

PROPOSTA DI UNA METODOLOGIA PER IL CALCOLO DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLE MINI-ROTATORIE IN AMBITO URBANO

Sascia Canale - Salvatore Leonardi - Giuseppina Pappalardo

1. PREMESSE

Le intersezioni rappresentano dei punti singolari per le reti viarie, siano esse interne alle città o ubicate all'esterno su itinerari di collegamento. In esse confluiscono le strade appartenenti a contesti viari differenti: si concentrano, dunque, i conflitti tra i movimenti del traffico veicolare, pedonale e su due ruote.

In funzione delle velocità operative e dell'entità dei flussi pedonali, è necessario prevedere una serie di interventi (sulla geometria, sulla regolazione e sul controllo) al fine di garantire un certo livello di servizio inteso, nella definizione più ampia, come un parametro indicatore delle prestazioni, in termini di sicurezza e di comfort, offerte agli utenti.

In base all'importanza gerarchica degli itinerari, all'entità dei flussi ed alla disponibilità di spazio, si possono attuare tre tipologie di interventi per regolare le intersezioni:

- interventi di disciplina di circolazione (segnali di dare precedenza o di obbligo all'arresto);
- installazione di impianti semaforici (a ciclo fisso, o a ciclo dinamicamente generato, parzialmente o totalmente, in funzione del traffico);
- introduzione di modificazioni radicali della geometria, realizzando per esempio su un unico livello una rotatoria o separando su più livelli le correnti di traffico con diverse tipologie di svincoli.

Attualmente, in ambito urbano, le intersezioni a circolazione rotatoria costituiscono una delle soluzioni più invocate ed adottate a fronte dei problemi delle intersezioni stradali; ciò ha portato, come conseguenza, a discussioni e contrasti sul loro effettivo valore sia come dispositivi di regolazione del traffico sia come elementi di sistemazione urbanistica. Le motivazioni del successo risiedono in una miscelanea di fattori:

- identificazione del luogo;
- moderazione della velocità;
- miglioramento della sicurezza;
- riduzione del rumore;

- facilità dei movimenti tra rami con gerarchia diversa ed aumento potenziale del numero di rami gestibili;
- flessibilità di itinerario e possibilità di inversione di marcia;
- semplificazione della segnaletica e riduzione dei semafori;
- economia di gestione rispetto a semafori regolati dinamicamente o al controllo manuale delle ore di punta.

Le argomentazioni contrarie sono legate in parte alla geometria del sito, ma soprattutto all'impossibilità di imporre una certa direzione del traffico o di privilegiare i trasporti pubblici.

In tale contesto, ulteriori perplessità si manifestano nei confronti delle cosiddette mini – rotatorie, ovvero quelle intersezioni che offrono la possibilità di una circolazione rotatoria senza però garantire la presenza di zone di scambio.

Nell'ambito del presente studio, si intende proporre una metodologia di indagine che consenta la valutazione del livello di servizio delle mini – rotatorie. Si sottolinea il fatto che, per la definizione dei livelli di servizio, si farà riferimento al concetto di ritardo subito dagli utenti nell'attraversamento di un'intersezione; trattasi, dunque, di un approccio tradizionale, avallato da altri studi del settore (basti pensare alle procedure proposte dall'Highway Capacity Manual per la valutazione del livello di funzionalità sia delle intersezioni regolate dal segnale di stop, sia di quelle regolamentate a mezzo di lanterne semaforiche).

Partendo poi dalla consapevolezza che, a causa dell'assenza di vere e proprie zone di scambio, il "funzionamento" delle mini – rotatorie è condizionato dai ritardi cumulati dagli utenti accodati prima di immettersi nella corona giratoria per effetto del "blocco" indotto dai veicoli in transito sull'anello, si è adottata una procedura di tipo teorico – sperimentale. L'approccio teorico si riferisce all'applicazione della teoria delle code, mentre l'apporto sperimentale consiste nella deduzione di una

legge empirica a partire dai rilievi di ritardo condotti presso due mini – rotatorie ubicate nel tessuto urbano della città di Catania.

In ultimo, si vuole mettere in evidenza come il presente gruppo di ricerca, dopo aver proposto, in uno studio precedente (S. Canale, S. Leonardi, G. Pappalardo – “Mini-rotatorie urbane: ingressi a rischio” – Onda Verde – Novembre/Dicembre 2001), una procedura per il calcolo della capacità delle mini – rotatorie, intenda giungere, in tempi non troppo lontani, all’individuazione ed alla quantificazione di quei parametri utili a definire i criteri che determinano la scelta di una delle possibili soluzioni progettuali (intersezioni regolate dal segnale di stop o dal dare precedenza, incroci semaforizzati, svincoli a circolazione rotatoria, intersezioni a livelli sfalsati). In tale contesto, l’applicazione della metodologia proposta ad alcune mini – rotatorie in progetto sulla circonvallazione di Catania (in sostituzione di altrettante intersezioni semaforizzate), risulterà di estrema utilità per valutare la reale efficacia degli interventi ipotizzati e, nel contempo, fungerà da stimolo verso la ricerca di criteri di progettazione di validità generale.

2. LE MINI-ROTATORIE: UNA PECULIARITÀ DELL’AMBITO URBANO

L’utilizzo di una mini-rotatoria, per ragioni di sicurezza, è riservato esclusivamente al centro urbano, che è caratterizzato da una velocità di transito ridotta (30 o 50 km/h), un’attenzione maggiore e una buona visibilità notturna.

Lo spazio disponibile non deve permettere di inserire un disco di raggio superiore a 17-18 metri (altrimenti si tratta di una rotatoria “grande”); il raggio della rotatoria, inoltre, non dovrà essere inferiore a 7 metri.

In particolare è possibile riferirsi a 3 possibili schemi di mini-rotatoria, ovvero:

- **Mini-rotatoria 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 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.

- **Mini-rotatoria compatta** (diametro esterno da 24 a 35 metri). Caratterizzata da un diametro esterno minimo di 24 metri e da un’isola centrale non sormontabile che raccorda rami distribuiti in maniera pressoché simmetrica intorno all’anello. Se alcuni rami della mini-rotatoria formano angoli acuti oppure sono in numero maggiore di quattro, saranno necessari diametri maggiori; in particolare, un diametro esterno compreso tra 28 e 35 metri è idoneo per rotatorie di cinque o sei rami.

Affinché una mini-rotatoria sia ben percepita e compresa, è necessario rispettare un certo numero di indicazioni riguardanti le caratteristiche geometriche (Fig. 1).

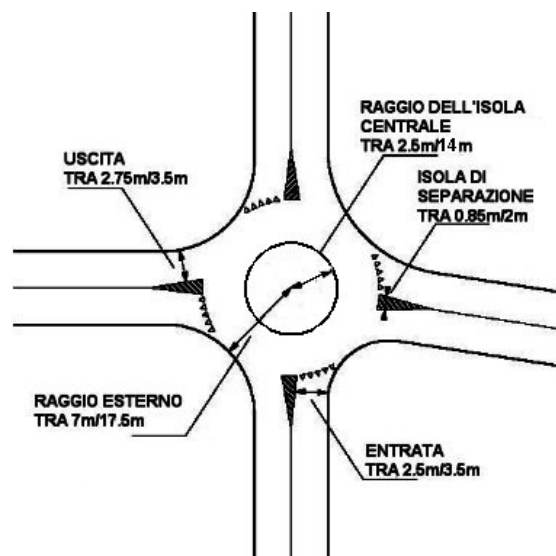


Figura 1 – Dimensioni principali di una mini-rotatoria.

La sopraelevazione dell’isola centrale, al centro, è limitata a 15 cm. In presenza di autobus circolanti sopra l’isola, questa non dovrà superare i 12 cm.

Le mini-rotatorie permettono di approfittare, seppure in un piccolo spazio, dei **vantaggi** dell’incrocio rotatorio “classico”:

- bassi valori della velocità, soprattutto sui bracci originariamente principali, con conseguente guadagno in termini di sicurezza;
- tempi di attesa e tempi medi di fermata sensibilmente ridotti;

- basse emissioni degli inquinanti prodotti dai gas di scarico;
- possibilità di inversioni di marcia;
- buona percezione visiva della dinamica del moto (la circolazione rotatoria, dando la priorità all'anello, cioè la precedenza agli automobilisti che vengono da sinistra, offre un miglior campo di visibilità all'utente);
- pochi problemi di manutenzione (salvo quella dell'isola centrale valicabile);
- bassi costi di realizzazione.

Si constatano i seguenti **inconvenienti**:

- precedenza a destra, lasciata da un piccolo numero di utenti, con conseguente scadimento della qualità della circolazione;
- rifiuto di cedere la precedenza in entrata (è un evento non troppo frequente e che comunque avviene a bassa velocità);
- circolazione a sinistra o sopra l'isola centrale da parte dei veicoli leggeri nella svolta a sinistra (fenomeno particolarmente accentuato quando l'angolo fra due bracci successivi è troppo piccolo).

In virtù delle osservazioni svolte fino a questo punto, appare chiaro come possano esistere dei contesti urbani in cui la realizzazione di una mini-rotatoria è auspicabile, ed altri in cui, un incrocio di questo tipo, oltre a non apportare significativi miglioramenti globali, potrebbe addirittura tradursi nel peggioramento delle condizioni di circolazione e di sicurezza rispetto ad un'altra soluzione progettuale (intersezione a raso tradizionale o semaforizzata).

In generale si può affermare che, nel caso delle mini-rotatorie, gli ambiti d'intervento da privilegiare sono i seguenti:

- incroci secondari di una zona limitata a 50 km/h, o incroci importanti di una zona 30;
- intersezioni a 3 o a 4 bracci come numero massimo;
- bracci disposti in modo regolare attorno all'anello.

Viceversa, la realizzazione delle rotatorie di piccolo raggio è sconsigliata nei seguenti contesti:

- incroci importanti che permettono la transizione fra due categorie di strade ben distinte (ad es. in corrispondenza dell'ingresso alla città);
- strade con più di due corsie;
- traffico totale entrante superiore a 1800 veicoli/ora;

- angolo fra due bracci successivi inferiore a 70° (rischio di passare a sinistra dell'isola per la svolta a sinistra);
- forte traffico di mezzi pesanti o di trasporti collettivi.

Nei casi intermedi tra quelli da privilegiare e quelli sconsigliati, occorre ponderare con attenzione la possibilità di realizzare un intervento progettuale che, già da subito, potrebbe incidere sia la funzionalità che la sicurezza dell'intersezione medesima.

