i modelli analitici di microsimulazione del traffico.

Tali strumenti, tramite un'interfaccia grafica di facile interpretazione, forniscono ai tecnici ed ai decisori politici, diversi scenari di congestione stradale gravanti nell'area analizzata, evidenziandone le esternalità sia in termini di inquinanti immessi in atmosfera ma anche per quanto riguarda i consumi energetici.

In maniera realistica riproducono il movimento dei singoli veicoli e l'evoluzione del traffico, al fine di valutarne gli effetti indotti, a scala locale, da differenti scelte progettuali e di regolazione della rete di trasporto stradale.

Gli algoritmi decisionali simulano le scelte comportamentali di ogni singolo veicolo stabilendo di volta in volta, in base ad alcune assunzioni richieste in fase di calibrazione del modello, il cambio di corsia, regolano la distanza dal veicolo che precede, l'immissione nelle corsie di accelerazione e decelerazione, i sorpassi, ecc.; effettuando la scelta del percorso di minimo costo in funzione delle mutate condizioni della rete (presenza di congestione e/o di un eventuale impedimento al deflusso veicolare). In output forniscono tutti quegli elementi utili per effettuare una analisi delle caratteristiche della circolazione stradale (variazioni dei tempi di percorrenza, della durata e lunghezza delle code, dei consumi di carburante, delle emissioni di inquinanti, ecc.). I modelli di assegnazione, presenti in letteratura, sono basati sull'analogia che considera il traffico automobilistico come un fluido che si incanala nei possibili percorsi, ipotizzando delle formulazioni matematiche per descrivere tale fenomeno, mentre i modelli di microsimulazione del traffico simulano il comportamento di ogni veicolo con le sue specifiche caratteristiche di guida, con indubbi vantaggi per quanto riguarda la rispondenza dei risultati con la realtà. Inoltre utilizzano logiche di car-following e di lane-changing, quale ad esempio il modello di Wiedemann, per ottenere un approccio psico-fisiologico, basato sullo studio dei fattori del comportamento umano, contrariamente ai modelli di tipo semi-probabilistici più semplici che ipotizzano velocità più o meno costanti e processi di successione dei veicoli deterministici. La velocità di un veicolo dipende dalla soglia individuale di percezione di ogni singolo conducente, che comincia a frenare quando nel suo cono visivo appare un altro mezzo di trasporto che procede ad una velocità differente dalla sua. Dal momento che non sa stimare in maniera esatta la velocità del veicolo che lo precede, la velocità del suo veicolo diminuisce al di sotto di questa, e ciò ha per conseguenza un'accelerazione dopo il superamento della sua soglia di percezione, con il risultato di una successione di azioni di decelerazione e accelerazione, caratteristiche dei fenomeni di instabilità del deflusso veicolare. L'utilizzo di queste funzioni di distribuzione stocastica della velocità e del distanziamento tra i veicoli, permette dunque di tener conto del comportamento distinto di differenti conducenti, perché la simulazione dei flussi di traffico attraverso la rete avviene tenendo conto del movimento delle singole unità conducente-veicolo. Le fasi di calibrazione e validazione sono due processi necessari per la verifica dell'efficacia e dell'affidabilità dei modelli di microsimulazione. Calibrare un modello vuol dire far variare alcuni parametri rappresentativi del fenomeno al fine di riprodurre al meglio la situazione reale, minimizzando la differenza tra i valori misurati e quelli simulati. La fase di validazione consiste invece nel verificare se il modello è in grado di riprodurre in generale qualunque traiettoria reale e le condizioni reali di traffico utilizzando i parametri calibrati, verificando l'errore che si commette dal confronto dei dati di output ottenuti dal modello con i dati reali rilevati. Tuttavia all'enorme diffusione sul mercato di strumenti di simulazione, non si è registrata una diffusione di metodiche di calibrazione e validazione di tali modelli, in quanto necessitano di una mole di informazioni non indifferente e a volte non facilmente ottenibili. Per superare questo inconveniente è da supporto la tecnologia offerta dai Sistemi Informativi Territoriali. In particolare si è sviluppata una metodologia che è stata testata per uno dei nodi nevralgici della viabilità urbana della città di Palermo. Dapprima è stata fatta una descrizione dell'area di studio, mettendo in evidenza alcuni itinerari significativi all'interno del nodo stesso, per i quali si è effettuata una microsimulazione delle condizioni di traffico per differenti orari critici. Infine utilizzando i dati ottenuti dal microsimulatore si è applicata la metodologia sviluppata, volta ad indagare le condizioni di deflusso dei singoli veicoli, che percorrono uno stesso itinerario, al fine di confrontarne le caratteristiche cinematiche evidenziando le criticità esistenti nell'arco del nodo esaminato.

