

LA MICROSIMULAZIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE IN ROTATORIA. APPLICAZIONE AD UN CASO REALE.

Capiluppi G.F. – Università della Calabria, Dip. di Pianificazione Territoriale

g.capiluppi@unical.it

Vaiana R. – Università della Calabria, Dip. di Pianificazione Territoriale

vaiana@unical.it

Gallelli V. – Università della Calabria, Dip. di Pianificazione Territoriale

vincenzo.gallelli@unical.it

ABSTRACT

Accanto ai tradizionali metodi statistici e semi-probabilistici con i quali è possibile arrivare ad una stima delle prestazioni offerte da una intersezione stradale, qualunque sia la sua soluzione geometrico-funzionale (rotatoria, semaforizzata etc.), oggi risulta ampiamente diffuso l'uso di tecniche di simulazione microscopica del traffico che consentono un approccio di tipo "dinamico" al problema.

I molteplici modelli analitici di micro-simulazione, presenti sul mercato sotto forma di software (SIDRA, CORSIM, VISSIM, PARAMICS etc), trovano oggi applicazioni sia nella sfera professionale che in ambito scientifico. È però opportuno sottolineare come, accanto ad una enorme diffusione di tali strumenti, non si sia registrata una altrettanto estesa diffusione di adeguate e consolidate metodiche di validazione e calibrazione di tali modelli.

In altre parole, il problema dell'affidabilità del dimensionamento funzionale di una intersezione a partire dai risultati forniti dall'applicazione di strumenti di simulazione, pone l'accento sulla necessità di conoscere quali e quanti parametri di *input* risultano "pesare" maggiormente nel governo degli *output* che il micro-simulatore è in grado di fornire.

A partire dall'acquisizione sul campo di alcuni principali parametri di flusso veicolare di una intersezione a rotatoria sita nel territorio urbano cosentino, gli Autori presentano un primo approccio comparativo tra performance *osservate* e performance *definite* attraverso l'uso di uno strumento di micro-simulazione.

KEYWORDS

Intersezioni stradali a rotatoria, Micro-simulazione, Performance.

INTRODUZIONE

L'uso di tecniche di simulazione del traffico stradale trova oggi ampia diffusione in quanto tali procedure di analisi consentono un approccio di tipo predittivo e "dinamico" al problema della stima di prestazioni offerte dal sistema di trasporto che di volta in volta è oggetto di studio (es. verifica di interventi di adeguamento infrastrutturale, di gestione del traffico etc.).

In particolare, per stimare le performance offerte da una intersezione stradale qualunque sia la sua soluzione geometrico-funzionale (rotatoria, semaforizzata etc.), accanto ai tradizionali metodi statistici e semi-probabilistici, trovano oggi applicazione sia nella sfera professionale che in ambito scientifico, molteplici modelli analitici di micro-simulazione, presenti sul mercato sotto forma di software (SIDRA, CORSIM, VISSIM, PARAMICS etc).

Tali strumenti, per vantare qualità di efficacia ed affidabilità, necessitano di un attento processo di calibrazione dei parametri di input.

In generale, il processo di calibrazione può così definirsi (TRB, 2000): *The process of comparing model parameters with real-world data to ensure that the model realistically represents the traffic environment. The objective is to minimize the discrepancy between model results and measurements or observations.*

È però opportuno sottolineare come, accanto alla enorme diffusione sul mercato di strumenti di simulazione, non si sia registrata una altrettanto estesa diffusione di adeguate e consolidate metodiche di validazione e calibrazione di tali modelli.

Il problema dell'affidabilità dei risultati forniti dall'applicazione di strumenti di simulazione nel dimensionamento funzionale di una intersezione, pone l'accento sulla necessità di conoscere quali e quanti parametri di *input* risultano "pesare" maggiormente nel governo degli *output* di micro-simulazione al fine di minimizzazione le differenze tra gli output del sistema reale e quelli del modello (*Funzione obiettivo*).

La non consolidata presenza di metodiche di calibrazione dei modelli di simulazione del traffico veicolare trova spiegazione nelle difficoltà proprie del problema sia di natura metodologica che computazionale (Punzo V. et al. 2008): qualità ed attendibilità dei risultati unitamente alla onerosità dei calcoli necessari per giungere alla soluzione della *funzione obiettivo* stessa.

