

## **MINI-ROTATORIE URBANE: INGRESSI A RISCHIO**

**Sascia Canale – Salvatore Leonardi – Giuseppina Pappalardo**

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Catania*

### **1. INTRODUZIONE**

Il sistema di regolamentazione delle intersezioni stradali a raso in ambito urbano mediante l'adozione dello schema "a rotatoria" è ormai diffuso in tutto il mondo; esso si basa su criteri urbanistici e di pianificazione che rispondono a obiettivi specifici di gestione del traffico e di riqualificazione dello spazio pubblico.

Fra gli elementi, generalmente adottati nella scelta della sistemazione di un incrocio a rotatoria, si possono menzionare:

- L'identificazione di un luogo che si vuole qualificare in armonia con il contesto urbano circostante. La rotatoria viene utilizzata per segnare volutamente l'entrata di una località, di un quartiere o uno spazio di transizione tra tessuti urbani morfologicamente differenti.
- La moderazione del traffico attraverso la responsabilizzazione dell'insieme degli automobilisti che vengono obbligati a dare precedenza ed a percorrere una traiettoria comportante una riduzione della velocità, tanto più forte quanto più la rotatoria è compatta.
- Il miglioramento della sicurezza grazie sia all'eliminazione dei punti di conflitto comportanti l'intersezione delle correnti veicolari, sia alla riduzione della velocità a cui si transita.
- La riduzione dei tempi di fermata rispetto a quelli con regolazione semaforica, in quanto la rotatoria viene utilizzata in modo continuo.
- La riduzione delle emissioni sonore, dovuta ad un insieme di fattori: velocità inferiori, guida meno aggressiva che non richiede né brusche frenate né improvvise accelerazioni o decelerazioni. Inoltre, alcuni studi rilevano - a parità di traffico - una diminuzione del consumo di carburante in un incrocio a sistemazione a rotatoria rispetto al consumo in un incrocio a controllo semaforico, fattore che si tradurrebbe in una riduzione delle emissioni inquinanti.
- La duttilità d'inserimento nel tessuto urbano specialmente nel caso in cui si debbano raccordare alla rotatoria più rami di differente importanza.
- L'occupazione accettabile di terreno per le rotatorie compatte se confrontata con quella degli incroci con controllo semaforico e corsie multiple di preselezione.
- La flessibilità degli itinerari data dalla possibilità di inversione di marcia (manovra per lo più proibita negli incroci tradizionali). In tal modo si può eliminare la pericolosa svolta a sinistra sui rami d'immissione all'incrocio e consentire l'inversione di marcia ai trasporti pubblici. Inoltre, consente il "diritto all'errore" (ritornare sui propri passi).
- La semplificazione della segnaletica verticale. Di fronte alla massiccia presenza sulla scena urbana di segnali luminosi e segnaletica di direzione, la rotatoria consente l'installazione di una segnaletica più sobria e, in generale, maggiormente comprensibile.

Ovviamente esistono anche alcune significative limitazioni all'impiego delle rotatorie in ambito urbano. In particolare, la realizzazione di una rotatoria con precedenza all'anello è sconsigliata in uno dei cinque casi seguenti:

- ◆ Configurazione dello spazio esistente tale da non consentire la costruzione di un anello che assicuri possibilità di manovra ai veicoli pesanti e/o una visuale sufficientemente libera.
- ◆ Topografia accidentata tale da non permettere la sistemazione di una carreggiata anulare con delle contropendenze accettabili. Questo parametro tuttavia viene spesso sopravvalutato: le recenti esperienze indicano che, in ambito urbano, si possono ammettere anche delle contropendenze elevate.
- ◆ Regolazione diretta del traffico. La segnaletica luminosa moderna è il principale strumento di regolazione diretta del traffico: consente di attribuire la precedenza a determinati flussi veicolari e di trattenerne altri. Poiché tutti i rami della rotatoria hanno lo stessa importanza non è possibile incentivare o disincentivare questo o quell'itinerario o tipo di traffico. La caratteristica di "non gerarchizzazione" delle rotatorie è contraria ai modi di gestione centralizzata del traffico.
- ◆ Sequenza coordinata di incroci regolati da semafori (onda verde). L'inserimento di una rotatoria in una sequenza d'incroci regolati da semafori, in genere, ha effetti contrari alla strategia della sequenza stessa.
- ◆ Precedenza per le corsie riservate al mezzo pubblico. Mentre è possibile predisporre corsie riservate al mezzo pubblico sino all'entrata nella rotatoria, l'immissione dei mezzi di trasporto pubblico nell'anello circolare non può usufruire di fasi di precedenza come, invece, avviene negli incroci a controllo semaforico predisposti per tale obiettivo.

Le rotatorie possono essere classificate in funzione di diversi parametri: dimensione del diametro esterno di ingombro, ambito urbanistico, tipologia delle strade che vi confluiscono, entità del traffico circolante. La figura 1 riassume le diverse tipologie di rotatoria per ambito di applicazione ed in funzione del diametro esterno.