3. IL CONCETTO DI RITARDO PER L'ATTRAVERSAMENTO DEGLI INCROCI

La valutazione del tempo di attraversamento di un'intersezione richiede, in primo luogo, l'analisi delle diverse fasi in cui si svolge tale processo. Ad ognuna di tali fasi è possibile associare una quota parte del ritardo complessivo per l'attraversamento. In particolare, si possono distinguere quattro intervalli temporali:

- **ritardo di approccio**: il guidatore rallenta in prossimità dell'incrocio con un'altra direttrice di marcia. Tale ritardo è definito dalla differenza tra il tempo impiegato dai veicoli per percorrere una distanza prefissata da un punto a monte dell'intersezione alla linea di arresto e il tempo necessario a percorrere la stessa distanza alla velocità di flusso libero (v_f). Con riferimento alla figura 2, si ha:

$$r_a = (t_4 - t_1) - \frac{L_4 - L_1}{v_f}$$

- **ritardo di fermata**: in certi casi, il guidatore deve, prima di attraversare l'intersezione, fermarsi ed aspettare il proprio turno. Ciò accade sia nel caso di intersezioni semaforizzate (in questo caso le indicazioni provengono dalle lanterne semaforiche), che nel caso di intersezioni regolate dal segnale di stop o di dare precedenza (nel primo caso c'è l'obbligo di fermata, nel secondo bisogna valutare il momento per l'attraversamento in relazione alla presenza di altri veicoli che godono del diritto di precedenza). Il ritardo di fermata è proprio l'intervallo di tempo durante il quale un veicolo rimane fermo all'intersezione; esso si può così esprimere: $r_f = t_3 - t_2$

- **ritardo di controllo**: è tipico delle intersezioni semaforizzate e comprende il ritardo dovuto alle fasi di decelerazione, di fermata e di accelerazione. È dato dalla differenza tra il tempo che intercorre tra

l'inizio della fase di decelerazione e la fine della fase di accelerazione ed il tempo impiegato a percorrere la stessa distanza alla velocità di flusso libero (v_f). Riferendoci sempre alla figura 2, possiamo scrivere:

$$r_c = (t_5 - t_1) - \frac{L_5 - L_1}{v_f}$$

- **ritardo all'avvio (tempo perso):** l'utente riprende il moto accelerando più o meno rapidamente. Nel

caso delle intersezioni semaforizzate, per la valutazione di tale ritardo, esiste la formulazione di Webster. In ogni caso, si tratta di un parametro la cui determinazione è necessaria per mettere in conto quei parametri direttamente o indirettamente collegati con il comportamento del guidatore.

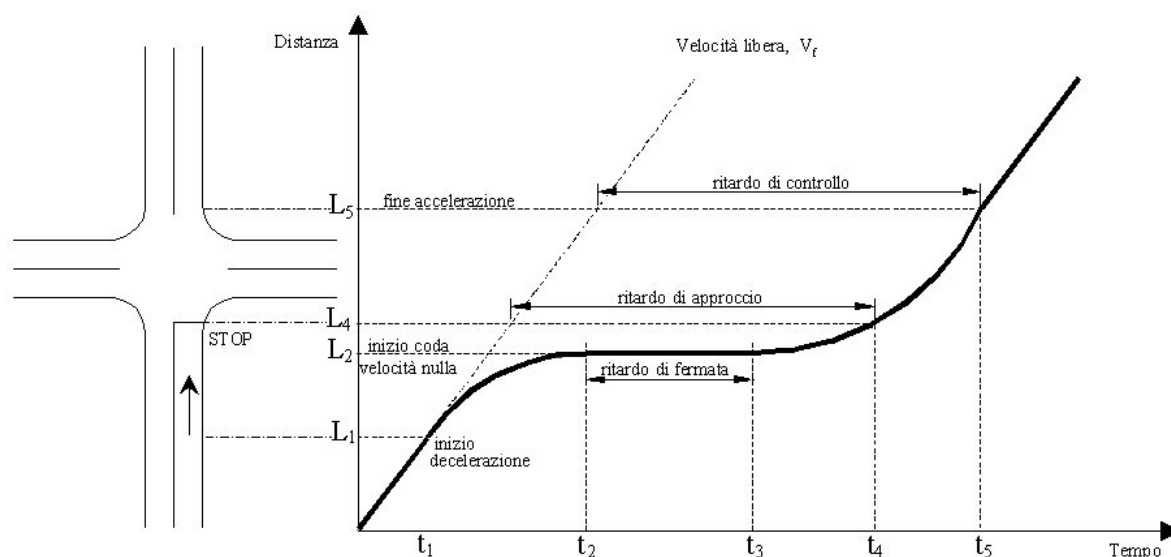


Figura 2 – Schema dei ritardi accumulati dall'utente nelle fasi di attraversamento di un incrocio.

E' importante notare come l'entità del ritardo accumulato nelle varie fasi dell'attraversamento sia considerato, in letteratura, come un indicatore attendibile del livello di servizio offerto dalle intersezioni. La stessa metodologia fornita dall'Highway Capacity Manual per la determinazione del livello di servizio, sia nel caso delle intersezioni non semaforizzate che in quello degli incroci regolati semaforicamente, si basa proprio sulla determinazione del ritardo cumulato. A tal proposito, occorre poi sottolineare come, a differenza di altre procedure dell'HCM, per le quali i concetti di livello di servizio e di capacità sono strettamente correlati, nel caso della valutazione delle prestazioni delle intersezioni, il manuale americano differenzi esplicitamente i due parametri, associando il livello di servizio al ritardo di attraversamento, e la capacità al massimo flusso che può essere servito dall'intersezione (in termini di possibilità di attraversamento o di esecuzione di manovre di svolta) sotto determinate condizioni operative. Si possono pertanto manifestare situazioni in cui, in corrispondenza di condizioni di saturazione, si abbiano livelli di servizio accettabili, e, viceversa, situazioni per cui, a fronte di ritardi inaccetta-

bili, le condizioni di deflusso avvengano ben al di sotto del limite definito dal valore della capacità.

3.1. Livello di servizio per le intersezioni semaforizzate

In base all'Highway Capacity Manual, il livello di servizio per le intersezioni semaforizzate è definito in termini di ritardo, che è la misura del disagio e della frustrazione del guidatore, del consumo del carburante e del tempo di viaggio perso. In particolare il LOS è misurato in termini di ritardo medio di fermata per veicolo per un periodo di 15 minuti. Si tratta sostanzialmente del tempo medio di stazionamento di un veicolo all'incrocio.

La valutazione del ritardo è una misura complessa e dipende da un numero di variabili che comprendono:

- la qualità della progressione;
- la lunghezza del ciclo;
- il rapporto tra flusso e capacità per un dato gruppo di corsie.

Vengono di seguito descritte sinteticamente le peculiarità di ciascun livello di servizio (Tab. 1):

Livello di servizio	Ritardo medio totale (secondi/veicolo)
A	≤ 5.0
B	>5.0 e ≤ 15.0
C	>15.0 e ≤ 25.0
D	>25.0 e ≤ 40.0
E	>40.0 e ≤ 60.0
F	> 60.0

Tabella 1 – Livelli di servizio per le intersezioni semaforizzate in base all'Highway Capacity Manual.

- LOS A: è rappresentativo di un ritardo molto breve, al di sotto dei 5 secondi per veicolo. Questo livello di servizio si ha quando la progressione è estremamente “favorevole” e la maggior parte di veicoli arrivano durante la fase di verde. Molti veicoli non si fermano del tutto. Si è constatato che un ciclo semaforico di breve durata può contribuire ad una riduzione significativa del ritardo.
 - LOS B: descrive operazioni caratterizzate da ritardi compresi tra 5 e 15 secondi. Questo livello generalmente comporta una “buona” progressione, brevi lunghezze di ciclo o entrambi. I veicoli che stazionano all'incrocio sono in numero maggiore rispetto al LOS A; di conseguenza i ritardi sono più elevati.
 - LOS C: è indicativo di ritardi compresi tra 15 e 25 secondi per veicolo. Questi ritardi più elevati possono essere indotti da una progressione “discreta”, da lunghezze del ciclo più elevate o da una combinazione di entrambe le situazioni. Già in corrispondenza di questo livello di servizio si possono manifestare i primi “sintomi” di insufficienza dei singoli cicli semaforici. Il numero di veicoli che stazionano all'intersezione è significativo, anche se molti veicoli attraversano l'intersezione senza fermarsi.
 - LOS D: i ritardi associati a questo livello di servizio sono compresi tra 25 e 40 secondi per veicolo. Si manifestano evidenti fenomeni di congestione. Tali ritardi sono dovuti alla concomitanza di uno o più eventi svantaggiosi (progressioni “sfavorevoli”, lunghezze elevate del ciclo, alti rapporti v/c). Molti veicoli stazionano all'incrocio e la porzione di quelli che non si fermano diminuisce sensibilmente.
 - LOS E: descrive operazioni con ritardi compresi tra 40 e 60 secondi per veicolo. Questo livello è considerato da molti esperti come indicativo del ritardo limite accettabile. Si tratta comunque di ritardi elevati, generalmente associati ad una progressione “insufficiente”, a lunghezze di ciclo elevate ed a grandi rapporti v/c.
 - LOS F: descrive operazioni con ritardi maggiori di 60 secondi per veicolo. Questo livello, indicativo di condizioni di sovrassaturazione (ovvero la situazione per cui i flussi in arrivo eccedono la capacità dell'intersezione) è ritenuto inaccettabile per molti guidatori. Tali condizioni operative possono verificarsi per la concomitanza di uno o più dei seguenti eventi: rapporti v/c maggiori di 1.0, progressione “insufficiente”, elevata lunghezza del ciclo semaforico.
- Il ritardo medio di fermata in base alle indicazioni dell'HCM, che costituiscono a loro volta un'applicazione della formula del ritardo proposta da Webster, è dato da:
- $$d = (d_1 \cdot DF) + d_2$$
- $$d_1 = 0.38 \cdot C \cdot \frac{\left[1 - \left(\frac{g}{C}\right)\right]^2}{\left\{1 - \left(\frac{g}{C}\right) \cdot [\min(X, 1.0)]\right\}}$$
- $$d_2 = 173 \cdot X^2 \cdot \left\{(X-1) + \sqrt{\left[(X-1)^2 + \frac{m \cdot X}{c}\right]}\right\}$$
- dove:
- ♦ d è il ritardo di fermata [sec/veic];
 - ♦ d₁ è il ritardo uniforme [sec/veic];
 - ♦ d₂ è il ritardo incrementale, [sec/veic];
 - ♦ DF è un fattore di correzione del ritardo che mette in conto la qualità della progressione e il tipo di controllo;
 - ♦ X è il rapporto v/c per il gruppo di corsie;
 - ♦ C è la lunghezza del ciclo [sec];
 - ♦ c è la capacità del gruppo di corsie [veic/h];
 - ♦ g è il tempo di verde effettivo per il gruppo di corsie, [sec];
 - ♦ m è un fattore di calibrazione del ritardo incrementale.

3.2. Livello di servizio per le intersezioni non semaforizzate

I valori limite del ritardo nel caso delle intersezioni non semaforizzate, in base all'Highway Capacity Manual, so-

no riassunti nella tabella 2. Si ribadisce come, analogamente al caso delle intersezioni regolate semaforicamente, il livello di servizio sia direttamente associato al ritardo.

Livello di servizio	Ritardo medio totale (secondi/veicolo)
A	≤ 5.0
B	>5.0 e ≤ 10.0
C	>10.0 e ≤ 20.0
D	>20.0 e ≤ 30.0
E	>30.0 e ≤ 45.0
F	>45.0

Tabella 2 – Livelli di servizio per le intersezioni non semaforizzate in base all'Highway Capacity Manual.

Il ritardo complessivo è definito come il tempo totale intercorso da quando un veicolo è fermo alla fine della coda fino al momento in cui esso stesso riparte dalla linea di stop; questo tempo include il tempo richiesto dal veicolo per muoversi dalla posizione di ultimo in coda alla posizione di primo in coda. Il ritardo totale medio per una particolare manovra secondaria è una funzione della capacità del ramo e del grado di saturazione.

Per un periodo d'analisi di 15 minuti, una stima del ritardo medio totale è data dalla seguente formula:

$$D = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900 \cdot T \cdot \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \cdot \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{450 \cdot T}} \right]$$

dove:

- D è il ritardo medio totale [sec/veic];
- V_x è il volume per la manovra x, espresso come flusso orario;
- $C_{m,x}$ è la capacità per la manovra x, espressa come flusso orario;
- T è il periodo d'analisi (ora) (per un periodo di 15 minuti, si utilizza il valore di T pari a 0.25).

