

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI BIELLA

COMUNE DI VERRONE

**REALIZZAZIONE ROTATORIA INTERSEZIONE A RASO  
VIA DELLE STRETTE E S.P. 230 STRADA TROSSI**

**PROGETTO ESECUTIVO**

ELABORATO

**A<sub>1</sub>**

DATA

23.10.2024

SCALA

\*\*\*

TITOLO DELL'ELABORATO:

**Relazione Generale**

ALLEGATO ALLA DETERMINA n° \_\_\_\_\_ DEL \_\_\_\_\_

Il Responsabile del Servizio

Timbro e firma

*Dott. Ing. Giorgio Della Barile*

Via Garibaldi n°20 13818 Tollegno (Biella) - telefono 015 421242 335 6814543

E-mail [giorgio@dellabarile.com](mailto:giorgio@dellabarile.com)

## **RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

### **PREMESSE**

Lo studio riguarda la possibilità di realizzazione di intersezione a raso tra la via delle Strette e la provinciale Strada Trossi, nel Comune di Verrone. Tale intersezione, prevista dallo strumento urbanistico generale vigente ed indicata nel Progetto Unitario di Coordinamento, redatto in occasione del riconoscimento dell'addensamento commerciale extraurbano A5, ipotizzava una intersezione con innesto perpendicolare del prolungamento della via delle Strette sulla provinciale Strada Trossi, che in un primo momento è stato valutato in occasione della stesura di due strumenti urbanistici esecutivi, posti a lato del citato prolungamento della via delle Strette. Una prima fase di confronto con il competente Settore Provinciale, ha evidenziato tutte le potenziali criticità di tale proposta, in relazione ai flussi di traffico noti ed alla necessità di individuare una corsia centrale di decelerazione centrale, per i veicoli provenienti da sud, intenzionati ad effettuare una svolta a sinistra verso la via delle strette. In tale sede, l'Amministrazione comunale ha valutato la possibilità di proporre lo studio di una nuova rotatoria, non prevista nella strumentazione urbanistica citata, nella consapevolezza che tale nuova tipologia di intersezione, offre differenti livelli di sicurezza, anche se a fronte di differenti onerosità che non possono essere ricomprese nelle modalità attuative dei comparti adiacenti.

Con tali premesse, la proposta attuativa, contenuta nel presente studio di fattibilità, è stata composta, tenendo conto delle proposte di attuazione del nuovo tratto della via delle Strette, contenuto nei Piani esecutivi presentati, nel mantenimento degli accessi carrai in essere lungo entrambe i fronti della provinciale, della presenza dell'immissione dello svincolo del raccordo della SS230, delle aree preordinate all'uso pubblico dalla strumentazione urbanistica generale vigente, e dalla presenza di tratto del Canale Bazzella, in gran parte intubato nell'area di interesse, che è in fase di valutazione da parte dell'Autorità di Bacino, per definire la sua appartenenza o meno alle acque pubbliche di cui al Regio decreto 25 luglio 1904, n° 523.

## **Caratteristiche funzionali, tecniche, economico-finanziarie dei lavori da realizzare**

La soluzione proposta negli elaborati grafici allegati, consente la realizzazione di una nuova rotatoria di intersezione a raso tra la provinciale Strada Trossi (SP230) e la comunale Via delle Strette, mantenendo invariata la funzionalità degli accessi privati presenti lungo la provinciale. Per ottenere tale risultato, è stato necessario spostare verso sud il centro della rotatoria, imponendo alla via delle Strette una decisa piega verso sud e contro curva di innesto. In tale configurazione, mantenendo geometricamente le caratteristiche della carreggiata, proposte per il prolungamento della via delle Strette, si definisce un posizionamento che consente di ottenere corrette dimensioni sia del disco rotatoria che dei rami di innesto, compresa la realizzazione di adeguata deflessione dei flussi veicolari in percorrenza lungo la SP 230, con riferimento alla normativa di riferimento (Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali, DM 19 aprile 2006; Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada, d.p.r. 495/1992; linee guida Regione Piemonte del Giugno 2007 e delle NUOVE NORME CNR STRADE 2002-2004-2006). Sono posizionate sull'esterno del disco rotatoria i punti luce per l'illuminazione stradale come quelli dell'illuminazione dei passaggi pedonali, che necessitano di una specifica armatura, segnaletica ed illuminazione atta ad evidenziare tali posizioni anche nelle ore notturne. Gli schemi grafici indicano un percorso pedonale di collegamento dei tra i fronti opposti della strada provinciale, consentendo un attraversamento in maggior sicurezza. La piantumazione sull'anello esterno sistemato a verde ed i cespugli al centro della rotatoria, completano la caratterizzazione dell'ambito. Per le superfici stradali esterne all'attuale sedime della Provinciale, è prevista la realizzazione di una fondazione stradale, a seguito di opportuno scavo, costituita da strato non inferiore a 40 cm di naturale di cava, steso e cilindrato a secco, su terreno naturale, previa realizzazione di strato costituito da tessuto non tessuto avente peso superiore ai 200 g/m<sup>2</sup>, al di sopra del quale formare due strati in misto granulare stabilizzato aventi ciascuno spessore di 15 cm a seguito di compattazione a secco, sui quali realizzare una fondazione in tout venant bitumato dello spessore di 16 cm (doppio strato da 8 cm), strato di collegamento in Binder non inferiore a 6 cm e tappeto d'usura sommitale di spessore di 4 cm (valori indicati per strati cilindrati). Per le parti già occupate da sede stradale, si è ipotizzata la sola scarifica parziale, la stesura di strato d'usura. I marciapiedi e gli attraversamenti pedonali indicati, sono ipotizzati con pavimentazione in autobloccanti di tipo semi permeabile. Al fine di migliorare gli aspetti di sicurezza e scorrevolezza del tratto, a seguito di confronto con l'Amministrazione Provinciale, si è valutato di proporre un intervento nel tratto a valle dell'intersezione, al fine di eliminare l'attuale interferenza tra accesso privato esistente (Autogrillo) e corsia di immissione dal raccordo Lancia, provvedendo per quest'ultimo una lieve riformulazione della geometria della posizione d'innesto, che consentirà di terminare la manovra di inserimento prima dell'accesso carraio privato esistente, per il quale è stata proposta la realizzazione di una corsia centrale di accumulo per la svolta a sinistra dei veicoli in provenienza dall'intersezione.