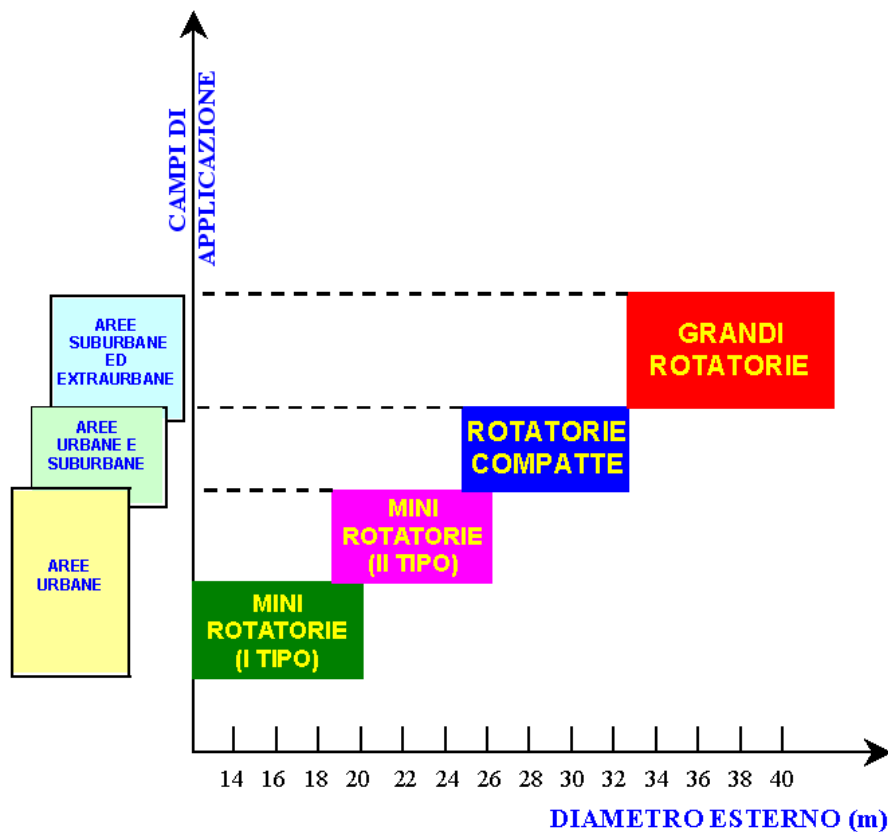


Figura 1 – Classificazione delle rotatorie in funzione del diametro esterno e dell'ambito applicativo.

Per quel che concerne specificatamente il contesto urbano è possibile far riferimento a 3 possibili schemi di rotatoria, ovvero:

- **Rotatoria compatta** (diametro esterno da 22 a 35 metri). Un diametro esterno di 24 metri è il minimo per una rotatoria con un'isola centrale non sormontabile che raccorda rami distribuiti in maniera abbastanza regolare intorno all'anello (ossia quattro rami che formano tra di loro angoli approssimativamente retti). Questo diametro permette l'inversione di marcia dei veicoli pesanti maggiormente ingombranti. Se alcuni rami della rotatoria formano angoli acuti oppure il loro numero supera quello di quattro, sarà necessario un diametro superiore: in particolare, un diametro esterno tra i 28 e ed i 35 metri è idoneo per rotatorie di cinque o sei rami.
- **Mini-rotatoria del primo tipo**, a isola centrale sormontabile (diametro esterno da 14 a 20 metri). Dotata di un'isola centrale totalmente carreggiabile, questa mini-rotatoria può essere adottata, da un punto di vista geometrico, in qualunque incrocio urbano. La possibilità di inversione di marcia non è in questo caso garantita per i mezzi pesanti, ma sono possibili tutte le altre manovre di cambio di direzione mediante l'occupazione parziale dell'isola centrale.
- **Mini-rotatoria del secondo tipo**, a isola centrale semi-sormontabile o non sormontabile (diametro esterno da 18 a 24 metri). Un diametro esterno inferiore a 24 metri può essere pensato se una parte dell'isola centrale è transitabile dai mezzi pesanti. Non si dovrebbe mantenere un'isola centrale invalicabile dell'ordine di 3 metri all'interno dell'isola centrale se il diametro esterno non raggiunge i 19 metri.

Nell'ambito del presente studio, si intende proporre una metodologia per la valutazione del livello di funzionalità delle mini-rotatorie.