Tutto ciò giustifica il fermento della Comunità Scientifica intorno al problema. Ad esempio, mentre alcuni Autori (Hourdakis J. et al. 2003; Punzo V. et al. 2008) propongono di confinare la calibrazione ad un sottoinsieme di parametri operando di fatto, con metodi statistici (ad es. analisi della varianza etc.), un compromesso tra esattezza del processo di calibrazione stessa e snellezza computazionale; altri Autori (Park B.B. et al. 2004) suggeriscono, altresì, quale possibile metodologia di ottimizzazione del processo di calibrazione, l'uso di Algoritmi Genetici (GA = Genetic Algorithm): metodo euristico di ricerca ed ottimizzazione ispirato al principio della selezione naturale di tipo evolutivo in uso nel campo dell'intelligenza artificiale.

SCOPO ED ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO PROPOSTO

La presente memoria propone un primo pratico approccio di tipo comparativo tra la realtà *osservata* (RO) e la realtà *simulata* (RS) a partire dal rilievo di campo di alcuni parametri caratteristici di una intersezione a rotatoria individuata nel tessuto urbano del Comune di Cosenza, Regione Calabria (Italia).

In particolare i parametri presi in considerazione per il confronto RO-RS sono rappresentati dal:

- diagramma delle velocità di attraversamento;
- ritardo, ovvero stima del tempo medio speso dall'accodamento all'inizio della manovra di immissione nell'anello (Mauro R. 2007).

Il processo di micro-simulazione è stato condotto con l'ausilio di VISSIM® 4.0, strumento software in dotazione al Dipartimento di Pianificazione Territoriale dell'Università della Calabria (Vaiana et al. 2008; VISSIM 2005).

Generalità

La struttura del micro-simulatore VISSIM®

Lo strumento di micro-simulazione utilizzato è caratterizzato da un modello basato su logiche di *car-following* e di *lane-changing* contemplate nel modello psico-fisico di comportamento del conducente sviluppato da Wiedemann (VISSIM 2005).

In generale, per avviare una simulazione in VISSIM è necessario implementare almeno i seguenti principali parametri:

- generazione ed assegnazione del traffico mediante matrici O/D;
- distribuzione delle velocità all'anello e nei rami (velocità di approccio);
- regole di precedenza: individuazione del gap critico e del headway minimo (distanziamento veicolare minimo).

Lo strumento consente altresì di modificare alcuni parametri caratteristici del modello di Wiedemann. In tal senso, per completezza, è opportuno indicare che nell'applicazione presentata, per ciò che attiene le grandezze di gestione del modello di Wiedemann, sono stati considerati i valori di *default* del software, cfr. tab.1.

Tabella 1 – Parametri di default del modello di Wiedemann 74 per archi urbani presente in Vissim.

Comportamento del veicolo successivo	Distanza di Percezione	0,00 m ÷ 250,00 m	
	Distanza Media Arresto	2,00 m	
	Parte Aggiuntiva Dis. Sicurezza	2,00	
	Parte Multipla Dis. Sicurezza	3,00	
Cambio corsia	Max Decelerazione	Proprio -4,00 m/s ²	Veicolo Successivo -3,00 m/s ²
	Min Decelerazione	-1,00 m/s ²	-1,00 m/s ²
Comportamento generale		Scelta libera della corsia	
Comportamento laterale		Posizione desiderata a rete scarica: Mezzeria	

Il sito oggetto di studio

La rotonda oggetto dello studio, collocata lungo l'asse di viale Cosmai –Via Tevere, è sita nel territorio urbano del Comune di Cosenza al confine con il territorio urbano del Comune di Rende.

Così come la quasi totalità delle intersezioni a rotonda presenti nel comprensorio urbano di interesse (Capiluppi et al. 2006) anche l'intersezione in oggetto risulta caratterizzata da una forte dissimetria planimetrica (cfr. fig.1). In particolare, l'isola centrale di forma pseudo-ellittica è così caratterizzata: diametro maggiore 40m, diametro minore 23m, eccentricità conseguente 0.58.