Area di studio

L'area oggetto di studio è situata nel territorio urbano del comune della città di Palermo. Piazza Einstein rappresenta il punto d'incrocio tra l'asse viario di via Leonardo da Vinci e viale della Regione Siciliana. Il nodo è strutturato in modo da realizzare una semi rotatoria di forma ellittica

(parte dell'intera rotatoria dell'area) in cui il punto più significativo è costituito dall'intersezione di due consistenti flussi quali la direzione est-ovest e viceversa di via Leonardo da Vinci e la direzione sud-nord e viceversa delle carreggiate laterali di viale Regione Siciliana.

La via Leonardo da Vinci può essere classificata come una strada interquartiere di grande rilevanza, in considerazione del lungo sviluppo territoriale e del consistente carico di traffico proveniente oltre che dal proprio quartiere, anche, da est, dalla via Notarbartolo, e da ovest, fin dall'estrema periferia urbana. Il viale della Regione siciliana, strada classificata di scorrimento in base al D.Lgs. 285/92 NCDS, rappresenta l'arteria periferica più importante del capoluogo siciliano, al tempo stesso di attraversamento della città ed al servizio della mobilità intrazonale (principalmente per le car-reggiate di servizio). Piazza Einstein rappresenta, ad ogni modo, una zona d'influenza per tutte le strade secondarie dove si va a distribuire il traffico che viene smistato dal nodo, utilizzate per lo più dall'utenza per raggiungere le proprie abitazioni o per andare nei vari uffici o edifici pubblici.

In figura 1 sono riportati i percorsi analizzati ed i flussi di traffico che interessano l'area in esame nella fascia oraria che va dalle 7.30 alle 8.30.



Figura 1 – Percorsi analizzati e diagramma di flusso de i vari itinerari (7.30-8.30)

Microsimulazione delle condizioni di traffico di un'intersezione stradale urbana

Per creare il modello di simulazione ed effettuare la calibrazione del modello sono necessari alcuni parametri e dati relativi al traffico dei veicoli che attraversano l'area di studio. Per ottenere tali dati sono stati fatti diversi rilevamenti in zona, in punti diversi e in fasce orarie diverse, per rilevare le correnti di traffico, le velocità, il tempo di attraversamento del nodo e tutti quei parametri che influenzano e condizionano la circolazione come i sensi di marcia, la sosta, la presenza di regole di precedenza e stop, i vari itinerari scelti dai conducenti dei vicoli, la segnaletica orizzontale e verticale, i marciapiedi, la segnaletica luminosa ecc. Oggetto di studio è l'analisi dell'organizzazione della circolazione stradale e dei relativi flussi di traffico del nodo di Piazza Einstein che abbiamo rilevato. L'obiettivo proposto, infatti, consiste nella verifica dell'andamento del traffico delle principali categorie di veicoli circolanti in quattro fasce orarie significative, di punta e di morbida, ai fini del rilevamento di eventuali punti critici di congestione e della proposizione di conseguenti soluzioni per una migliore regolazione della circolazione stradale.

Per far ciò si è utilizzato uno strumento di micro simulazione per simulare e riprodurre le condizioni di traffico rilevate nella zona presa in considerazione. Dal confronto fra i vari scenari simulati, reali e ipotizzati, e attraverso gli output forniti dal software di simulazione, abbiamo ottenuto tutti quei dati utili per migliorare il sistema di circolazione e per aumentare la sicurezza degli utenti a bordo dei veicoli (riduzioni di manovre illegali, minore tempo di attraversamento, minore ritardi, ri-

duzione di punti conflitto, maggiore capacità di smaltimento del nodo, minore lunghezza delle code, riduzione dell'incidentalità, ecc.).

Per quanto riguarda il procedimento per ottenere una simulazione, il primo passo è la realizzazione del modello che comprende la rete stradale e tutti i suoi elementi come i semafori, stop, precedenza, corsie riservate, sensi unici, limitazione d'accesso per alcuni veicoli ecc.