Il quadro economico allegato propone, per capitoli, la definizione dell'importo valori a base d'asta e delle somme a disposizione dell'Amministrazione, per la realizzazione dell'opera. Tali valori ricomprendono la realizzazione del tratto terminale della via delle Strette e la sistemazione del canale Bazzella, attraverso la realizzazione di una ampia canalizzazione da ottenere mediante elementi scatolari in c.a.p. avente sezione non inferiore a 1,60m (base) x 1,60m (altezza). A seguito di una prima ipotesi che valutava la presenza di un grande tratto a monte intubato con collettore formato da tubi in calcestruzzo a sezione circolare avente diametro massimo pari a 80cm alla sezione di imbocco, posta a monte di circa 200m, rispetto al tratto d'interesse, con il contributo del competente Settore Regionale, si è riformulata la proposta valutando un nuovo canale in c.a.p. dotato di copertura grigliata di classe 1 ai fini della sicurezza, che trova continuità nel tratto al di sotto della via delle Strette che consente una lieve riformulazione di tale tracciato, al fine di evitare una interferenza con il novo raccordo stradale, con soletta di copertura, al fine di garantire le portate duecentennali non calibrate dall'attuale artificializzazione avente diametro pari ad 80 cm. A tal fine il raccordo tra la tombinatura esistente e questo nuovo tratto, di sezione decisamente maggiore, avviene con grande pozzetto di caduta e raccordo avente dimensioni interne di 200x200 cm, soletta carrabile e chiusino in ghisa classe C250, posto a monte della nuova viabilità di raccordo.. Per quanto attiene alla raccolta e smaltimento delle acque meteoriche intercettate dalle nuove pavimentazioni bitumate, viene confermato parte, ove possibile, lo smaltimento nella cunetta stradale esistente, mentre le portate intercettate da sistema di caditoie grigliate e collettore formato da tubazioni in PEHD, indicato negli elaborati grafici viene collettato nel nuovo tratto canalizzato in progetto. La segnaletica orizzontale e verticale computata, è quella prevista dal Codice della Strada.

Le aree interessate dalle opere proposte, non sono vincolate dal punto di vista ambientale, rappresentano parte delle aree pertinenziale dell'attuale strada provinciale, e delle adiacenti superfici preordinate all'uso pubblico dallo strumento urbanistico generale vigente. La realizzazione dei supporti dei corpi illuminanti dei passaggi pedonali, richiedono una verifica rispetto ai vincoli proposti dalla presenza del vicino aeroporto, presso l'autorità competente (ANAC); vista la posizione rispetto alla pista aeroportuale e l'altezza degli edifici al contorno, si ritiene possibile ottenere il necessario assenso. Dal punto di vista del dimensionamento, quanto proposto è analogo alle intersezioni presenti, di recente realizzazione, ed a quanto dimensionato in occasione della stesura del Progetto Unitario di Coordinamento.

### **Analisi delle possibili alternative rispetto alla soluzione realizzativa individuata;**

Le soluzioni alternative possono essere costituite dall'insieme delle intersezioni dirette a T tra la provinciale e la via delle Strette; anche ipotizzando corsie di decelerazione centrali per la svolta a sinistra ed adeguata segnaletica ed illuminazione, il Settore Provinciale ha ritenuto di preannunciare un suo parere contrario a tali soluzioni tecniche. Un impianto semaforico realizzerebbe una significativa riduzione della capacità di deflusso della provinciale in relazione alla presenza di un impianto semaforico in corrispondenza

dell'intersezione appena monte, lungo la provinciale, con la via Zumaglini all'altezza della Piazza Alpini d'Italia. Differenti posizionamenti del disco rotatoria e dimensioni dello stesso, sono stati valutati e scartati in relazione alla necessità di mantenere funzionali tutti i passi carrai esistenti lungo la provinciale, condizione irrinunciabile, non essendo possibile prevedere accessi diretti in rotatoria o alternative di accesso ai singoli lotti fondiari edificati presenti. Una posizione intermedia più baricentrica tra la rotatoria per lo svincolo di Benna e l'impianto semaforico di Verrone, non consente un corretto dimensionamento in relazione agli accessi ed organismi edilizi esistenti, come verificato con il competente settore provinciale.

Ai fini della valutazione preventiva della sostenibilità ambientale e della compatibilità paesaggistica dell'intervento, non sono presenti vincoli ambientali, storici, paesaggistici interferenti sulle aree o sugli immobili interessati dall'intervento, risulta necessaria una verifica archeologica sulle aree interessate dall'opera pubblica, ritenendo adeguate le caratteristiche descritte dei nuovi manufatti in progetto a garantire e salvaguardare i valori al contorno.

## TRAFFICO DI PROGETTO

I flussi di traffico da utilizzare per la verifica delle rotatorie sono stati desunti, dai rilievi di traffico predisposti dal geoportale della Regione Piemonte definito da SVR per l'anno 2020. Tali dati, evidenziano un **TGM di 11417** v/g ed una percentuale di traffico pesante (di peso superiore a 30 kN) dell'ordine del 0.09 %.

Per un traffico giornaliero medio totale stimato,  $TGM = 11450$  veicoli/giorno, si calcola quindi il numero totale di veicoli commerciali al giorno:

$TGM_{vc}(\text{giorno}) = TGM \cdot pvc = 1060$  veicoli commerciali/gg avendo assunto, come prima definito:

- $pvc$  = percentuale di veicoli commerciali sul traffico totale = 0.09 %

Si calcola in seguito il numero totale di veicoli commerciali transitati nel primo anno sulla corsia più caricata, ovvero:

$nvc(\text{anno}) = 365 \cdot TGM_{vc} \cdot p_d \cdot p_{corsia} = 193540$  veicoli commerciali/anno

- $p_d$  = percentuale di traffico per senso di marcia = 50%, come di solito si assume per strade ad unica carreggiata, con due corsie, una per senso di marcia come quella di progetto;
- $p_{corsia}$  = percentuale di traffico sulla corsia = 100%, come di solito si assume per strade ad unica carreggiata, con due corsie, una per senso di marcia.

## CRITERI PER LE VERIFICHE DEI RISPONDENZA AL D.M. 19/04/2006

### *Tipologie*

La normativa cogente considera tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna  $D_e$  (limite della corona rotatoria):

- rotatorie convenzionali con diametro esterno  $D_e$  compreso tra 40 e 50 m;
- **rotatorie compatte con diametro esterno  $D_e$  compreso tra 25 e 40 m;**
- mini rotatorie con diametro esterno  $D_e$  compreso tra 14 e 25 m.

Per sistemazioni con "circolazione rotatoria", che non rientrano nelle tipologie su esposte, il dimensionamento e la composizione geometrica debbono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui. In questi casi le immissioni devono essere organizzate con

appositi dispositivi.

Un ulteriore elemento distintivo tra le tre tipologie fondamentali di attrezzatura rotatoria è rappresentato dalla sistemazione dell'isola circolare centrale:

- in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti nel caso di mini-rotatorie con diametro esterno  $D_e$  compreso fra 25 e 18 m;
- completamente transitabile per quelle con diametro esterno  $D_e$  compreso fra 18 e 14 m;
- non sormontabile per le rotatorie compatte.

In base alla classificazione delle intersezioni riportata nel capitolo 3, in ambito extraurbano l'adozione

di mini rotatorie viene limitata agli incroci tipo F/F tra strade locali, mentre le rotatorie compatte sono

consentite per gli incroci tipo C/C, C/F, F/C.

Un'intersezione stradale risolta a rotatoria va accompagnata lungo i rami di approccio da idonea segnaletica, se necessario anche integrativa rispetto a quella di preavviso, e da eventuali ulteriori strumenti di regolazione della velocità.