In tab.2 sono evidenziati le principali grandezze geometriche caratterizzanti la rotonda in esame.

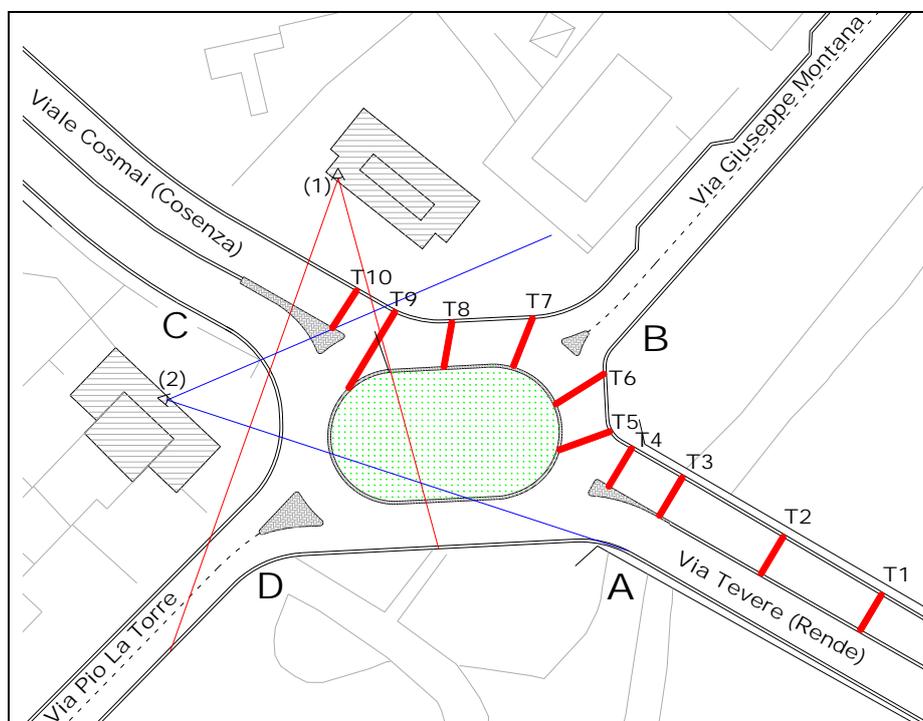


Figura 1 – Planimetria della rotonda oggetto di studio. In evidenza: punti di ripresa dei flussi veicolari; T_i sezioni di misura delle velocità veicolari.

Tabella 2 – Principali grandezze caratteristiche della rotonda oggetto di studio. Legenda: D.=Diametro; (2c)=2 corsie

	Entrata		Uscita		Isola Centrale	
	Raggio	Larghezza	Raggio	Larghezza	D. Maggiore	D. Minore
Nodo A	5,38 m	7,55 m (2 c)	22,82 m	7,76 m (2 c)	D. Maggiore	40m
Nodo B	19,09 m	3,80 m	5,29 m	4,39 m	D. Minore	23m
Nodo C	18,24 m	7,62 m (2 c)	22,02 m	7,52 m (2 c)	Eccentricità	0,58
Nodo D	19,61 m	4,48 m	18,17 m	5,42 m	Corsia Anello	
					Larghezza	7,50 m

La campagna di rilievo

La campagna di rilievo è stata eseguita attraverso l'ausilio di due telecamere digitali ad alta risoluzione (cfr. posizione ① e ② fig.1), con riprese sincronizzate, al fine di acquisire l'intero processo di "smaltimento" dei flussi veicolari (cfr. fig. 2).

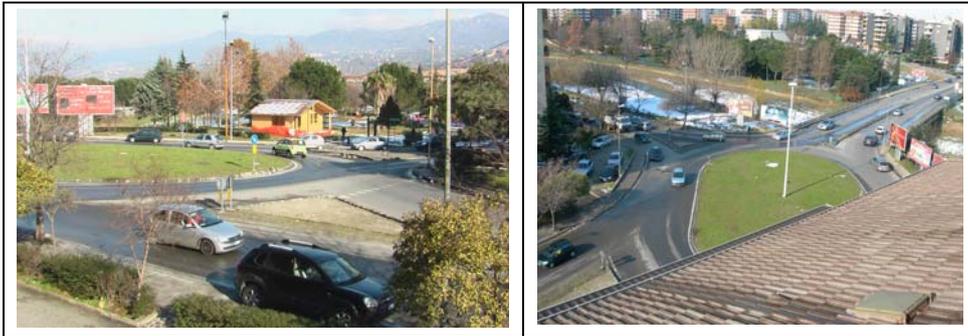


Figura 2 – Fotogrammi relativi ai rilievi effettuati. A sinistra postazione ① e a destra postazione ②.