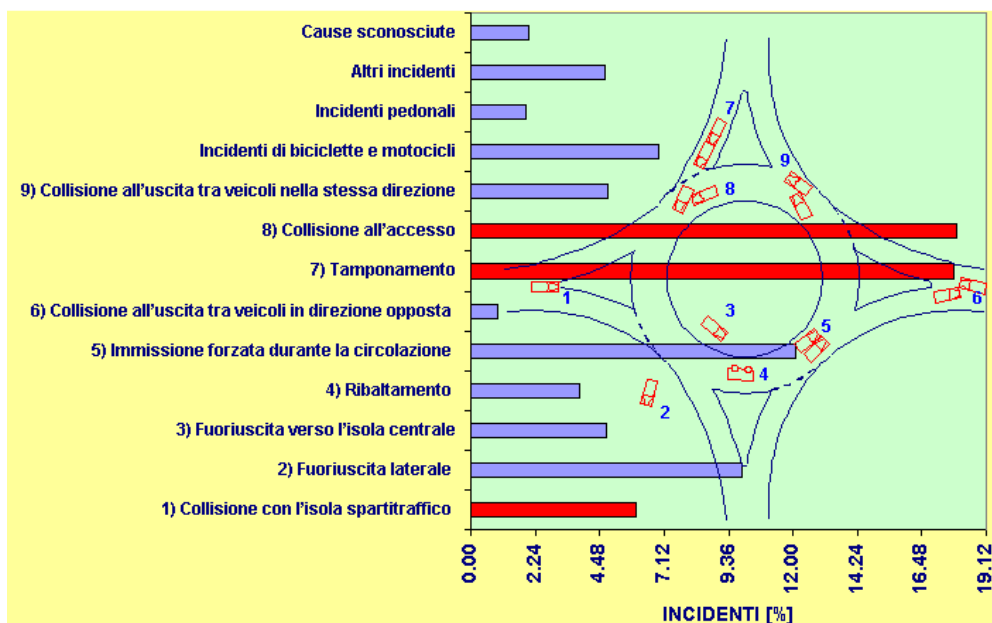


Figura 2 – Distribuzione degli incidenti sulle rotatorie (dati U.S.A.).

In particolar modo, tramite il supporto di rilievi sperimentali condotti presso due mini-rotatorie ubicate nel tessuto urbano della città di Catania, si procederà ad illustrare una procedura per il calcolo della capacità degli ingressi nelle rotatorie; ciò, nella consapevolezza, che il “funzionamento” delle rotatorie di piccolo raggio, a causa dell'assenza di vere e proprie zone di scambio, risulta praticamente essere condizionato dalle modalità di immissione in circolo e dai ritardi cumulati dagli utenti accodati prima di

immettersi nella corona giratoria. In tale contesto, riteniamo importante notare come numerosi studi sull'incidentalità nelle intersezioni a circolazione rotatoria abbiano evidenziato come una percentuale rilevante degli eventi sinistrosi si manifesti principalmente proprio in prossimità delle zone di ingresso. Dalla figura 2, in cui vengono riportati i dati di incidentalità relativi ad una serie di rotatorie degli U.S.A., per un totale di 1419 incidenti, si deduce come oltre il 40% dei sinistri coinvolga veicoli in manovra sui rami di approccio (ci si riferisce agli incidenti codificati con i numeri 1, 7 ed 8).

## 2. I LUOGHI E LE MODALITÀ DEL RILIEVO

La scelta delle intersezioni da analizzare è ricaduta su due rotatorie, in ambito urbano, localizzate nel tessuto periferico della città di Catania.

La prima rotatoria è posta appena fuori il centro di San Gregorio sulla circonvallazione del paese (Fig. 3, Fig. 4). Si tratta di un incrocio a quattro braccia con inclinazione dei rami adiacenti pari a circa  $90^\circ$ . Geometricamente la rotatoria è costituita da un'isola centrale di forma non circolare: si tratta infatti di un'ellisse irregolare di diametri 22.00 m e 18.30 m. La carreggiata ha una larghezza complessiva di 10.50 m sul ramo D e 10.40 m sul ramo B. Nei rami A e C invece le larghezze della carreggiata sono rispettivamente di 6.20 m e 6.50 m. Le entrate sono costituite da una sola corsia le cui larghezze sono le seguenti: ramo A = 4.40 m, ramo B = 5.10 m, ramo C = 4.50 m, ramo D = 4.20 m.

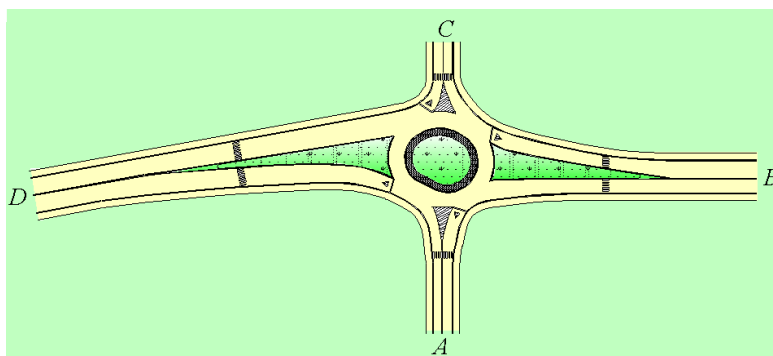


Figura 3 – Caratteristiche geometriche della rotatoria di San Gregorio (Catania).



Figura 4 – Rotatoria di San Gregorio (Catania).

Per quanto riguarda l'anello si osserva che è costituito da una sola corsia larga 5.30 m di fronte alle entrate B e C, 5.40 m di fronte all'entrata D e 4.60 m di fronte all'entrata A. Trattandosi di una mini-rotatoria, non esistono vere e proprie zone di scambio; si possono tuttavia individuare dei tronchi di manovra di modesta lunghezza. In particolare si ha:

- tronco di manovra A-B: Larghezza = 6.20 m / Lunghezza = 13.40 m
- tronco di manovra B-C: Larghezza = 7.10 m / Lunghezza = 13.20 m
- tronco di manovra C-D: Larghezza = 8.20 m / Lunghezza = 13.30 m
- tronco di manovra D-A: Larghezza = 7.00 m / Lunghezza = 14.20 m

La seconda rotatoria scelta per il presente studio, è a cinque braccia, ubicata nella periferia catanese (via Nuovaluce), in una zona mediamente urbanizzata (Fig. 5, Fig. 6). Questa rotatoria è costituita da un'isola centrale perfettamente circolare di diametro 18.30 m. Le larghezze delle strade che confluiscono nella rotatoria sono quasi uguali per i rami A, B, D ed E (rispettivamente 6.60 m, 6.70 m, 6.80 m e 6.70 m) mentre il ramo C ha una larghezza pari a 13.00 m. In tutti i cinque rami le strade hanno due sole corsie, quindi una sola corsia per entrata.

