

NUOVI CRITERI DI PROGETTO E DI VERIFICA PER LE ROTATORIE STRADALI EXTRAURBANE

Sascia Canale ⁽¹⁾, Salvatore Leonardi ⁽²⁾

⁽¹⁾ Professore ordinario e docente di Teoria delle Infrastrutture Viarie - Università degli Studi di Catania

⁽²⁾ Ricercatore Universitario e docente di Infrastrutture Viarie Urbane e Metropolitane - Università degli Studi di Catania

La rotatoria costituisce una delle soluzioni progettuali maggiormente adottate negli ultimi anni per affrontare e risolvere i problemi legati alla funzionalità delle intersezioni stradali extraurbane, con particolare riferimento a tre aspetti fondamentali: la capacità (indicativa dell'efficienza dell'incrocio in termini di smaltimento dei flussi veicolari), il livello di servizio (associato ai ritardi accumulati per l'esecuzione di tutte le possibili manovre) e la sicurezza degli utenti.

In riferimento alla capacità ed al livello di servizio (LOS) di una rotatoria, occorre notare come essi dipendano essenzialmente da due fattori: le caratteristiche geometriche e i flussi veicolari gravanti sul nodo. Considerando specificatamente il livello di servizio, bisogna, poi, mettere in conto il comportamento del guidatore, in quanto le modalità di approccio ad un'intersezione a circolazione rotatoria da parte degli utenti giocano un ruolo basilare nel determinare l'entità complessiva del ritardo temporale. A tal proposito è opportuno osservare come i software maggiormente diffusi in ambito internazionale per lo studio delle rotatorie – i britannici RODEL (ROundabout DELay) e ARCADY (Assessment of Roundabout CAPacity and DelaY), l'australiano SIDRA (Signalized & unsignalized Intersection Design and Research Aid), il francese GIRABASE e il tedesco KREISEL - presentino algoritmi tra loro simili per l'analisi della capacità, utilizzando, invece, modelli analitici significativamente differenti per la simulazione del comportamento umano al fine della valutazione dei ritardi.

Per quanto riguarda la sicurezza, essa è legata principalmente alla riduzione dei punti di conflitto tra i flussi rispetto a un'intersezione convenzionale a raso. Si devono poi considerare altri aspetti, come la ridotta velocità e l'angolo di incidenza obliquo che attenuano la gravità delle conseguenze in caso d'urto tra veicoli, ed un ampio campo visivo che permette una chiara percezione delle manovre all'incrocio ed il controllo a vista dei veicoli.

In questo quadro si collocano le scelte progettuali della rotatoria, relative principalmente al raggio della corona giratoria, alla lunghezza delle zone di scambio, al numero di corsie sull'anello centrale, alle caratteristiche geometriche dei bracci di ingresso e di uscita, alle dimensioni delle isole divisionali.

Con il presente studio, si vuole fornire un contributo per la caratterizzazione geometrica del parametro maggiormente condizionante la funzionalità complessiva delle rotatorie: il raggio della corona giratoria.

In letteratura esistono indicazioni, spesso discordanti, sui valori da attribuire al raggio delle rotatorie. Tali valori sono frequentemente dedotti dall'analisi delle prestazioni offerte da rotatorie già esistenti. Si tratta cioè di indicazioni derivanti da analisi empiriche.

Esistono anche criteri razionali, fondati sul dimensionamento delle zone di scambio. Il raggio dell'anello centrale viene cioè determinato in funzione delle lunghezze delle zone di scambio necessarie a garantire l'effettuazione agevole delle manovre di immissione e di uscita, in relazione all'entità dei flussi (di scambio e di non scambio) gravanti sulla rotatoria. Occorre però notare che anche le metodologie razionali presenti in letteratura originano indicazioni non sempre coerenti tra loro; ciò in virtù del fatto che i criteri per la scelta della lunghezza delle zone di scambio sono estremamente condizionati dalla "qualità" delle manovre di scambio, valutata differentemente in funzione del grado di accettabilità dei condizionamenti veicolari.

Obiettivo del presente studio è, pertanto, quello di proporre una metodologia razionale per la scelta del raggio delle rotatorie extraurbane. L'approccio seguito si fonda sulla caratterizzazione del ritardo temporale accumulato dai veicoli che intendono immettersi sulla corona giratoria. A tal fine, si sono messi in conto tre parametri di input: il flusso veicolare in ingresso (sui rami), il flusso in opposizione (sull'anello), la velocità operativa sui rami di immissione. In funzione dei parametri suddetti, si è pervenuti all'elaborazione di una serie di abachi di calcolo per la valutazione dei ritardi, e dei conseguenti livelli di servizio, associati alle possibili configurazioni geometriche delle rotatorie.

Per la complessa fase di calcolo dei ritardi, ci si è avvalsi del software SIDRA 2.0 by Akcelik & Associates Pty Ltd (Australia) che ha permesso al presente gruppo di ricerca di accelerare l'ottenimento dei dati di output. Gli scriventi, a tal proposito, ringraziano vivamente l'ing. Chiara Richichi per il prezioso e disinteressato apporto fornito nelle varie fasi di acquisizione e di trattamento dei dati.

CALCOLO DEL RITARDO MEDIO E DEL LIVELLO DI SERVIZIO CON IL SOFTWARE SIDRA

Il software SIDRA, prodotto dalla Akcelik & Associates Pty Ltd (Australia), permette tra le altre cose, di valutare il ritardo (medio per veicolo), cioè il tempo medio di attesa per un veicolo che intende immettersi nel flusso di traffico della corona giratoria, ed il livello di servizio per una rotatoria, cioè l'indice che esprime la qualità del deflusso veicolare.

In generale, il ritardo per veicolo ha valori diversi a seconda del diverso tipo di intersezione che il veicolo deve impegnare.

Si distinguono infatti un tempo di viaggio libero (intersezione non semaforizzata) e un tempo di viaggio interrotto (intersezione semaforizzata o regolata dal segnale di dare precedenza).

Studiando il comportamento di un veicolo che si ferma e riparte in corrispondenza di un semaforo, è stato possibile ricavare l'andamento della velocità (come risultato del rapporto che c'è tra la distanza percorsa e il tempo trascorso) e la definizione del ritardo.

La figura 1 mostra la definizione del ritardo di controllo, cioè il tempo totale dovuto all'intersezione semaforizzata, che comprende il ritardo dovuto alla fase di decelerazione, il ritardo di fermata e quello dovuto all'accelerazione. Il ritardo di fermata è definito come il tempo durante il quale un veicolo rimane fermo all'intersezione.

Sono presenti due diagrammi: il primo mostra la relazione tempo-distanza, il secondo mostra la relazione velocità-tempo; entrambi sono descritti in funzione delle fasi di accelerazione e di decelerazione del veicolo.

La stima del ritardo eseguita dal SIDRA include tutti i ritardi per un veicolo che arriva in corrispondenza dell'ingresso alla rotatoria durante il periodo di analisi. Il ritardo che si misura con questo metodo è il ritardo alla linea di dare precedenza (mentre nel caso di un'intersezione è il ritardo alla linea di stop).

Nel caso mostrato in figura 1, le velocità di viaggio in ingresso e in uscita sono uguali e il ritardo geometrico è pari a zero.

Per una rotatoria, si devono distinguere due casi tipici di approccio di un veicolo: con coda preesistente e in assenza di coda.

Nel primo caso (figura 2), ciò che interessa notare è la differente dinamica della coda rispetto all'incrocio semaforizzato; nel caso della rotatoria infatti si possono

manifestare ripetuti fenomeni di stop-and-go, con conseguente incremento del rischio di tamponamento; d'altra parte, il ritardo di fermata dipende solo dal numero di veicoli fermi. Il ritardo di controllo, che tiene conto anche della fase di accelerazione di uscita dalla rotatoria, potrebbe essere identico a quello di una intersezione semaforizzata, a parte un piccolo incremento dovuto alla maggiore distanza da percorrere dovuta all'anello, e all'eventuale presenza del flusso pedonale, che in questo caso non è regolabile.

Nel secondo caso (figura 3), invece, non esiste il ritardo di fermata. Ciò evidenzia uno dei possibili vantaggi della rotatoria che consiste proprio, evitando la fermata dei veicoli, nel garantire condizioni di deflusso pressoché ininterrotto (è un vantaggio su cui si può contare solo in condizioni di flussi veicolari medio-bassi).

