RegioneLombardia

Infrastrutture e Mobilità

ALLEGATO A

Linee Guida
ZONE DI INTERSEZIONE

1. GENERALITÀ

Nell'ambito di questo documento le intersezioni vengono suddivise in due macrotipologie:

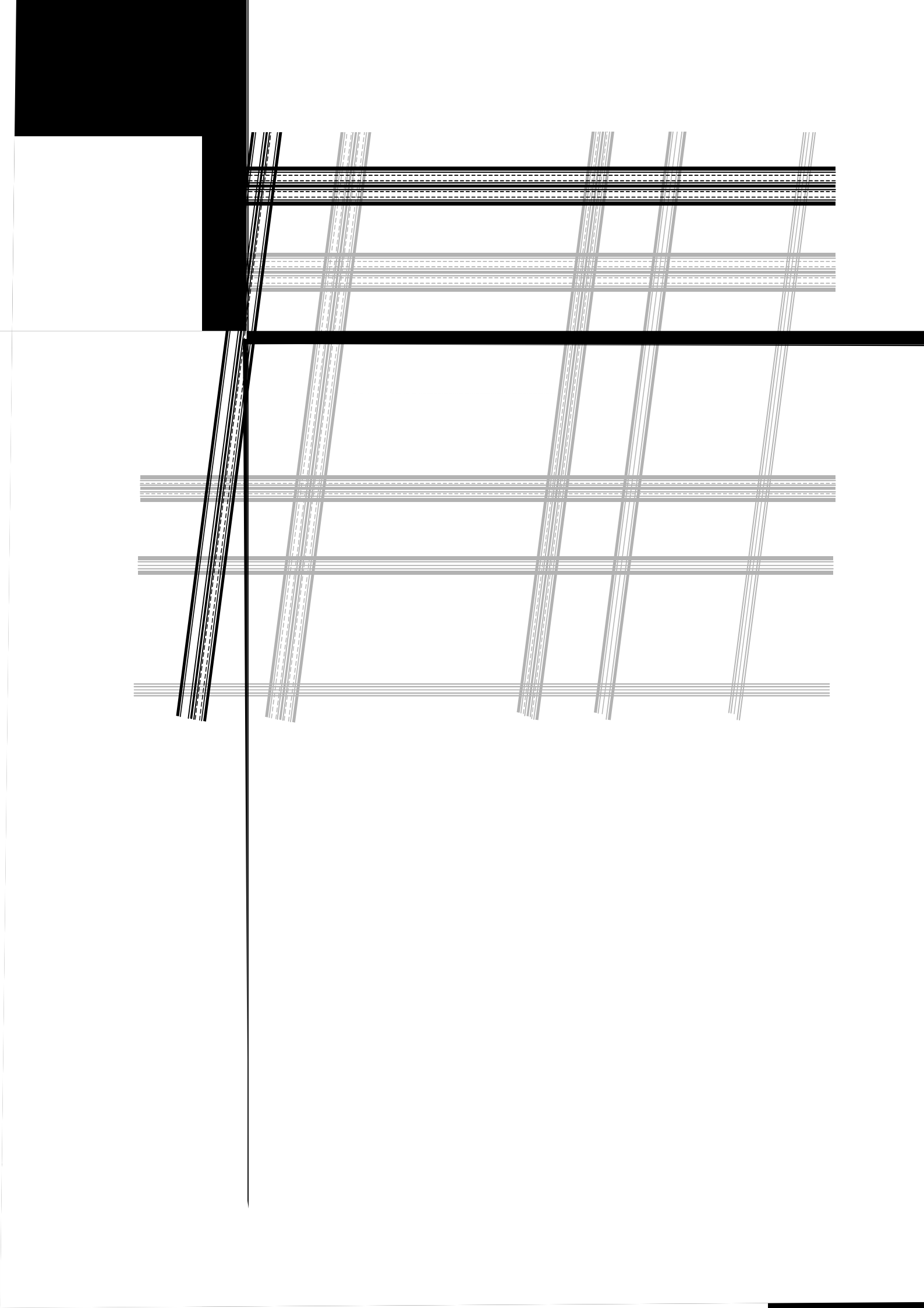
- intersezioni a raso (di tipo rotatorio e canalizzate);
- intersezioni a livelli differenziati.

Nei capitoli che seguono, per ciascuna di queste tipologie vengono esplicitati i criteri a cui attenersi nella progettazione dei vari elementi che le compongono.

Come riferimento indicativo per la scelta delle tipologia delle intersezioni tra due o più assi intersecantisi si evidenziano nelle tabelle 1.1, 1.2 ed 1.3 alcune modalità di soluzione geometrica dei nodi.

In particolare la tabella 1.1 fa riferimento alle categorie geometriche delle strade ex art. 2 del Nuovo Codice della Strada (Tipo A, B, C, D, E, F). In questa tabella, laddove le connessioni sono ammesse, si dà un'indicazione, in relazione alle nuove realizzazioni, circa il modo di risoluzione della stesse; l'indicazione determina la possibilità o meno che in corrispondenza del nodo possano essere presenti punti di conflitto tra le manovre di svolta. Tale possibilità è correlata, per evidenti motivi di sicurezza della circolazione, al mantenimento in corrispondenza del nodo della sezione corrente per le strade a carreggiate separate. Nel caso di nodo in cui le strade confluenti in esso sono tutte a carreggiate separate, la connessione sarà risolta con una intersezione a livelli sfalsati, ammettendo eventualmente per le sole correnti di svolta manovre di scambio; questi casi nella tabella vengono indicati come nodi di tipo 1.
Laddove una delle strade che convergono nel nodo è di un tipo per il quale la sezione trasversale è prevista ad unica carreggiata, possono essere ammesse su tale strada manovre a raso di svolta a sinistra, mentre l'incrocio fra le correnti principali va risolto sfalsando i livelli (nodo di tipo 2). Laddove le due strade che si considerano appartengano a tipi per i quali la sezione trasversale prevista è ad unica carreggiata, l'intersezione potrà essere risolta a raso (nodo di tipo 3).

Nelle tabelle 1.2 e 1.3 si dà invece indicazione della tipologia di intersezione da adottare nella risoluzione di un nodo in relazione alla classe funzionale regionale eventualmente correlata alle strade intersecantesi: in tabella 1.2 si forniscono indicazioni per la rete esistente, in tabella 1.3 si danno invece le caratteristiche tecniche ottimali per le



R1 urbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.									
R1 extraurbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.								
R2 urbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.							
R2 extraurbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.						
P1 urbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.					
P1 extraurbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.				
P2 urbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.			
P2 extraurbana	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.		
L urbana	Non consentita.	Non consentita.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Qualsiasi	
L extraurbana	Non consentita.	Non consentita.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Qualsiasi	Qualsiasi
	R1 urbana	*R1 extraurbana*	*R2 urbana*	*R2 extraurbana*	*P1 urbana*	*P1 extraurbana*	*P2 urbana*	*P2 extraurbana*	*L urbana*	*L extraurbana*

Tab. 1.2 Tipologia delle intersezioni: indicazioni per la rete esistente

R1 urbana	Intersezioni a livelli sfalsati.									
R1 extraurbana	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati.								
R2 urbana	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).							
R2 extraurbana	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).						
P1 urbana	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.					
P1 extraurbana	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati.	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.				
P2 urbana	Non consentita.	Non consentita.	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.			
P2 extraurbana	Non consentita.	Non consentita.	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a livelli sfalsati; intersezioni canalizzate con sole svolte a destra; intersezioni a rotatoria; intersezioni semaforizzate con impianti a ciclo semiattuato/attuato (se isolate) e con sistema coordinato (se in serie).	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.		
L urbana	Non consentita.	Non consentita.	Non consentita.	Non consentita.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Qualsiasi	
L extraurbana	Non consentita.	Non consentita.	Non consentita.	Non consentita.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Intersezioni a raso lineari o a rotatoria; minirotatorie; intersezioni semaforizzate.	Qualsiasi	Qualsiasi
	R1 urbana	*R1 extraurbana*	*R2 urbana*	*R2 extraurbana*	*P1 urbana*	*P1 extraurbana*	*P2 urbana*	*P2 extraurbana*	*L urbana*	*L extraurbana*

Tab. 1.3 Tipologia delle intersezioni: caratteristiche tecniche ottimali

Nelle successive tabelle 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 per ciascuna classe funzionale regionale ed in relazione alle categorie geometriche da Codice della Strada, si dà un'informazione indicativa circa la distanza minima accettabile tra due successive intersezioni lungo un asse viario. Anche in queste tabelle si forniscono due livelli di analisi: l'uno per la rete esistente, l'altro per la realizzazione di nuovi interventi.
Per quanto riguarda le autostrade, per le quali non si danno indicazioni nelle tabelle, è comunque opportuno che due intersezioni successive non siano mai a distanze inferiori a 2 km (eccezionalmente 1 km).

Tutte le informazioni contenute nell'ambito delle tabelle di cui al presente capitolo dovranno comunque adeguarsi alle specificità dell'intersezione in analisi. In particolare si dovranno considerare l'entità e la tipologia dei flussi che impegneranno l'intersezione, la distribuzione percentuale delle manovre di svolta e le caratteristiche morfologiche dell'ambito su cui insiste l'intersezione.