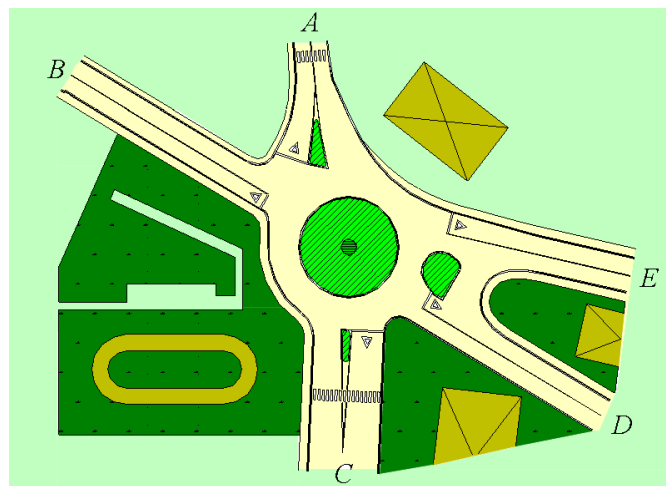


Figura 5 – Caratteristiche geometriche della rotatoria di Via Nuovaluce (Catania).



Figura 6 – Rotatoria di Via Nuovaluce (Catania).

Le larghezze delle corsie in entrata sono le seguenti: ramo A = 6.40 m, ramo B = 3.00 m, ramo C = 5.90 m, ramo D = 3.20 m, ramo E = 4.00 m.

Nel ramo A si trova un'isola direzionale. Nel ramo C invece è stata sistemata un'isola che funge da spartitraffico.

L'anello è costituito da un'unica corsia la cui larghezza è variabile; di fronte al ramo C, la larghezza nella direzione dell'isola spartitraffico è di 5.90 m, negli altri rami (compreso il ramo A la cui isola direzionale è inclinata rispetto all'anello circolare) questa larghezza non scende mai al di sotto di 5.40 m.

L'identificazione dei tronchi di manovra non è univoca. Tra i rami A e B, C e D, e D ed E, la svolta a destra avviene in modo diretto e non esistono veri e propri tronchi di manovra. È invece ben individuabile il tronco di manovra tra i rami B e C che ha una lunghezza di 20.10 m ed una larghezza di 6.20 m, e quello tra i rami E ed A, lungo 10.40 m e largo di 5.60 m.

I dati relativi al traffico sono stati ottenuti mediante ripresa diretta con videocamera delle intersezioni e successivo conteggio dei veicoli. Al fine di ottenere un'efficace caratterizzazione del livello di efficienza degli ingressi, si sono effettuate delle campagne di rilievo in corrispondenza delle ore di punta.

Nella rotatoria di San Gregorio sono stati scelti due periodi per il conteggio dei veicoli; la mattina dalle 8:00 alle 9:00 ed il pomeriggio dalle 17:00 alle 18:00. La rotatoria di via Nuovaluce presenta delle punte di traffico in momenti differenti della giornata. I periodi di analisi, pertanto, sono quello compreso tra le 8:00 e le 9:00 e l'altro dalle 13:00 alle 14:00. I giorni di ripresa, concentrati complessivamente nel mese di Ottobre 2000, sono stati scelti in modo da essere poco influenzati da eventi particolari o anomali. Non sono stati pertanto presi in esame i giorni festivi e quelli prefestivi; è stato scartato anche il Lunedì in quanto caratterizzato da condizioni anomale per quanto riguarda il traffico. E' stata infine adottata la suddivisione nelle tre componenti di traffico: autoveicoli, autocarri, motoveicoli.

### **3. PROPOSTA DI UNA PROCEDURA PER IL CALCOLO DELLA CAPACITÀ DELLE ENTRATE NELLE ROTATORIE**

Al fine di definire una metodologia per il calcolo della capacità degli ingressi delle rotatorie, si è pensato, in primo luogo, di approntare una procedura per la valutazione del flusso di saturazione per ogni ramo in ingresso. Si ricorda che il flusso di saturazione, in base alle indicazioni proposte dalla letteratura del settore, può essere definito come il numero massimo di veicoli che possono entrare nell'anello dal ramo quando non vi è nessun mezzo che ne ostacola la manovra. Nel caso delle rotatorie i veicoli in ingresso sono obbligati a dare la precedenza ai veicoli che circolano sull'anello pur venendo questi da sinistra. Il flusso circolante pertanto si comporta come un ostacolo al movimento dei veicoli in ingresso. Tale dinamica è, per certi versi, analoga a quella riscontrabile nelle intersezioni semaforizzate (dove l'ostacolo è costituito dall'indicatore di "rosso" sulla lanterna semaforica).