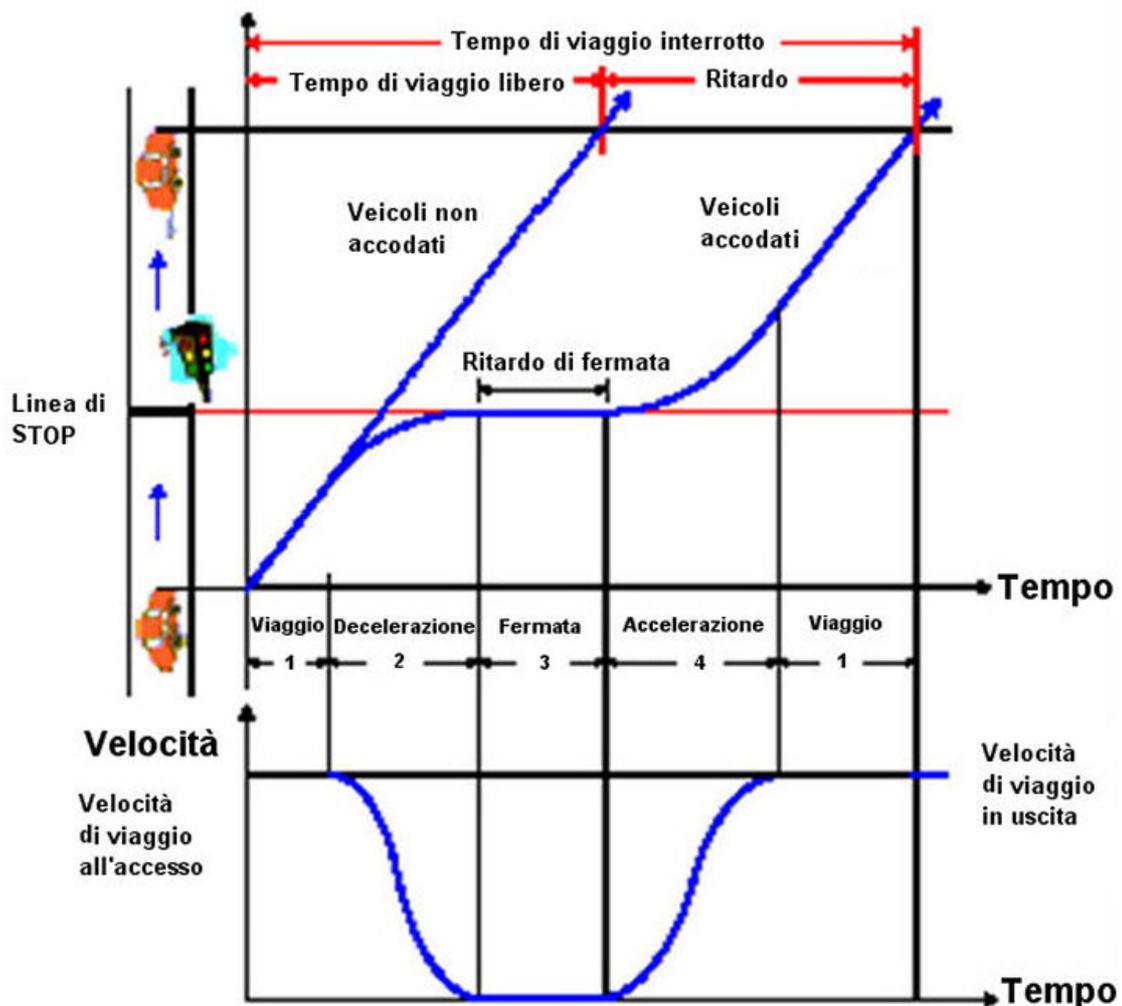


Figura 1. Definizione di ritardo per un veicolo che si arresta e riparte in corrispondenza di un semaforo.

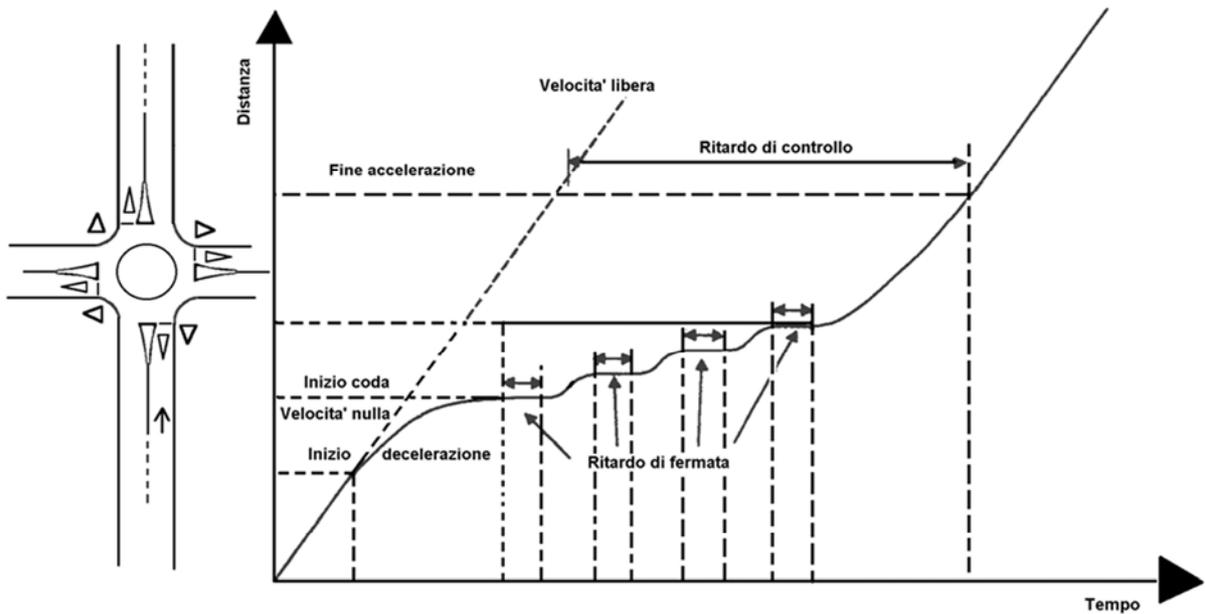


Figura 2. Diagramma spazio-tempo che mostra i tempi di ritardo di una rotatoria in presenza di coda.

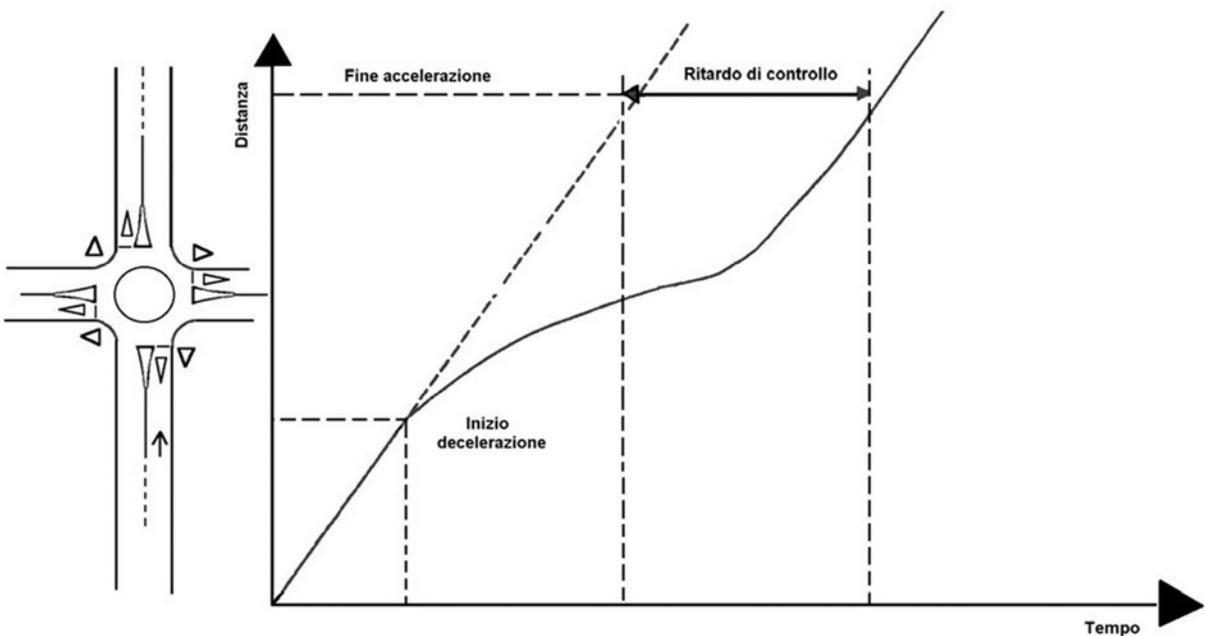


Figura 3. Diagramma spazio-tempo che mostra i tempi di ritardo di una rotatoria in assenza di coda.

Dal punto di vista analitico, il ritardo medio si ottiene sommando il ritardo alla linea di dare precedenza e il ritardo geometrico (dovuto a fattori fisici e a fattori di controllo del traffico).

Il ritardo geometrico è il ritardo accumulato da un veicolo che attraversa l'intersezione in assenza di altri veicoli. Questo ritardo include sia gli effetti delle caratteristiche geometriche dell'intersezione (raggio di manovra, distanza

dall'intersezione, e velocità associata), sia gli effetti delle modalità di controllo (cioè il tipo di segnaletica per il controllo del traffico all'interno dell'intersezione stessa).

La definizione operativa di livello di servizio LOS (Level Of Service) alle intersezioni in generale, e alle rotatorie in particolare, è associata al ritardo (delay), e in particolare al ritardo medio di controllo (incluso il ritardo geometrico) ed al tempo di fermata.

Il software SIDRA definisce, per le rotatorie, 6 classi di livello di servizio, indicate con le lettere da A ad F, caratterizzate da intervalli temporali uguali a quelli proposti dall'Highway Capacity Manual (HCM 2000) per le intersezioni semaforizzate. Ciò è facilmente comprensibile se si considera l'analogia comportamentale degli utenti che affrontano le due tipologie di intersezione; infatti, così come gli utenti devono prima arrestarsi alla linea di fermata di un incrocio semaforizzato e poi attendere il via libera (segnale di verde), analogamente gli utenti che si immettono in rotatoria a partire da uno dei bracci di ingresso, possono farlo non appena si presenta loro un varco libero sulla corrente veicolare in opposizione (flusso sulla corona giratoria).

Nella tabella 1 sono indicati i livelli di servizio associati ai valori del ritardo medio nel caso delle intersezioni a circolazione rotatoria.

Livello di servizio - LOS		Ritardo medio per veicolo [secondi]
A	Rapido smaltimento dei flussi veicolari	$d \leq 10$
B	Flussi in opposizione ridotti	$10 < d \leq 20$
C	Inizio di difficoltà di immissione sulla corona giratoria	$20 < d \leq 35$
D	Inizio di fenomeni di congestione	$35 < d \leq 55$
E	Limite accettabile della congestione	$55 < d \leq 80$
F	Verso la saturazione	$d > 80$

Tabella 1. Definizione del livello di servizio per le rotatorie (basato sul ritardo medio per veicolo).

ITER METODOLOGICO PER LA DEDUZIONE DEGLI ABACCHI DI CALCOLO

Si è già osservato come, in una rotatoria, il ritardo medio per veicolo sia fornito principalmente dal tempo perso dagli utenti alla linea di dare precedenza, in attesa di potersi immettere nella corrente veicolare in opposizione.