Classe funzionale regionale	Tipo CNR		Norme di salvaguardia della rete viaria esistente	Nuovi interventi sulla rete viaria
			Frequenza massima intersezioni	**Frequenza massima intersezioni**
R1	A		-	-
	B		Una ogni 1,5 km.	Una ogni 1,5 km.
	C		Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m.	Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m.
	D		Una ogni 700 m.	Una ogni 700 m.
	E		Una ogni 500 m.	-
	F	urbana	Una ogni 500 m.	-
		extraurbana	Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con le sole svolte a destra ogni 500 m.	-

Tab. 1.4 Tipologia e frequenza delle intersezioni per strade di classe funzionale R1

Classe funzionale regionale	Tipo CNR		Norme di salvaguardia della rete viaria esistente		Nuovi interventi sulla rete viaria	
			Tipologia intersezioni	**Frequenza massima intersezioni**	**Tipologia intersezioni**	**Frequenza massima intersezioni**
R2	A		-		-	
	B		Una ogni 1,5 km.		Una ogni 1,5 km.	
	C		Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m.		Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m.	
	D		Una ogni 700 m.		Una ogni 700 m.	
	E		Una ogni 500 m.		-	
	F	urbana	Una ogni 500 m.		-	
		extraurbana	Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con le sole svolte a destra ogni 500 m.		-	

Tab. 1.5 Tipologia e frequenza delle intersezioni per strade di classe funzionale R2

<table>
<tr><th rowspan="2">Classe funzionale regionale</th><th rowspan="2" colspan="2">Tipo CNR</th><th colspan="2">Norme di salvaguardia della rete viaria esistente</th><th colspan="2">Nuovi interventi sulla rete viaria</th></tr>
<tr><th>Tipologia intersezioni</th><th>Frequenza massima intersezioni</th><th>Tipologia intersezioni</th><th>Frequenza massima intersezioni</th></tr>
<tr><td rowspan="8">P1</td><td colspan="2">A</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">B</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">C</td><td colspan="2">Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m. Intersezioni semaforizzate: una ogni 1,5 km.</td><td colspan="2">Una ogni km. Intersezioni semaforizzate: una ogni 1,5 km.</td></tr>
<tr><td colspan="2">D</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">E</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">F</td><td>urbana</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td><td colspan="2" rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>extraurbana</td><td colspan="2">Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate ogni 500 m.</td></tr>
</table>

Tab. 1.6 Tipologia e frequenza delle intersezioni per strade di classe funzionale P1

<table>
<tr><th rowspan="2">Classe funzionale regionale</th><th rowspan="2" colspan="2">Tipo CNR</th><th colspan="2">Norme di salvaguardia della rete viaria esistente</th><th colspan="2">Nuovi interventi sulla rete viaria</th></tr>
<tr><th>Tipologia intersezioni</th><th>Frequenza massima intersezioni</th><th>Tipologia intersezioni</th><th>Frequenza massima intersezioni</th></tr>
<tr><td rowspan="8">P2</td><td colspan="2">A</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">B</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">C</td><td colspan="2">Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m. Intersezioni semaforizzate: una ogni 1,5 km.</td><td colspan="2">Una ogni km.</td></tr>
<tr><td colspan="2">D</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">E</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">F</td><td>urbana</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td><td colspan="2" rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>extraurbana</td><td colspan="2">Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate ogni 500 m.</td></tr>
</table>

Tab. 1.7 Tipologia e frequenza delle intersezioni per strade di classe funzionale P2

<table>
<tr><th rowspan="2">Classe funzionale regionale</th><th rowspan="2" colspan="2">Tipo CNR</th><th colspan="2">Norme di salvaguardia della rete viaria esistente</th><th colspan="2">Nuovi interventi sulla rete viaria</th></tr>
<tr><th>Tipologia intersezioni</th><th>Frequenza massima intersezioni</th><th>Tipologia intersezioni</th><th>Frequenza massima intersezioni</th></tr>
<tr><td rowspan="7">L</td><td colspan="2">A</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">B</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">C</td><td colspan="2">Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate con sole svolte a destra ogni 500 m.</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">D</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">E</td><td colspan="2">Nessun limite.</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">F</td><td>urbana</td><td colspan="2">Nessun limite.</td><td colspan="2">Una ogni 300 m.</td></tr>
<tr><td>extraurbana</td><td colspan="2">Una ogni 500 m.</td><td colspan="2">Una ogni km. Possibilità di inserimento di intersezioni canalizzate ogni 500 m.</td></tr>
</table>

Tab. 1.8 Tipologia e frequenza delle intersezioni per strade di classe funzionale L

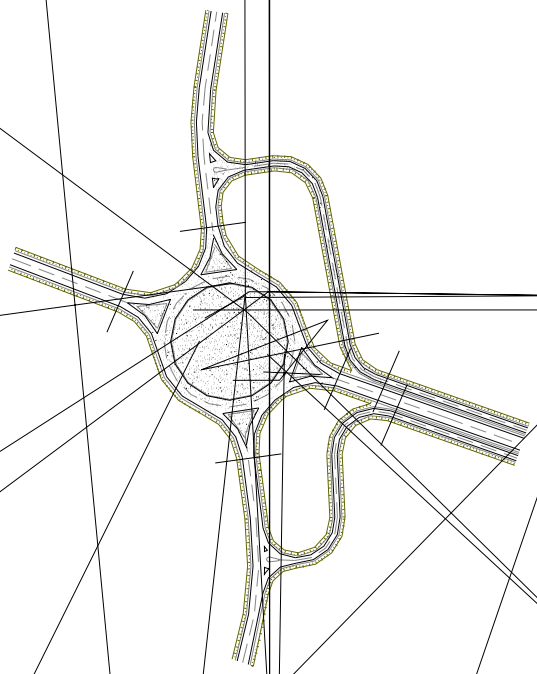
2. DEFINIZIONI

2.1 Definizioni

Intersezione a raso
Area comune a più strade, organizzata in modo da consentire lo smistamento delle correnti di traffico dall'una all'altra di esse.

Intersezione a livelli sfalsati
Insieme di infrastrutture (sovrappassi, sottopassi e rampe) che consente lo smistamento delle correnti veicolari fra rami di strade poste a livelli diversi.

Zona di intersezione
L'area che comprende le intersezioni (a raso o a livelli sfalsati) e la parte di ognuna delle strade intersecatesi dall'intersezione sino al ripristino della sezione e/o delle caratteristiche planimetriche correnti di ciascuna strada (vedi figura 2.1.a).



Isola direzionale
Isola insormontabile che separa le manovre di ingresso e uscita in una rotatoria.

Leggibilità/Percezione
Capacità di una strada/intersezione (e dei loro apprestamenti/elementi costituivi) di dare agli utenti della strada una giusta immagine, facilmente riconoscibile, della natura e della tipologia dell'infrastruttura, del suo utilizzo, del proprio migliore comportamento di utilizzo, dei possibili movimenti di altri utenti.

Rotatoria
Intersezione stradale composta da un'isola centrale insormontabile o parzialmente sormontabile, solitamente di forma circolare, attorno alla quale si sviluppa una carreggiata a senso unico percorribile in senso antiorario sulla quale si innestano differenti strade.

Minirotatoria
Intersezione stradale composta da un'isola centrale parzialmente o totalmente sormontabile di ridotte dimensioni, solitamente di forma circolare, attorno alla quale si sviluppa una carreggiata a senso unico percorribile in senso antiorario sulla quale si innestano differenti strade esclusivamente di carattere locale.

Rampe lateralmente confinate
Corsie specializzate, a una o più corsie di marcia, fisicamente separate dalla carreggiata principale.

Corsie di accumulo
Corsie specializzate per le svolte a sinistra dalla strada principale, eventualmente protette.

Corsie di decelerazione
Corsie dedicate per la svolta a destra (o uscita) dalla strada principale in modo da non provocare rallentamenti ai veicoli non interessati da tale manovra.

Corsie di accelerazione
Corsie dedicate per consentire ed agevolare la svolta a destra dalla secondaria e la conseguente immissione ai veicoli sulla strada principale.

Corsie di immissione nella mezzeria della strada principale
Corsie destinate ad agevolare la svolta a sinistra dalla secondaria garantendo una prima manovra di impegno della corsia dedicata nella mezzeria della principale e una seconda di inserimento nel flusso della principale.

Isole di canalizzazione
Parte della strada, opportunamente delimitata e non transitabile, destinata ad incanalare le correnti di traffico.

Intersezione a livelli sfalsati
Insieme di infrastrutture (sovrappassi, sottopassi e rampe) che consente lo smistamento delle correnti veicolari fra rami di strade poste a diversi livelli.

Svincolo
Intersezione a livelli sfalsati in cui le correnti veicolari non si intersecano tra loro.

Pseudocorsia di raccordo
Allargamento progressivo della sezione stradale principale mediante la creazione di un tratto di raccordo di larghezza crescente fino al raggiungimento del calibro di corsia.

3. INTERSEZIONI A RASO

A - LE INTERSEZIONI A RASO DI TIPO ROTATORIO

3.A.1 Generalità

3.A.1.1 In quali casi è ragionevole realizzare una rotatoria

Dal punto di vista tecnico la rotatoria è una tipoloe7 T 2inteor

n tutt 2i a

labuounagnr

la iduzgion a

Q_d = traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = (Q_c + 2/3Q_u^{'})[1 - 0{,}085(ANN - 8)]$$

Q_c = traffico circolante, ovvero flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione [veic/h]
ANN = larghezza dell'anello [m]
Q'_u = traffico uscente equivalente [veic/h]:

$$Q_u^{'} = Q_u(15 - SEP)/15$$

Q_u = traffico uscente [veic/h]
SEP = larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio [m]

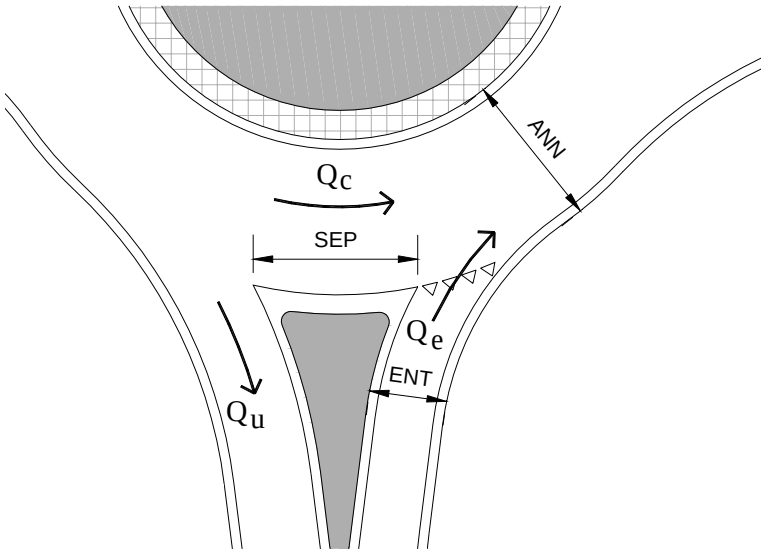


Fig. 3.A.1 Caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria

In ambito urbano, invece, la metodologia da seguire è quella proposta dal CETUR. In questo caso la capacità si esprime con la formula:

$$Q_e = \gamma(1500 - 0.83Q_d) \qquad \text{[veic/h]}$$

dove:

Q_e = capacità di un braccio di ingresso [veic/h]
γ = 1 nel caso di una corsia in ingresso
γ = 1,5 per due o più corsie all'ingresso
Q_d = traffico di disturbo [veic/h]:

$$Q_d = \alpha Q_c + 0.2Q_u$$

α = 1 qualora si sia in presenza di una rotatoria con ANN < 8 m
α = 0.7 per $ANN \geq 8$ m e $R \geq 20$ m
α = 0.9 per $ANN \geq 8$ m e R < 20 m
ANN = larghezza dell'anello [m]
R = raggio esterno della rotatoria ($D_e/2$) [m]

Q_c = traffico circolante, ovvero flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione [veic/h]

Le verifiche di capacità, attraverso usuali modelli di calcolo, sono sempre consigliate per ottenere un corretto dimensionamento degli elementi compositivi lo svincolo.
Sono necessarie in tutti i casi in cui il flusso totale entrante sia complessivamente maggiore di 2000 veic./ora (traffico dell'ora di punta) e comunque nel caso in cui:

- almeno una delle arterie afferenti abbia una connotazione non locale;
- la rotatoria sia necessaria al fine di garantire l'accessibilità a nuovi contesti residenziali/commerciali/produttivi che vadano a modificare le condizioni di deflusso attuali o a generare nuovo traffico indotto;
- l'isola centrale abbia una forma non circolare (vedi paragrafo 3.A.8.1);
- si voglia inserire una corsia per la svolta a destra svincolata (vedi paragrafo 3.A.8.6).

Sia la capacità che i flussi devono essere misurati in veicoli equivalenti per ora (V_{eq}). Per la trasformazione dei flussi di veicoli diversi dalle autovetture in V_{eq} si possono adottare i seguenti coefficienti di conversione:

- 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

In relazione ai margini di capacità residua (in corrispondenza dell'ora di punta tipica per l'intersezione) dei singoli bracci è possibile adottare alcuni accorgimenti progettuali e avere informazioni utili al corretto dimensionamento dell'impianto (vedi tabella 3.A.1)

Riserva di capacità	***Accorgimenti progettuali***
> 80%	Riserva di capacità elevata: verificare se la larghezza dei bracci d'entrata non è sovradimensionata.
Tra 30% e 80%	Riserva di capacità ottimale.
Tra 5% e 30%	Anche sulla base dei flussi di traffico futuri previsti, occorre valutare la possibilità di intervento con le modalità stabilite nel successivo paragrafo 3.A.2.2
< 5%	Occorre intervenire con le modalità stabilite nel successivo paragrafo 3.A.2.2

Tab. 3.A.1 Accorgimento progettuali in relazione ai margini di capacità residua dei singoli bracci della rotatoria.

3.A.2.2 Quali caratteristiche consentono un aumento di capacità

Per aumentare la capacità di una rotatoria, in funzione degli elementi derivanti dalle analisi di cui al paragrafo precedente, è possibile:

- aggiungere una corsia di attestamento in ingresso, ovvero aumentare la larghezza dei bracci di ingresso e uscita (tenendo comunque conto delle considerazioni di cui al paragrafo 3.A.8.3 e 3.A.8.4);
- aumentare la larghezza della carreggiata anulare;
- aumentare la larghezza dell'isola direzionale al bordo della rotatoria;
- realizzare una corsia dedicata per la svolta a destra continua.

Laddove, anche con gli accorgimenti descritti, esistano problemi di capacità occorre valutare la realizzazione di una differente tipologia di intersezione a raso ovvero di un'intersezione a due livelli.

3.A.3 Diverse tipologie di rotatorie

E' possibile distinguere le rotatorie in funzione del tipo di isola centrale (sormontabile, parzialmente sormontabile, insormontabile), delle dimensioni del diametro esterno D_e (diametro relativo al bordo esterno terminale della carreggiata anulare) e in relazione alla loro collocazione nella rete stradale. E' pertanto possibile suddividere ed identificare le rotatorie nelle seguenti tipologie:

- minirotatorie sormontabili (14 m $\leq D_e <$ 18 m; isola centrale sormontabile);
- minirotatorie parzialmente sormontabili (18 m $\leq D_e <$ 26 m; isola centrale parzialmente sormontabile);
- rotatorie compatte (26 m $\leq D_e <$ 50 m; isola centrale parzialmente sormontabile);
- grandi rotatorie (50 m $\leq D_e <$ 70 m; isola centrale insormontabile);
- rotatorie "eccezionali" ($D_e \geq$ 70 m; isola centrale insormontabile).

Le intersezioni a raso di tipo rotatorio possono prevedersi su strade:

- extraurbane secondarie (C);
- urbane di scorrimento (D), anche se per le nuove realizzazioni di strade urbane di scorrimento è auspicabile che vengano utilizzate intersezioni a livelli sfalsati;
- urbane di quartiere (E);
- locali extraurbane (F_{ex});
- locali urbane (F_{urb});

con le dimensioni minime del diametro esterno D_e che,in funzione delle tipologie delle strade intersecantesi, dovrebbero indicativamente essere quelle rappresentate in tabella 3.A.2.

	C	***D***	***E***	F_{ex}	F_{urb}
C	≥ 26	≥ 50 *	≥ 26	≥ 26	≥ 26
D	≥ 50 *	≥ 50 *	≥ 50 *	-	-
E	≥ 26	≥ 50 *	≥ 26	≥ 26	≥ 18
F_{ex}	≥ 26	-	≥ 26	≥ 26	≥ 26
F_{urb}	≥ 26	-	≥ 18	≥ 18	≥ 14

* in casi del tutto eccezionali (urbanizzato esistente in fregio alle strade) è ammesso un diametro esterno D_e di 40 m.

Tab. 3.A.2 Dimensioni minime del diametro esterno D_e in relazione alla collocazione della rotatoria nella rete stradale.

3.A.4 Configurazione geometrica e allineamento strade

In ambito extraurbano, una rotatoria può svincolare da tre a sei bracci e, per favorire e migliorare la leggibilità dell'impianto, è necessario che questi siano ripartiti in maniera regolare attorno all'anello. In generale, piuttosto che mantenere un'ulteriore intersezione in prossimità della rotatoria, è preferibile aggiungere un braccio, eventualmente ingrandendo la rotatoria stessa.
La posizione dell'isola centrale è da ritenersi ottimale se gli assi delle arterie afferenti al nodo passano per il suo centro: occorre fare in modo che tale condizione sia sempre rispettata, ammettendosi comunque anche una leggera eccentricità sulla sinistra (cfr. fig. 3.A.2). Sulle strade di tipo E ed F è ammissibile anche una leggera eccentricità sulla destra.

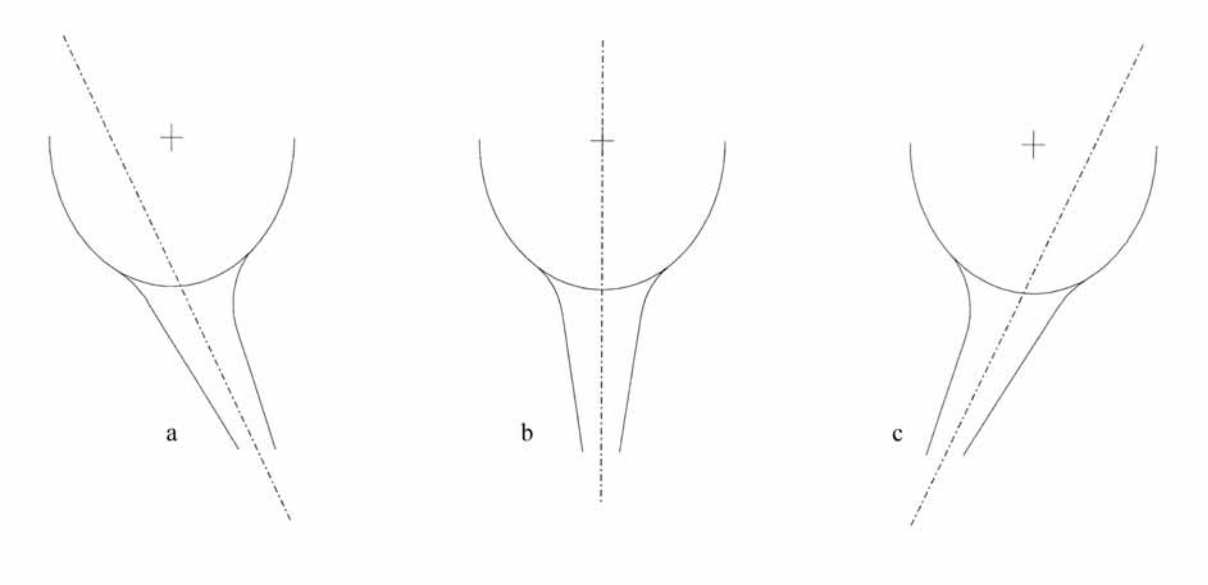


Fig. 3.A.2 Direzione dell'asse di un braccio afferente ad una rotatoria: a) ammissibile; b) ottimale; c) da escludere ed al limite ammissibile per strade di tipo E o F.