Due rilievi sono stati eseguiti in due distinti giorni della settimana:

- Sabato nella fascia oraria ore 15.00 - 15.45 e ciò al fine di poter caratterizzare la distribuzione delle velocità all'anello e nei rami della rotatoria in condizione di flusso libero (*free flow*). Tale configurazione sarà nel prosieguo individuata con l'acronimo ROF;
- Mercoledì nella fascia oraria ore 11.00 - 12.40 e ciò al fine di poter valutare l'aspetto prestazionale offerto dalla rotatoria in condizioni prossime alla saturazione. Tale configurazione sarà nel prosieguo individuata con l'acronimo ROS.

Decodifica ed analisi dei filmati rilevati

L'analisi dei filmati rilevati per le due configurazioni ROF e ROS, condotta per intervalli temporali di 1min, ha consentito la costruzione di matrici O/D per le quali i flussi sono stati uniformati in veicoli equivalenti attraverso coefficienti di omogeneizzazione di letteratura (TRB 2000) ed espressi in veic/h. Una estrema sintesi delle matrici O/D registrate è presentata in tab.3 ed in tab 4.

Tabella 3 – Sintesi dei flussi registrati in rotatoria per la configurazione ROF.

Min-Med-Max [Veic/h]	Configurazione ROF			
	A	B	C	D
A	0÷0÷0	0÷85÷300	0÷302÷960	0÷109÷300
B	0÷187÷600	0÷0÷0	0÷56÷300	0÷51÷180
C	0÷185÷480	0÷72÷180	0÷2÷60	0÷49÷300
D	0÷187÷720	0÷58÷300	0÷30÷180	0÷2÷60

Tabella 4 – Sintesi dei flussi registrati in rotatoria per la configurazione ROS.

Min-Med-Max [Veic/h]	Configurazione ROF			
	A	B	C	D
A	0÷0÷0	0÷85÷300	0÷302÷960	0÷109÷300
B	0÷187÷600	0÷0÷0	0÷56÷300	0÷51÷180
C	0÷185÷480	0÷72÷180	0÷2÷60	0÷49÷300
D	0÷187÷720	0÷58÷300	0÷30÷180	0÷2÷60

ROF (Realtà Osservata in condizioni di Free flow)

La configurazione ROF rappresenta la configurazione *obiettivo* del processo di simulazione. L'analisi dei filmati rilevati per questa configurazione ha consentito, altresì, di acquisire informazioni utili alla conoscenza delle distribuzioni di velocità adottate dagli utenti in transito nella intersezione di studio. In particolare è stata concentrata l'attenzione sulla manovra di attraversamento A-C. Per la decodifica dei filmati il percorso interessato è stato dotato di n°10 basi di misura (cfr. fig.1) ottenendo, per ognuna di esse, i valori di velocità sintetizzati in fig.3a in termini di velocità media e velocità dell'85° percentile. In fig.3a lo zero delle ascisse è individuato in corrispondenza dell'asse del nodo B.

Tali informazioni sono risultate utili nel processo di implementazione delle distribuzioni di velocità del micro-simulatore.

Per completezza di informazione, è opportuno segnare che per i nodi A e C, caratterizzati da un ingresso a doppia corsia, in special modo per la configurazione ROF, meno del 10% dei veicoli monitorati ha utilizzato la corsia di sinistra.