Tenuto conto dell'osservazione suddetta, si è impostato il seguente iter procedurale:

step 1: scelta degli intervalli di velocità coerenti con la connotazione extraurbana dei contesti presi in esame;

step 2: caratterizzazione geometrica delle rotatorie, tramite la definizione dei possibili raggi esterni;

step 3: definizione dei flussi in ingresso dai bracci della rotatoria;

step 4: definizione della portata veicolare sulla corona giratoria;

step 5: valutazione del ritardo medio per veicolo, secondo l'algoritmo implementato nel software SIDRA;

step 6: determinazione del livello di servizio, in base alle indicazioni fornite nella tabella 1.

In definitiva, i primi 4 step possono sintetizzarsi nella scelta dei dati di input; gli ultimi due passaggi della procedura si identificano, invece, con la deduzione dei parametri di output.

I parametri di input sono elencati nella tabella 2.

Dati di input	Valori utilizzati
Raggio minimo esterno della rotatoria	20 m, 30 m, 40 m, 50 m
Velocità operativa	40-50 Km/h, 60-70 Km/h, 80-90 Km/h, 100-110 Km/h
Larghezza della corona giratoria	8 m
Numero di corsie della corona giratoria	2
Larghezza delle corsie d'accesso	3,75 m
Numero delle corsie d'accesso	1
Flusso in ingresso/opposizione	da 100 a 1800 veic/h

Tabella 2. Parametri di input scelti per l'impostazione della procedura di calcolo.

Dall'analisi della tabella 2, si può evincere che:

- la scelta dei raggi è ricaduta sui valori potenzialmente più idonei per essere utilizzati nel caso di rotatorie extraurbane (da un minimo di 20 m ad un massimo di 50 m);
- gli intervalli di velocità (velocità operativa dei veicoli che si avvicinano all'intersezione) si spingono fino ai valori tipici della viabilità extraurbana;
- la corona giratoria si è considerata costituita da due corsie, per una larghezza complessiva di 8 m;

- ogni accesso è realizzato tramite una singola corsia di larghezza pari a 3,75 m;
- i valori delle portate veicolari, sia in ingresso che in opposizione, sono variabili entro l'intervallo compreso tra 100 veic/h e 1800 veic/h (secondo step consecutivi di 100 veic/h). Anche in questo caso, si è giunti a prendere in esame le condizioni di deflusso maggiormente condizionanti dal punto di vista delle interferenze veicolari.

In figura 4 è riportata la schematizzazione della rotatoria-tipo utilizzata per portare a compimento l'iter procedurale esposto precedentemente. Si può notare come, per il ramo di sinistra, siano indicati sia il flusso complessivo in ingresso (Q_i), che la portata veicolare in opposizione (Q_{opp}). Rimane sottinteso il fatto che tale simbologia è identicamente riferibile ad ognuno degli altri bracci che confluiscono nella rotatoria.

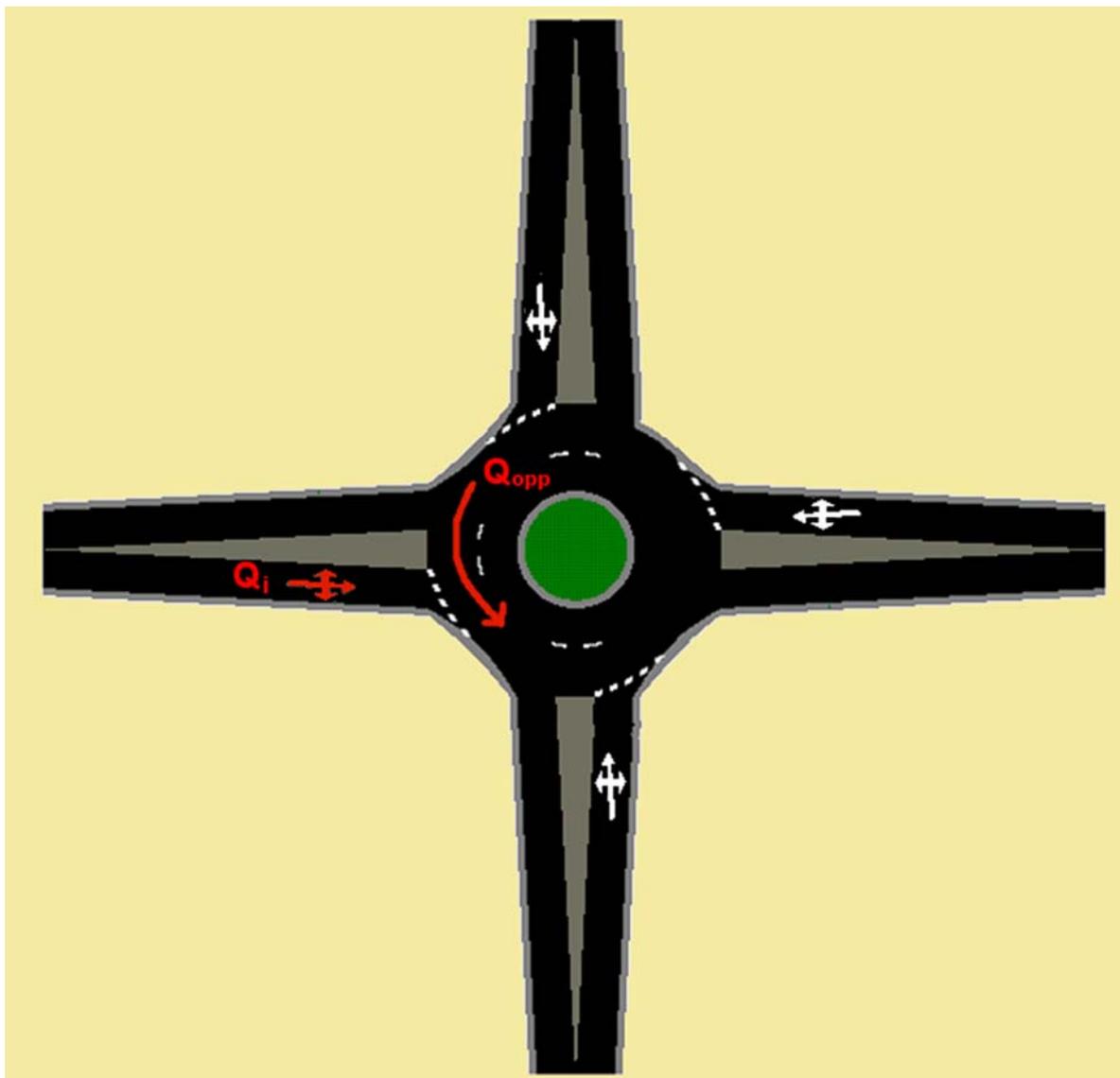


Figura 4. Schema della rotatoria-tipo e dei flussi veicolari utilizzati nelle elaborazioni.

La caratterizzazione geometrica della rotatoria-tipo, come si evince dalla figura 5, si basa su 5 elementi essenziali: il raggio minimo esterno (R), il raggio dell'isola centrale (R_C), la larghezza della corona giratoria (W_C), la larghezza della corsia d'ingresso (W_L), il raggio d'ingresso (r_0).

Il raggio esterno è legato al raggio dell'isola centrale e alla larghezza della corona giratoria (w_c) attraverso la seguente relazione: $R = R_C + W_C$.

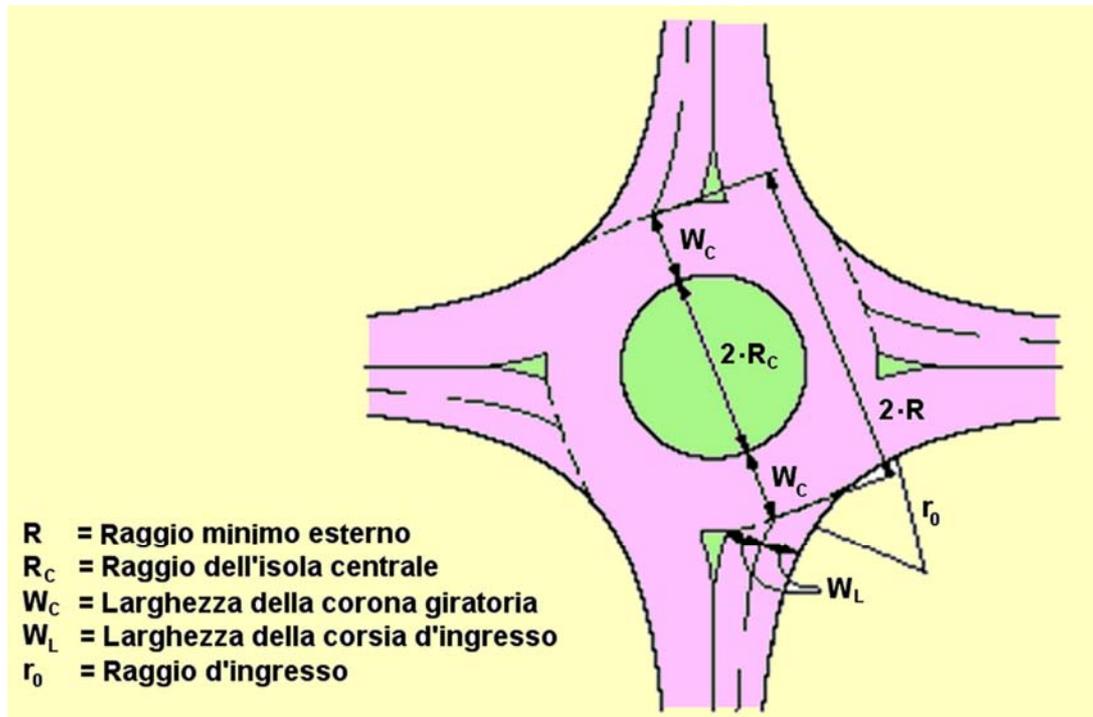


Figura 5. Caratterizzazione geometrica della rotatoria-tipo..