Questa equazione è rappresentata graficamente in un abaco (Fig. 3), in cui il tempo medio di attesa è valutabile in funzione del flusso che desidera effettuare una certa manovra e della capacità offerta per quella manovra (periodo d'analisi di 15 minuti).

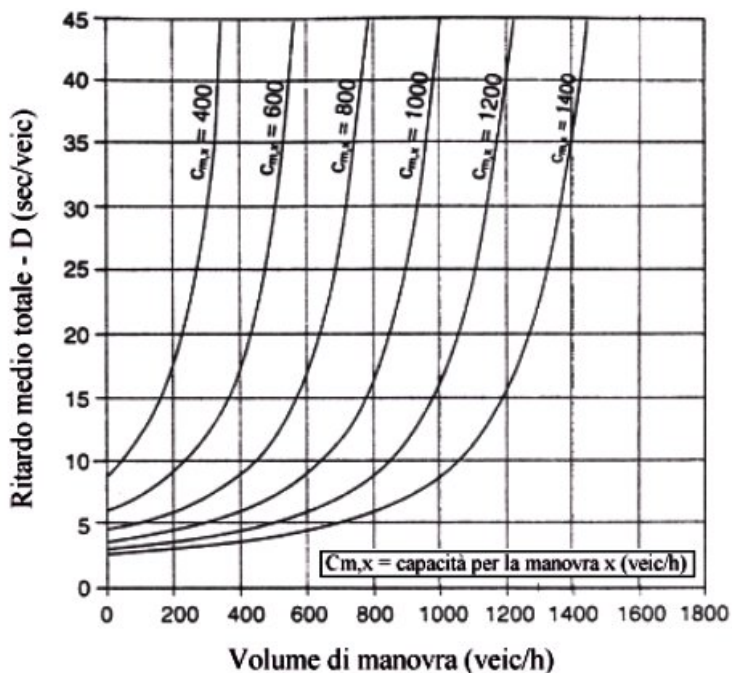


Figura 3 – Abaco per il calcolo del tempo medio di attesa (D) in funzione del flusso di manovra e della capacità offerta per ogni manovra (periodo d'analisi = 15 minuti).

4. DEFINIZIONE DI UNA PROCEDURA PER IL CALCOLO DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLE MINI-ROTATORIE

Non esistono in letteratura delle procedure standardizzate per il calcolo del livello di servizio delle rotatorie di piccolo raggio. Lo stesso HCM, nell'edizione del 2000, pur introducendo per la prima volta una metodologia per la deduzione della capacità delle rotatorie (cap. 17, parte C), non fornisce indicazioni specifiche per la valutazione del ritardo complessivo di attraversamento.

Obiettivo del presente contributo è proprio quello di approntare una procedura per il calcolo del ritardo di attraversamento nel caso delle mini-intersezioni a circolazione rotatoria. A tal fine ci serviremo di due tipi di approccio:

- un approccio teorico, fondato sulla teoria delle code;
- un approccio empirico, basato su una serie di rilievi sperimentali condotti presso alcune rotatorie di pic-

colo raggio appartenenti al tessuto urbano della città di Catania.

4.1. Approccio teorico: il modello comportamentale degli utenti in immissione

Al fine di comprendere meglio le considerazioni che verranno svolte in appresso, occorre preliminarmente prendere in esame il modello comportamentale relativo all'immissione in rotatoria da parte degli utenti.

Nella figura 4 è rappresentato un caso tipico di approccio dei veicoli ad una mini-rotatoria. Si può vedere come, ad ogni ingresso di un veicolo nella rotatoria, corrisponda una fase preliminare in cui ciascun veicolo è costretto a fermarsi, anche più volte consecutivamente, per effetto della presenza dei veicoli in coda che lo precedono. Il ritardo di fermata dipende dal flusso circolante sull'anello e dal gap accettato dai guidatori. In particolare possiamo far riferimento alla schematizzazione riportata in figura 5.

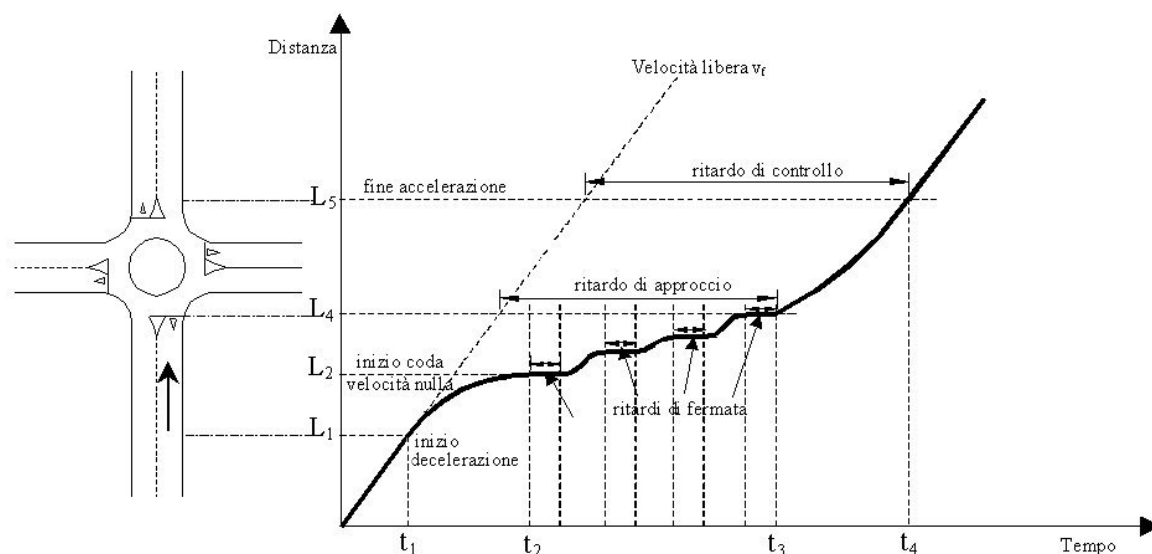


Figura 4 – Schema dei ritardi accumulati dall'utente nelle fasi di attraversamento di una rotatoria.

Consideriamo un veicolo (B) che, giunto all'ingresso della corona giratoria, si arresti in attesa di immettersi in circolo. Affinché il veicolo (C) in marcia sull'anello e che segue quello in immissione non sia costretto da questo a rallentare (o a spostarsi sulla corsia interna, nel caso di rotatorie a due corsie), è necessario che, nell'istante in cui il veicolo B, ripartito con velocità nulla dall'estremità del braccio di immissione, ha raggiunto quello che lo segue sulla corona giratoria, questo si trovi ad una distanza pari ad almeno quella di sicurezza (d_s).

Si definisce intervallo critico il più piccolo intervallo temporale (T) tra due veicoli circolanti sull'anello che consente un'immissione ideale. Chiamiamo, quindi, d_T (distanza critica) la distanza spaziale associata al gap T . Con riferimento sempre alla figura 5, indichiamo con $t=0$ l'istante in cui il veicolo B sul ramo d'approccio è contrastato, nell'immissione, dal veicolo A in circolo sulla rotatoria e riteniamo che esso, all'istante δ , inizi a muoversi con moto uniformemente accelerato di accelerazione a . In queste condizioni, il veicolo in immissione avrà raggiunto la velocità v (in m/s) della corrente in moto

sull'anello, all'istante $t = t^*$, dopo aver percorso uno spazio:

$$s_B = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t^*)^2$$

In questo stesso tempo un altro veicolo C, marciante sulla corona giratoria, si sarà portato alla distanza di sicurezza $s_c = d_s = v \cdot \delta$ dal veicolo B.

Sempre all'istante $t = t^*$, il veicolo A che era partito δ secondi prima rispetto al veicolo fermo al termine del brac-

cio di ingresso, avrà percorso una distanza complessiva pari a:

$$s_A = d_s + v \cdot t^* = v \cdot \delta + v \cdot t^* = v \cdot (\delta + t^*)$$

La distanza critica sarà pertanto data da:

$$d_T = s_A + s_C - s_B \quad [1]$$

Conseguentemente, l'intervallo critico è dato dalla seguente relazione:

$$T = \frac{s_A + s_C - s_B}{v} \quad [2]$$

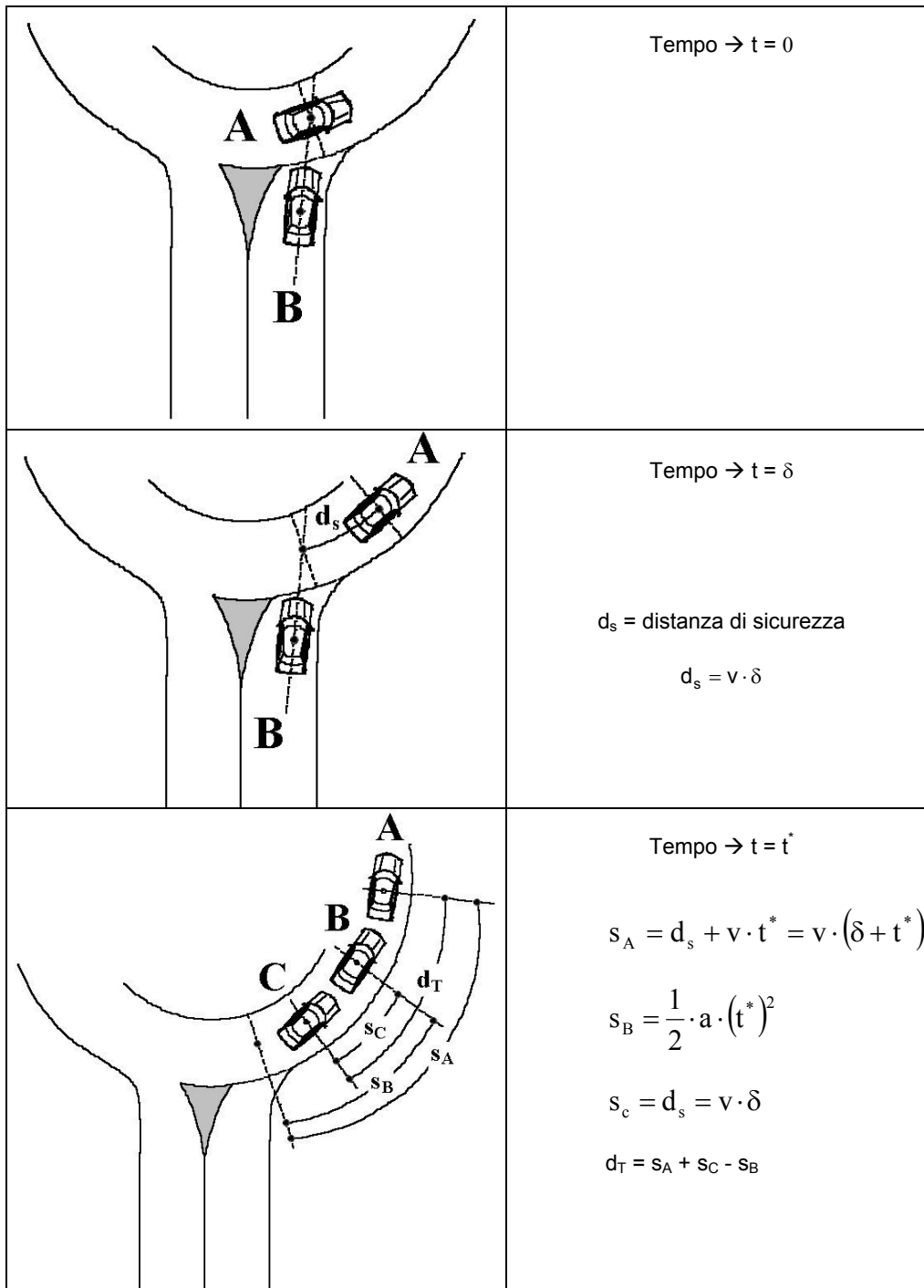


Figura 5 – Schematizzazione della manovra di immissione sulla corona giratoria da parte del primo veicolo della coda presente sul ramo d'approccio.