ROS (Realtà Osservata in condizioni prossime alla Saturazione)

Nell'intento di pervenire ad una "legge" rappresentativa della stima del ritardo, ovvero del tempo medio speso dall'utente in coda prima di essere "servito" e quindi di immettersi nel flusso circolante all'anello, si è reso necessario un rilievo anche in condizioni prossime alla saturazione ROS. Questo al fine di giungere, in prima istanza, alla stima del tempo medio di servizio T_s : grandezza definita come il tempo che trascorre tra quando il veicolo giunge alla testa della coda, linea del dare precedenza, e l'istante a partire dal quale inizia il suo ingresso nell'anello (Mauro R. 2007). Dall'analisi dei filmati acquisiti il T_s è stato desunto mediante regressione, a partire da un campione selezionato di 200 veicoli monitorati ed equamente distribuiti in tutti e quattro gli ingressi. Tale grandezza è naturalmente funzione delle classi di portata circolante all'anello (cfr. fig.3b).

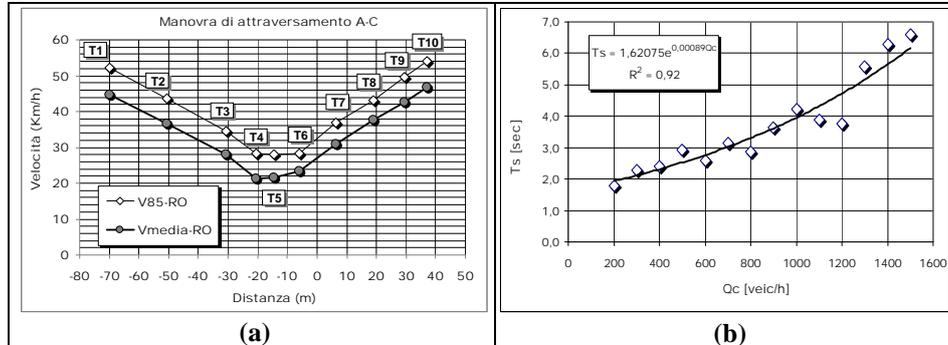


Figura 3 – (a) Diagrammi di velocità media e dell’85° percentile per la manovra di attraversamento A-C nella configurazione ROF; T_i sezioni di misura delle velocità veicolari. (b) Stima sperimentale del tempo medio di servizio T_s espresso in funzione di classi di portata circolante all’anello.

Dalla configurazione ROS, ancora dall’analisi dei filmati, sono stati desunti anche le distribuzioni dei gap accettati dai veicoli che procedevano all’immissione in rotatoria. Tale grandezza rappresenta il “varco” spazio-temporale, che si presenta davanti al generico ramo di immissione in rotatoria (che si materializza, di fatto, tra i veicoli in transito nell’anello), e che risulta “accettato” dal veicolo in ingresso in modo da effettuare tale manovra in condizioni che il conducente “ritiene” sicure.

I valori dei gap accettati sono stati desunti a partire da un totale di n°2197 immissioni in rotatoria analizzate. In tab. 5 sono riassunti i valori registrati in termini di 85° percentile e sono altresì distinti sia per nodo (Configurazione G2) che per distribuzione complessiva (Configurazione G1); quest’ultima relativa alle immissioni registrate complessivamente su tutti e quattro i nodi di ingresso.

La necessità di far riferimento a due distinte configurazioni di gap, da utilizzare per la RS, è giustificata dalla elevata sensibilità che il micro-simulatore fa registrare sui risultati prestazionali rispetto a tale parametro (Gallelli et al. 2008)

Tabella 5 – Valori dei gap accettati e desunti a partire dall’analisi dei filmati delle immissioni in rotatoria.

Nodo	A	B	C	D	Complessivo
Totale immissioni analizzate	403	582	501	711	2197
Gap accettato 85° percentile [s]	4,4	2,9	3,4	2,4	2,9
Configurazioni Simulate	G2				G1

Il calcolo dei ritardi

Desunta dalla configurazione ROS la legge del tempo di servizio (T_s), la stima del ritardo medio è stata effettuata per la configurazione ROF utilizzando la relazione (eqz.1) valida per arrivi al braccio di tipo poissoniani e tempi di servizio esponenziali (Mauro R. 2007) e desumendo le portate circolanti della relazione di fig.3b dalla n-pla di matrici sintetizzate in tab.3 ed in tab.4. La condizione di arrivi di tipo poissoniani è stata assunta tale trattandosi di una configurazione, la ROF, in cui si sono registrate per i quattro rami portate medie mai superiori a 200veic/h (Esposito T. et. al 2003).