### *Dimensionamento degli elementi modulari*

La norma vigente definisce le larghezze degli elementi modulari delle rotatorie, secondo quanto indicato nella tabella successiva.

Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	$\geq 40$	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	$\geq 40$	9,00
	$< 40$	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	$< 25$	4,00
	$\geq 25$	4,50

(\*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.

(\*\*) organizzati al massimo con due corsie.

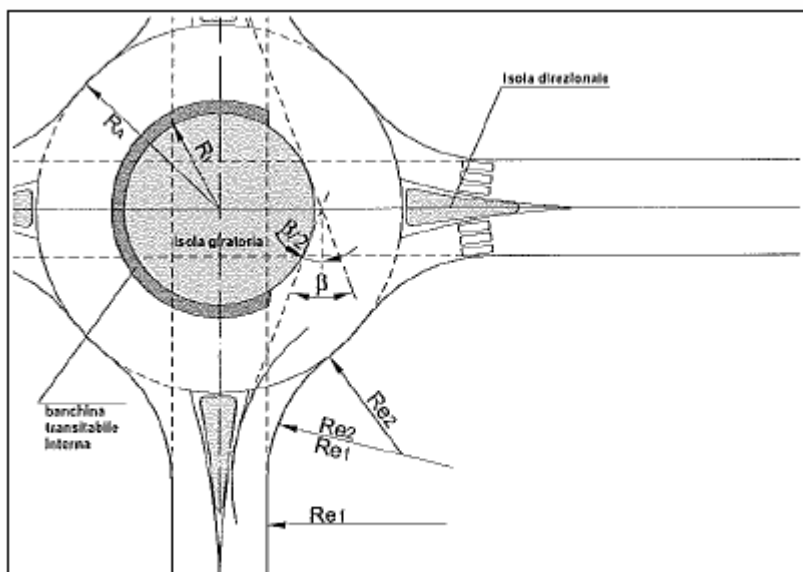
### Tipologie di rotatoria

#### Geometria delle rotatorie

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo. Infatti, per impedire l'attraversamento di un'intersezione a rotatoria ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati per mezzo dell'isola

centrale. La valutazione del valore della deviazione viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione  $\beta$  (vedi Figura). Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione  $\beta$ , bisogna aggiungere al raggio di entrata  $R_{e,2}$  un incremento  $b$  pari a 3.50

m. Per ciascun braccio di immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione  $\beta$  prossimo o superiore ai  $45^\circ$ .



Elementi di progetto e tipizzazione delle rotatorie

## ***DISTANZE DI VISIBILITÀ DELLE INTERSEZIONI A RASO***

Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso, e come principio di carattere più generale, occorre procedere sempre ad una gerarchizzazione delle manovre in modo da articolare le varie correnti veicolari in principali e secondarie; ne consegue la necessità di introdurre segnali di precedenza o di stop per ogni punto di conflitto, evitando di porre in essere situazioni di

semplice precedenza a destra senza regolazione segnaletica.

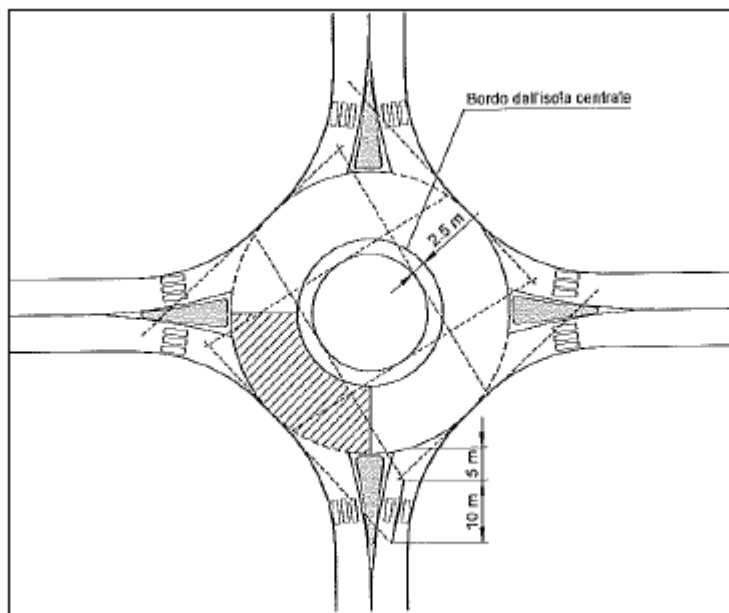
Per le traiettorie prioritarie si devono mantenere all'interno dell'intera area di intersezione le medesime condizioni di visibilità previste dalla specifica normativa per le arterie stradali confluenti nei nodi; la presenza dell'intersezione non può difatti costituire deroga agli standard usuali in rapporto alla visibilità del tracciato.

Per le manovre non prioritarie le verifiche vengono sviluppate secondo il criterio dei triangoli di visibilità relativi ai punti di conflitto di intersezione generati dalle correnti veicolari.

Il lato maggiore del triangolo di visibilità viene rappresentato dalla distanza di visibilità principale  $D$ , data dall'espressione:  $D = v \cdot t$

In cui:

- $v$  = velocità di riferimento [m/s], pari al valore della velocità di progetto caratteristica del tratto considerato o, in presenza di limiti impositivi di velocità, dal valore prescritto dalla segnaletica;
- $t$  = tempo di manovra pari a:
  - in presenza di manovre regolate da precedenza: 12 s;



Campi di visibilità in incrocio a rotatoria

- in presenza di manovre regolate da Stop: 6 s.

Tali valori vanno incrementati di un secondo per ogni punto percentuale di pendenza longitudinale del ramo secondario superiore al 2%.

Il lato minore del triangolo di visibilità sarà commisurato ad una distanza di 20 m dal ciglio della strada principale, per le intersezioni regolate da precedenza, e di 3 m dalla linea di arresto, per quelle regolate da Stop. All'interno del triangolo di visibilità non devono esistere ostacoli alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto di intersezione considerato. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi la massima dimensione planimetrica superiore a 0.8 m.

Negli incroci a rotatoria, i conducenti che si approssimano alla rotatoria devono vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di cedere ad essi la precedenza o eventualmente arrestarsi; sarà

sufficiente una visione completamente libera sulla sinistra per un quarto dello sviluppo dell'intero anello, secondo la costruzione geometrica riportata in figura, posizionando l'osservatore a 15 metri dalla linea che delimita il bordo esterno dell'anello giratorio.