Un altro parametro importante per la caratterizzazione della manovra di immissione in circolo da parte dei veicoli in testa alla coda è il cosiddetto tempo di servizio (t_s), definito come l'intervallo di tempo che trascorre mentre l'utente che è alla testa della coda viene "servito". Consideriamo un veicolo che, giunto alla fine del ramo di immissione, intende immettersi nella corona giratoria; prima che esso possa eseguire la sua manovra trascorre un tempo uguale alla somma degli intervalli

temporali tra i veicoli marcianti nella strada principale: questa somma rappresenta il tempo di servizio, che è nullo solo se il primo intervallo che si presenta al veicolo in attesa è uguale o superiore all'intervallo critico.

Nella figura 6 è rappresentato un esempio degli intervalli temporali che contribuiscono alla definizione del tempo di servizio. In tale esempio il valore di t_s è dato dal contributo dei due intervalli temporali (t_1 e t_2) singolarmente inferiori al gap critico (T).

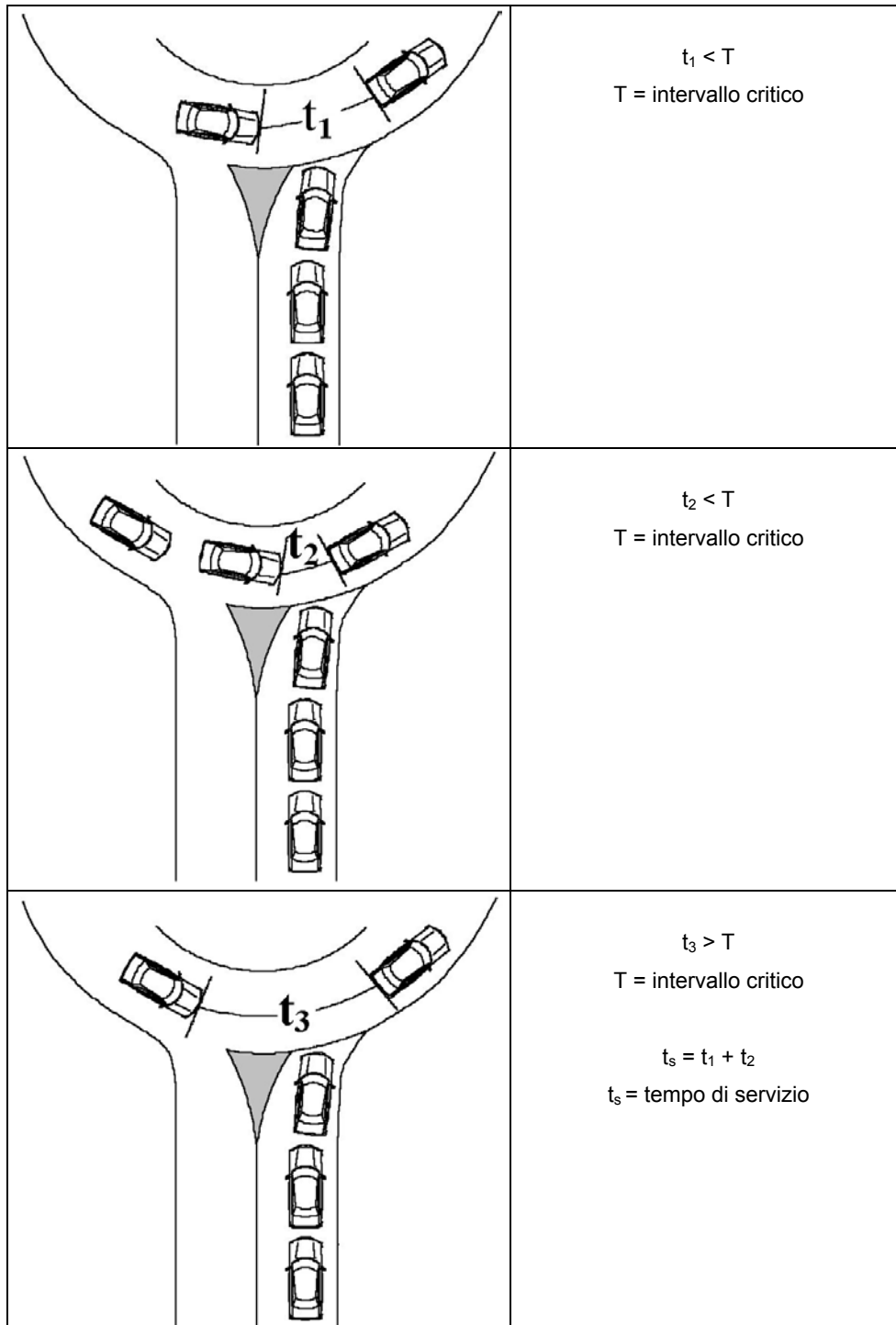


Figura 6 – Definizione del tempo di servizio nel caso di immissione in una mini-rotatoria urbana.

La definizione del tempo di servizio è utile per giungere alla quantificazione del ritardo accumulato dai veicoli in coda prima di potersi immettere sull'anello. In effetti, riferendoci ad una serie di schematizzazioni e ad un complesso di opportune semplificazioni aventi come supporto teorico gli elementi della "teoria delle code" è possibile evincere la relazione che permette di calcolare il ritardo medio di attesa in coda (R_c) che è poi il parametro a cui si intende associare il livello di servizio delle mini-rotatorie; si ha:

$$R_c = t_{s(\text{medio})} + \frac{Q_i \cdot [t_{s(\text{medio})}^2 + V(t_s)]}{2 \cdot [1 - Q_i \cdot t_{s(\text{medio})}]} \quad [3]$$

dove:

$t_{s(\text{medio})}$ = valore medio del tempo di servizio [secondi];

$V(t_s)$ = varianza del tempo di servizio [secondi];

Q_i = portata veicolare proveniente dal ramo di immissione [veic/h].

La determinazione di $t_{s(\text{medio})}$ e di $V(t_s)$ può avvenire tramite delle formulazioni analitiche che, nel caso specifico, fanno entrare in gioco una serie di parametri di seguito sintetizzati:

$$t_{s(\text{medio})} = f(Q_c, T) \quad [4]$$

$$V(t_s) = f(Q_c, T, t_{s(\text{medio})}) \quad [5]$$

In definitiva, il calcolo della media e della varianza del tempo di servizio richiede la conoscenza sia del flusso in circolo sull'anello (Q_c) che dell'intervallo critico (T) valutabile tramite la [2].

È a questo opportuno osservare che la determinazione dell'intervallo critico tramite la formulazione espressa dalla [2], pur essendo teoricamente lecita, induce a qualche perplessità sull'effettiva attendibilità, soprattutto in relazione ai risultati sperimentali ottenuti da altri studiosi del settore. In effetti, R. Mauro e M. Chinni (Comportamento degli utenti in intersezioni a raso del tipo a rotatoria. Atti del Convegno SIIV – Pisa – 1998) hanno evidenziato una sostanziale variazione dell'intervallo critico in presenza di una sensibile crescita del flusso della corrente proveniente dai rami di ingresso. In pratica l'utente, in presenza di un forte condizionamento del flusso cui appartiene, tende a forzare maggiormente la manovra di immissione.

Si è poi pensato che la particolare configurazione delle mini-rotatorie, caratterizzate dall'assenza di vere e proprie zone di scambio, induca ad accentuare ulteriormente il fenomeno di "forzatura" degli ingressi. In definitiva, al fine di dedurre il ritardo di attesa in coda (R_c), si è

scelto di ricavare sperimentalmente la legge di variazione del tempo di servizio in funzione dei flussi realmente circolanti. Nota la legge che esprime la variabilità di t_s in funzione di Q_c , occorre infine sostituirla nella relazione [3], in modo da ottenere il ritardo cercato anche in funzione dei valori della portata veicolare (Q_i) che origina la coda degli utenti in attesa.

4.2. Approccio sperimentale: modalità del rilievo e risultati ottenuti

Si è scelto di analizzare due mini-rotatorie, con caratteristiche geometriche simili, entrambe situate nel tessuto periferico della città di Catania.

La prima rotatoria è posta appena fuori il centro di San Gregorio sulla circonvallazione del paese (Fig. 7).

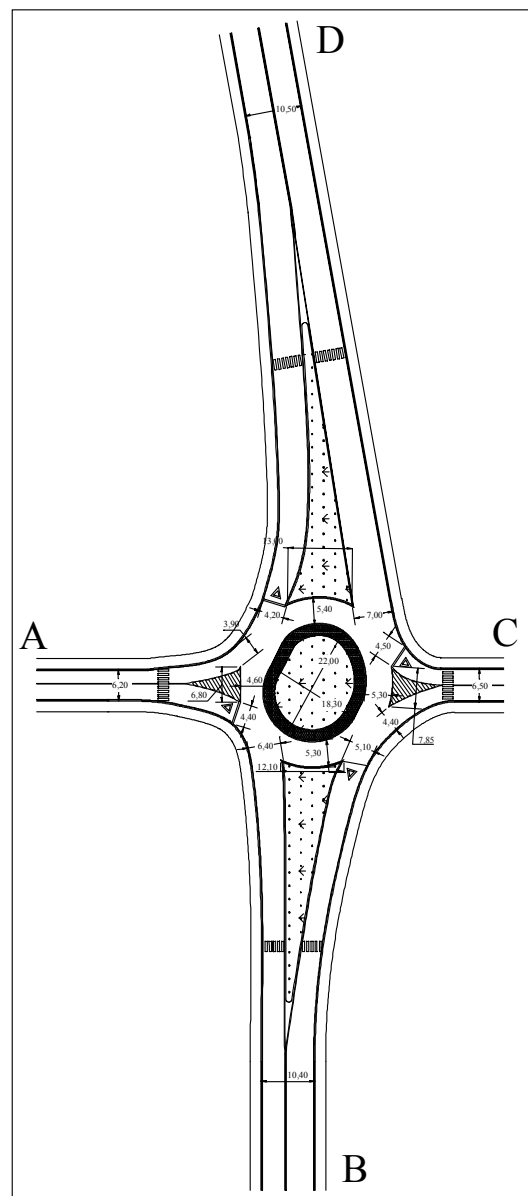


Figura 7 – La rotatoria di San Gregorio (Catania).

I quattro rami di approccio risultano reciprocamente inclinati di circa 90°. L'isola centrale non è di forma circolare ma ellittica (diametri di 22.00 m e di 18.30 m).

La sezione trasversale ha una larghezza complessiva di 10.50 m sul ramo D e di 10.40 m sul ramo B. Nei rami A e C invece le sezioni trasversali sono larghe rispettivamente 6.20 m e 6.50 m. I rami di approccio, ad una sola corsia, presentano i seguenti valori di larghezza: ramo A = 4.40 m, ramo B = 5.10 m, ramo C = 4.50 m, ramo D = 4.20 m.