Se si considera l'ingresso sempre libero da questo ostacolo, i veicoli in entrata, se costituiscono un unico plotone, possono raggiungere un numero massimo all'interno di un'ora. Questo numero ovviamente diminuirà all'aumentare del numero di veicoli in circolo sull'anello. Il flusso di saturazione indica allora il massimo volume di traffico che si può prevedere in un determinato ramo, dipendente solamente dalle condizioni geometriche e non dalle condizioni di traffico.

La procedura per la definizione del flusso di saturazione parte dallo studio delle riprese effettuate presso le due rotatorie. È stato misurato in primo luogo l'intervallo tra due veicoli che si immettono consecutivamente nella rotatoria. È stata fatta attenzione affinché i veicoli

non fossero influenzati da altri veicoli e, a tal fine sono state scelte coppie di veicoli isolati o coppie di veicoli facenti parte di incolonnamenti di cui erano il quarto e il quinto mezzo in coda. Tale criterio è stato adottato in accordo con la procedura dell’H.C.M.(94) la quale suggerisce, per il rilievo “in situ” del flusso di saturazione delle intersezioni semaforizzate, di utilizzare il tempo di immissione nell’incrocio a partire dal quarto veicolo in coda, per evitare l’influenza degli ultimi veicoli delle altre manovre ed escludere la partenza dei veicoli da fermi.

Il flusso di saturazione può essere calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$S = \frac{3600}{t_m} \quad [1]$$

In questa,  $t_m$  è la media degli intervalli temporali (espressi in secondi) misurati tra due veicoli successivi all’ingresso. Per i due veicoli in ingresso l’intervallo è stato misurato a partire dall’istante in cui l’asse posteriore del primo veicolo è transitato sulla linea a terra nell’ingresso, all’istante in cui l’asse posteriore del secondo veicolo è passato sullo stesso punto. Per calcolare il tempo  $t_m$  sono state effettuate 10 misurazioni per ogni ramo della rotatoria; successivamente è stato calcolato un valore medio per ogni ingresso (tabella 1).

Entrata	Intervallo temporale medio [s]	
	Rotatoria di San Gregorio	Rotatoria di via Nuovaluce
A	2.7	1.6
B	1.7	2.5
C	2.0	1.9
D	1.9	2.4

Tabella 1 – Valore medio dell’intervallo temporale ( $t_m$ ) agli ingressi.

Con questi dati è possibile calcolare, utilizzando la [1], il flusso di saturazione di ogni entrata.

Il passaggio seguente è stato quello di porre in relazione il flusso di saturazione con le caratteristiche geometriche dell’intersezione (larghezza dell’entrata, larghezza dell’anello nella zona subito dopo l’ingresso, lunghezza del tronco di manovra che precede l’ingresso). Nella tabella 2 sono riportati i valori dei parametri suddetti.

	Ramo	Flusso di saturazione	Larghezza entrata	Larghezza anello	Lunghezza tronco di manovra
San Gregorio	A	1358 veic/h	4,1 m	6,2 m	14,2 m
	B	2130 veic/h	5,1 m	7,1 m	13,4 m
	C	1800 veic/h	3,5 m	8,2 m	13,2 m
	D	1946 veic/h	5,0 m	7,0 m	13,3 m
via Nuovaluce	A	2308 veic/h	4,7 m	12,3 m	25,0 m
	B	1446 veic/h	3,0 m	6,2 m	7,5 m
	C	1865 veic/h	5,9 m	6,0 m	21,0 m
	D	1488 veic/h	3,2 m	5,4 m	3,0 m

Tabella 2. Legame tra flusso di saturazione ed elementi geometrici delle mini-rotatorie.

I diagrammi delle figure 7, 8, e 9, riportano le curve di regressione che legano il flusso di saturazione con le grandezze geometriche caratteristiche delle due rotatorie analizzate.

Se indichiamo con S il flusso di saturazione, con  $L_e$  la larghezza dell'entrata, con  $L_a$  la larghezza dell'anello e con Z la lunghezza del tronco di manovra che precede l'entrata, è possibile esprimere nel seguente modo le tre funzioni che forniscono il legame tra il flusso di saturazione e gli altri parametri:

$$S = -119.57 \cdot L_e^2 + 1253.3 \cdot L_e - 1277.4 \quad [2]$$

$$S = -16.448 \cdot L_a^2 + 409.11 \cdot L_a - 248.12 \quad [3]$$

$$S = 0.5267 \cdot Z^2 + 19.077 \cdot Z + 1406.2 \quad [4]$$

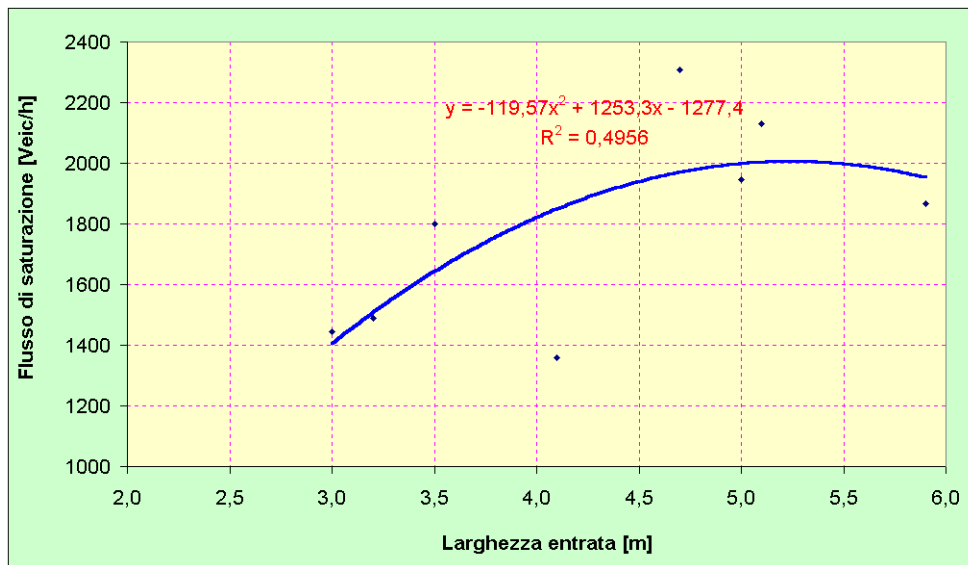


Figura 7 – Relazione tra flusso di saturazione (S) e larghezza degli ingressi della rotatoria ( $L_e$ ).

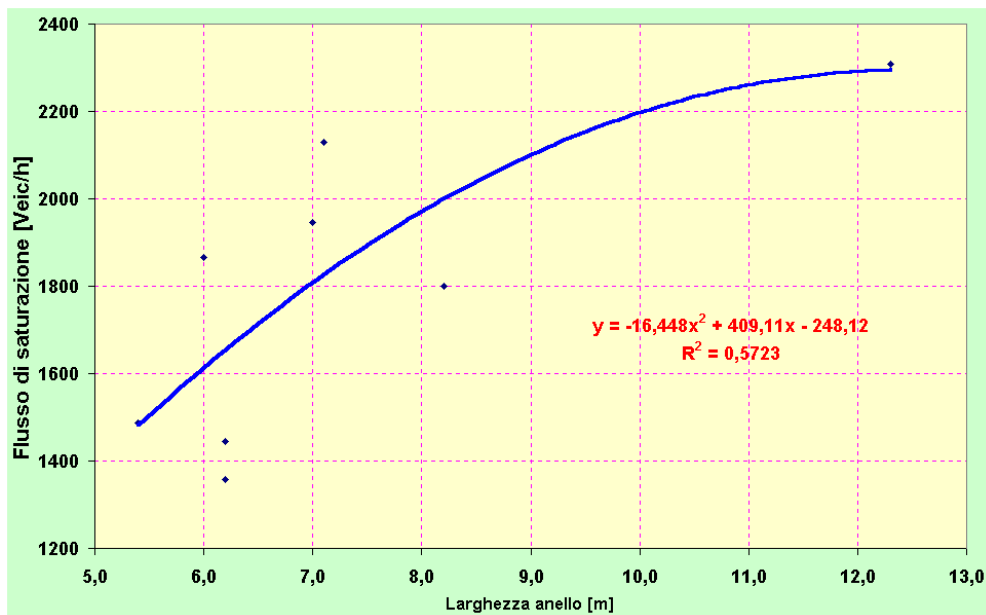


Figura 8 – Relazione tra flusso di saturazione (S) e larghezza dell'anello della rotatoria ( $L_a$ ).



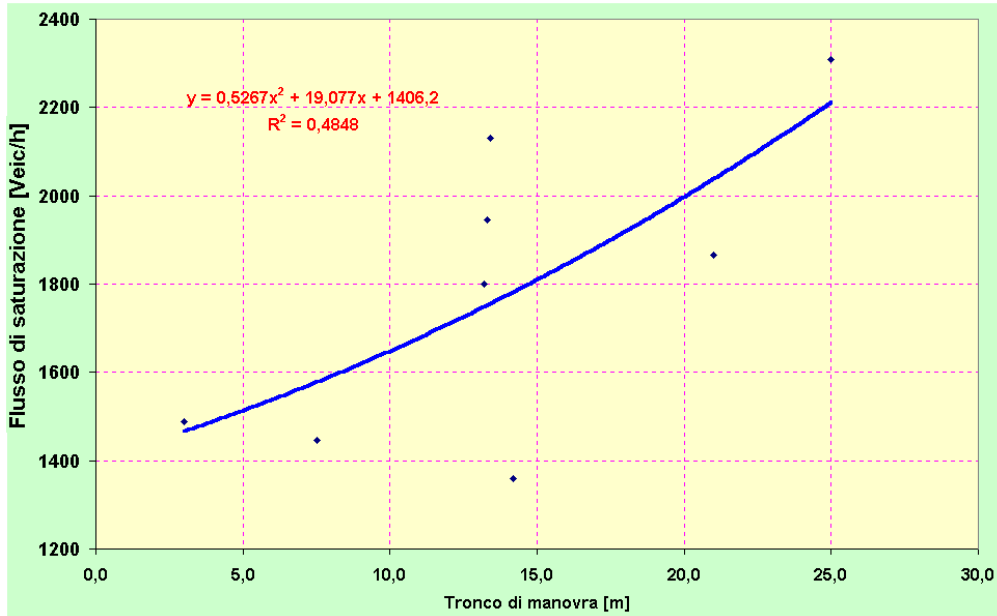


Figura 9 – Relazione tra flusso di saturazione (S) e lunghezza dei tronchi di manovra (Z).