$$R_C = T_{S(\text{medio})} + \frac{Q_i \cdot [T_{S(\text{medio})}^2 + V(T_S)]}{2 \cdot [1 - Q_i \cdot T_{S(\text{medio})}]} \quad (\text{eqz.1})$$

Dove:

$T_{S(\text{medio})} = 1,62075 \cdot e^{0,00089 \cdot Q_c}$ Tempo di servizio funzione della portata circolante Q_c ;

$V(T_S) = T_{S(\text{medio})}^2$ Varianza del tempo di servizio;

Q_i = portata in ingresso al nodo.

In tab.6 sono riassunti i ritardi medi ottenuti a partire delle matrici O/D acquisite.

Tabella 6 – Valori medi e deviazione standard del ritardo calcolato.

	A	B	C	D
Ritardo medio	2,7	3,1	2,8	4,0
Dev. St.	1,2	1,0	0,8	6,4

IMPLEMENTAZIONE DEL MICROSIMULATORE

Le realtà “simulate” RS

Nel processo di taratura dello scenario simulato (RS) si è fatto riferimento ai seguenti parametri:

- assegnazione del traffico a partire dalle matrici O/D registrate per la configurazione ROF, cfr. tab.4;
- distribuzione delle velocità registrate a partire dall'analisi dei filmati configurazione ROF (cfr. fig. 3a);
- implementazione del gap minimo nelle regole di precedenza (cfr. tab.5) secondo due distinte configurazioni:

Configurazione RSG1, in cui il gap minimo è pari a 2,9 secondi per tutti i nodi, ossia pari all'85° percentile della distribuzione complessiva dei gap accettati per l'intera rotatoria.

Configurazione RSG2, in cui il gap minimo di ogni nodo è rappresentativo dell'85° percentile della distribuzione dei gap accettati per il nodo preso di volta in volta preso in esame.

Configurazione RSG1

In tab.7 sono stati riportati i valori del ritardo medio e della deviazione standard ottenuti come output dalle simulazioni effettuate in Vissim per lo scenario RSG1.

Bisogna comunque aggiungere che per i nodi A e C, i quali presentano due corsie in ingresso ciascuno, i valori riportati in tabella sono stati ottenuti come media pesata tra i valori ottenuti sulle due corsie considerando la percentuale effettiva di distribuzione dei flussi (0,9 su quella di destra e 0,1 su quella di sinistra).

Tabella 7 – Valori medi e deviazione standard del ritardo calcolato in RSG1.

	A	B	C	D
Ritardo medio	3,9	2,8	4,0	3,6
Dev. St.	3,5	4,6	3,7	4,4

Configurazione RSG2

In tab. 8 sono stati riportati i valori del ritardo medio e della deviazione standard ottenuti come output dalle simulazioni effettuate in Vissim per lo scenario RSG2. Anche per questa configurazione, i valori riportati in tabella per i nodi A e C sono stati ottenuti come media pesata tra i valori ottenuti sulle due corsie considerando considerando la percentuale effettiva di distribuzione dei flussi (0,9 su quella di destra e 0,1 su quella di sinistra).

Tabella 8 – Valori medi e deviazione standard del ritardo calcolato in RSG2.

	A	B	C	D
Ritardo medio	10,3	2,1	5,4	2,9
Dev. St.	13,8	2,1	5,5	2,4

ANALISI DEI RISULTATI

Sulla base dei parametri assunti per le simulazioni degli scenari RS, in tab. 9 ed in tab. 10 sono stati riportati i valori dei ritardi medi ottenuti dalla simulazione con Vissim (RSGi) in comparazione percentuale con i ritardi misurati con l'eqz.1 di tipo teorico-sperimentale (RO).

Per la configurazione RSG1, cfr. tab. 9, dall'analisi degli scostamenti percentuali tra RO e RS è possibile asserire che tale scostamento è in media pari al 21%.