I dati di output (ritardi e livelli di servizio), ottenuti tramite l'applicazione del modello analitico su cui si fonda il software SIDRA, sono stati successivamente elaborati al fine di approntare gli abachi di calcolo da impiegare come strumenti sia di progetto (per la valutazione del raggio), sia di verifica (per la determinazione del livello di servizio delle rotatorie esistenti).

Per ognuno dei 4 intervalli di velocità prescelti (40-50 km/h, 60-70 km/h, 80-90 km/h, 100/110 km/h) è stata realizzata una "famiglia" di 4 abachi, ciascuno associato ad ognuno dei raggi esterni presi in esame (20 m, 30 m, 40 m, 50 m).

Ciascun abaco permette di quantificare il ritardo medio per veicolo (riportato in ordinata) corrispondente alla combinazione tra il flusso in ingresso (Q_i) proveniente dal braccio di immissione (riportato in ascissa) e quello in opposizione (Q_{opp}) sulla

corona giratoria (il cui valore numerico è associato ad ognuna delle curve presenti nell'abaco medesimo).

Ognuno dei sedici abachi, inoltre, riporta ben in evidenza i valori limite dei ritardi veicolari associati a ciascuno dei 6 livelli di servizio definiti tramite le indicazioni della tabella 1.

Le figure seguenti (dalla 6 alla 21) rappresentano gli abachi di calcolo ottenuti al termine dell'iter metodologico esposto nel presente paragrafo.

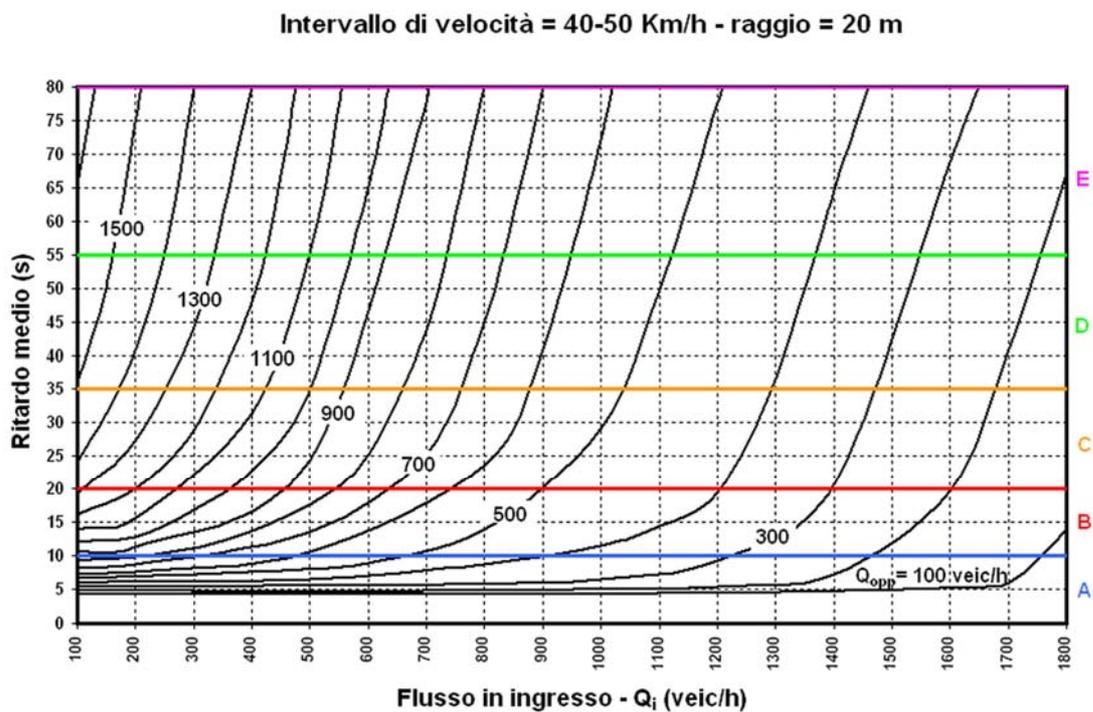


Figura 6. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 20 m. Velocità = 40-50 Km/h.

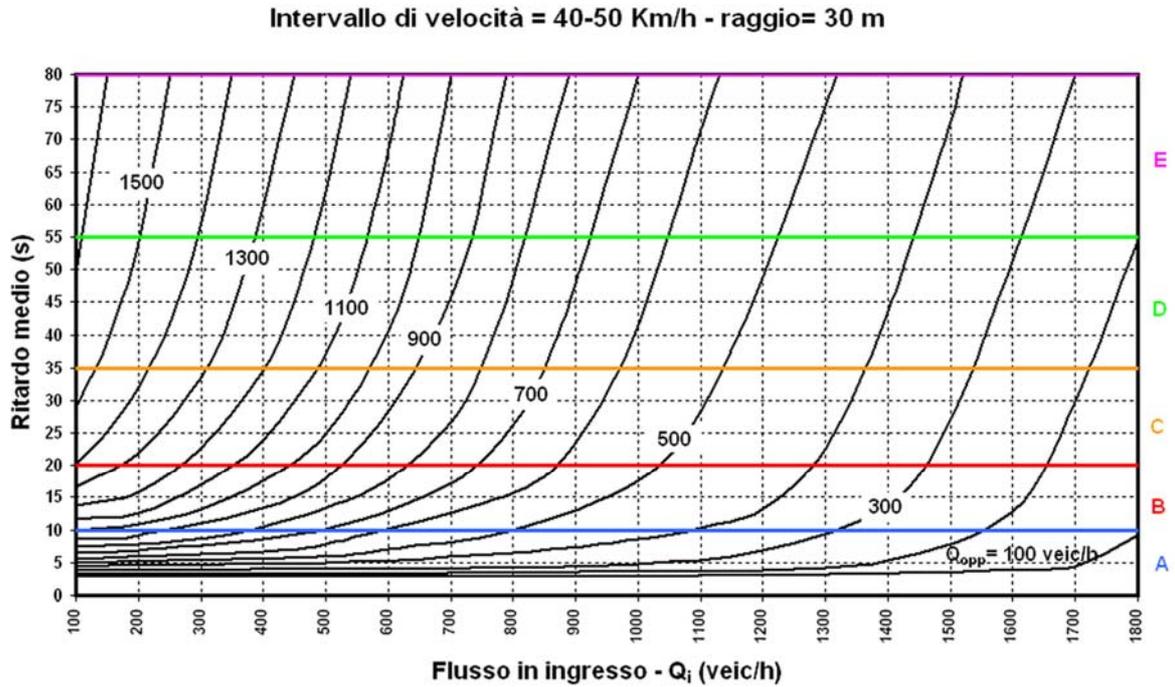


Figura 7. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 30 m. Velocità = 40-50 Km/h.

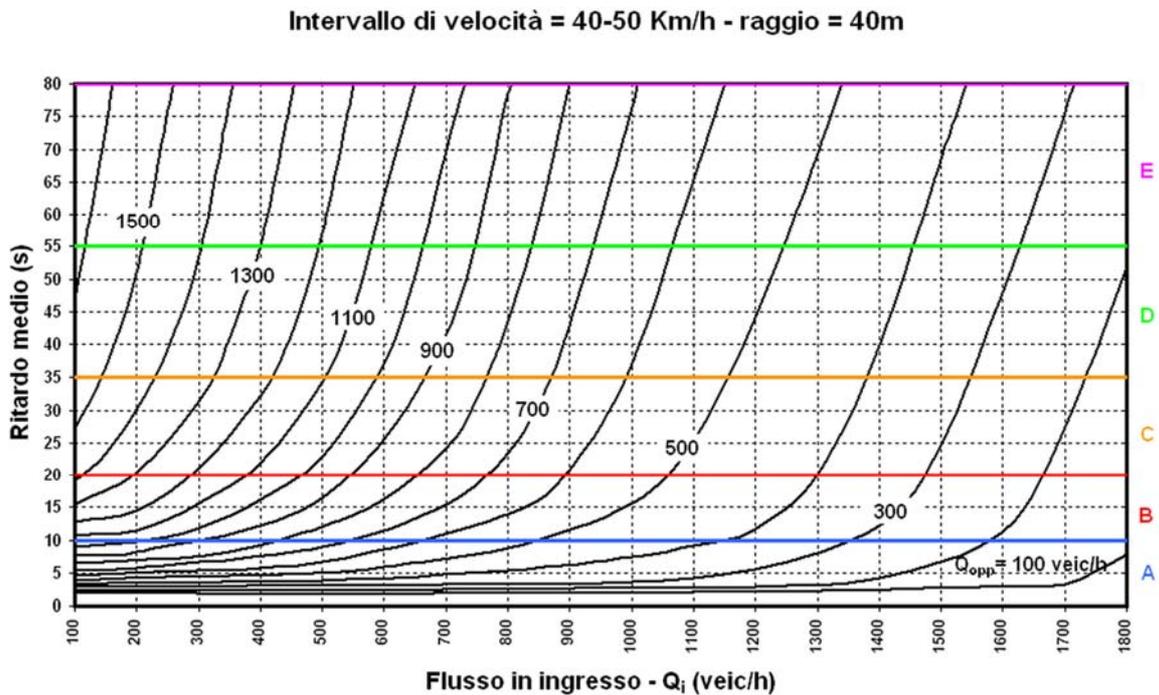


Figura 8. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 40 m. Velocità = 40-50 Km/h.