La progettazione ottimale degli incroci lineari si attua garantendo la ortogonalità tra gli assi afferenti alla zona di incrocio. Si può procedere a tale fine correggendo il tracciato della strada secondaria.

3.A.5 Visibilità e percezione

Gli utenti che si avvicinano ad una rotatoria devono percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità per cedere il passaggio o eventualmente fermarsi. In particolare, onde garantire un'adeguata visibilità, si devono adottare le seguenti prescrizioni:

- il punto di osservazione si pone ad una distanza di 15 m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezzeria della corsia di entrata in rotatoria (o delle corsie di entrata) e l'altezza di osservazione si colloca ad 1 m sul piano viabile;
- la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato.

La modalità di costruzione delle aree di visibilità è rappresentata in figura 3.A.3.

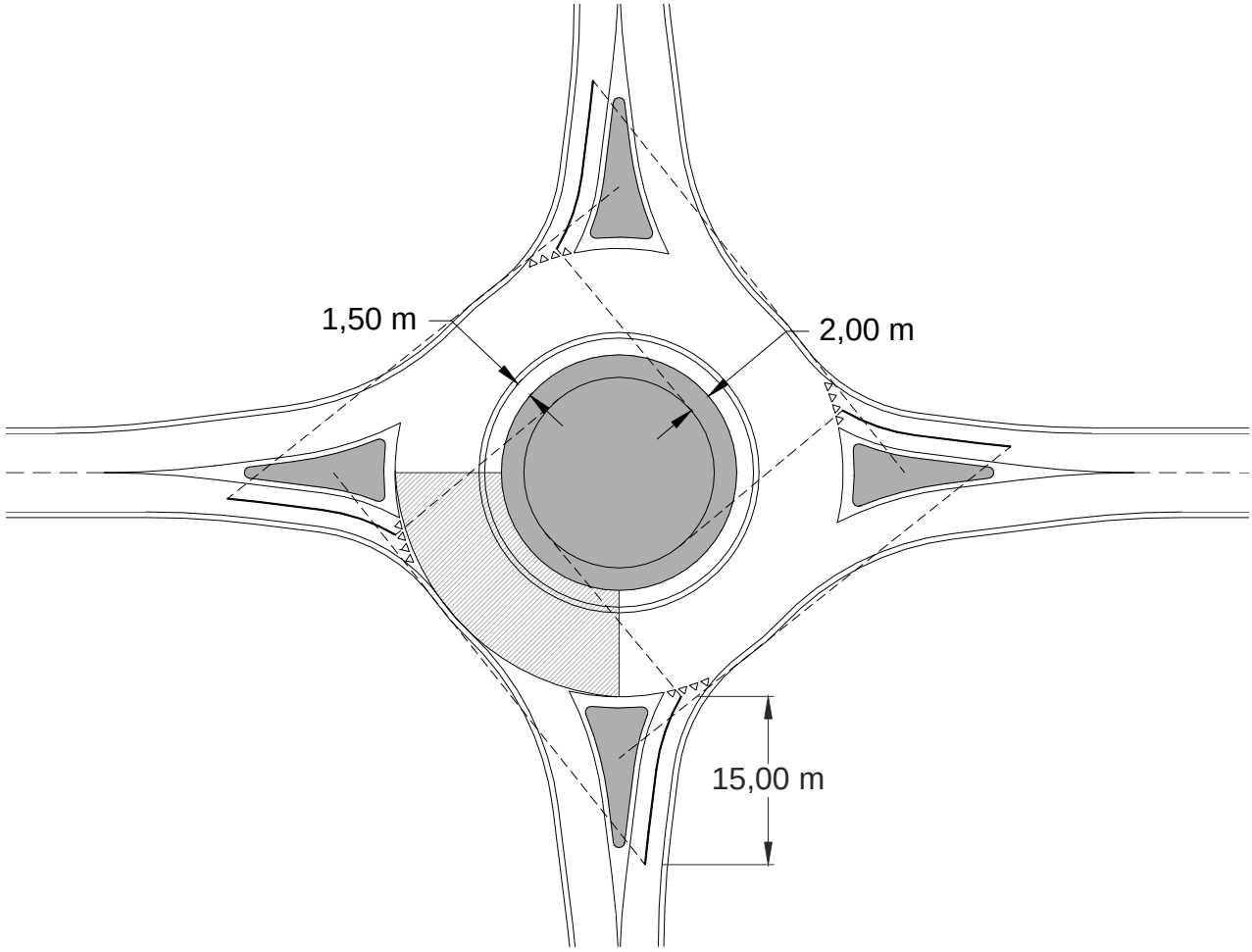


Fig. 3.A.3 Costruzione dell'area di visibilità da garantire nelle rotatorie.

Per quanto concerne la percezione della rotatoria, si consiglia di realizzare un'isola centrale di rotazione sopraelevata o con bordi inclinati ben visibili: a tal fine si possono utilizzare delle piantumazioni o dei riempimenti in terra come elementi di sistemazione e d'arredo tali, però, da non pregiudicare una corretta visibilità. E' necessario comunque mantenere una corona libera da ogni tipologia di ostacolo visivo (arbusti,…) di larghezza pari a 2 m misurata a partire dal bordo interno della corona sormontabile o dal bordo periferico dell'isola centrale (nel caso di rotatorie con isola centrale insormontabile).
E' assolutamente da evitare l'inserimento di ostacoli visivi sulle isole direzionali.

Per aumentare la percezione e la "leggibilità" della rotatoria tutti gli elementi ad essa connessa (isola direzionale ed isola centrale) dovrebbero essere visibili ad almeno 250 m di distanza dalla stessa. La leggibilità è raggiungibile anche attraverso l'esclusione di:

- una configurazione d'approccio in curva e controcurva;
- un'isola centrale di forma non circolare;
- una larghezza irregolare dell'anello;
- un'inclinazione trasversale della piattaforma giratoria orientata verso l'interno;
- una presenza di piantumazione su i bracci in prossimità dell'innesto sulla rotatoria, in quanto può dare l'illusione di continuità dell'itinerario.

3.A.6 Deflessione

Si definisce deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di circonferenza passante a 1,5 m dal bordo dell'isola centrale e a 2 m dal bordo delle corsie d'entrata e d'uscita, siano esse adiacenti o opposte (cfr. fig. 3.A.4). Occorre verificare l'ampiezza del raggio di deflessione per le manovre relative ad ogni braccio di ingresso e uscita.

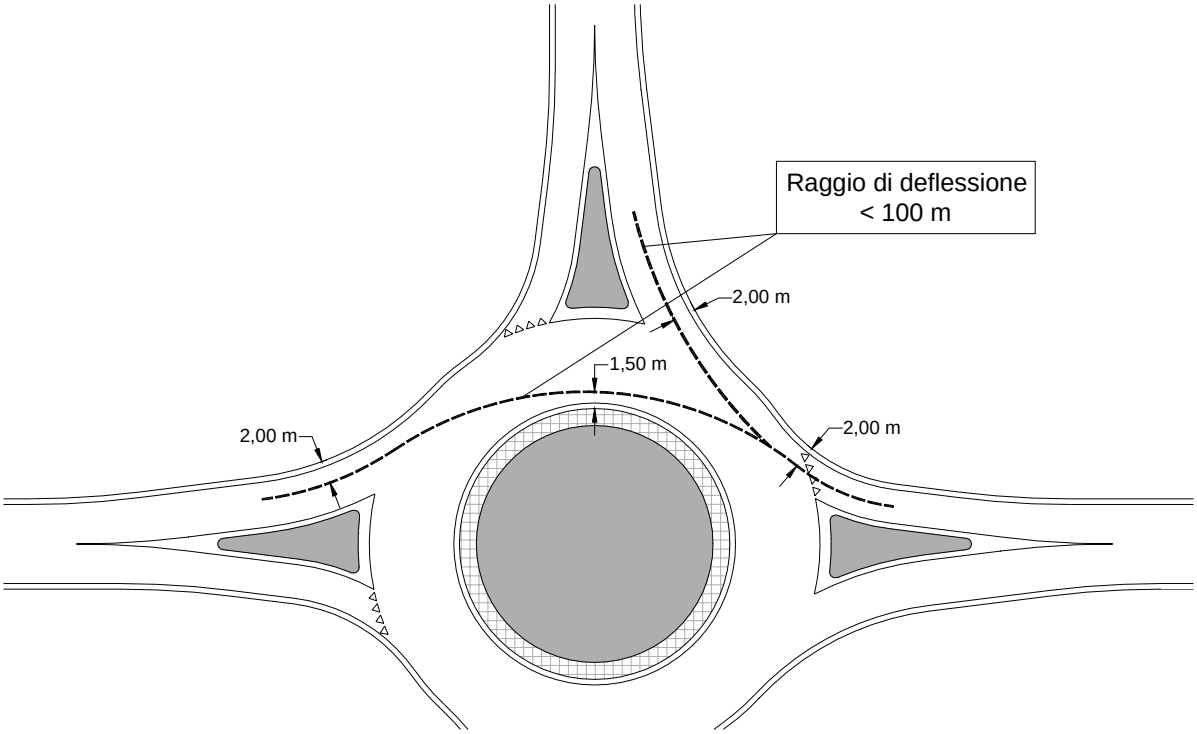


Fig. 3.A.4 Deflessione.

Tale raggio deve essere inferiore a 100 m: in tal modo le velocità inerenti alle traiettorie "più tese" non potranno essere superiori a 50 km/h.

3.A.7 Pendenze e scolo acque meteoriche

Onde garantire la migliore efficacia dello scolo delle acque meteoriche, la pendenza della carreggiata anulare deve sempre essere rivolta verso l'esterno (pendenza 1,5-2%).
Per quanto concerne la massima pendenza tra due punti diametrali esterni della corona giratoria il valore non deve superare il 5÷6%.