Per la configurazione RSG2, cfr. tab. 10, dall'analisi degli scostamenti percentuali tra RO e RS è possibile asserire che tale scostamento medio assume valore pari al 53%.

Tabella 9– Scostamenti percentuali tra i ritardi misurati sperimentalmente RO e quelli valutati in Vissim per lo scenario RSG1.

	A	B	C	D
Ritardo medio Vissim [s]	3,9	2,8	4,0	3,6
Ritardo medio sperimentale [s]	2,7	3,1	2,8	4,0
Scostamento Percentuale	32,2%	9,4%	30,1%	12,3%

Tabella 10 – Scostamenti percentuali tra i ritardi misurati sperimentalmente RO e quelli valutati in Vissim per lo scenario RSG2.

	A	B	C	D
Ritardo medio Vissim [s]	10,3	2,1	5,4	2,9
Ritardo medio sperimentale [s]	2,7	3,1	2,8	4,0
Scostamento Percentuale	74,2%	49,0%	48,5%	40,6%

Può affermarsi che, in relazione esclusiva alla applicazione testè presentata, l'implementazione in RS di valori del gap minimo sperimentale caratteristici della rotatoria nel suo complesso (G1) (valore pari a 2,9sec assai comune in letteratura) consente di ottenere scostamenti percentuali, tra ritardi "simulati" e "teorico-sperimentali", più bassi rispetto all'utilizzo in fase di simulazione del gap minimo (G2) caratteristico di ogni singolo ingresso in rotatoria.

Nelle fig. 4(a) e 4(b) ed in quelle 5(a) e 5(b) sono posti a confronto i diagrammi di velocità in termini di V85 e di Vmedia, per la manovra di attraversamento A-C,

rispettivamente fra le configurazioni di simulazione RSG1, RSG2 e la configurazione ROF osservata in condizione di *free flow*.

Anche in questo caso, il confronto grafico tra i valori di velocità simulati e quelli rilevati sperimentalmente per le 10 sezioni T_i (fig. 1), consente di stabilire per la configurazione RSG1 una migliore sovrapposizione con il dato reale osservato ROF rispetto a RSG2. Tutto ciò è evidente sia se il confronto viene fatto in termini di V_{85} (cfr. fig. 4a e 5a) ed ancor più se intrapreso in termini di V_{media} (cfr. fig. 4b e 5b).

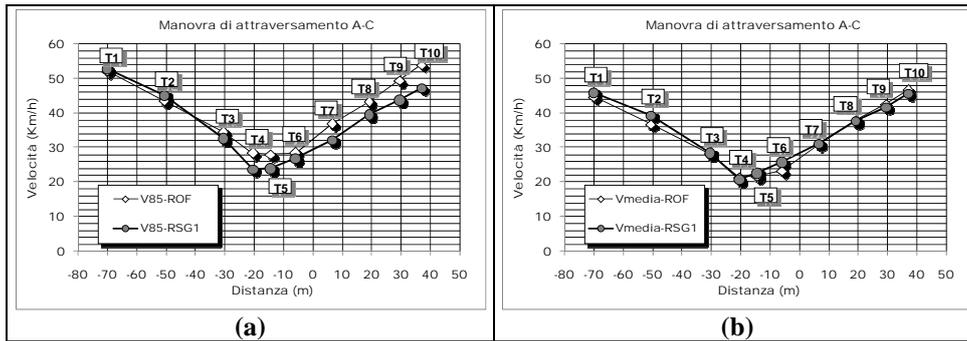


Figura 4 – (a) Confronto tra i diagrammi di velocità dell'85° percentile per la manovra di attraversamento A-C nella configurazione ROF ed RSG1. (b) Confronto tra i diagrammi di velocità media per la manovra di attraversamento A-C nella configurazione ROF ed RSG1.