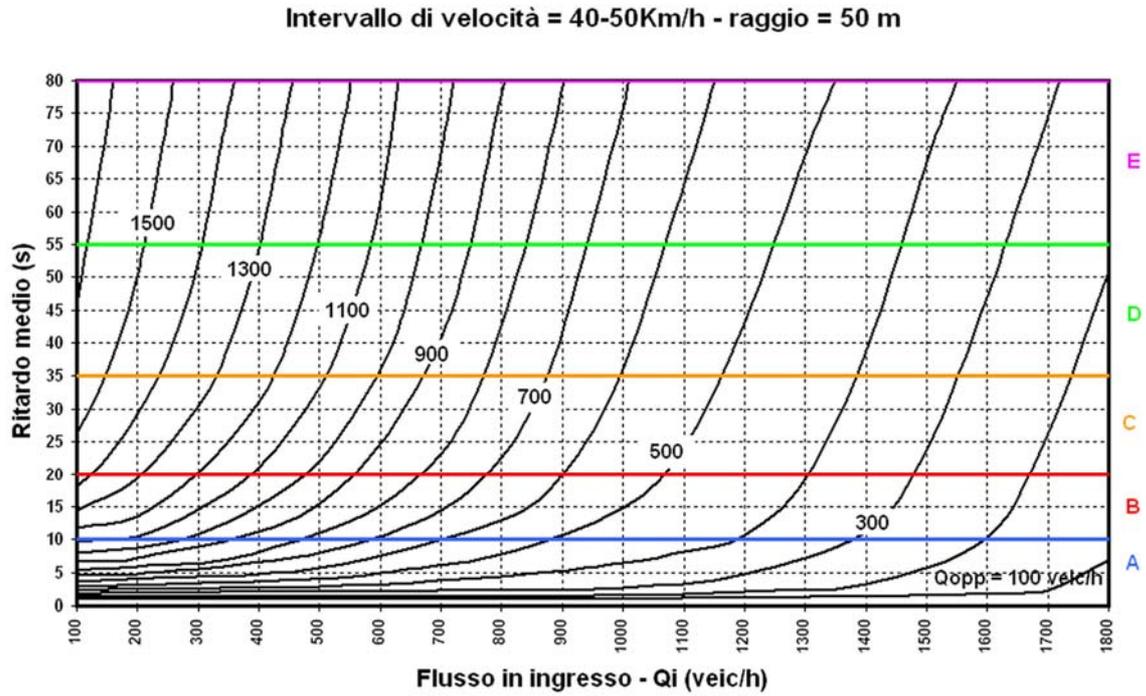


Figura 9. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 50 m. Velocità = 40-50 Km/h.

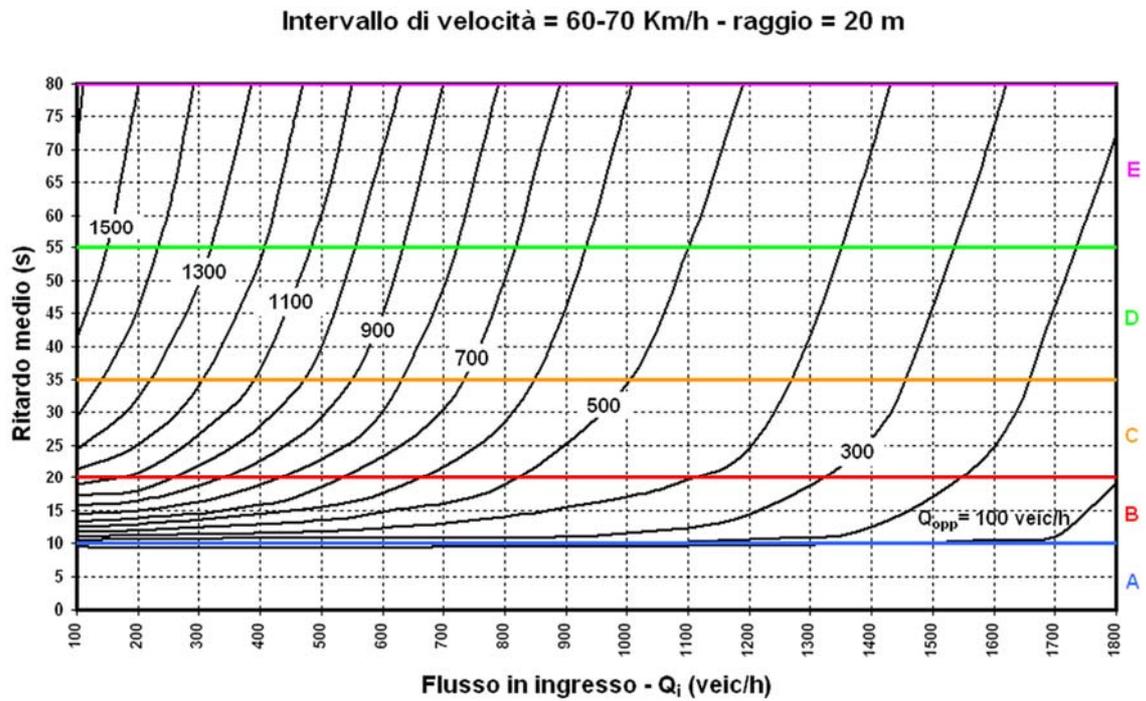


Figura 10. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 20 m. Velocità = 60-70 Km/h.

Intervallo di velocità = 60-70 Km/h - raggio = 30 m

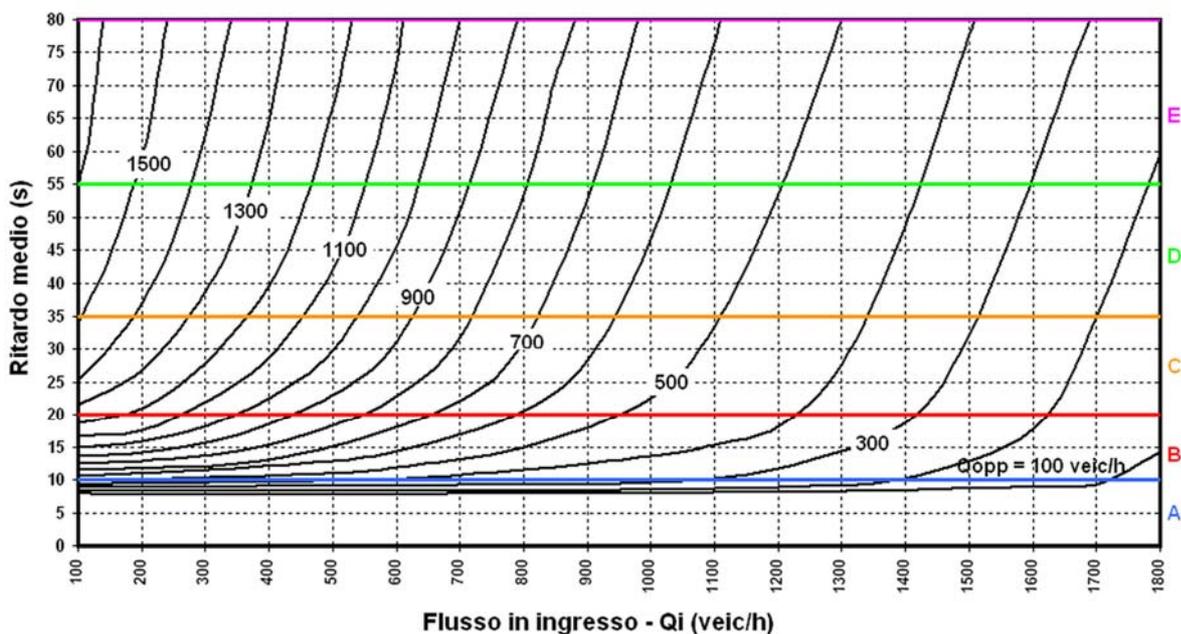


Figura 11. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 30 m. Velocità = 60-70 Km/h.

intervallo di velocità = 60-70 Km/ - raggio = 40 m

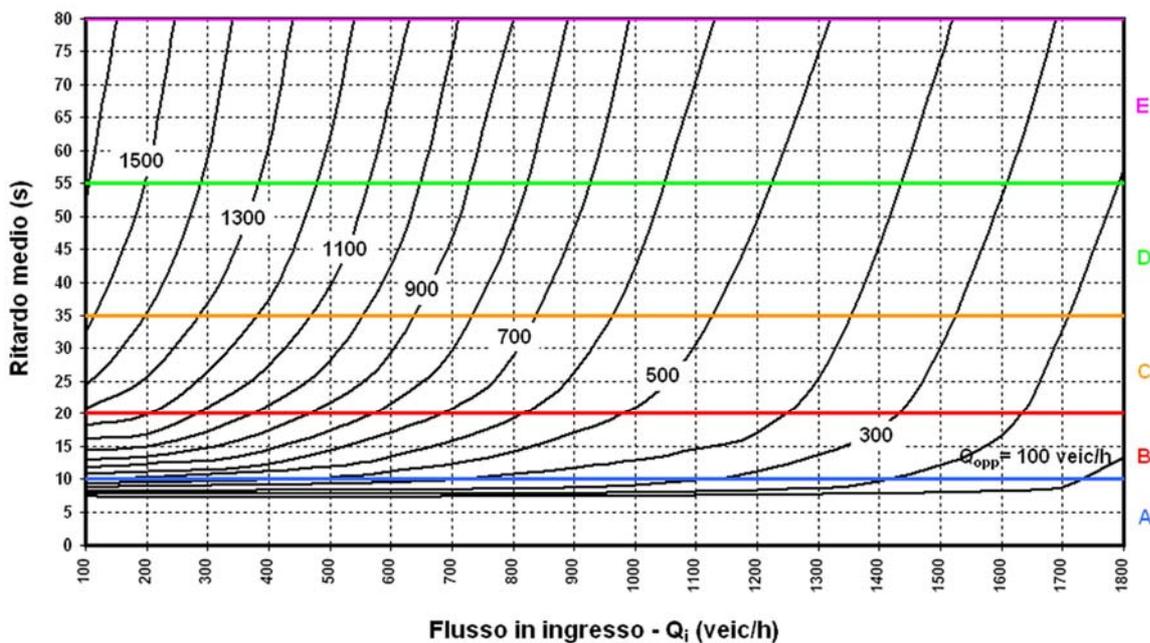


Figura 12. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 40 m. Velocità = 60-70 Km/h.