Al variare delle caratteristiche geometriche varia quindi il flusso di saturazione. Si è pertanto scelto di adottare come valore complessivo del flusso di saturazione per ogni entrata, il valore medio del flusso ottenuto dalle tre precedenti relazioni, ovvero:

$$S = -39.86 \cdot L_e^2 - 5.48 \cdot L_a^2 + 0.18 \cdot Z^2 + 417.77 \cdot L_e + 136.37 \cdot L_a + 6.36 \cdot Z - 39.77 \quad [5]$$

Noto il flusso di saturazione, che dipende solo dalle caratteristiche geometriche delle rotatorie, occorre calcolare la relazione tra il flusso circolante ed il flusso in ingresso in ogni entrata. Ciò è utile in quanto, a parità di condizioni geometriche, il numero di veicoli che possono entrare in una rotatoria dipende dall'ostacolo che il flusso circolante vi oppone.

Da un punto di vista prettamente operativo, si è agito, sempre col supporto delle riprese video, rilevando, per ogni entrata, il numero dei veicoli in attesa di potersi immettere, in condizioni di coda continua ( $Q_{ec}$ ).

Per definire le condizioni di coda continua, si è proceduto individuando, di volta in volta, l'istante in cui si era formata una coda "stabile" formata da almeno 8 veicoli. Per ognuno di tali veicoli si è valutato il tempo ( $t_i$ ) impiegato per l'immissione sull'anello. Si è così definito il tempo medio di immissione nel seguente modo:

$$t_f = \frac{t_u}{n} \quad [6]$$

dove  $n$  è il numero di veicoli in coda e  $t_u = \sum_{i=1}^n t_i$

Il flusso in entrata ( $Q_{ec}$ ), nel periodo di riferimento di 1 ora, è così valutabile:

$$Q_{ec} = \frac{3600}{t_f} \quad [7]$$

Nello stesso intervallo di tempo sono stati poi conteggiati i veicoli transitanti davanti ad ogni ingresso, i quali rappresentano il cosiddetto flusso circolante ( $Q_c$ ).

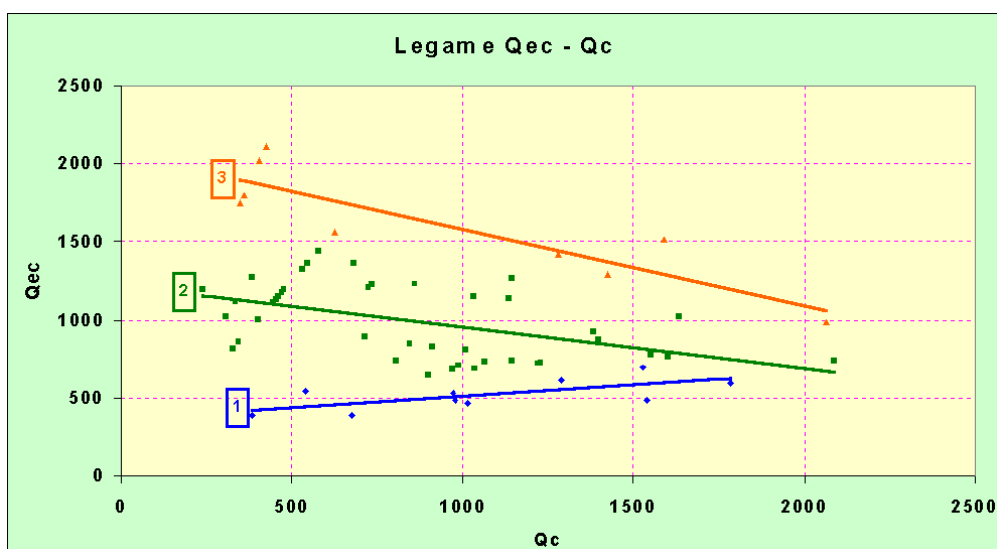


Figura 10 – Relazione tra il flusso in ingresso ( $Q_{ec}$ ) e quello in circolo sull'anello ( $Q_c$ ).

Il diagramma di figura 10, in cui vengono riportati i dati dedotti sperimentalmente per tutti gli ingressi delle 2 rotonde, consente di individuare tre raggruppamenti di punti indicativi di altrettante modalità di comportamento da parte degli utenti. In particolare:

- per valori del flusso in entrata ( $Q_{ec}$ ) minori di 650 veic/h, si ha che all'aumentare del flusso circolante ( $Q_c$ ) si incrementa anche  $Q_{ec}$ ;
- se il flusso in ingresso si incrementa ulteriormente (valori compresi tra 650 veic/h e 1100 veic/h), si ha che gli utenti in circolo sull'anello offrono un numero inferiore di intervalli possibili all'ingresso dei veicoli; ciò è evidenziato dall'andamento decrescente della curva di regressione;
- se il flusso in entrata è ancora più alto (maggiore di 1100 veic/h), si può individuare un terzo livello funzionale caratterizzato da una riduzione più "spinta" del flusso in ingresso all'aumentare del flusso circolante sull'anello; in questo caso la curva di regressione risulta avere una pendenza maggiormente accentuata rispetto al livello descritto al punto precedente.