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

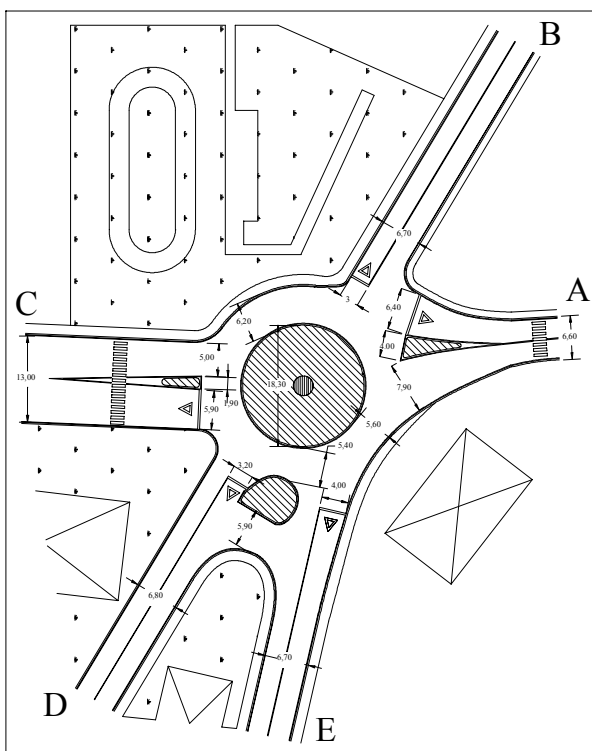


Figura 8 – La rotatoria di Via Nuovaluce (Catania).

La seconda rotatoria, è a cinque rami (Fig. 8), ubicata in via Nuovaluce in una zona mediamente urbanizzata della periferia catanese. L'isola centrale è perfettamente circolare (diametro = 18.30 m). Le larghezze delle strade che confluiscono nella rotatoria sono pressoché identiche 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, con una sola corsia destinata alla manovra d'ingresso.

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 determinare il tempo di servizio che, come detto, rappresenta il tempo medio di attesa del primo veicolo della coda, si è adottato il criterio di cronometrare il tempo di ingresso dei veicoli in testa alla coda, per ognuno dei diversi rami d'approccio, con riferimento a 58 ore di rilievo complessivo (30 per la rotatoria di via Nuovaluce e 28 per quella di San Gregorio). In dettaglio, per ogni ora di rilievo, si è agito nel seguente modo:

- per ogni veicolo in testa alla coda, si è cronometrato il tempo di immissione;
- si sono sommati gli intervalli di servizio per tutti i veicoli che, nell'arco di tempo considerato, si trovavano all'inizio della coda;
- si è calcolata la media dei tempi di servizio calcolati al punto precedente;

- si sono “contati “ i veicoli in circolo davanti a ciascuno dei rami d’ingresso, con riferimento all’intervallo di tempo considerato.

La campagna d’indagine si è svolta nell’arco di 30 giorni (a cavallo dei mesi di settembre e novembre dell’anno 2000). I giorni della settimana in cui sono stati i rilievi sono stati sempre il martedì, il mercoledì e il giovedì. Per ogni giorno è stato eseguito un numero massimo di tre ore di riprese video (in intervalli orari non consecuti-

vi). Sono state scartate tutte quelle situazioni che presentavano qualche anomalia (ad esempio: ritardi di immissione dovuti alla volontà o all’inesperienza del guidatore, condizionamenti indotti da manovre improprie dei conducenti, rallentamenti dei veicoli in circolo per effetto della presenza degli autobus).

Le tabelle 3 e 4 sintetizzano i risultati ottenuti tramite il rilievo sperimentale le cui modalità di esecuzione sono state appena esposte.

Ramo	Intervallo orario	Giorno della settimana	Flusso circolante Q_c [veic/h]	Tempo di servizio t_s [s]
A	16.00 – 17.00	Giovedì	1073	3,81
A	17.00 – 18.00	Mercoledì	1171	5,08
A	9.00 – 10.00	Giovedì	1194	4,72
A	12.00 – 13.00	Martedì	1208	5,38
A	8.00 – 9.00	Martedì	1490	5,36
A	18.00 – 19.00	Giovedì	1930	5,94
B	9.00 – 10.00	Martedì	459	3,64
B	17.00 – 18.00	Mercoledì	480	3,50
B	16.00 – 17.00	Giovedì	885	3,88
B	11.00 – 12.00	Mercoledì	889	4,42
B	12.00 – 13.00	Mercoledì	1223	4,54
B	8.00 – 9.00	Giovedì	1510	4,71
B	18.00 – 19.00	Martedì	1557	5,66
B	18.00 – 19.00	Martedì	1865	6,35
C	16.00 – 17.00	Martedì	804	4,36
C	18.00 – 19.00	Mercoledì	1219	5,12
C	8.00 – 9.00	Giovedì	1398	4,91
C	9.00 – 10.00	Martedì	1529	5,55
C	8.00 – 9.00	Giovedì	1602	5,22
C	18.00 – 19.00	Giovedì	1636	5,38
D	18.00 – 19.00	Martedì	238	3,52
D	17.00 – 18.00	Mercoledì	307	3,54
D	18.00 – 19.00	Martedì	326	3,64
D	8.00 – 9.00	Mercoledì	335	3,65
D	9.00 – 10.00	Giovedì	383	3,37
D	10.00 – 11.00	Martedì	402	3,74
D	10.00 – 11.00	Mercoledì	471	3,56
D	17.00 – 18.00	Mercoledì	477	3,52

Tabella 3 – Flussi circolanti e tempi di servizio per la rotonda di S. Gregorio.

Ramo	Intervallo orario	Giorno della settimana	Flusso circolante Q_c [veic/h]	Tempo di servizio t_s [s]
A	16.00 – 17.00	Martedì	453	3,68
A	11.00 – 12.00	Giovedì	529	3,22
A	17.00 – 18.00	Mercoledì	576	3,24
A	18.00 – 19.00	Mercoledì	588	3,44
A	8.00 – 9.00	Martedì	682	3,63
B	9.00 – 10.00	Giovedì	444	3,67
B	9.00 – 10.00	Martedì	713	4,21
B	16.00 – 17.00	Giovedì	725	3,81
B	18.00 – 19.00	Mercoledì	735	3,61
B	18.00 – 19.00	Mercoledì	845	4,37
B	8.00 – 9.00	Martedì	912	4,42
B	9.00 – 10.00	Martedì	988	4,71
B	8.00 – 9.00	Giovedì	1229	5,03
C	17.00 – 18.00	Mercoledì	318	3,11
C	16.00 – 17.00	Martedì	400	2,99
C	18.00 – 19.00	Mercoledì	1535	5,19
C	8.00 – 9.00	Giovedì	1625	5,76
C	9.00 – 10.00	Martedì	1650	5,21
C	8.00 – 9.00	Mercoledì	1680	6,05
D	9.00 – 10.00	Giovedì	485	3,81
D	11.00 – 12.00	Giovedì	515	3,38
D	17.00 – 18.00	Mercoledì	1233	5,25
D	18.00 – 19.00	Martedì	1271	5,31
D	8.00 – 9.00	Martedì	1303	4,67
E	9.00 – 10.00	Giovedì	764	4,36
E	10.00 – 11.00	Martedì	920	3,91
E	11.00 – 12.00	Mercoledì	930	4,62
E	9.00 – 10.00	Giovedì	992	4,33
E	8.00 – 9.00	Martedì	1166	5,01
E	18.00 – 19.00	Giovedì	1335	4,49

Tabella 4 – Flussi circolanti e tempi di servizio per la rotonda di Via Nuovaluce.

Con i dati riportati nelle due tabelle precedenti è stato costruito il diagramma di figura 9, in cui il flusso circolante è stato posto in relazione con i tempi di servizio. Interpolando i dati sperimentali con una curva di regres-

sione di tipo esponenziale è stata dedotta la seguente legge di variazione di t_s , caratterizzata peraltro da un soddisfacente fattore di regressione ($R^2 = 0,8561$):

$$t_s = 2,984 \cdot e^{0,0004 \cdot Q_c} \quad [6]$$

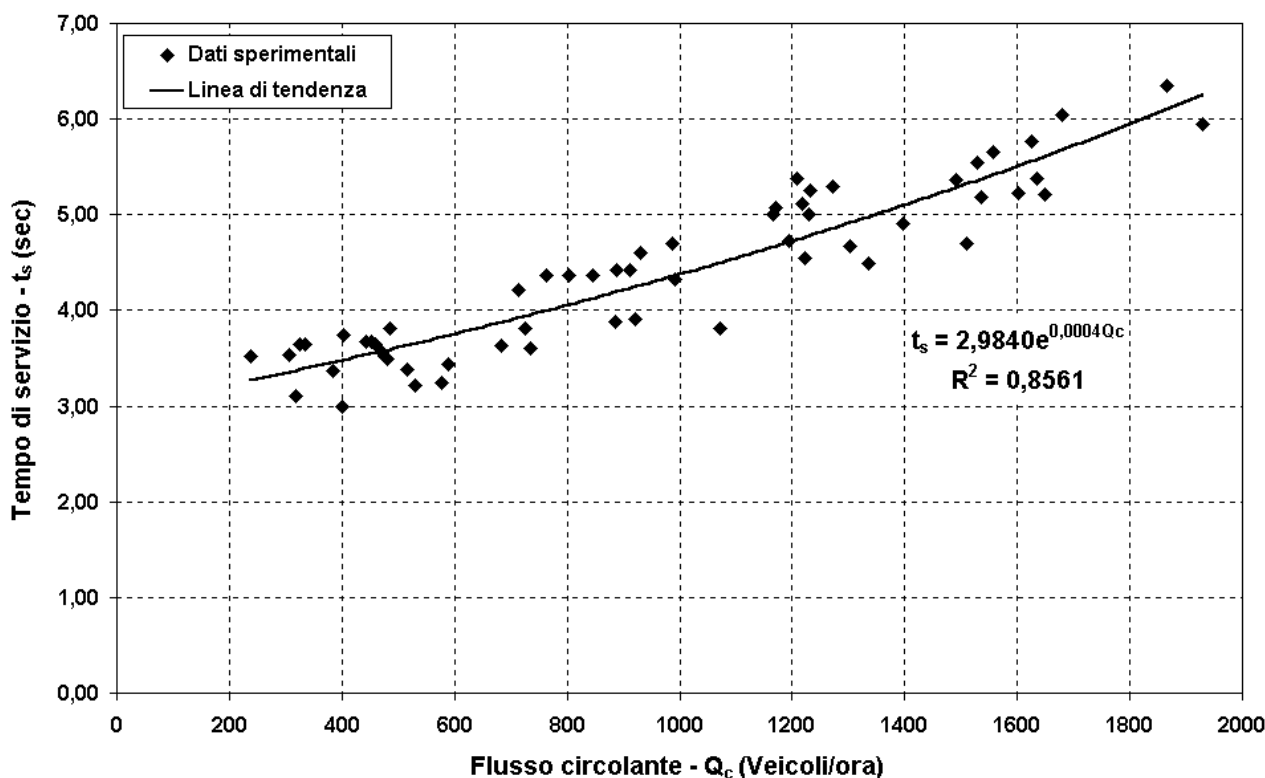


Figura 9 – Tempi di servizio in funzione dei flussi in circolo sulle mini-rotatorie (diagramma ottenuto sperimentalmente).

4.3. Livello di servizio delle mini-rotatorie: l'abaco e la procedura di calcolo

Ai paragrafi precedenti si sono espone le modalità procedurali che hanno portato alla determinazione della relazione [3] di natura teorica e dell'equazione empirica [6]. Se, a questo punto, si "combinano" le due relazioni suddette, si ottiene, ponendo la varianza pari a zero, la seguente legge teorico-sperimentale:

$$R_c = 2,984 \cdot e^{0,0004 \cdot Q_c} + \frac{Q_i \cdot 8,904 \cdot e^{0,0008 \cdot Q_c}}{2 \cdot [1 - Q_i \cdot 2,984 \cdot e^{0,0004 \cdot Q_c}]} \quad [7]$$

La [7], in definitiva, esprime la variazione del ritardo di attesa da parte dei veicoli accodati su uno dei rami di

immissione della mini-rotatoria. Si ricorda che il termine Q_i rappresenta il flusso in ingresso (in km/h), mentre Q_c è la portata (anch'essa in km/h) in circolo sul tratto di corona giratoria adiacente all'ingresso preso in esame.