Per la realizzazione del modello il software necessita di alcuni input da inserire come le caratteristiche fisiche e geometriche della rete stradale che fa parte dell'area di studio, numero e larghezza delle corsie, lunghezza delle strade, pendenza e quota della carreggiata, connessioni e raccordi tra le varie strade, parcheggi a bordo strada e aree destinate alla sosta e la presenza di entrate ed uscita dalla strada di abitazioni civili e di uffici pubblici. Per raccogliere tutti questi dati abbiamo fatto un'indagine in zona e con l'ausilio di una fotocamera digitale abbiamo ripreso tutte le caratteristiche significative su strada che interessano e che influiscono l'intensità di traffico come le posizioni della fermata dei bus, le posizioni degli attraversamenti pedonali, gli incroci regolati da stop, le precedenza, le lanterne semaforiche, la frequenza e durata della sosta sia a bordo strada sia nelle aree riservate, i divieti d'accesso, i sensi unici, i sensi di marcia, i limiti di velocità, le limitazioni ai tipi di veicoli (linee di autobus, limiti di peso massimo, altezza massima del veicolo ecc.) e le corsie riservate. Per la rappresentazione fisica dell'area di studio siamo ricorsi a dei programmi di disegno come autocad appoggiandoci alla cartografia o al piano regolatore della zona.

Realizzato il modello, per avviare una simulazione è necessario disporre delle matrici O/D in cui vengono riportati i valori in ingresso e in uscita al nodo.

Il rilievo dei flussi di traffico è stato eseguito attraverso dei conteggi manuali e con l'ausilio di due telecamere digitali ad alta risoluzione con riprese sincronizzate. Dall'analisi delle riprese effettuate è stato fatto il conteggio dei veicoli con il quale sono state costruite le matrici O/D.

I dati delle matrici O/D sono stati poi inseriti all'interno del modello. Avviate le simulazioni, siamo passati alla calibrazione e validazione dei parametri del modello in modo da riprodurre in primo luogo in modo sufficientemente realistico il traffico che abbiamo rilevato in zona (fig. 2).



Figura 2 – Output grafico dell'area analizzata

Questa fase risulta fondamentale perchè se non si riesce a riprodurre il moto reale dei veicoli e le condizioni di traffico rilevate, i risultati forniti dal modello non rispecchiano la realtà e quindi non possiamo andare a valutare gli effetti che potrebbe avere un particolare tipo regolazione della circolazione stradale. Di conseguenza non possiamo capire qual è il tipo di sistemazione più efficace da andare a inserire.

La metodologia integrata per analizzare le performance di deflusso dei singoli veicoli

Per riprodurre il moto reale dei veicoli e le relative condizioni di deflusso è importante, come sopra detto, oltre una buona calibrazione del modello, anche un'accurata fase di validazione. Per far ciò, sulla base del loro comune riferimento geografico, si sono utilizzati i files ottenuti dalla simulazio-

ne, relativi ai veicoli che hanno percorso gli itinerari analizzati del nodo di Piazza Einstein. In questa memoria si sono utilizzati esclusivamente i dati di output contenenti le caratteristiche cinematiche delle autovetture, ma è possibile analizzare anche i valori di velocità ed accelerazione di altre componenti di traffico quali ad esempio autobus urbani, motociclette e veicoli commerciali, che sono presenti durante la fase di simulazione. Utilizzando la tecnologia dei Sistemi Informativi Geografici, è stato possibile posizionare sulla cartografia della Città di Palermo le traiettorie dei veicoli simulati con il relativo database, creando diversi shape-files. Grazie alla geostatistica si sono confrontate le performance dei veicoli che percorrono uno stesso itinerario, al fine di evidenziare sulla cartografia le criticità esistenti nell'arco del nodo esaminato. Di seguito si riportano, per ovvi motivi, i risultati ottenuti per alcuni veicoli che percorrono un itinerario della rotatoria in esame. I grafici "distanza percorsa – accelerazione – velocità" (figg. 3 – 4 – 5) dei veicoli 2323, 3167 e 5365, scelti in maniera stocastica, mostrano come variano nel tempo le condizioni del deflusso veicolare lungo uno stesso itinerario.

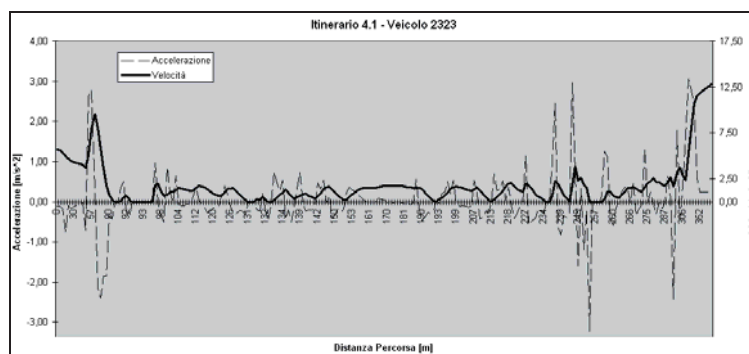


Figura 4 – Diagramma distanza – accelerazione – velocità del veicolo 2323 (Itinerario 4.1)