***DIREZIONE: VILLANOVA – BIELLA***  
*riassuntiva da mercoledì a domenica*

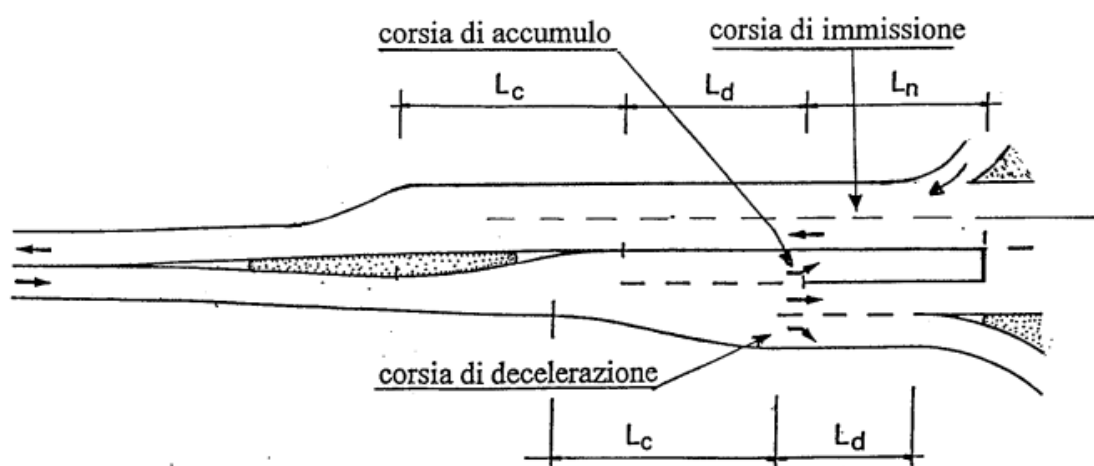
Giorni	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00
<b>Mercoledì</b> <b>24/11/04</b>	75	348	445	349	329	284	234	291	344	369	345	423	390	266	187	88
<b>Giovedì</b> <b>18/11/04</b>	81	310	372	335	299	299	274	304	358	337	351	439	404	295	211	105
<b>Venerdì</b> <b>19/11/04</b>	85	324	357	357	291	294	238	278	339	372	441	454	409	359	253	180
<b>Sabato</b> <b>20/11/04</b>	58	130	161	254	309	297	253	234	320	451	407	415	317	279	249	146
<b>Domenica</b> <b>21/11/04</b>	27	39	99	162	198	232	186	139	270	447	488	460	333	244	152	132

***DIREZIONE: VERRONE – BIELLA*** *Riepilogo da martedì a giovedì*

Giorni	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00
<b>Martedì</b> 12/10/04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143	657	721	754	488	299	194
<b>Mercoledì</b> 13/10/04	152	451	531	497	489	499	532	476	596	527	594	723	790	502	295	176
<b>Giovedì</b> 14/10/04	151	481	530	565	452	504	542	437	591	543	648	704	711	467	282	198

## CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE CORSIE DI ACCUMULO E DI IMMISSIONE NELLE INTERSEZIONI A RASO LINEARI

Le corsie di accumulo vengono inserite nelle intersezioni a raso per raccogliere i veicoli che debbono eseguire una manovra di svolta a sinistra, in modo che essi possano sostare in attesa di eseguire la loro manovra senza ostacolare i veicoli della loro stessa corrente che invece debbono proseguire senza svoltare. Una corsia di accumulo si compone di tre parti (fig. 1): un tratto di invito  $L_c$ , un tratto di decelerazione  $L_d$ , ed un tratto di accumulo  $L_n$ . Le lunghezze dei primi due tratti sono le stesse di una analoga corsia di decelerazione (v. 6...). La lunghezza della zona di accumulo deve invece essere calcolata studiando il fenomeno di attesa dei veicoli che debbono effettuare la svolta a sinistra.



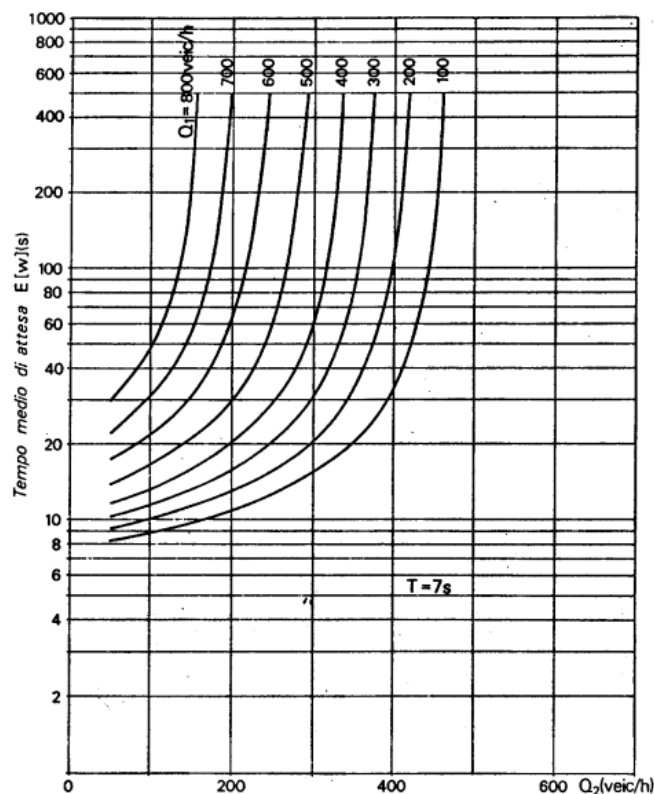
Si consideri il comportamento dell'autista di un veicolo il quale, giunto alla linea di STOP ubicata alla estremità di una corsia di accumulo, è in attesa di attraversare la corrente di senso opposto per eseguire la sua manovra di svolta a sinistra. Egli osserva gli intervalli fra i veicoli della corrente da attraversare e, non appena giudica uno di questi sufficientemente ampio, esegue la sua manovra. L'ampiezza dell'intervallo accettato varia da un autista all'altro in funzione delle sue caratteristiche: età, sesso, condizioni psicologiche. Alcuni autisti accettano un intervallo solo quando è tanto ampio da garantire una manovra sicura, altri accettano intervalli alquanto più piccoli, eventualmente costringendo al rallentamento il veicolo che sopraggiunge nella corrente da attraversare. Si può definire per ogni automobilista un intervallo critico  $T$ , tale che tutti gli intervalli ad esso inferiori vengono rifiutati, mentre quelli più grandi sono accettati. L'intervallo critico è distribuito in maniera aleatoria nella popolazione dei conducenti, ed esistono tecniche sperimentali che consentono di calcolarne la legge di probabilità. Nello studio dei fenomeni di attesa riguardanti la geometria stradale si suppone per semplicità che l'intervallo critico sia lo stesso per tutti i conducenti, uguale alla mediana della effettiva distribuzione di probabilità. I risultati di numerose misure sperimentali concordano nell'assegnare ad esso un valore compreso fra **7 e 8 sec**. Nella progettazione delle corsie di accumulo due sono i parametri che debbono essere calcolati: il numero medio di veicoli in attesa, e il tempo medio di attesa. Il primo parametro è necessario per calcolare la lunghezza della zona di accumulo, il secondo per conoscere il livello di servizio della soluzione progettuale adottata, ed in particolare le sue caratteristiche di sicurezza: se infatti il tempo di attesa risultasse eccessivamente elevato, potrebbe accadere che i veicoli in testa alla coda, stanchi di aspettare, decidessero di forzare la corrente di verso opposto con il pericolo di incidenti. In un fenomeno di attesa gli elementi che ne determinano le caratteristiche sono la portata che alimenta la coda ed il tempo di servizio, cioè il tempo che un utente

giunto alla testa della coda deve aspettare prima di potersi allontanare. Nel caso delle zone di accumulo alle intersezioni la portata che alimenta la coda è quella che svolta a sinistra, mentre si dimostra che nella generalità dei casi il tempo di servizio  $s$  è dato dalla somma dell'intervallo critico più gli intervalli della corrente da attraversare che vengono rifiutati. Il tempo di servizio è quindi una variabile aleatoria, i cui parametri della legge di probabilità sono funzioni dell'intervallo critico  $T$  e della portata  $Q_1$  della corrente da attraversare. Indicando con  $Q_2$  la portata della corrente di svolta a sinistra, nell'ipotesi che i veicoli si succedano lungo di essa con legge poissoniana, le espressioni del tempo medio di attesa  $E[w]$  e del numero medio  $E[q]$  di veicoli in attesa sono:

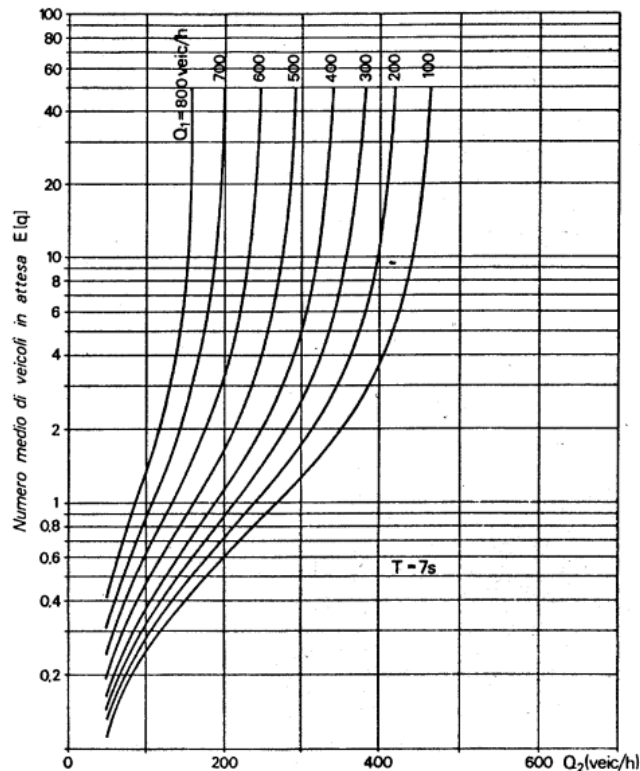
$$E[w] = b + \frac{Q_2(b^2 + Var[s])}{2(1 - Q_2b)} \quad (1)$$

$$E[q] = Q_2 E[w] \quad (2)$$

dove  $b$  e  $Var[s]$  sono la media e la varianza del tempo di servizio, funzioni, come si è detto, dell'intervallo critico  $T$  e della portata  $Q_1$  della corrente da attraversare.



**Fig. 2- Tempo medio di attesa in una corsia di accumulo**



**Fig. 3- Numero medio di veicoli in attesa in una corsia di accumulo**

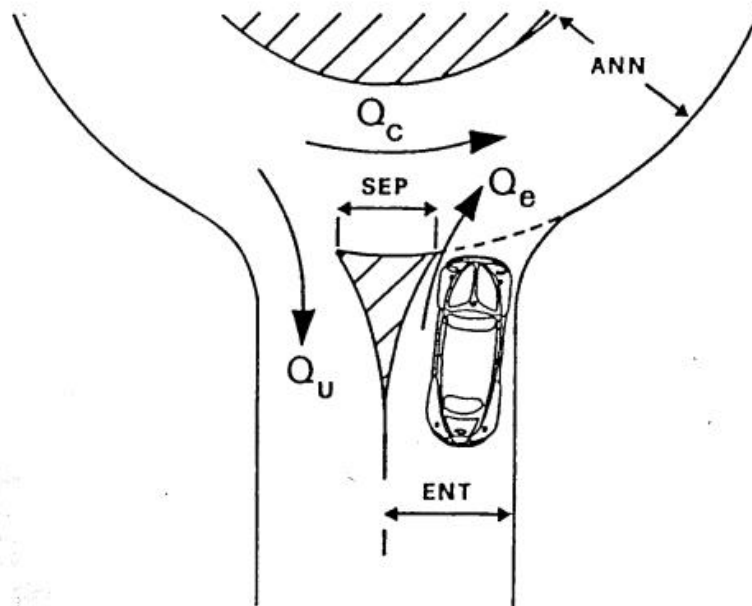
Nelle figure 2 e 3 è riportato l'andamento del tempo medio di attesa e del numero medio di veicoli in attesa in funzione della portata  $Q_2$  della corrente che svolta a sinistra, per un intervallo critico  $T = 7$  sec e per diversi valori della portata  $Q_1$  della corrente da attraversare. Per calcolare la lunghezza della zona di accumulo partendo dal numero di veicoli in attesa si ritiene che ciascuno di essi occupi un tratto di 6 m della zona di accumulo. Allo scopo di garantire che con elevata probabilità i veicoli in attesa riescano ad essere ospitati nella zona di accumulo, occorre assegnare ad essa una lunghezza doppia di quella corrispondente al numero medio di veicoli in attesa.

Con una portata principale  $Q_1$  prossima agli 800 veicoli/h ed una secondaria transitante dalla corsia di accumulo  $Q_2$ , stimata per eccesso in 50 veicoli/h, dai grafici precedenti si ottiene un numero medio di veicoli in attesa prossimo a 0,4 ed un tempo medio di attesa prossimo agli 8 secondi.

### LA CAPACITÀ DELLA ROTATORIA

Si definisce capacità del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Questo valore del flusso dipende evidentemente dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti i bracci della rotatoria. Non è pertanto possibile calcolare la capacità di un braccio se non è nota l'intera matrice  $M$  origine destinazione della rotatoria, il cui generico elemento  $(i,j)$  rappresenta il flusso in ingresso al braccio  $i$  che esce al braccio  $j$ , dalla quale si ricava la matrice di distribuzione  $N$ , il cui generico elemento  $(i,j)$  fornisce la frazione del flusso entrante da  $i$  che esce in  $j$ . Per le rotatorie si hanno due diverse definizioni di capacità: la capacità semplice e la capacità totale. Data una matrice  $M$  origine-destinazione, sia  $\delta$  il più piccolo scalare che moltiplicato per  $M$  dia luogo ad un insieme di flussi entranti e uscenti dalla rotatoria tale che la capacità, come precedentemente definita, sia raggiunta su uno dei bracci. Il prodotto di  $\delta$  per il flusso