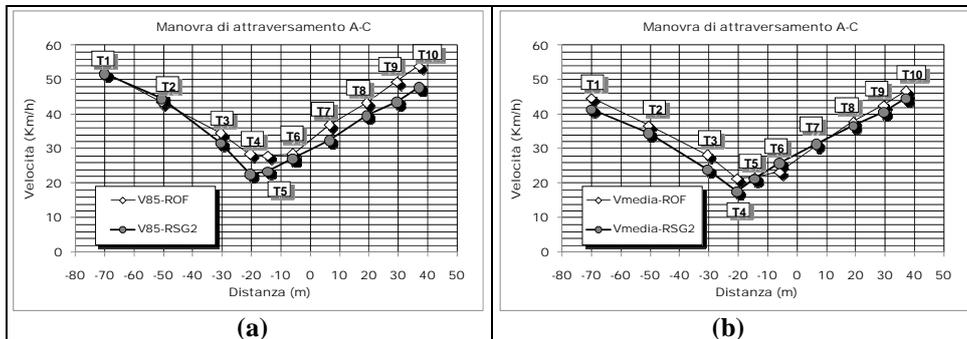


Figura 5 – (a) Confronto tra i diagrammi di velocità dell'85° percentile per la manovra di attraversamento A-C nella configurazione ROF ed RSG2. (b) Confronto tra i diagrammi di velocità media per la manovra di attraversamento A-C nella configurazione ROF ed RSG2.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Ribadito l'intento del presente lavoro quale primo pratico approccio di tipo comparativo tra la realtà *osservata* (RO) e la realtà *simulata* (RS) con micro-simulatore del traffico veicolare in rotonda.

Sottolineata la grande importanza strategica che se ne può trarre dall'uso di tecniche di simulazione in termini di analisi di tipo predittiva e "dinamica" dei flussi di traffico veicolare.

Confermata comunque la necessita, fortemente sentita anche della Comunità Scientifica, di stabilire metodiche consolidate e ben codificate dei processi di calibrazione e validazione dei sistemi complessi di simulazione microscopica del traffico veicolare.

I risultati ottenuti, limitatamente alle condizioni al contorno indicate (geometria della rotatoria decisamente non conforme agli standard normativi), ad alcune posizioni teorico-sperimentali assunte dagli Autori per il calcolo del ritardo medio, unitamente allo strumento di simulazione adottato (VISSIM 4.0), consentono di ribadire l'importanza che alcune grandezze caratteristiche, quali gap minimo accettato e distribuzione delle velocità lungo gli elementi caratteristi della rotatoria, hanno sul governo degli output prestazionali registrati a valle della simulazione.

BIBLIOGRAFIA

TRB; (2000); *Highway Capacity Manual*; Transportation Research Board, National Research Council; Washington D.C., USA;

Punzo V.; Ciuffo B.; (2008); *Calibrazione di modelli di deflusso microscopici mediante serie temporali di misure di traffico aggregate – Extended Abstract*; XV Convegno della Società Italiana dei Docenti di Trasporti SIDT, Arcavacata di Rende (CS), Italia, 9-10 giugno;

Hourdakis, J.; Michalopoulos, P.G.; Kottommannil, J.; (2003) *Practical procedure for calibrating microscopic traffic simulation models*; Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n° 1852; National Research Council; Washington D.C., USA; pp. 6-15;

Park B.B.; Qi H.; (2004) *Development and evaluation of a calibration and validation procedure for microscopic simulation models – Final Report*; Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia-USA;

Vaiana R.; Gallelli V.; (2008) *Roundabout intersections: evaluation of geometric and behavioural features with vissim*; Proceedings of TRB - National Roundabout Conference, Kansas City - Missouri USA, 19-21 May;

VISSIM; (2005); *Manual User - Release 4.10*; PTV Planung Transport Verkehr, Karlsruhe, Germany;

Mauro R.; (2007); *Il calcolo delle rotatorie. Capacità. Tempi d'attesa. Lunghezza delle code*; Hevelius Edizioni, Benevento, Italia;

Capiluppi G.F.; Vaiana R.; Gallelli V.; (2006); *Intersezioni a raso con soluzione a rotatoria dissimmetrica: un caso di studio*; Atti del convegno "XVI Convegno Nazionale SIIV - Manutenzione e Adeguamento delle Strade Esistenti", Arcavacata di Rende (CS), 20-22 Settembre, Vol. 2 - Adeguamento, pp. 405-420.

Esposito T.; Mauro R.; (2003); *La progettazione funzionale delle strade – Vol.2*; Hevelius Edizioni, Benevento, Italia.