Si osservi che i flussi Q_i e Q_c , essendo composti da diverse tipologie di veicoli (autovetture, motorini, mezzi pesanti) devono essere opportunamente omogeneizzati, al fine di avere a disposizione un'unica portata da utilizzare per la procedura di calcolo (sia essa di verifica che di progetto). A tal proposito, si ritiene adeguato l'utilizzo dei coefficienti correttivi proposti dall'HCM per tener conto sia del tipo di veicolo sia della pendenza longitudinale di ogni ramo d'approccio di un'intersezione regolata dalla precedenza o dal segnale di stop (Tab. 5).

Tipo di veicolo	Pendenza (%)				
	-4	-2	0	+2	+4
Motocicli	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Veicoli leggeri	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
Mezzi pesanti privi di rimorchio	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0
Mezzi pesanti combinati ed autobus	1.2	1.5	2.0	3.0	6.0
Tutti i veicoli*	0.9	1.0	1.1	1.4	1.7

* Tali coefficienti correttivi devono essere utilizzati se la composizione dei veicoli non è nota.

Tabella 5 – Veicoli leggeri equivalenti per le mini-rotatorie.

L'abaco di figura 10 rappresenta la trasposizione grafica dell'equazione [7] ed è caratterizzato dalla presenza di una serie di curve paramtrate in funzione del flusso Q_c corretto; l'asse delle ascisse riporta invece il flusso in

immissione corretto Q_i , mentre l'asse delle ordinate fornisce il ritardo R_c (espresso in secondi per veicolo) associato al braccio di immissione.

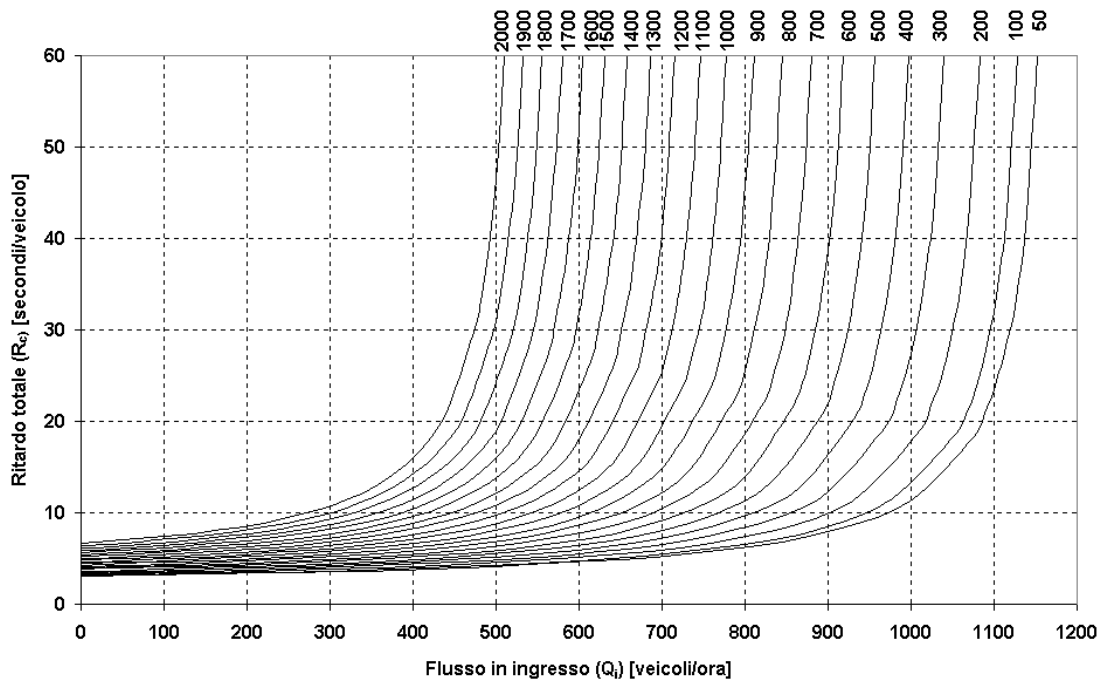


Figura 10 – Abaco per la valutazione del ritardo di attraversamento di una mini-rotatoria a partire da un dato ramo di ingresso.

Nella tabella 6 sono riportati gli intervalli di definizione del livello di servizio. Si può notare come siano stati

scelti gli stessi range indicati dall'Highway Capacity Manual nel caso delle intersezioni semaforizzate.

Livello di servizio	Ritardo medio totale R_c (secondi/veicolo)
A	≤ 5.0
B	>5.0 e ≤ 15.0
C	>15.0 e ≤ 25.0
D	>25.0 e ≤ 40.0
E	>40.0 e ≤ 60.0
F	> 60.0

Tabella 6 – Livelli di servizio per le mini-rotatorie.

Possiamo infine introdurre un parametro indicativo del ritardo medio complessivo per veicolo in una mini-rotatoria; si ha:

$$R_{c(\text{mini-rotatoria})} = \frac{\sum_{k=1}^n R_{ck} \cdot Q_{ik}}{\sum_{k=1}^n Q_{ik}} \quad [8]$$

dove:

- $R_{c(\text{mini-rotatoria})}$ = ritardo medio per veicolo sulla mini-rotatoria [sec/veic];
- Q_{ik} = portata veicolare corretta per l'accesso k [veic/h];

- R_{ck} = ritardo medio per veicolo per il ramo k [sec/veic].

A conclusione dell'esposizione della metodologia di determinazione del livello di servizio delle mini-rotatorie, appare importante osservare come essa si presti ad essere impiegata sia nelle procedure di verifica delle situazioni esistenti (attraverso il rilievo sul campo delle reali condizioni di traffico), sia in quelle di progetto (ipotizzando idonee portate veicolari o facendo riferimento a flussi realmente circolanti, nel caso in cui le mini-rotatorie costituiscano un intervento di riqualificazione di un'intersezione semaforizzata preesistente).

5. APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA ELABORATA

In questo paragrafo si intende esporre i risultati che scaturiscono dall'applicazione della metodologia descritta al paragrafo precedente ad una situazione reale. In particolare, si è scelto di valutare il livello di servizio di due mini-rotatorie che, nel contesto del progetto di riqualificazione della viabilità urbana della città di Catania, dovrebbero prendere il posto di altrettante intersezioni semaforizzate ubicate presso la Circonvallazione del capoluogo etneo.

Le intersezioni oggetto dello studio sono le seguenti:

- ♦ intersezione semaforizzata (Fig. 11) tra il viale Fontana (direttrice principale) e le vie Eredia e Pacinotti (direttrici secondarie);
- ♦ intersezione semaforizzata (Fig. 12) tra il viale Usodimare (direttrice principale) e la via San Nullo (direttrice secondaria).

Nelle figure 11 e 12 sono raffigurati anche gli schemi di fasatura. Nelle tabelle 7 e 8 sono invece riportate le grandezze geometriche essenziali dei rami confluenti.

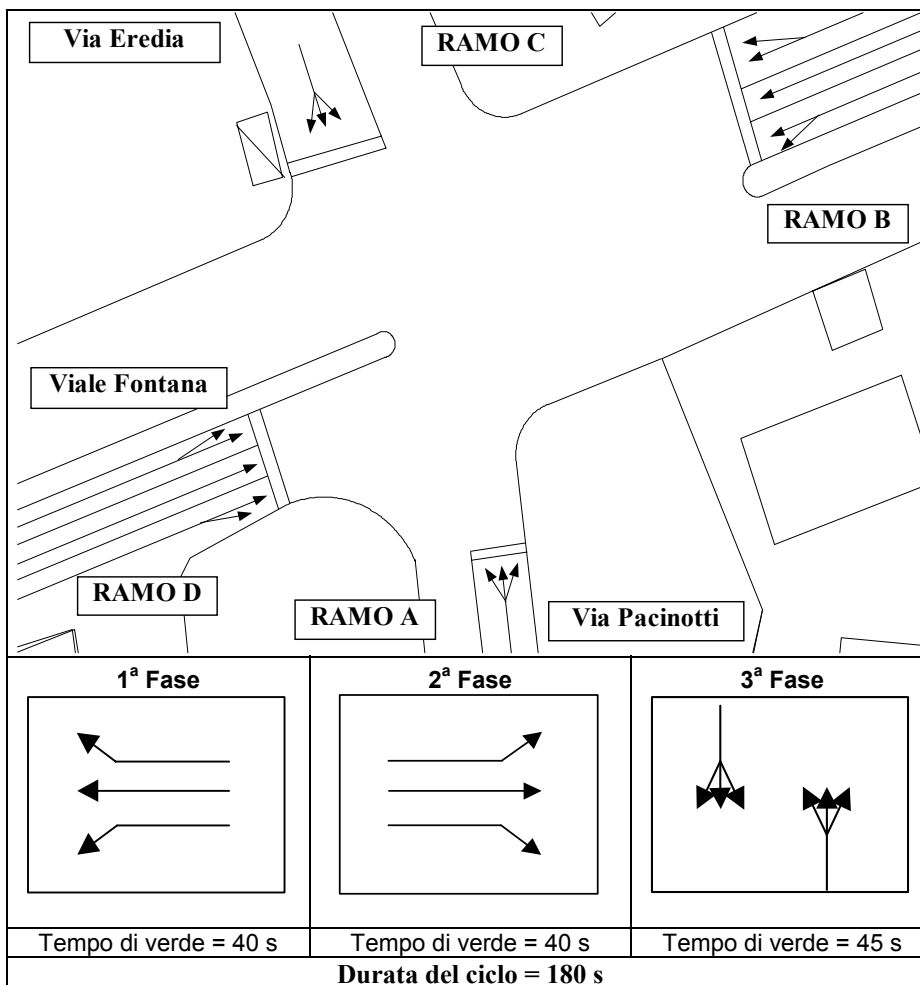


Figura 11 – Planimetria dell'incrocio e schema di fasatura per l'intersezione tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti.

Le tabelle 9 e 10 sintetizzano poi i valori dei flussi veicolari rilevati nelle ore di punta, rispettivamente in data 17/02/2000 per l'intersezione tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti e in data 24/02/2000 per l'incrocio tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

Attraverso l'applicazione della procedura proposta dall'Highway Capacity Manual (1994), si sono valutati i valori dei ritardi per i singoli rami e, conseguentemente, i

livelli di servizio associati ai bracci componenti le due intersezioni semaforizzate. Le figure 13 e 14, corredate di tabelle, evidenziano i risultati ottenuti. È facile evincere che, per entrambe le intersezioni prese in esame, i ritardi sono quasi ovunque inaccettabili ed il livello di servizio complessivo risulta pari ad F.

Nelle tabelle 11 e 12 sono stati poi riportati i flussi veicolari, sia reali che omogeneizzati, relativi ai rami di in-

gresso ed ai diversi tratti delle corone giratorie adiacenti ai bracci d'immissione delle due mini-rotatorie (di raggio pari a 12 m nel caso dell'incrocio di viale Fontana, pari a 14 m per l'intersezione di viale Usodimare) che, come è

possibile evincere dal Sito ufficiale del Comune di Catania, faranno parte di una serie di rotatorie disposte consecutivamente lungo il tracciato complessivo della Circonvallazione.