entrante da questo braccio che si ricava dalla matrice  $M$  è la capacità semplice della rotatoria. Data una matrice di distribuzione  $N$  si definisce capacità totale della rotatoria la somma dei flussi in ingresso che, distribuendosi secondo  $N$  fra le diverse uscite, determinano il raggiungimento contemporaneo della capacità su tutti i bracci. - Il calcolo della capacità Il metodo di calcolo della capacità di una rotatoria è stato oggetto di studio in molti Paesi negli ultimi decenni, seguendo le linee indicate da Kimber nel 1980, il quale ricavò la relazione che lega la capacità di un braccio al flusso che percorre l'anello ed alle caratteristiche geometriche della rotatoria attraverso l'analisi statistica, condotta con tecniche di regressione, di un gran numero di dati raccolti su rotatorie in Gran Bretagna, sia di tipo convenzionale che compatto, tutte con priorità sull'anello. Egli dimostrò l'esistenza di una relazione lineare fra la capacità di un braccio e il flusso sull'anello, e pose in evidenza che, fra le caratteristiche geometriche della rotatoria, quelle che hanno influenza di gran lunga maggiore sulla capacità di un braccio sono la larghezza della sua sezione trasversale corrente e quella della sua sezione allargata in corrispondenza della immissione. I metodi di calcolo della capacità messi a punto nei diversi Paesi, pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale, differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diverse sono le tipologie di rotatoria su cui sono stati misurati i dati sperimentali, ma in misura prevalente per la diversità dei comportamenti degli automobilisti, i quali giocano un ruolo fondamentale nel determinare il modo di funzionare di una rotatoria. 47 Si riporta qui di seguito il metodo messo a punto in Francia nel 1987 dal SETRA, il quale ha il pregio di fornire, oltre al valore della capacità, anche altri elementi utili per la conoscenza del livello di servizio di una rotatoria. Sia la capacità che i flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora (eph). Per la trasformazione dei flussi di veicoli diversi dalle autovetture in eph si possono adottare i seguenti coefficienti di conversione proposti dalle Norme Svizzere: • 1 ciclo o motociclo sull'anello = 0.8 autovetture • 1 ciclo o motociclo in ingresso = 0.2 autovetture • 1 veicolo pesante = 2.0 autovetture • 1 autobus = 2.0 autovetture A differenza del metodo messo a punto da Kimber, il metodo del SETRA fa intervenire nel calcolo della capacità, oltre al traffico che percorre l'anello in corrispondenza di una immissione, anche il traffico che si allontana all'uscita immediatamente precedente; per cui definisce una relazione lineare, invece che fra capacità e flusso che percorre l'anello come nel metodo di Kimber, fra capacità e un traffico complessivo di disturbo, nel quale intervengono sia il flusso che percorre l'anello sia quello in uscita precedentemente definito. Si consideri la fig. 1 dove è rappresentato il particolare di una rotatoria in corrispondenza di un braccio. Sia  $Q_c$  il flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione,  $Q_e$  il flusso entrante,  $Q_u$  il flusso uscente. Tutti i flussi sono espressi in autovetture equivalenti per ora (eph). Siano ancora: SEP la larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio, ANN la larghezza dell'anello, ENT quella della semicarreggiata del braccio misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del 'dare precedenza'. Tutte le lunghezze sono misurate in metri.



Sia K la capacità del braccio, cioè il minimo valore di  $Q_e$  che dà luogo alla presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Il metodo del SETRA definisce K come funzione delle caratteristiche geometriche e di traffico innanzi definite:

$$K = f ( ) Q_c, Q_u, SEP, ANN, ENT$$

La procedura di calcolo della capacità si compone di tre fasi:

- 1) Si calcola il traffico uscente equivalente '  $Q_u$  come funzione di  $Q_u$  e di SEP

$$Q_u' = Q_u \frac{15 - SEP}{15} \quad (\text{eph})$$

assumendo  $Q_u' = 0$  se  $SEP \geq 15 \text{ m.}$

- 2) Si determina il traffico di disturbo  $Q_d$  come funzione di  $Q_c$ , di  $Q_u'$  e di ANN:

$$Q_d = (Q_c + 2/3 Q_u') [1 - 0.085(ANN - 8)] \quad (\text{eph})$$

3) Si calcola quindi la capacità K del braccio mediante la relazione:

$$K = (1330 - 0.7Q_d)[1 + 0.1(ENT - 3.5)] \quad (\text{eph})$$

Dalla formula precedente, si vede che, come già posto in evidenza da Kimber, il parametro geometrico fondamentale per il calcolo della capacità è la larghezza ENT all'altezza della immissione, ed in particolare lo scarto di ENT rispetto ad una larghezza standard di 3.5 m. Tenendo conto di ciò, si usa definire un flusso entrante equivalente  $Q'_e$ , il quale eguaglia la capacità di un braccio largo 3.5 m quando questa viene raggiunta dal flusso  $Q_e$  su un braccio della rotatoria avente la larghezza effettiva ENT:

$$Q'_e = \frac{Q_e}{1 + 0.1(ENT - 3.5)}$$

Dalle formule precedenti si rileva che la larghezza ANN dell'anello influisce sul valore della capacità attraverso la relazione che esso ha con l'azione di disturbo prodotta dal traffico che percorre l'anello. L'influenza del traffico in uscita sull'azione di disturbo è invece determinata dalla larghezza SEP dell'isola spartitraffico: tale influenza è nulla quando  $SEP \geq 15$  m. E' infine da rilevare che la larghezza delle isole spartitraffico e quelle dei bracci all'altezza delle immissioni determinano lo sviluppo della rotatoria e quindi il diametro dell'anello. 50 Si consideri una rotatoria ad m bracci di cui sono state definite le caratteristiche geometriche, e sia M la sua matrice origine-destinazione, tale che  $p_{ij}$  è la frazione del flusso  $Q_{e,i}$  entrante dal braccio i che esce al braccio j. I valori dei flussi  $Q_{c,i}$  sull'anello che transitano dinanzi ai vari bracci i  $\in [1, m]$  sono (i bracci sono numerati in sequenza antioraria):

$$Q_{c,1} = Q_{e,m}(\rho_{m,2} + \dots + \rho_{m,m-1}) + Q_{e,m-1}(\rho_{m-1,2} + \dots + \rho_{m-1,m-2}) + \dots + Q_{e,3}\rho_{3,2}$$

.....

$$Q_{c,m} = Q_{e,m-1}(\rho_{m-1,1} + \dots + \rho_{m-1,m-2}) + Q_{e,m-2}(\rho_{m-2,2} + \dots + \rho_{m-2,m-3}) + \dots + Q_{e,2}\rho_{2,1}$$

flussi  $Q_{u,i}$  uscenti dai bracci  $i \in [1,m]$  sono:

$$Q_{u,1} = Q_{e,2}\rho_{2,1} + \dots + Q_{e,m}\rho_{m,1}$$

• • • • •      • • • • •      • • • • •      • • • • •

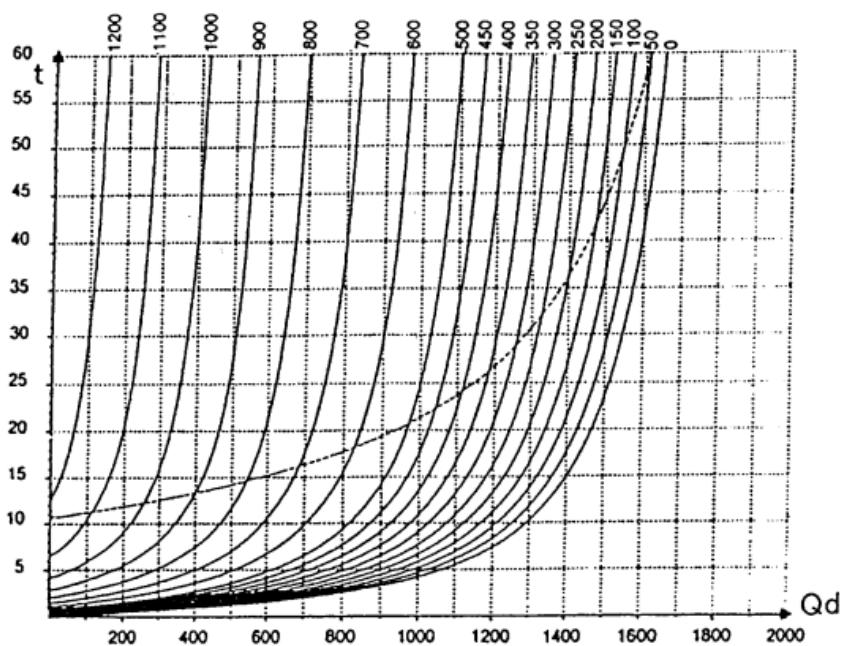
$$Q_{u,m} = Q_{e,1}\rho_{1,m} + \dots + Q_{e,m-1}\rho_{m-1,m}$$

Sia  $i \delta$  quello scalare tale che, moltiplicato per la matrice  $M$  e quindi per il vettore dei flussi entranti nella rotatoria, dà luogo ad un flusso  $iQ_{e,i} \delta$  entrante dal braccio  $i$  uguale alla capacità  $K_i$  del braccio quale si ricava dalla (4). Il valore di  $i \delta$  si ricava facilmente dalla (4) se in essa si pone  $K_i Q_{e,i} = \delta$  e  $Q_{d,i} = \delta$ , dove  $Q_{d,i}$  si ottiene dalle (2) e (3) ponendo  $Q_u = Q_{u,i}$  e  $Q_c = Q_{c,i}$ , mentre  $Q_{u,i}$  e  $Q_{c,i}$  si ricavano dalle (6) e (7) in funzione dei flussi entranti e uscenti dagli altri bracci. Il calcolo di  $i \delta$  viene ripetuto per tutti i bracci della rotatoria, e sia  $j \delta$  il più piccolo dei valori così ottenuti, relativo al braccio  $j$ . Risulta  $K_j j Q_{e,j} = \delta$  la capacità semplice della rotatoria, la quale viene raggiunta sul solo braccio  $j$  quando la matrice  $M$ , e quindi i flussi 51 in ingresso, sono moltiplicati per  $j \delta$ , mentre i flussi in ingresso dagli altri bracci della rotatoria si mantengono al disotto della capacità. La capacità totale della rotatoria si calcola determinando i valori dei flussi in ingresso che, distribuendosi fra le varie uscite secondo i coefficienti  $p_{i,j}$  che si ricavano dalla matrice  $M$ , determinano il contemporaneo raggiungimento della capacità su tutti i bracci. Questi flussi in ingresso si ricavano risolvendo il sistema di  $m$  equazioni lineari nelle  $m$  incognite  $Q_{e,i}$  ottenuto scrivendo la (4) per i singolo bracci, e ponendo in essa  $K_i = Q_{e,i} \forall i \in [1,m]$ , mentre  $Q_d$  viene espressa in funzione di  $Q_e$ ,  $\forall j \neq i$  utilizzando le formule precedenti.

La capacità totale  $Q$  della rotatoria è quindi data da  $Q = \sum_{i=1}^m Q_{e,i}$ .

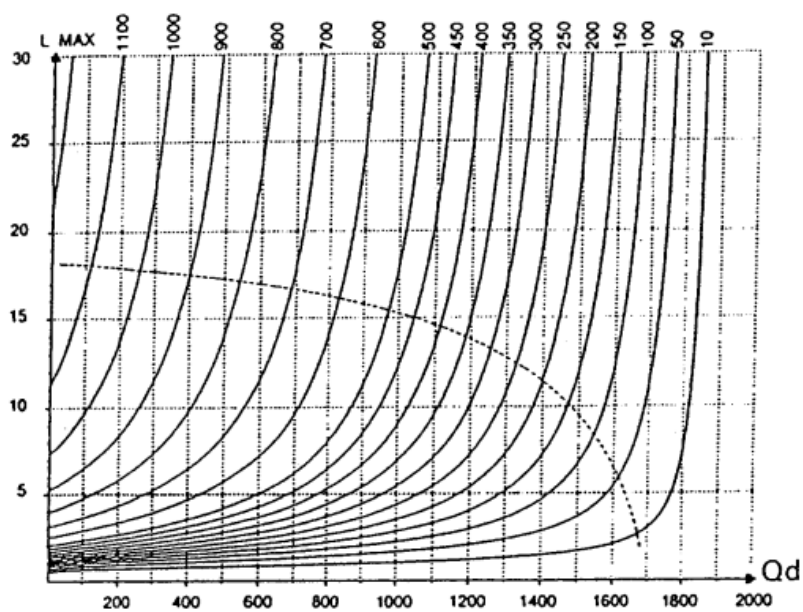
Le caratteristiche di livello di servizio a cui si fa riferimento nel progetto delle rotatorie sono quelle stesse che vengono considerate nello studio di una qualsiasi intersezione a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni ed un adeguato percentile della lunghezza della coda. Questi elementi possono essere calcolati con lo stesso modello teorico utilizzato per le altre intersezioni a raso, basato sul concetto di intervallo critico precedentemente definito, le cui variabili sono il flusso in entrata e quello che percorre l'anello.

Parametro:  $Q'$  (traffico in ingresso rapportato ad una entrata di 3,5 m)



La curva punteggiata indica il limite corrispondente alla capacità pratica  $Q_e-150$

Parametro:  $Q'$  (traffico in ingresso rapportato ad una entrata di 3,5 m)



La curva punteggiata indica il limite corrispondente alla capacità pratica  $Q_e-150$

Con un modello di questo tipo sono stati ricavati dal SETRA i diagrammi delle figure precedenti, nei quali sono riportati rispettivamente i tempi medi di attesa ed il 99° percentile della lunghezza di coda su un braccio di rotatoria in funzione del traffico di disturbo  $Q_d$  sull'anello e per diversi valori del flusso entrante equivalente  $Q_e$ . Questi diagrammi rendono il calcolo delle caratteristiche di livello di servizio di una rotatoria estremamente facile.