Per le rette di regressione 1, 2 e 3, le equazioni che ne descrivono l'andamento sono rispettivamente:

$$1) Q_{ec} = 0.1458 * Q_c + 362.57 \quad [8]$$

$$2) Q_{ec} = -0.2677 * Q_c + 1219.2 \quad [9]$$

$$3) Q_{ec} = -0.4876 * Q_c + 2069.2 \quad [10]$$

Noti i legami tra il flusso entrante e quello circolante è stato possibile definire la capacità di un ingresso (C) tramite il prodotto tra il flusso di saturazione ed il rapporto tra i flussi in ingresso ( $Q_{ec}$ ) ed in circolo sull'anello ( $Q_c$ ); cioè:

$$C = S \cdot \frac{Q_{ec}}{Q_c} \quad [11]$$

In definitiva, tramite l'utilizzo della metodologia elaborata, è possibile proporre una procedura per la verifica del funzionamento delle mini-rotonde esistenti, utile anche per valutare la necessità di eseguire eventuali interventi di ammodernamento e/o riqualificazione.

In sintesi, note le caratteristiche geometriche della rotatoria ( $L_e$ ,  $L_a$ ,  $Z$ ), si valuta in primo luogo (tramite la [5]) il flusso di saturazione ( $S$ ). I valori del flusso circolante di fronte agli ingressi permettono poi, per mezzo delle equazioni [8], [9] e [10], di calcolare il flusso  $Q_{ec}$  in condizioni di coda continua. Infine, tramite la [11], è possibile valutare la capacità di ogni ingresso. Il rapporto tra il valore effettivo del flusso entrante ed il valore della capacità fornisce poi un parametro indicatore del grado di efficienza degli ingressi e, conseguentemente, del livello di funzionalità della mini-rotatoria nel suo complesso.

I valori del rapporto  $Q_e/Q_{ec}$  prossimi o addirittura superiori all'unità risultano indicativi di condizioni operative di congestione. E' opportuno notare in proposito che le situazioni di congestione inducono spesso nei conducenti comportamenti anomali che, traducendosi generalmente nell'accettazione di livelli di rischio elevati, possono degenerare in eventi sinistrosi proprio in corrispondenza degli ingressi (così come confermano i dati di incidentalità riportati all'inizio del presente studio).

#### 4. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente studio, partendo da rilievi condotti sperimentalmente presso due mini-rotatorie presenti in ambito urbano, si è giunti alla formulazione di una procedura per il calcolo della capacità dei rami d'ingresso.

E' opportuno rilevare che esiste in letteratura (principalmente internazionale) una serie di relazioni che permettono di calcolare la capacità degli ingressi; tra queste ricordiamo le formulazioni di Brilon (Germania), quella del CETUR (Francia) e quelle svizzere di Bovy e di Emch/Berger. Si tratta di relazioni empiriche che legano la capacità delle entrate a parametri analoghi a quelli introdotti nella nostra relazione, ma che hanno un campo di applicabilità dichiaratamente legato a rotatorie di diametro maggiore rispetto a quelli che caratterizzano le mini-rotatorie.

Si rimandano i lettori ad uno studio di prossima pubblicazione da parte di questo stesso gruppo di ricerca, per un confronto tra le formulazioni suddette e quella proposta nella presente memoria, nonché per un approfondimento sulle questioni relative alle prestazioni funzionali delle rotatorie di diametro maggiore.

In questo contesto si vuole infine ribadire come le condizioni di flusso veicolare vicine alla congestione, potendo evolversi in pericolosi incrementi del rischio accettato da parte degli utenti, richiedono senz'altro ulteriori approfondimenti da parte dei ricercatori del settore anche al fine di meglio caratterizzare le situazioni limite, in termini di traffico veicolare, a cui possono attingere i diversi elementi geometrici che compongono gli schemi di intersezione "a rotatoria".

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] AA. VV. **Highway Capacity Manual**. Special Report 209 (Ed. Transportation Research Board, 1994).
- [2] **Dossier Rotatorie** – Ricerca di Ateneo – Area Trasporti 1998/2000 – DIAP, Politecnico di Milano
- [3] R. Henson, D. Lowe, D. T. Overton. **Right-turn priority overlap stages: a comparison of techniques** – Traffic Engineering + Control – n. 33/1 – Gennaio 1992.
- [4] R. Mauro, T. Esposito. **Sintesi delle comunicazioni per il seminario di formazione tecnica "Rotatorie"** – Urbani 24 febbraio 1999 – Pubblicazione edita da "Padova fiere".
- [5] R. Mauro. **Su alcune recenti acquisizioni in tema di incroci a rotatoria** – Trasporti e trazione – Febbraio 1995.

- [6] R. Mauro, M. Chinni. **Il comportamento degli utenti in intersezioni a raso del tipo a rotatoria** –Convegno di Pisa, 29-30 ottobre 1997.
- [7] E. A. A. Shawaly, C. W. W. Li, R. Ashworth. **Effects of entry signals on the capacity of roundabouts entries. A case-study of Moore Street roundabouts in Sheffield** – Traffic Engineering + Control – n. 32/6 – Giugno 1991.
- [8] W. C. K. O. Yee, M. G. Bell. **The impact of accidents and driver behaviour of concentric lane-markings in small roundabouts** – Traffic Engineering + Control – n. 27/5 – Maggio 1986.