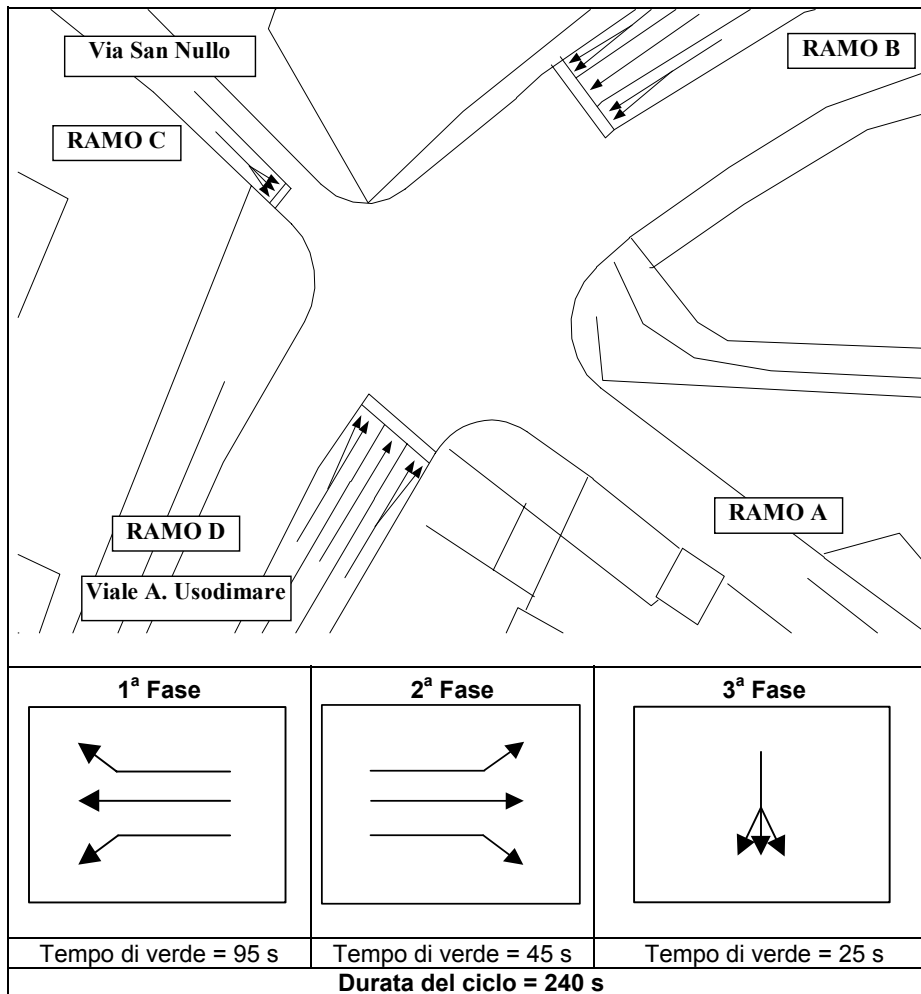


Figura 12 – Planimetria dell'incrocio e schema di fasatura per l'intersezione tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

	N° CORSIE	LARGHEZZA CORSIE	PENDENZA
RAMO A	1	3.00 m	+ 1%
RAMO B	3	3.00 m (9.00 m)	+ 2%
RAMO C	1	3.50 m	- 2%
RAMO D	3	3.00 m (9.00 m)	- 2%

Tabella 7 – Caratteristiche geometriche dell'intersezione tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti.

	N° CORSIE	LARGHEZZA CORSIE	PENDENZA
RAMO B	3	3.00 m (9.00 m)	+ 1%
RAMO C	1	3.20 m	- 4%
RAMO D	3	3.00 m (9.00 m)	- 1%

Tabella 8 – Caratteristiche geometriche dell'intersezione tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

Viale Fontana – Via Eredia/Via Pacinotti (rilievo del 17/02/2000) (Intervallo orario: 8.00 – 9.00)				
<i>Nota: tra parentesi sono indicate le percentuali di mezzi pesanti</i>				
	A	B	C	D
A	/	24 (0%)	132 (6%)	324 (1%)
B	104 (4%)	/	100 (0%)	1100 (3%)
C	180 (0%)	372 (1%)	/	8 (5%)
D	4 (0%)	800 (4%)	92 (4%)	/

Tabella 9 – Flussi veicolari nell'intersezione tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti.

Viale Usodimare – Via San Nullo (rilievo del 24/02/2000) (Intervallo orario: 8.00 – 9.00)				
<i>Nota: tra parentesi sono indicate le percentuali di mezzi pesanti</i>				
	A	B	C	D
B	740 (1%)	/	76 (5%)	1360 (1%)
C	540 (0%)	448 (1%)	/	216 (0%)
D	20 (20%)	876 (1%)	20 (20%)	/

Tabella 10 – Flussi veicolari nell'intersezione tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

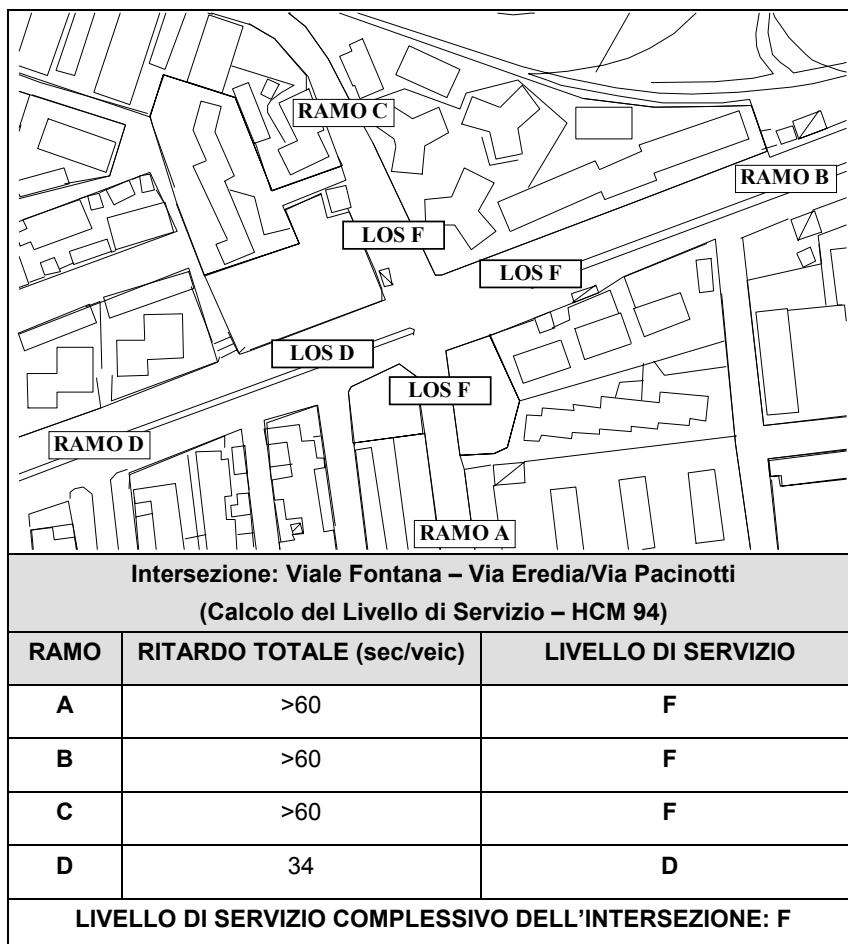


Figura 13 – Livelli di Servizio relativi all'intersezione tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti.

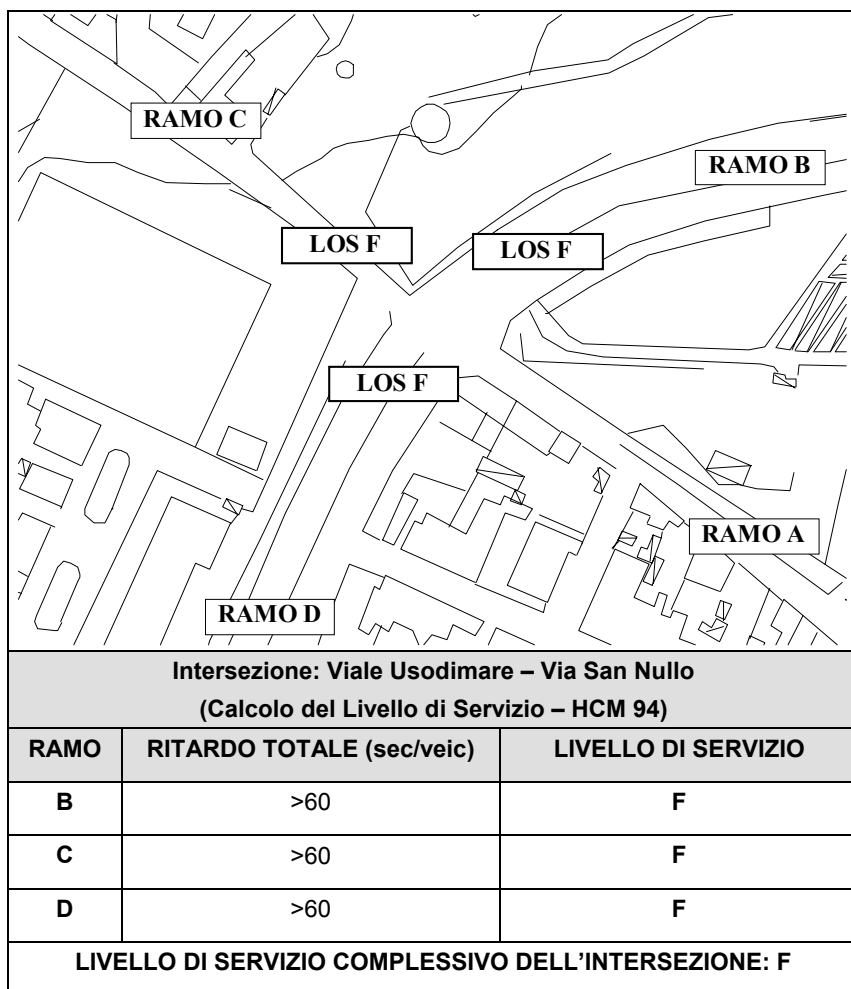


Figura 14 – Livelli di Servizio relativi all'intersezione tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

Mini-rotatoria: Viale Fontana – Via Eredia/Via Pacinotti				
INGRESSO	Flussi entranti (veic/h)	Flussi entranti Q_i omogeneizzati (veic/h)	Flussi circolanti (veic/h)	Flussi circolanti Q_c omogeneizzati (veic/h)
A	480	540	1264	1156
B	1304	1613	548	598
C	560	507	1528	1853
D	896	823	656	629

Tabella 11 – Flussi veicolari nella mini-rotatoria tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti.

Mini-rotatoria: Viale Usodimare – Via San Nullo				
INGRESSO	Flussi entranti (veic/h)	Flussi entranti Q_i omogeneizzati (veic/h)	Flussi circolanti (veic/h)	Flussi circolanti Q_c omogeneizzati (veic/h)
B	2176	2430	20	22
C	1204	965	2100	2342
D	916	880	1728	1623

Tabella 12 – Flussi veicolari nella mini-rotatoria tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

Tramite l'applicazione della procedura proposta sono stati ricavati i livelli di servizio (per ogni singolo ramo e

per ciascuna rotatoria complessivamente) indicati nelle figure 15 e 16.