3.A.8 Geometria degli elementi

3.A.8.1 Isola centrale

L'isola centrale dovrebbe essere sempre circolare. Sono tollerate rotatorie anche con isola centrale non circolare nel caso in cui tale configurazione sia imposta:

- dalla necessità di inserire in modo ottimale un ulteriore braccio;

- dalle condizioni al contorno (urbanizzato esistente), ma in questo caso si impone uno studio della capacità per verificare la fattibilità di una rotatoria con un diametro più piccolo e un'isola centrale circolare.

La presenza di una collinetta sull'isola centrale è fortemente consigliata in quanto consente una maggiore percezione della rotatoria e garantisce velocità di ingresso meno elevate a causa della non completa visibilità su tutta l'area d'intersezione. Devono comunque essere rispettati i criteri di visibilità di cui al capitolo 3.A.5. La pendenza della collinetta non può essere superiore del 15%. E' necessario mantenere, come già richiamato nel capitolo 3.A.5, una corona libera da ogni tipologia di ostacolo visivo (arbusti,…) di larghezza pari a 2 m misurata a partire dal bordo interno della corona sormontabile o dal bordo periferico dell'isola centrale (nel caso di rotatorie con isola centrale insormontabile).

Per quanto riguarda i casi specifici di rotatorie con isole centrali parzialmente o totalmente sormontabile, occorre evidenziare che:

- *isola centrale parzialmente sormontabile*: l'anello interno o corona sormontabile, di larghezza l_{is} variabile tra 1,5 e 2 m, deve essere rialzata dalla carreggiata anulare per consentire solo ai mezzi pesanti il suo sormonto (o agli altri veicoli solo in casi eccezionali) tramite un gradino di 3 cm e realizzata con materiali differenti rispetto alla carreggiata anulare. La pendenza della fascia sormontabile deve essere compresa tra il 4 e il 6%. La parte insormontabile dell'isola centrale deve comunque avere un raggio minimo di 3,5 m.
- *isola centrale sormontabile*: è preferibile, piuttosto che l'utilizzo della sola segnaletica orizzontale, realizzare l'isola centrale sormontabile con una pendenza compresa tra il 4 e il 6% e con materiali differenti rispetto alla carreggiata anulare.

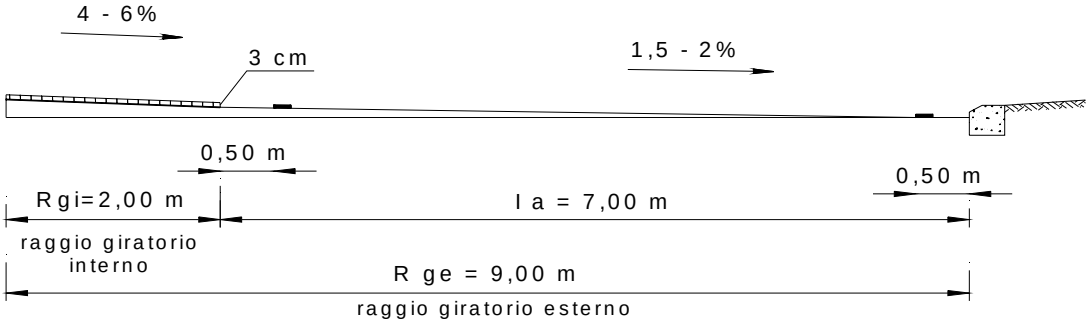


Fig. 3.A.5 Esempio di isola centrale di minirotatoria completamente sormontabile.

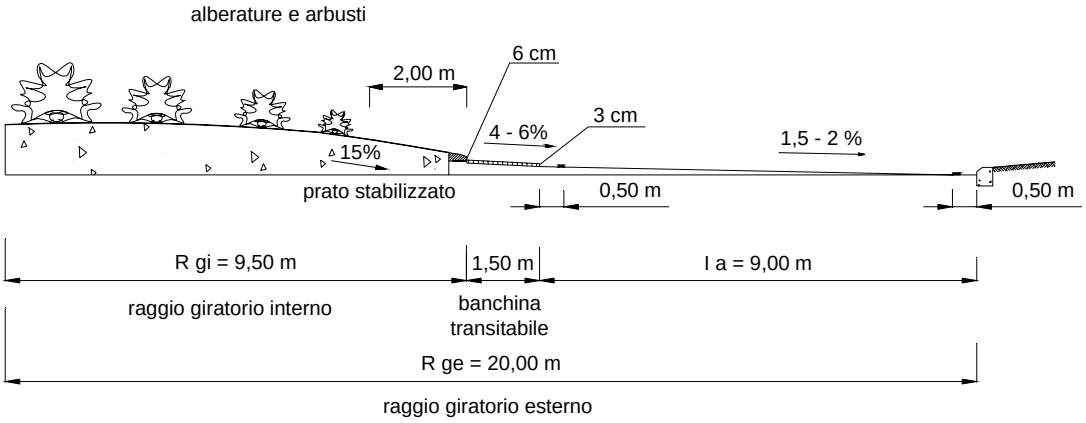


Fig. 3.A.6 Esempio di isola centrale di rotatoria compatta.

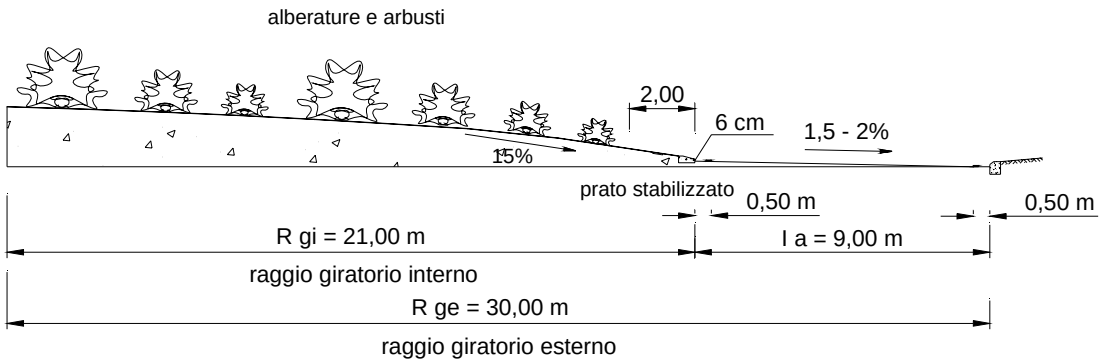


Fig. 3.A.7 Esempio di isola centrale di grande rotatoria.

3.A.8.2 Carreggiata anulare

La carreggiata anulare, o anello, è costituita da una o più corsie di marcia comprensive delle banchine.
La sua larghezza (l_a) deve essere mantenuta costante lungo tutto il suo sviluppo. In particolare le dimensioni dell'anello, comprensive delle banchine, variano in funzione delle dimensioni della rotatoria e del numero delle corsie di ingresso:

- *minirotatorie (D_e < 26 m)*: 7÷8 m
- *rotatorie compatte (26 m ≤ D_e < 50 m) con ingressi a singola corsia*: 8 m
- *rotatorie compatte (26 m ≤ D_e < 50 m) con ingressi a doppia corsia*: 9 m
- *grandi rotatorie e rotatorie "eccezionali"*: 9÷10 m

3.A.8.3 Ingressi

In ingresso possono essere realizzate al massimo due corsie.
Per i bracci di accesso si adotta una larghezza di 4,00÷4,50 m per una corsia e 7,00÷9,00 m per due corsie in entrata (l_e), comprese le banchine.
Il raggio d'entrata R_e dovrebbe essere inferiore al raggio della circonferenza esterna della rotatoria, garantendo comunque un valore minimo non inferiore a 10÷15 m.
Il raggio di raccordo R_r deve essere pari al doppio del diametro esterno della rotatoria (cfr fig. 3.A.10).

3.A.8.4 Uscite

In uscita deve essere realizzata soltanto una corsia. Soltanto quando le verifiche di capacità ne dimostrino la necessità, in via del tutto eccezionale è possibile realizzare un'uscita a due corsie.
Per la larghezza delle corsie in uscita dalla rotatoria (l_u) si adotta un valore di 4,50÷6,00 m onde facilitare la cinematica della manovra; 7,50÷9,00 m nel caso di uscite a due corsie. In entrambi i casi le misure si intendono comprensive delle banchine.
Il raggio di uscita R_u dovrebbe essere superiore al raggio della circonferenza dell'isola giratoria interna, garantendo comunque un valore minimo non inferiore a 15-20 m e un valore massimo di 30 m.
Il raggio di raccordo R_r deve essere pari al doppio del diametro esterno della rotatoria.

3.A.8.5 Isole direzionali

E' opportuno separare fisicamente le correnti entranti da quelle uscenti dalla rotatoria mediante isole direzionali di forma triangolare. Le isole direzionali (cfr. fig. 3.A.8) devono essere sempre presenti ed insormontabili al fine di:

- garantire una maggiore percezione della rotatoria;
- consentire l'attraversamento dei pedoni in sicurezza.

La larghezza dell'isola al bordo della rotatoria non dovrebbe essere inferiore a 3 m; la sua lunghezza, nel caso di presenza di attraversamenti pedonali, deve essere tale da consentire anche la protezione fisica dei pedoni.

I passaggi pedonali dovrebbero essere posizionati ad una distanza di 4÷5 m dal bordo della corona giratoria.