Intervallo di velocità = 60-70 Km/h - raggio = 50m

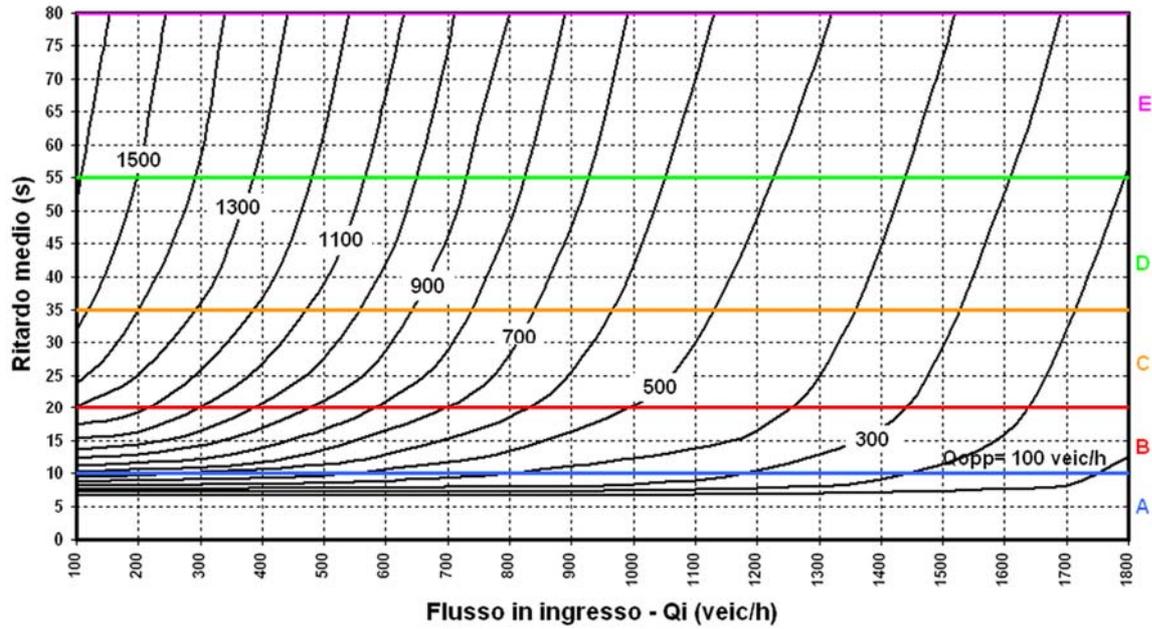


Figura 13. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 50 m. Velocità = 60-70 Km/h.

Intervallo di velocità = 80-90 Km/h - raggio = 20 m

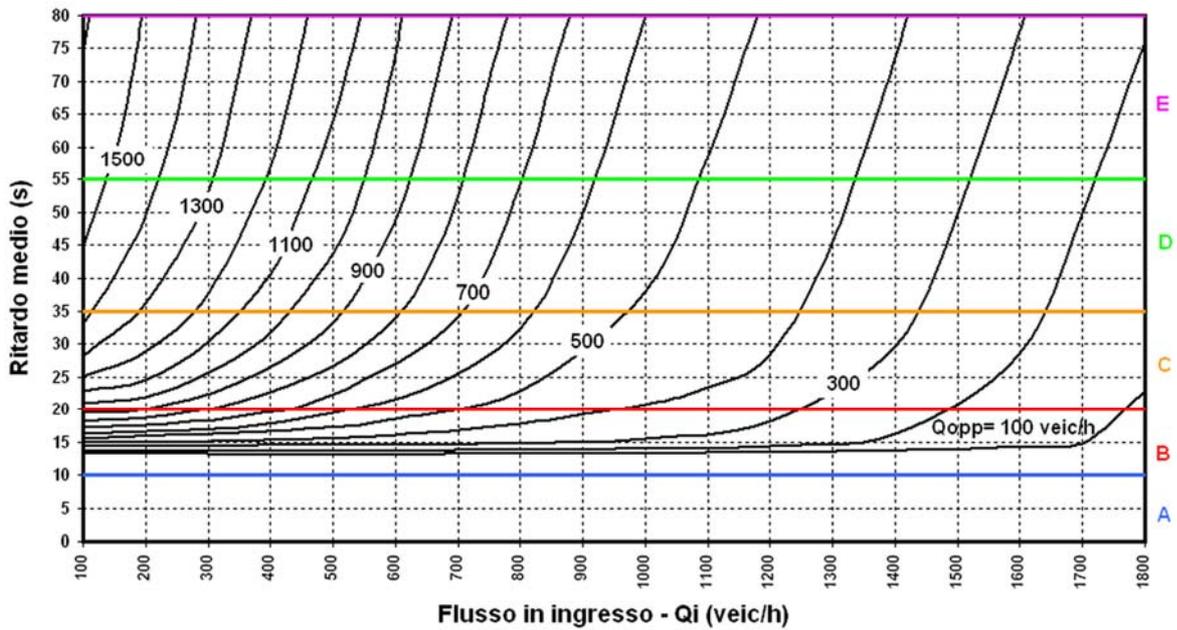


Figura 14. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 20 m. Velocità = 80-90 Km/h.

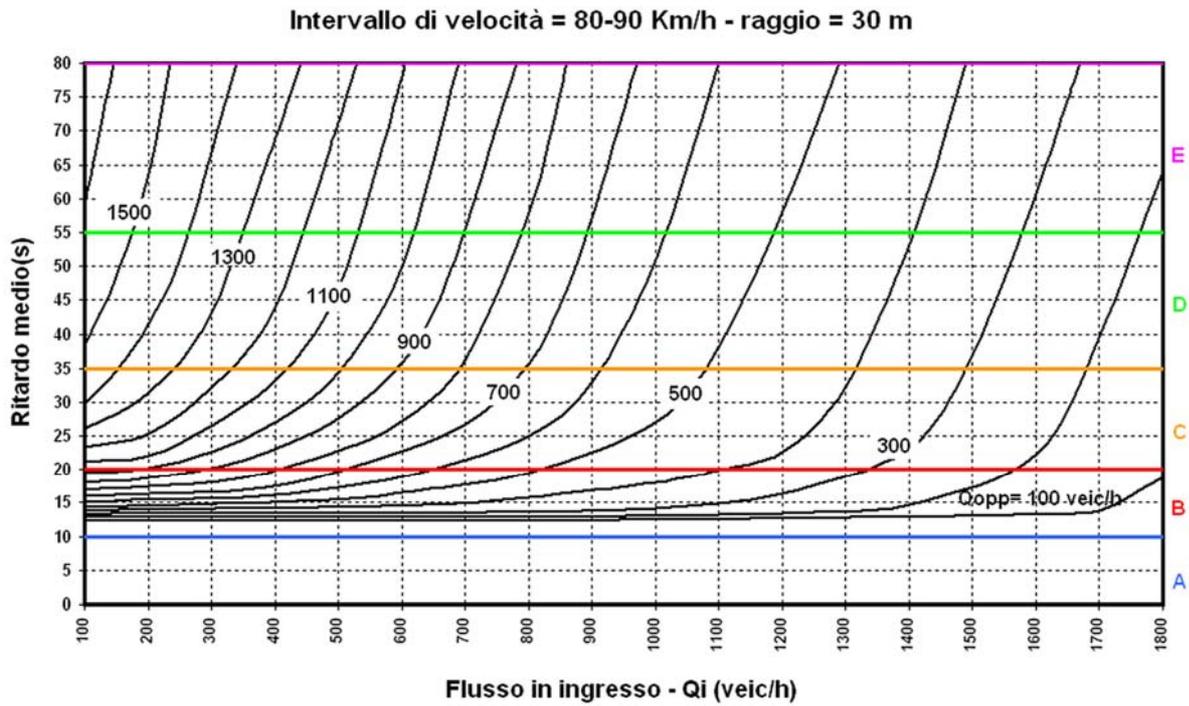


Figura 15. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 30 m. Velocità = 80-90 Km/h.

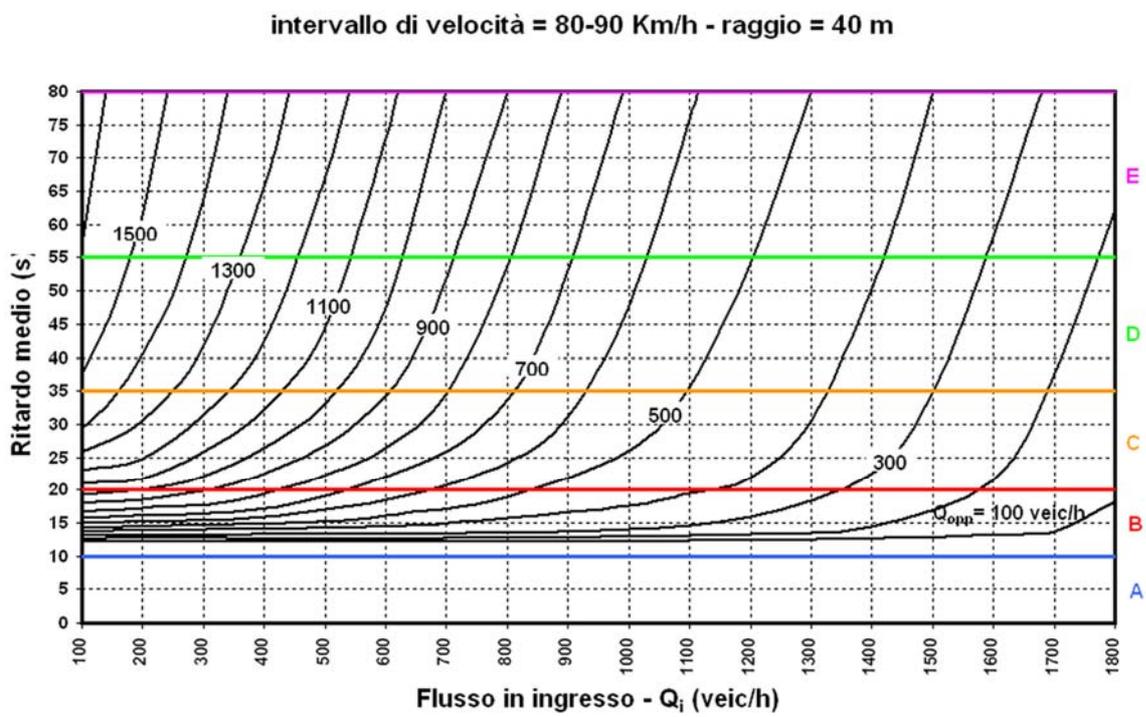


Figura 16. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 40 m. Velocità = 80-90 Km/h.