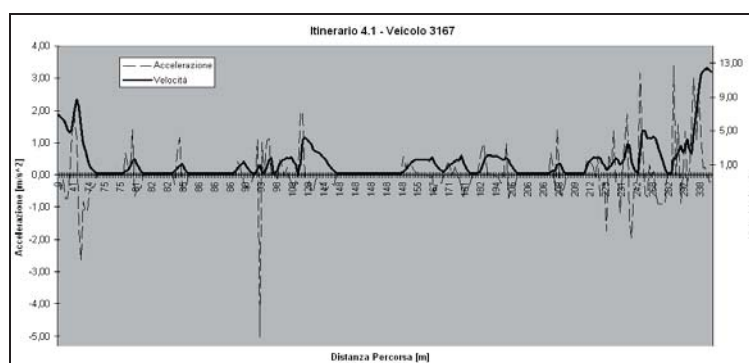


Figura 5 – Diagramma distanza – accelerazione – velocità del veicolo 3167 (Itinerario 4.1)

E' necessario sottolineare che il numero identificativo del veicolo è crescente al crescere del tempo di simulazione, pertanto il veicolo 3167 ha percorso la traiettoria in esame prima del veicolo 5365 ma dopo la vettura 2323.

Com'è possibile vedere le sue caratteristiche cinematiche del moto in alcuni tratti sono paragonabili a quelle delle altre autovetture mentre a volte differenti al crescere della progressiva chilometrica, dimostrando che il deflusso veicolare è un fenomeno che varia nel tempo ed al raggiungimento della capacità massima della strada.

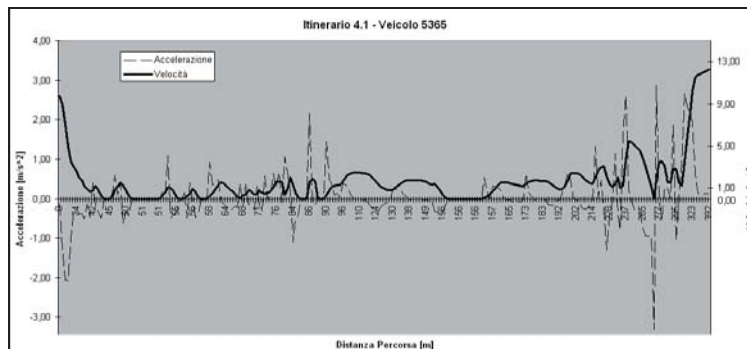


Figura 6 – Diagramma distanza – accelerazione – velocità del veicolo 5365 (Itinerario 4.1)

Conclusioni

Dall'analisi effettuata è emerso che la rispondenza dei modelli di simulazione alla realtà dell'area indagata è direttamente proporzionale alla fase di calibratura e validazione dei dati di input. Per fare ciò, la metodologia proposta permette di ottenere una buona approssimazione del modello di micro simulazione del traffico attraverso il confronto dei dati ottenuti dal modello stesso con i dati analizzati dalla geostatistica. Calibrato e validato il modello è stato possibile simulare diversi scenari, ipotizzando diversi metodi di sistemazione della circolazione (regolazioni semaforiche, velocità ridotte, variazione dei sensi di marcia, piccole modifiche della geometria del nodo ecc).

Dal confronto fra i vari scenari simulati, reali e ipotizzati, e attraverso gli output fornite dal modello di simulazione, si sono ottenuti tutti quei dati per migliorare le prestazioni del sistema di circolazione stradale del nodo in esame (riduzioni di manovre illegali, minore tempo di attraversamento, riduzione di punti conflitto, ecc.).

Bibliografia

- Heydecker, B. (2004), Objectives, stimulus and feedback in signal control of road traffic, Journal of intelligent transportation system
- Fox, K., Clark, S. (1998), Evaluating the benefits of a responsive UTC system using micro-simulation.
- Martin P.T., Perrin P.E., Chilukuri B.G., Jhaveri C., Feng Y. (2003), Adaptive signal control. Report No. UT-03.28. Department of civil and environmental engineering. University of Utah
- Lin W.H., Liao L.C. (1998), Objectives The effects of data inaccuracy on the performance of traffic signal timing plans. Path working paper. Institutes of transportation studies University of California
- Engelbrecht R.J., Poe C.M. (1999), Development of a distributed hardware-in-the-loop simulation system for transportation network
- Fox K., Clark S. (1998), Evaluating the benefits of a responsive UTC system using micro-simulation
- Shenoda M., Machemehl R. (2006), Development of a Phase-by-Phase, Arrival-based, Delay-Optimized adaptive traffic signal control methodology with metaheuristic search. Center for Transportation research. University of Texas.,
- Li H., Zhang L., Gartner N.H. (2006), Comparative evaluation of three adaptive control strategies: Opac, Tacos and FLC