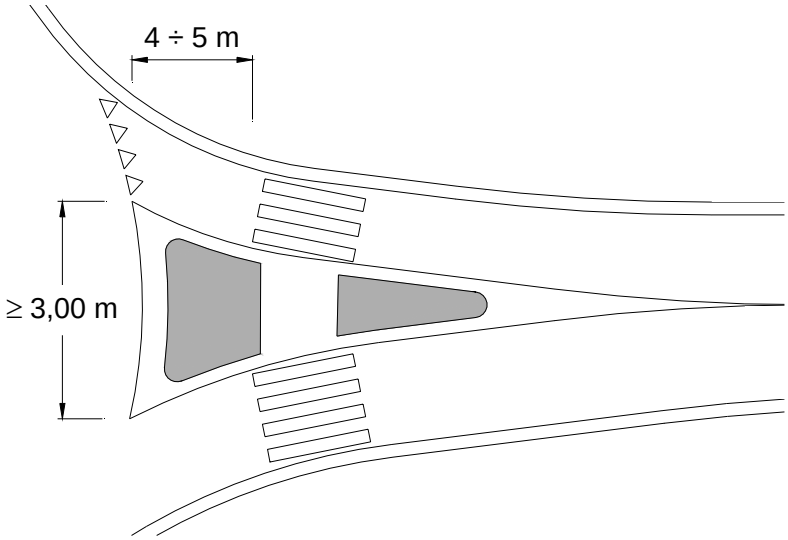


Fig. 3.A.8 Isola direzionale

3.A.8.6 Svolta a destra svincolata

Nel caso in cui gli studi di capacità dimostrino la presenza di criticità in un braccio di ingresso, è possibile realizzare una corsia per la svolta a destra svincolata (cfr. fig. 3.A.9). Tale scelta progettuale è valida anche nel caso in cui, quella della svolta a destra, sia la direzione prevalente ovvero il volume veicolare di svolta sia di almeno 500÷600 veic/h nei periodi di punta.

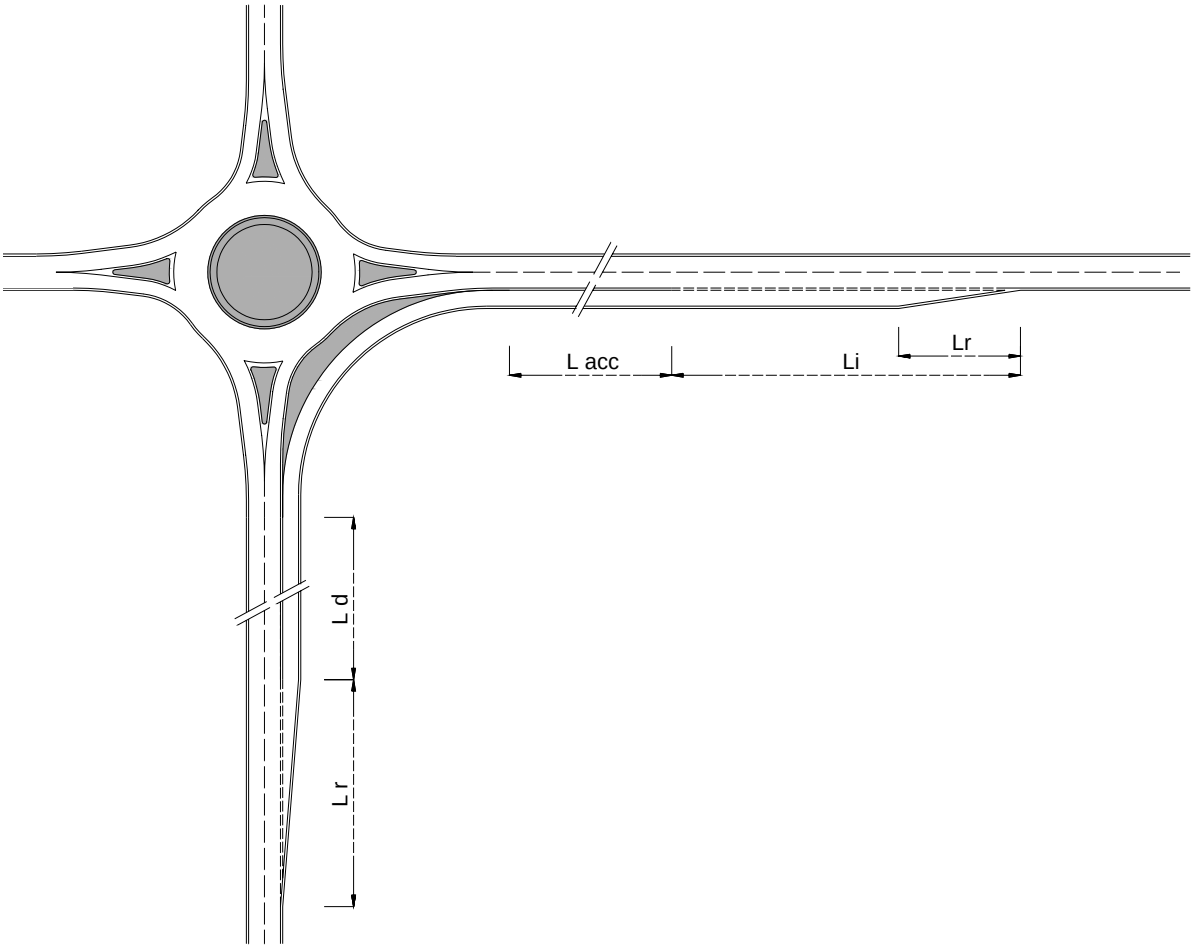


Fig. 3.A.9 Rotatoria potenziata con svolta diretta

Le corrette modalità di progettazione di tale corsia sono da individuare nelle successive indicazioni inerenti la progettazione delle intersezioni a raso canalizzate.
E' necessario posizionare idonea segnaletica verticale in grado di indirizzare in maniera ottimale i veicoli.

3.A.8.7 Tabella riepilogativa

In tabella 3.A.3 vengono riepilogati i valori di progetto dei principali elementi costituenti le rotatorie rappresentati in figura 3.A.10.

	Notazione	***Intervallo di validità***	***Valore [m]***			
			Mini rotatorie sormontabili	***Mini rotatorie parzialmente sormontabili***	***Rotatorie compatte***	***Grandi rotatorie Rotatorie eccezionali***
Diametro della rotatoria	D_e	(14 m) 18 m ≤ D_e ≤ 40 m	14÷18	18÷26	26÷50	> 50
Raggio giratorio esterno	R_{ge}	$D_e/2$	7÷9	9÷13	13÷25	> 25
Raggio giratorio interno	R_{gi}	R_{gi} - l_a	0÷2	variabile	variabile	variabile
Larghezza dell'anello	l_a	7 m ≤ l_a ≤ 10 m	7÷8	7÷8	8÷9	9÷10
Larghezza anello interno sormontabile	l_{is}	0 ≤ l_{is} ≤ 2 m	Isola centrale completamente sormontabile	1,5÷2	1,5÷2	0
Raggio d'entrata	R_e	10 m ≤ R_e ≤ $D_e/2$	10	10÷13	10÷25	10÷$D_e/2$
Larghezza corsia entrante	l_e	4 m ≤ l_e ≤ 4,5 m (1 corsia) 7 m ≤ l_e ≤ 9 m (2 corsie)	4 ≤ l_e ≤ 4,5 (*1 c.*)	4 ≤ l_e ≤ 4,5 (*1 c.*)	4 ≤ l_e ≤ 4,5 (*1 c.*) 7 ≤ l_e ≤ 9 (*2 c.*)	4 ≤ l_e ≤ 4,5 (*1 c.*) 7 ≤ l_e ≤ 9 (*2 c.*)
Raggio d'uscita	R_u	15 m ≤ R_u ≤ 30 m	15÷30	15÷30	15÷30	15÷30
Larghezza corsia uscita	l_u	4,5 m ≤ l_u ≤ 6 m (1 corsia) 7,5 m ≤ l_u ≤ 9 m (2 corsie)	4,5 ≤ l_u ≤ 6 (*1 c.*)	4,5 ≤ l_u ≤ 6 (*1 c.*)	4,5 ≤ l_u ≤ 6 (*1 c.*) 7,5 ≤ l_u ≤ 9 (*2 c.*)	4,5 ≤ l_u ≤ 6 (*1 c.*) 7,5 ≤ l_u ≤ 9 (*2 c.*)
Raggio di raccordo	R_r	2 × D_e	28÷36	36÷52	52÷100	> 100

Tab. 3.A.3 Riepilogo dei valori di progetto degli elementi costituenti le rotatorie.

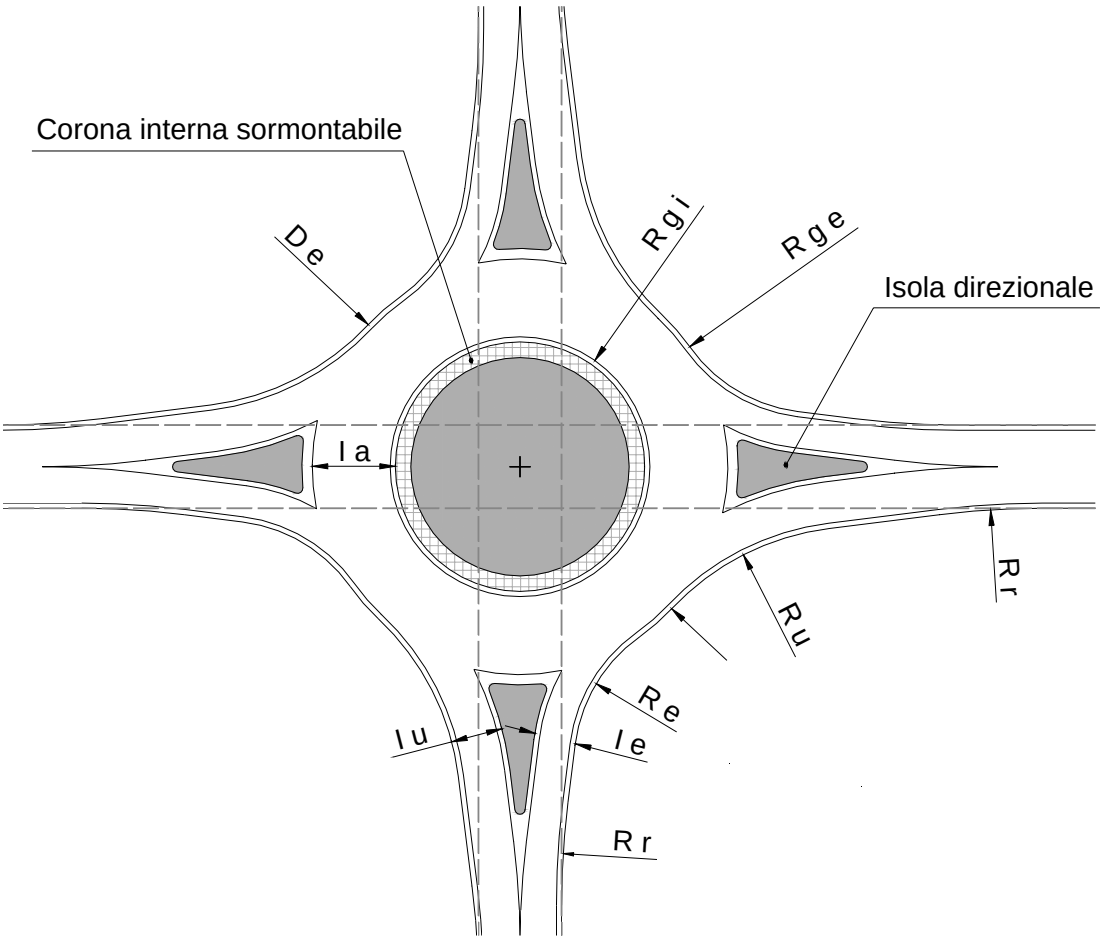


Fig. 3.A.10 Elementi di progetto delle rotatorie.