Intervallo di velocità = 80-90 Km/h - raggio = 50 m

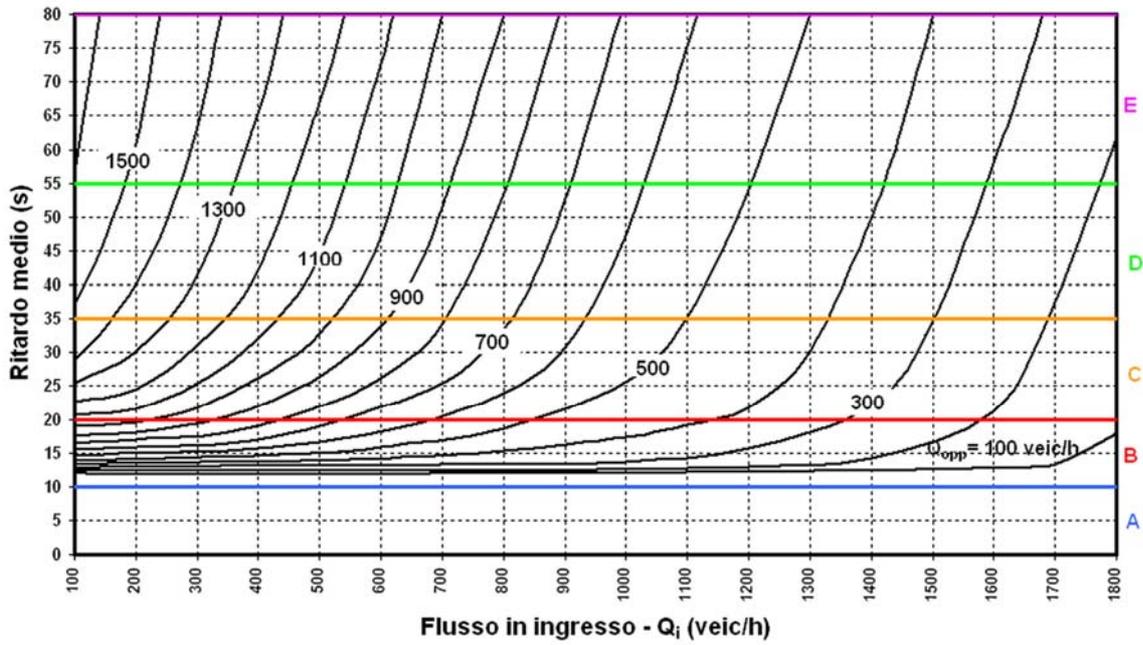


Figura 17. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 50 m. Velocità = 80-90 Km/h.

Intervallo di velocità = 100-110 Km/h - raggio = 20 m

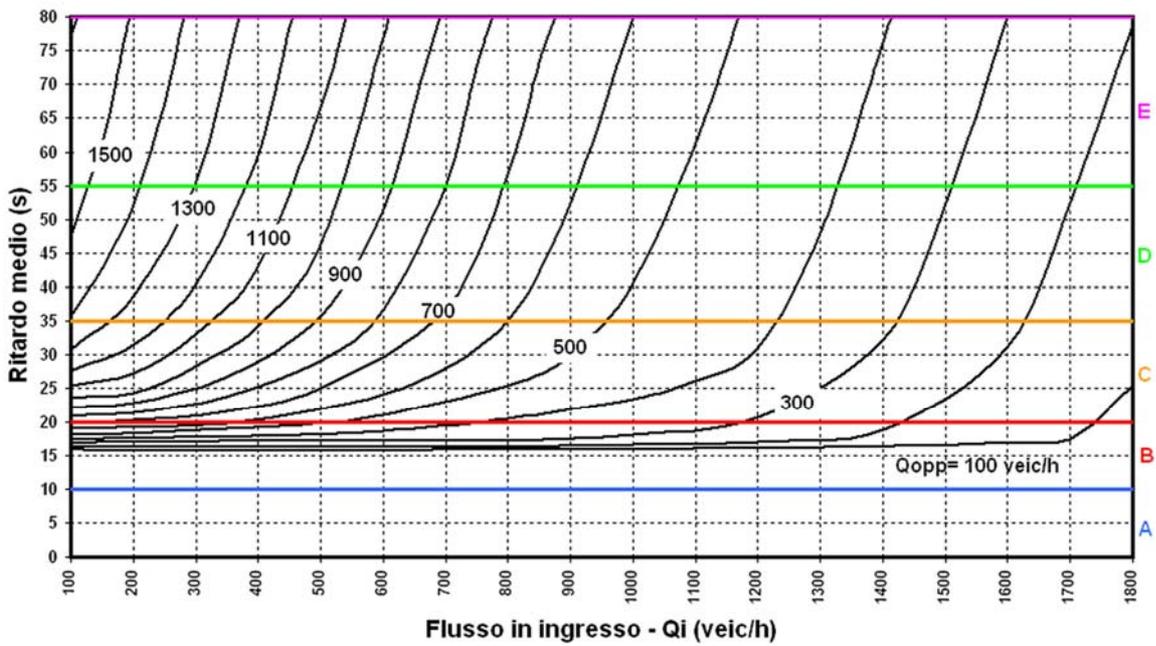


Figura 18. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 20 m. Velocità = 100-110 Km/h.

Intervallo di velocità = 100-110 Km/h - raggio = 30 m

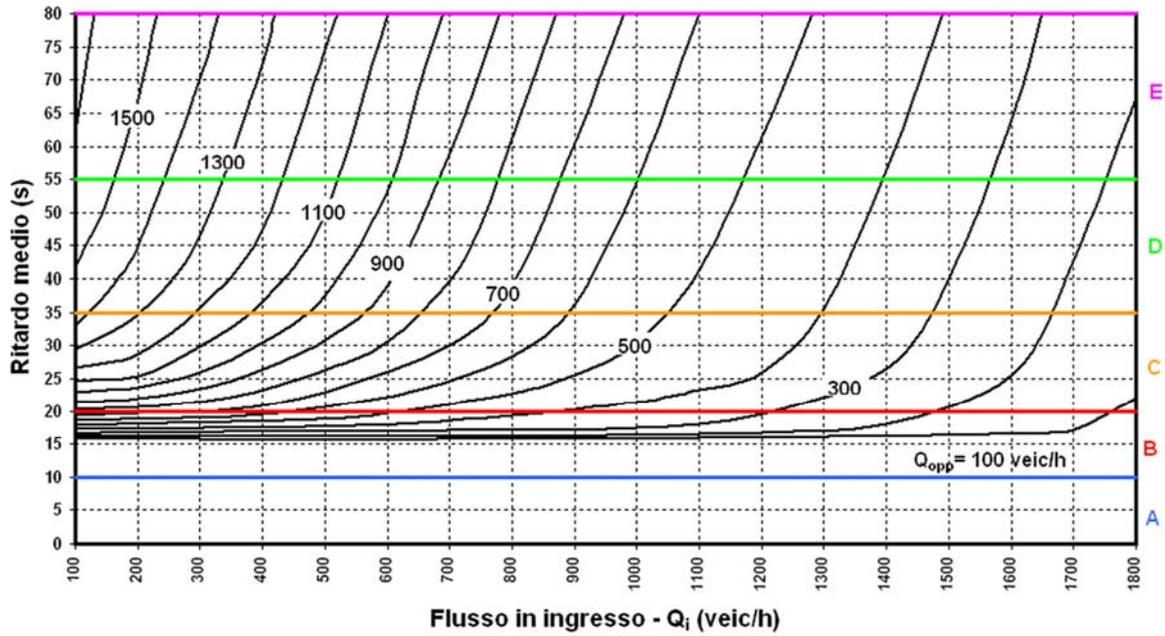


Figura 19. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 30 m. Velocità = 100-110 Km/h.

Intervallo di velocità = 100-110 Km/h - raggio = 40 m

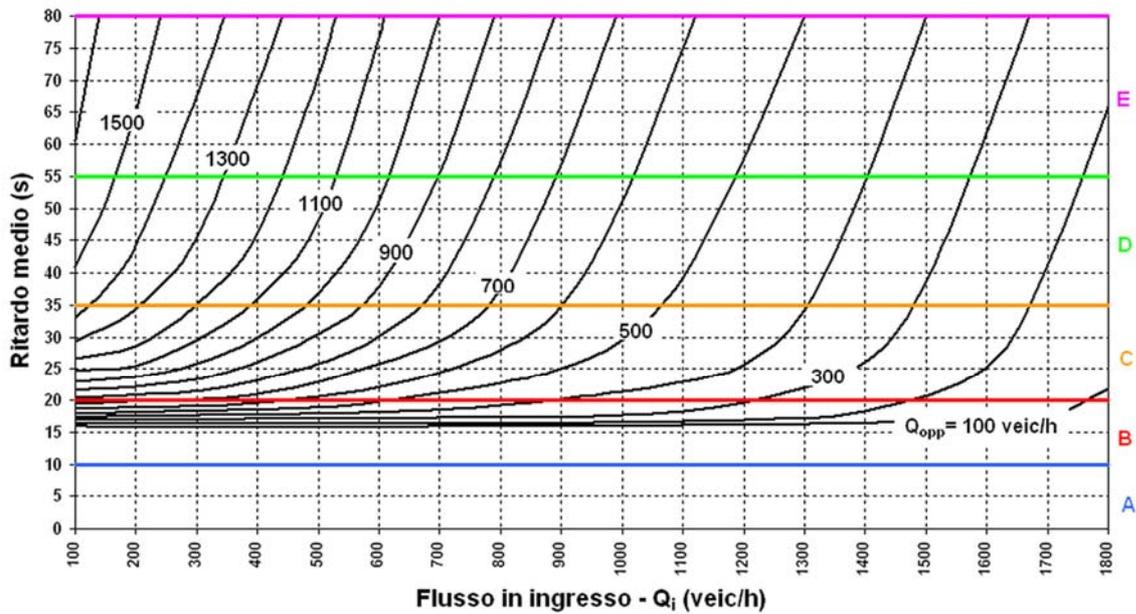


Figura 20. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 40 m. Velocità = 100-110 Km/h.