---

#### VALUTAZIONE DI CONFRONTO DEI RISULTATI DI CALCOLO CNR, CON FORMULA PROPOSTA DA SETUR

La formula seguente, messa a punto in Francia dal SETUR per il calcolo della capacità semplice delle rotatorie urbane:

$$Q_e = \gamma(1500 - 0.83Q_d) \text{ eph}$$

dove  $\gamma = 1$  per ingressi a una corsia, e  $\gamma = 1.5$  per ingressi a due e a più corsie. L'espressione di  $Q_d$  nella formula precedente è la seguente:

$$Q_d = bQ_c + 0.2$$

dove  $b = 1$  per  $ANN < 8$  m;  $b = 0.7$  per  $ANN \geq 8$  m e  $R \geq 20$  m;  $b = 0.9$  se  $ANN \geq 8$  m e  $R < 20$  m.

Con i dati di progetto le capacità teoriche dei tre rami della rotatoria assumono i valori

Ramo A  $Q_d = 1.063$  Veicoli/ora

Ramo B  $Q_d = 1.484$  Veicoli/ora

Ramo C  $Q_d = 1.476$  Veicoli Ora

Confrontabili con quelli ottenuti con il calcolo eseguito secondo indicazioni CNR riportato nella tabella allegata.

## **INTERFERENZA CON L'INTERSEZIONE SEMAFORICA A MONTE E ROTATORIA A VALLE (DIREZIONE MASSAZZA - BENNA).**

L'impianto semaforico posto a monte della nuova intersezione con rotatoria dista dal centro di questa 370 circa; con una velocità media nel tratto prossima ai 40 km/h (circa 11,11m/s) il tratto viene percorso in poco più di 35 secondi. Il numero di veicoli in attesa, nell'ora di punta è determinato dall'intervallo semaforico prossimo ai 50 secondi per la direzione principale. Con tali valori ed una ipotesi di transito nell'ora di punta nella direzione Biella pari ad 800 veicoli/h (pari a 0,222 veicoli al secondo in transito) con i tempi di attesa semaforica indicati si stima un massimo di 11 veicoli in coda per un tempo di circa 50 secondi. Tale coda d'attesa stimando una distanza media tra i veicoli tra i 6 e gli 8 m porta ad una lunghezza di attesa tra i 66 e gli 88 m che risulta ampiamente inferiore alla distanza di rettilineo tra la posizione di uscita dalla nuova proposta di rotatoria e l'incrocio semaforico.

Pur non essendo presenti né segnaletica orizzontale né verticale, sulle cartografie provinciali, sono indicate tue fermate dei mezzi pubblici lungo la strada Trossi in prossimità della nuova intersezione, a monte ed a valle di questa. Nello studio è stata proposta una determinazione di tali posizioni, individuando una zona di allargamento in banchina della pavimentazione bitumata, raccordata con raggi prossimi ai 30m, secondo quanto riportato negli elaborati grafici planimetrici.

# Calcolo livello di servizio e capacità pratica totale

4 rami

larghezza dell'anello	
ANN [mt]	8,5

Matrice di distribuzione (N)

	A	B	C	D
A	0,00	0,50	0,00	0,5
B	0,05	0,00	0,00	0,95
C	0,00	0,00	0,00	0
D	0,05	0,95	0,00	0

	ramo A	ramo B	ramo C	ramo D
Qe [eph]	50,00	790,00	0,00	790,00
ENT [mt]	3,50	6,00	0,00	6,00
SEP [mt]	4,00	3,00	0,00	3,00
Qu [eph]	79,00	775,50	0,00	775,50
Qu' [eph]	57,93	620,40	0,00	620,40
Qc' [eph]	750,50	25,00	815,00	39,50
<b>Qd' [eph]</b>	<b>755,58</b>	<b>419,96</b>	<b>780,36</b>	<b>433,84</b>
Delta	2,2974	1,4363	2,4348	1,4214
Qe ampl [eph]	71,07	1122,91	0,00	1122,91
K	578,20	1140,18	359,81	1122,91
Delta K	507,13	17,27	359,81	0,00

	507,1324166	17,26769476	359,8069627	Congestione
<b>Qe'</b>	<b>50,00</b>	<b>632,00</b>	<b>0,00</b>	<b>632,00</b>
w [sec]	1,00	3,00	0,00	3,00
q [numero veicoli]	1,00	1,00	0,00	1,00

1+0,1(ENT-3,5)	1	1,25	0,65	1,25
1330*(1+0,1(ENT-3,5))	1330	1662,5	864,5	1662,5

Coeff molt.	QeA	QeB	QeC	QeD
QdA			0,00	0,95
QdB	0,50			0,00
QdC	0,5	1,00		
QdE		0,05	0,00	

matrice	1	0	0	0,665
	0,4375	1	0	0
	0,2275	0,455	1	0
	0	0,04375	0	1

matr inversa	0,9874	0,0287	0,0000	-0,65664192
	-0,4320	0,9874	0,0000	0,287280841
	-0,0281	-0,4558	1,0000	0,018673255
	0,0189	-0,0432	0,0000	0,987431463

matr prodotto	269,38
	1544,65
	100,40
	1594,92

VERIFICA RISOLUZIONE SISTEMA DI EQUAZIONI					
Qd	1515,18	134,69	1679,34	77,23	
Il membro	269,38	1544,65	100,40	1594,92	
Qe	269,38	1544,65	100,40	1594,92	Tot
Delta	0	0	0	0	0

	A	B	C	D	CAPACITA' TOTALE
Qe	269,38	1544,65	100,40	1594,92	3509,35
					CAPACITA' PRATICA TOTALE
<b>0,8*Qe</b>	<b>215,50</b>	<b>1235,72</b>	<b>80,32</b>	<b>1275,94</b>	<b>2807,48</b>
	OK	OK	OK	OK	

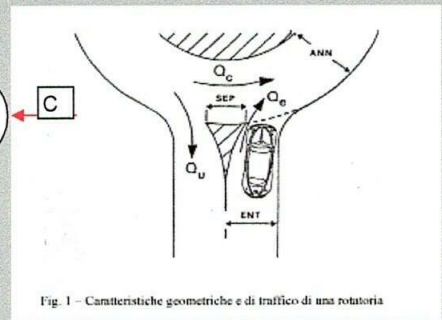
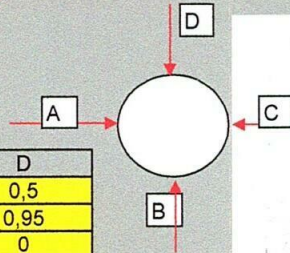


Fig. 1 - Caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria

flusso entrante dal braccio  
larghezza semicarreggiata dei bracci in rotatoria  
larghezza isola spartitraffico  
Flussi uscenti dai bracci (dalla (7))  
Traffico uscente equivalente (dalla (2))  
Flusso di traffico transitante sull'anello  
Flusso di traffico di disturbo  
Coefficienti di amplificazione  
Flussi in ingresso ai 4 bracci amplificati  
Riserve di capacità  
Raggiungimento primo fenomeno di congestione nella rotatoria con il raggiungimento della capacità sul braccio  
Flussi entranti equivalenti  
tempo medio di attesa da ricavare da grafico (foglio successivo)  
99° percentile della lunghezza di coda q ai 3 bracci della rotatoria da ricavare in base a grafico (foglio successivo)

Coeff di amplificazione minimo
1,4214

termine noto	1330
	1662,5
	864,5
	1662,5