3.A.9 Particolari attenzioni per le diverse tipologie di utenti

3.A.9.1 Pedoni e ciclisti

La corretta progettazione di una rotatoria, così come la verifica della sua funzionalità e sicurezza - soprattutto in ambito urbano - non può prescindere da un'analisi attenta dei movimenti e dei percorsi ciclo pedonali in potenziale conflitto con i veicoli in movimento.
Se necessario si devono pertanto predisporre delle isole direzionali le quali, oltre a rinforzare la percezione della rotatoria ed a separare fisicamente le correnti veicolari entranti ed uscenti, sono di basilare importanza per la protezione dei pedoni: a tal fine come già precisato, la larghezza dell'isola al bordo della rotatoria non dovrebbe essere inferiore a 3 m.
I passaggi pedonali dovrebbero essere posizionati ad una distanza di 4÷5 m dal bordo della corona giratoria. In questo modo:

- si allontanano i flussi veicolari circolanti internamente alla corona giratoria dagli stessi pedoni;
- non si allungano troppo i percorsi pedonali così da evitare comportamenti scorretti e pericolosi da parte dei pedoni (attraversamento fuori dalle strisce pedonali, attraversamento all'interno dell'anello rotatorio, ecc..).

Sono assolutamente da escludere gli attraversamenti pedonali entro la carreggiata anulare.
In ogni caso, per tutelare la sicurezza dei pedoni, si possono utilizzare alcuni accorgimenti in fase di progettazione, quali:

- la riduzione della velocità dei veicoli in uscita attraverso una adeguata deflessione per ogni itinerario;
- la progettazione di isole spartitraffico più larghe possibile in relazione allo spazio disponibile;

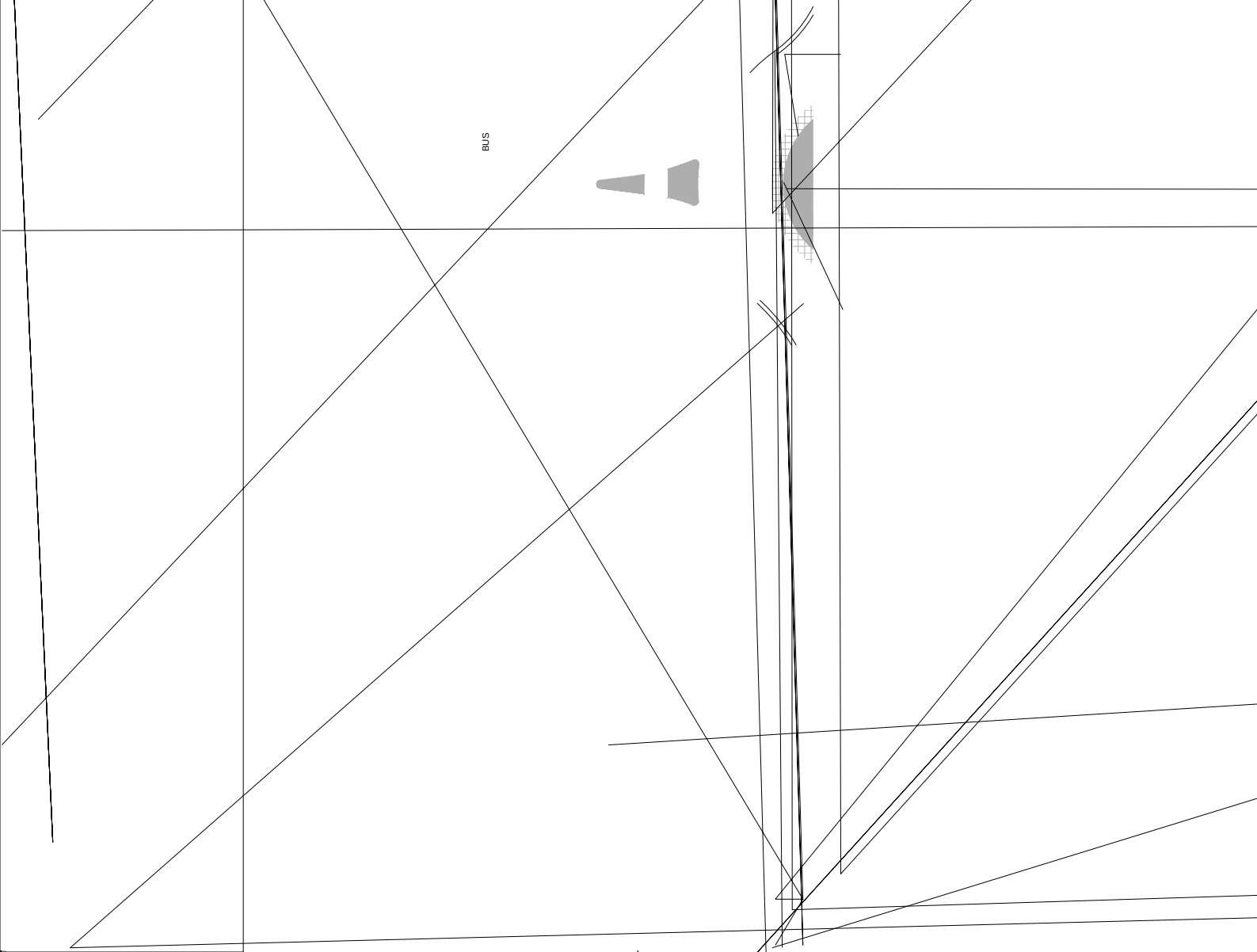
- la proibizione della sosta dei veicoli sui bracci della rotatoria in prossimità dell'incrocio in modo da assicurare un'ampia visibilità;
- l'illuminazione sia dell'anello, sia delle vie di ingresso e uscita;
- l'installazione di cartelli stradali in modo tale da non nascondere alla vista dei guidatori eventuali pedoni.

3.A.9.2 Trasporto pubblico locale

Si individuano tre possibili sistemazioni per le fermate dei mezzi pubblici nelle vicinanze di una rotatoria (cfr. figg. 3.A.11 e 3.A.12):

- sulla corsia d'entrata, 20 m a monte dell'attraversamento pedonale, con apposita piazzola riservata;
- sulla corsia d'uscita, subito dopo l'attraversamento pedonale, con apposita piazzola riservata;
- sulla corsia d'entrata, un metro prima dell'attraversamento pedonale, quando il traffico è scarso e il mezzo pubblico non necessita di lunghi tempi di sosta. Tale sistemazione è però da escludere in presenza di doppia corsia d'innesto alla rotatoria, in quanto bisogna assolutamente evitare che i veicoli possano superare il mezzo pubblico a scapito della sicurezza dei pedoni.

Sono, invece, assolutamente vietate le fermate all'interno della corona giratoria.
In ambito urbano è consentito realizzare a fianco degli ingressi una zona sormontabile per consentire la fermata dei mezzi pubblici tramite un sopralzo di tale zona rispetto alla carreggiata (non superiore a 3 cm), l'utilizzo di materiali differenti rispetto alla piattaforma stradale (autobloccanti, pavé,...) ovvero un rivestimento rugoso che presenti contrasto sia di giorno che di notte rispetto all'anello e la separazione di queste zone mediante segnaletica orizzontale.



3.A.9.3 Trasporti eccezionali

Si suggerisce di adottare, almeno inizialmente, le abituali regole di progettazione senza preoccuparsi dei trasporti eccezionali, potendosi, in sede di affinamento del progetto, adattare le caratteristiche geometriche dei vari elementi che compongono lo svincolo, ad esempio prevedendo zone sormontabili sull'isola centrale, sulle isole spartitraffico di entrata e uscita e sulla banchina, e definendo altresì zone prive di ostacoli.
Di fatto non è consigliabile, per ragioni di sicurezza, prevedere grandi rotatorie solo per offrire facile accesso ai veicoli eccezionali, senza rendere congruenti agli elevati raggi dell'isola centrale anche i raggi d'entrata dei vari bracci e la larghezza dell'anello: queste sistemazioni potrebbero infatti indurre gli utenti ordinari ad impegnare l'intersezione con velocità eccessive.
È bene inoltre concepire le zone sormontabili (o semi - sormontabili) in modo tale da dissuadere i veicoli leggeri a transitarvi. A tal fine si suggerisce di adottare (cfr. fig. 3.A.13):

- una contropendenza delle zone sormontabili in banchina;
- un sopralzo delle zone sormontabili rispetto alla carreggiata (non superiore a 3 cm);
- un rivestimento rugoso che presenti contrasto sia di giorno che di notte rispetto all'anello;
- una separazione di queste zone mediante segnaletica orizzontale.