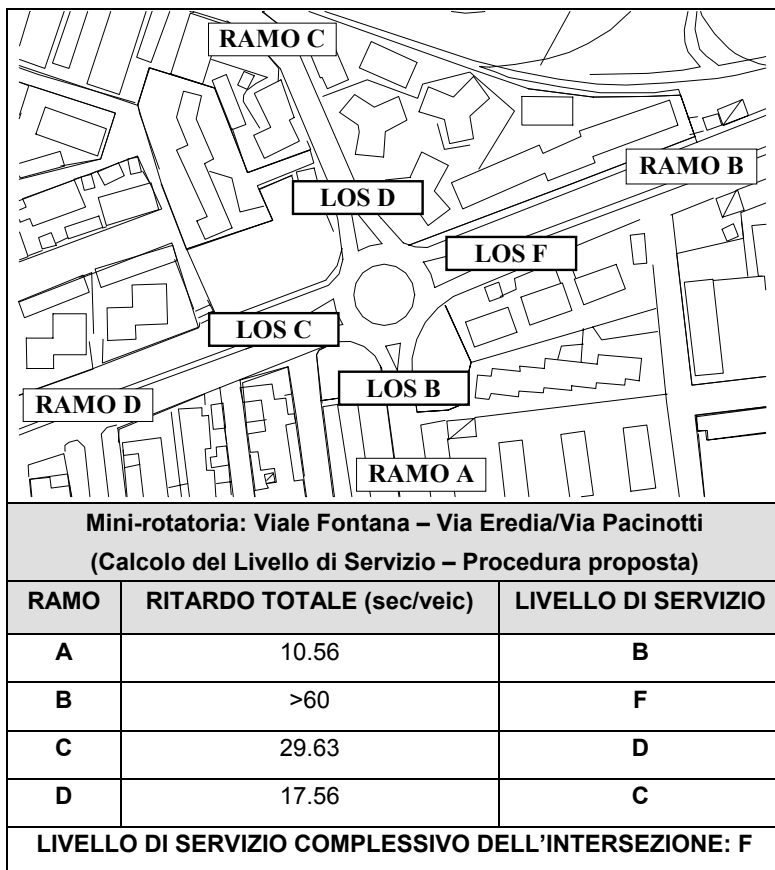


Figura 15 – Livelli di Servizio relativi alla mini-rotatoria tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti.

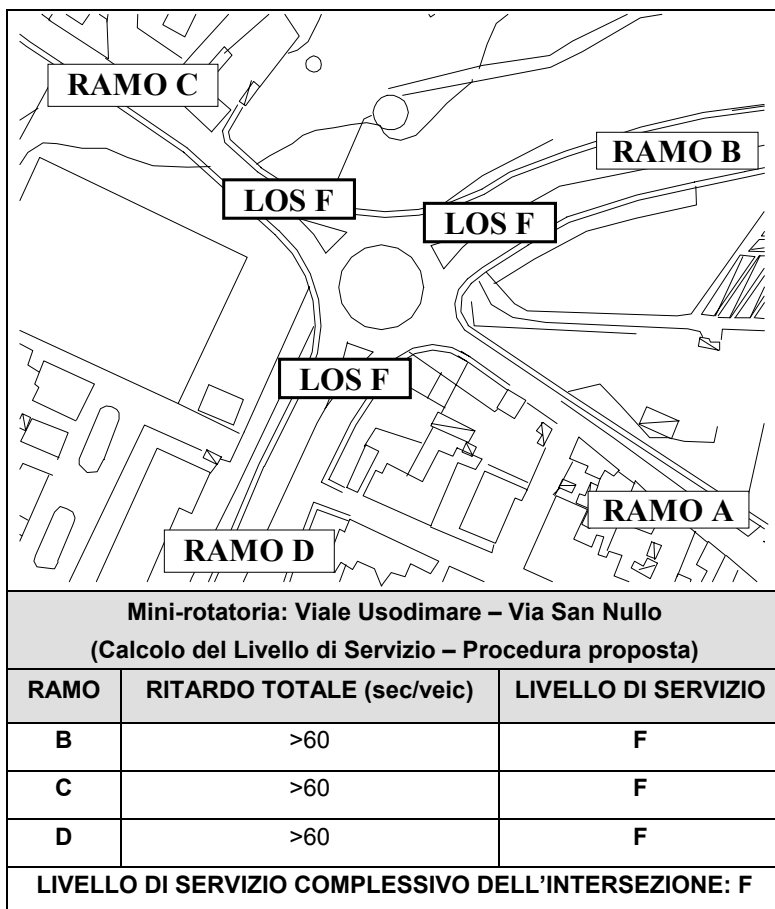


Figura 16 – Livelli di Servizio relativi alla mini-rotatoria tra il viale Usodimare e la via S. Nullo.

In particolare si può dedurre che:

- nel caso della mini-rotatoria tra viale Usodimare e via S. Nullo non si manifesta nessun miglioramento, in termini di ritardi per veicolo, rispetto alla situazione in cui la regolazione avviene mediante regolazione semaforica;
- per l'intersezione tra il viale Fontana e le vie Eredia e Pacinotti, nel caso di sistemazione a circolazione rotatoria, si ha un significativo miglioramento delle condizioni di smaltimento dei flussi per il ramo secondario A (il livello di servizio passa da F a B) e per l'altro ramo secondario C per il quale il livello di servizio diventa D (era F nel caso di regolazione semaforica); la direttrice principale presenta, invece, un ramo caratterizzato da un ritardo elevato (trattasi del ramo B, per il quale il livello di servizio si mantiene pari ad F) ed un ramo in cui le condizioni di deflusso si presentano più fluide rispetto alla configurazione regolamentata tramite lanterne semaforiche (ci si riferisce al ramo D sul quale, essendosi dimezzato il ritardo medio per veicolo, si verifica la transizione da un livello di servizio D ad un livello di servizio pari a C).

Dalle osservazioni appena svolte non si possono trarre regole generali. Si può però affermare che la variazione del tipo di regolazione di un incrocio da semaforizzato a mini-rotatoria, non sempre si traduce in effettivi vantaggi dal punto di vista della riduzione dei ritardi acquisiti dagli utenti.

I due casi appena analizzati sintetizzano due situazioni emblematiche: una è indicativa del caso in cui la realizzazione della mini-rotatoria lascia inalterata la qualità del deflusso (che permane scadente), l'altra rappresenta la condizione in cui alcuni rami beneficiano dal nuovo tipo di regolamentazione mentre altri (quelli interessati da i flussi in ingresso maggiori) sono caratterizzati da una riduzione lieve o addirittura nulla del ritardo.

In tale ambito svolgono un ruolo determinante i valori dei flussi, sia quelli in ingresso che quelli in circolo sul tratto di corona giratoria adiacente agli ingressi medesimi.

In tale contesto, uno dei prossimi obiettivi di questo stesso gruppo di ricerca sarà quello di identificare i valori di soglia delle portate veicolari che individuino il tipo di regolazione in grado di garantire un prefissato livello di servizio per l'incrocio; si ricorda, in proposito, che, al di là dei due tipi di regolazione finora considerati (semaforizzazione e circolazione rotatoria), si colloca la soluzio-

ne che prevede lo sfalsamento delle direttrici originariamente intersecantisi. Anche l'individuazione dei flussi veicolari oltre i quali risulta conveniente sfalsare l'intersezione, rappresenta un traguardo che si intende perseguire in tempi non troppo lunghi.

6. CONCLUSIONI

Le mini-rotatorie rappresentano una soluzione di riqualificazione degli incroci che, principalmente in ambito urbano, si sta ormai diffondendo a macchia d'olio. A fronte di una serie di vantaggi, legati all'indubbio miglioramento delle prestazioni in termini di sicurezza ed alla riduzione delle velocità operative, risulta invece ancora poco chiaro se tale modalità di regolazione della viabilità dia luogo ad effettivi miglioramenti della qualità della circolazione, rispetto ad altre possibili soluzioni (prima fra tutte la regolazione semaforica).

Con il presente contributo si è voluto proporre un approccio originale verso la quantificazione dei ritardi accumulati dagli utenti che, prima di immettersi in circolo, devono trascorrere un certo intervallo di tempo accodati sui rami d'ingresso.

Il supporto scientifico degli studi sulla teoria delle code e quello empirico dei rilievi sperimentali in situ hanno consentito la formulazione di una metodologia di validità generale, applicabile, per ogni possibile portata veicolare (in immissione ed in circolo), a quelle rotatorie che ricalcano abbastanza fedelmente gli standard geometrici tipici delle mini-rotatorie (raggi inferiori a 18 metri ed assenza di vere e proprie zone di scambio).

L'applicazione della procedura elaborata ad alcune rotatorie in progetto presso la circoscrizione della città di Catania ha, infine, creato i presupposti per intensificare l'attività di ricerca al fine di quantificare le caratteristiche del deflusso veicolare rientranti in un range di variabilità adeguato ad indirizzare il progettista verso la scelta dell'uno o dell'altro schema di intersezione (semaforizzato, a circolazione rotatoria o a livelli sfalsati), in funzione di prefissati livelli di servizio.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] **Dossier Rotatorie** – Ricerca di Ateneo – Area Trasporti 1998/2000 – DIAP, Politecnico di Milano.
- [2] **Road planning and design Manual** – Queensland Government (Department of Main Roads) – Agosto/Settembre 2000.

- [3] **Roundabouts an information guide** – U. S. Department of Transportation – Federal Highway Administration – Giugno 2000.
- [4] S. Canale, S. Leonardi, F. Nicosia – **Le intersezioni stradali** – Quaderno n°2 – Febbraio 1999 – AIIT (Associazione Italiana per l'Ingegneria del Traffico e dei Trasporti).
- [5] S. Canale, S. Leonardi, G. Pappalardo – **Mini-rotatorie urbane ingressi a rischio** – Rivista Onda Verde – Novembre/Dicembre 2001.
- [6] G. Da Rios – **Progetto di Intersezioni Stradali** – UTET Libreria – 1999.
- [7] P. Ferrari e F. Giannini – 1. Ingegneria stradale – **Geometria e progetto di strade** – ISEDI - 1998.
- [8] R. Henson, D. Lowe, D. T. Overton - **Right-turn priority overlap stages: a comparison of techniques** – Traffic Engineering + Control – n. 33/1 – Gennaio 1992.
- [9] R. Mauro – **Su alcune recenti acquisizioni in tema di incroci a rotatoria** – Trasporti e trazione – Febbraio 1995.
- [10] R. Mauro, M. Chinni – **Il comportamento degli utenti in intersezioni a raso del tipo a rotatoria** – Convegno SIIV - Pisa – 29/30 ottobre 1997.
- [11] R. Mauro, T. Esposito – **Sintesi delle comunicazioni per il seminario di formazione tecnica "Rotatorie"** – Urbana 24 febbraio 1999 – Pubblicazione edita da "Padova fiere".
- [12] 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.
- [13] M.R. Spiegel. **Statistica** - collana Schaum - Ed. ETAS LIBRI – 1989.

AUTORI

Sascia Canale - Professore straordinario di "Costruzioni di Strade Ferrovie ed Aeroporti" presso l'Università degli Studi di Catania – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Sezione: Ingegneria delle Infrastrutture Viarie e dei Trasporti.

Salvatore Leonardi – Ricercatore in "Costruzioni di Strade Ferrovie ed Aeroporti" presso l'Università degli Studi di Catania – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Sezione: Ingegneria delle Infrastrutture Viarie e dei Trasporti.

Giuseppina Pappalardo - Dottoranda in "Ingegneria delle Infrastrutture Viarie" presso l'Università degli Studi di Catania – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Sezione: Ingegneria delle Infrastrutture Viarie e dei Trasporti.