Intervallo di velocità = 100-110 Km/h - raggio = 50 m

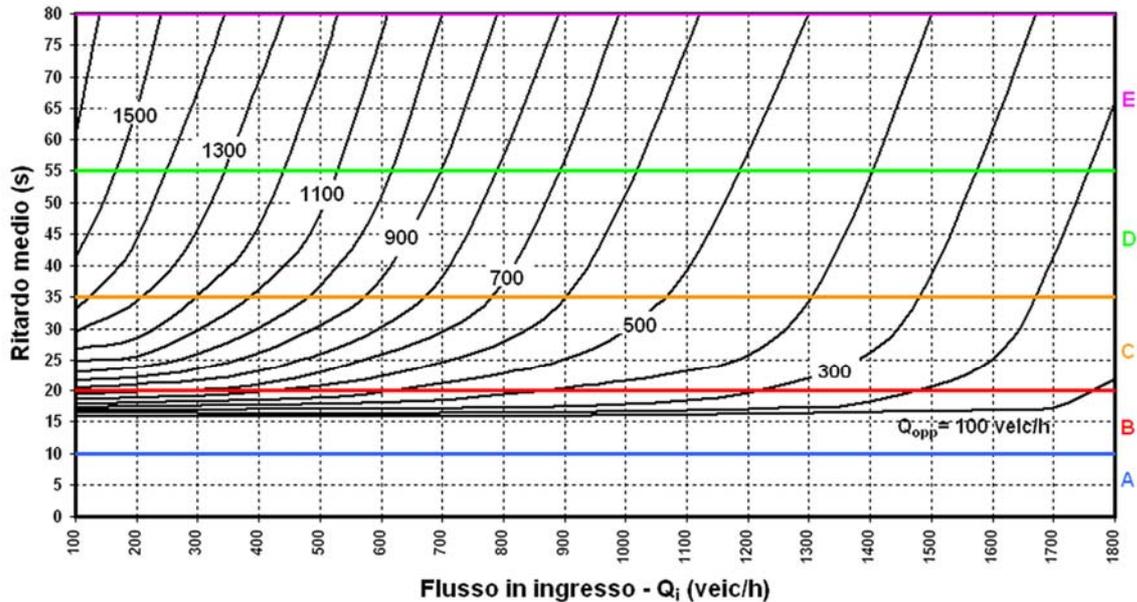


Figura 21. Abaco di calcolo per rotatorie con raggio esterno pari a 50 m. Velocità = 100-110 Km/h.

Dall'analisi degli abachi di calcolo è possibile dedurre alcune considerazioni concettualmente scontate, ma che, grazie ai risultati ottenuti a valle dell'iter procedurale proposto, trovano un riscontro chiaro e numericamente quantificabile; ci si sta riferendo alle seguenti osservazioni:

- nell'ambito di uno stesso range di velocità, al crescere della qualità del servizio corrisponde un incremento dei raggi minimi da adottare;
- all'aumentare della velocità operativa si riduce il livello di funzionalità potenzialmente ottenibile dalla rotatoria (oltre i 100 km/h, ad esempio, non si riscontrano configurazioni geometriche in grado di garantire un LOS = A).

METODOLOGIE DI PROGETTO E DI VERIFICA

L'utilizzo degli abachi di calcolo è differente a seconda dello scopo finale che si vuole ottenere.

Si possono distinguere due diversi tipi di procedura applicabili alle rotatorie:

- procedura di verifica;
- procedura di progetto.

In particolare, la prima procedura è utile per verificare la funzionalità di una rotatoria esistente, in relazione ai flussi di traffico gravanti sulla stessa in uno o più intervalli orari di riferimento; la seconda procedura, invece, può essere impiegata in fase di progettazione di

una nuova rotatoria, consentendo di ricavare il raggio dell'anello in funzione dei flussi ipotizzabili (o reali, nel caso di riqualifica di intersezioni a raso "tradizionali") e dei livelli di servizio che vengono ritenuti accettabili.

La **procedura di verifica** è semplice e immediata. Essa si può sintetizzare nei seguenti punti:

1. Si esegue, in primo luogo, un rilievo dei volumi di traffico che interessano le manovre tipiche della rotatoria di studio, nel/i periodo/i di analisi scelto/i.
2. Si procede alla determinazione delle velocità operative dei veicoli che percorrono i bracci della rotatoria (si consiglia di individuare la velocità dell'85° percentile).
3. Si accorpano i dati di traffico ottenuti inizialmente, in maniera tale da identificare il flusso in ingresso (Q_i) e la portata veicolare in opposizione (Q_{opp}), per ogni accesso alla rotatoria.
4. Note la velocità operativa (per ogni ramo della rotatoria) e la geometria complessiva dell'incrocio a circolazione rotatoria, si individua l'abaco che rispecchia più fedelmente le condizioni reali (in termini di raggio e di velocità di riferimento).
5. Si valutano, per ogni accesso della rotatoria, il ritardo medio ed il livello di servizio corrispondente, in funzione dei flussi di traffico in ingresso e in opposizione.

Anche la **procedura di progetto** risulta di facile applicazione. Essa può essere esposta attraverso i seguenti punti fondamentali:

1. Si devono svolgere ipotesi ragionevoli sui flussi di traffico gravanti sui bracci della rotatoria. A tal fine risultano utili le metodologie basate sulle indagini O/D (origine/destinazione). Nel caso di rotatorie da realizzare come intervento di riqualifica di intersezioni preesistenti, occorre svolgere l'indagine sul campo con le modalità già esposte al primo punto della procedura di verifica.
2. I dati ricavati al punto precedente devono essere elaborati al fine di quantificare i flussi in ingresso (Q_i) e quelli in opposizione (Q_{opp}), per ogni accesso all'intersezione.
3. Si definisce la velocità operativa degli utenti in marcia sulle direttrici che definiscono l'intersezione. Si suggerisce di far riferimento ai 3/4 della velocità di progetto nel caso di rotatorie di nuova realizzazione, e alla velocità dell'85° percentile nel caso di rotatorie che sostituiscono incroci già esistenti.
4. Si individua la condizione più gravosa in termini di portate veicolari (sia in ingresso che in opposizione). Si considera cioè l'accesso che presenta la combinazione peggiore (flussi più elevati) di Q_i e Q_{opp} .

5. Nota la velocità operativa dei veicoli in avvicinamento all'accesso individuato al punto precedente, si individuano gli abachi di calcolo associati all'intervallo di velocità entro cui ricade il valore di progetto.
6. La scelta del raggio da adottare risulterà condizionata dal livello di servizio che il progettista riterrà opportuno accettare. In tale contesto, occorrerà mettere in conto anche il parametro finanziario. Se si considera, infatti, che a livelli di servizio migliori corrispondono raggi maggiori, si capisce come il raggiungimento di un livello di funzionalità ottimale debba necessariamente richiedere investimenti di risorse finanziarie maggiormente sostenuti al fine di poter affrontare l'incremento dei vari costi (di costruzione, di esproprio, ecc.).

CONCLUSIONI

Le nuove metodologie di progettazione delle intersezioni stradali hanno portato, in questi ultimi anni, allo studio di nuove soluzioni che esprimano la necessità di venire incontro alle diverse problematiche riguardanti specialmente il rapporto sicurezza/prestazione.

A partire dalla riscoperta della rotatoria negli Stati Uniti si è avuta, negli ultimi trent'anni, una crescita esponenziale dello sviluppo funzionale di questo tipo di intersezione nei paesi europei più importanti, traducendo la necessità della stessa come una soluzione ai problemi della congestione e della regolamentazione del traffico.

La rotatoria, dunque, viene tuttora considerata come la soluzione che meglio fornisce i comportamenti positivi di autoregolamentazione nei guidatori.

In tale contesto, una questione lungamente dibattuta è quella relativa alla formulazione di criteri progettuali che permettano univocamente la definizione geometrica delle intersezioni a circolazione rotatoria.

La letteratura tecnica del settore propone diversi studi sulle caratteristiche geometriche, sui modelli interpretativi dell'andamento del traffico e sui modelli per la previsione della funzionalità. Attraverso i nuovi modelli di studio delle intersezioni stradali sono stati creati alcuni software di calcolo in diversi paesi del mondo. Nell'ambito del presente studio si è fatto uso degli algoritmi implementati nel software australiano SIDRA, che permette l'analisi completa di tutti i tipi di intersezioni, da quelle semaforizzate alle rotatorie.

Col supporto di tale modello di calcolo è stato possibile elaborare una metodologia in grado di permettere la caratterizzazione geometrica delle rotatorie in funzione del livello di funzionalità associato ai ritardi medi di attraversamento.

Il risultato finale si è esplicitato nell'elaborazione di una serie di abachi di calcolo utili nelle fasi di progettazione e di verifica delle rotatorie extraurbane.

Ogni abaco, infatti, si distingue per un dato valore del raggio minimo esterno e per un range di velocità; le curve riportate in ciascun abaco, inoltre, rappresentano la relazione tra ritardo medio per veicolo che si immette nel flusso circolante, e i valori dei flussi in ingresso ed in opposizione.

Attraverso l'impiego di questi abachi, si ritiene, in definitiva, che si possano affrontare in maniera più semplice e razionale sia le questioni inerenti alla scelta dei parametri geometrici, che quelle relative alla determinazione del grado di efficienza delle intersezioni a circolazione rotatoria.