E' comunque sempre opportuno effettuare una verifica dell'inserimento dinamico dei mezzi pesanti nell'area di intersezione.

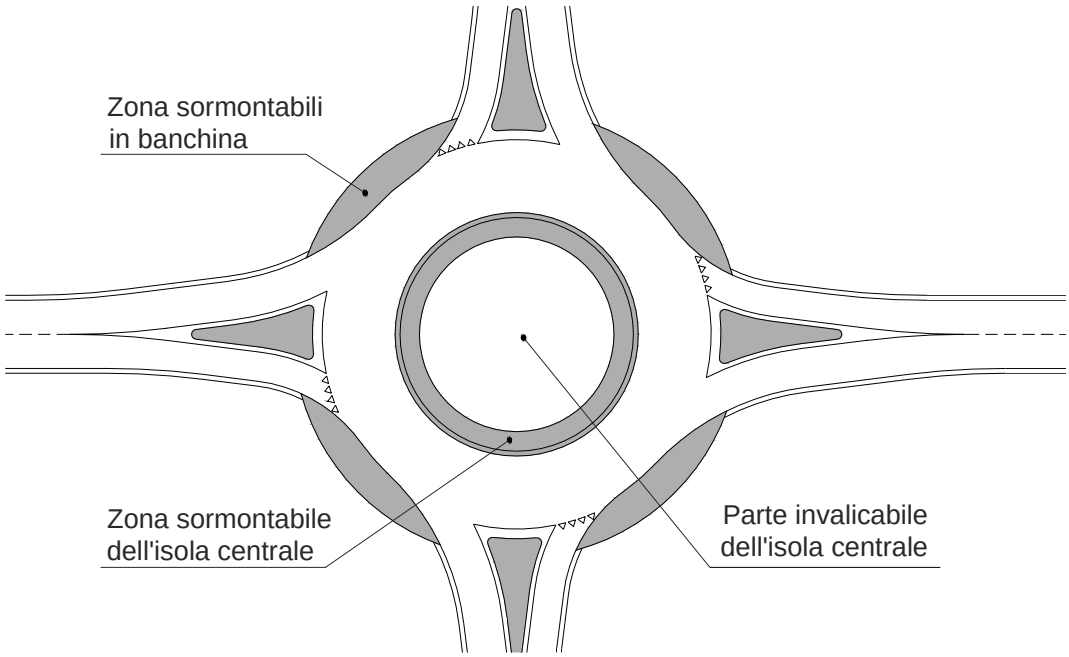


Fig. 3.A.13 Esempio di sistemazione di una rotatoria per tenere conto dei movimenti dei veicoli eccezionali.

3.A.10 Segnaletica orizzontale e verticale

I riferimenti per il progetto della segnaletica sono al Codice della Strada e al relativo Regolamento di attuazione.
In particolare si prescrive la sistemazione del segnale "rotatoria" sulla soglia della carreggiata anulare; in ambito extraurbano tale indicazione deve essere preceduta dal segnale "circolazione a rotatoria" ad una distanza di 150 m. Nel caso in cui non sia possibile rispettare questa distanza, il segnale deve essere integrato con l'apposito pannello indicante l'effettiva distanza dall'intersezione. Nelle rotatorie con regime di precedenza all'anello è necessario integrare la segnaletica descritta con il segnale "dare la precedenza" corredati dalla segnaletica orizzontale prevista.

Sull'isola centrale, in corrispondenza di ogni ingresso, deve essere posizionato il cartello di direzione obbligatoria a destra (ad esclusione delle minirotatorie con isola centrale sormontabile).
Sull'isola direzionale i segnali di direzione rivolti verso la carreggiata anulare devono segnalare soltanto le direzioni in uscita. Le altre direzioni, infatti, devono essere presegnalate tramite pannelli di preavviso di intersezione a rotatoria posti possibilmente ad una distanza di 150÷300 m dall'incrocio.

I passaggi pedonali devono essere posizionati ad una distanza di 4÷5 m dal bordo della corona giratoria, mentre per ragioni di sicurezza e di facilità di circolazione si consiglia di non tracciare nell'anello le corsie di demarcazione, fatta eccezione per le rotatorie di diametro D_e maggiore di 40 m e con un anello di larghezza uguale o maggiore ai 9 m. In ogni caso la carreggiata anulare è da delimitare sia internamente che esternamente (escluse le zone d'entrata e d'uscita) con strisce continue. E' assolutamente da evitare l'installazione di dispositivi rallentatori (bande rumorose,...) sulle zone di frenatura dei veicoli in quanto diminuiscono le condizioni generali d'aderenza.

3.A.11 Barriere di sicurezza

L'utilizzo delle barriere di sicurezza nelle intersezioni a rotatoria è, nella maggior parte dei casi, da escludere. Tuttavia il loro posizionamento è consigliato per rotatorie con $D_e \geq 50$ m, a causa delle velocità di percorrenza più elevate, e in tutti i casi in cui la sicurezza della circolazione lo imponga. Le barriere devono essere opportunamente raccordate (transizioni tra i differenti tipi di barriera) e i terminali devono consentire un sufficiente assorbimento di energia; se ciò non risultasse possibile, si devono utilizzare terminali svasati e piegati nel terreno.
E' comunque sempre da escludere il posizionamento di barriere di sicurezza sull'isola centrale e sulle isole direzionali.

3.A.12 Illuminazione

L'installazione in una rotatoria di un impianto d'illuminazione deve avere come obiettivo la rottura della linearità del tracciato: evidenziando l'assetto circolare dell'intersezione si facilita la percezione e la comprensione del suo funzionamento da parte degli utenti. L'illuminazione dell'area di incrocio porta sicuramente dei benefici a condizione che siano evitati:

- "l'aggressività" dei pali dei lampioni e delle torri faro, molto pericolosi in caso di impatto per la loro elevata rigidezza;
- l'abbagliamento in entrata ed il fenomeno della presenza dei cosiddetti "buchi neri" o zone d'ombra in uscita dalla rotatoria;
- la cattiva leggibilità, se la modalità di sistemazione dei lampioni inganna i conducenti circa la geometria dell'intersezione.

Non tutte le rotatorie devono essere illuminate o illuminate con la medesima tipologia e modalità d'impianto, ma è necessario adeguare la progettazione in base alla localizzazione dell'intervento:

- in *ambito urbano*: le rotatorie devono essere necessariamente illuminate in modo sistematico anche per garantire la continuità d'illuminazione all'interno di zone già illuminate. I conducenti devono, infine, cogliere la presenza di biciclette e pedoni su attraversamenti ciclo - pedonali;
- in *ambito extraurbano*: l'illuminazione non è indispensabile, ma è raccomandata se almeno uno dei bracci afferenti è illuminato o se nelle immediate vicinanze è presente una zona illuminata che possa distrarre i conducenti da un regolare approccio all'intersezione ed in ogni caso se il livello di traffico notturno confluente assume una consistenza elevata.

Per rotatorie che presentano problemi di visibilità o di percezione in lontananza si possono utilizzare dei dispositivi speciali (boe luminose sulle testate delle isole direzionali, lampade intermittenti,...) al fine di attirare l'attenzione dei conducenti.
I supporti non devono essere d'ostacolo visuale alla segnaletica verticale, né alle entrate né ai margini della carreggiata e, come si è detto, non devono costituire pericolo in caso di incidente. Ciò impone di evitare l'installazione dei pali all'interno delle isole direzionali, sempre che queste non siano di grande ampiezza o i calcoli illuminotecnici non lo impongano.

Dal punto di vista progettuale un impianto di illuminazione per una rotatoria si compone di tre parti principali: l'illuminazione della carreggiata anulare, una installazione complementare e la creazione di una zona d'adattamento.
L'illuminazione della corona giratoria, tenuto conto della particolare condizione di simmetria delle rotatorie, può essere realizzata con l'impianto in un unico punto luce centrale o di più punti luce diffusi lungo l'anello. In particolare:

- l'*installazione di tipo centrale* si caratterizza per la presenza di un unico supporto al centro dell'isola di rotazione, denominato "torre faro".
- l'*installazione di punti luce diffusi* si caratterizza per la ripartizione dei supporti sulla circonferenza esterna dell'anello. Il numero e l'altezza dei pali dipende dalla larghezza e dal diametro della rotatoria.

In entrambi i casi è necessario completare l'illuminazione con l'installazione di altri punti luce sui bracci d'accesso alla rotatoria (lato destro) per garantire continuità con una eventuale installazione periferica sull'anello e per diminuire le deformazioni prospettiche verso sinistra.

B - LE INTERSEZIONI A RASO CANALIZZATE

3.B.1 Generalità

3.B.1.1 In quali casi è ragionevole realizzare una intersezione canalizzata

La condizione ottimale per la realizzazione di una intersezione canalizzata è la presenza di strade intersecantesi di differente gerarchia funzionale e con flussi disomogenei. Una intersezione canalizzata consente infatti:

- di privilegiare una corrente di traffico garantendo la massima fluidità sulla direttrice principale;
- di inibire, eventualmente, una determinata manovra veicolare non voluta.

E' bene inserire intersezioni a raso di tipo canalizzato di tipo parziale - che consentano cioè solo alcune manovre - quando, in prossimità della stessa (in linea generale a distanza massima di 500 m onde evitare il prodursi di manovre di svolta non consentite), esista già un'intersezione a raso di tipo rotatorio (vedi figg. 3.B.1 e 3.B.2). In questo caso, infatti, la riduzione o la totale eliminazione delle svolte a sinistra consente di:

- diminuire il numero dei punti di collisione e dei possibili conflitti veicolari contribuendo a rendere più sicura l'intersezione;
- rendere più fluide le condizioni di deflusso dell'intersezione.

Fig. 3.B.1 Tipologia di intersezione a raso canalizzata in presenza, nelle vicinanze, di due intersezioni di tipo rotatorio

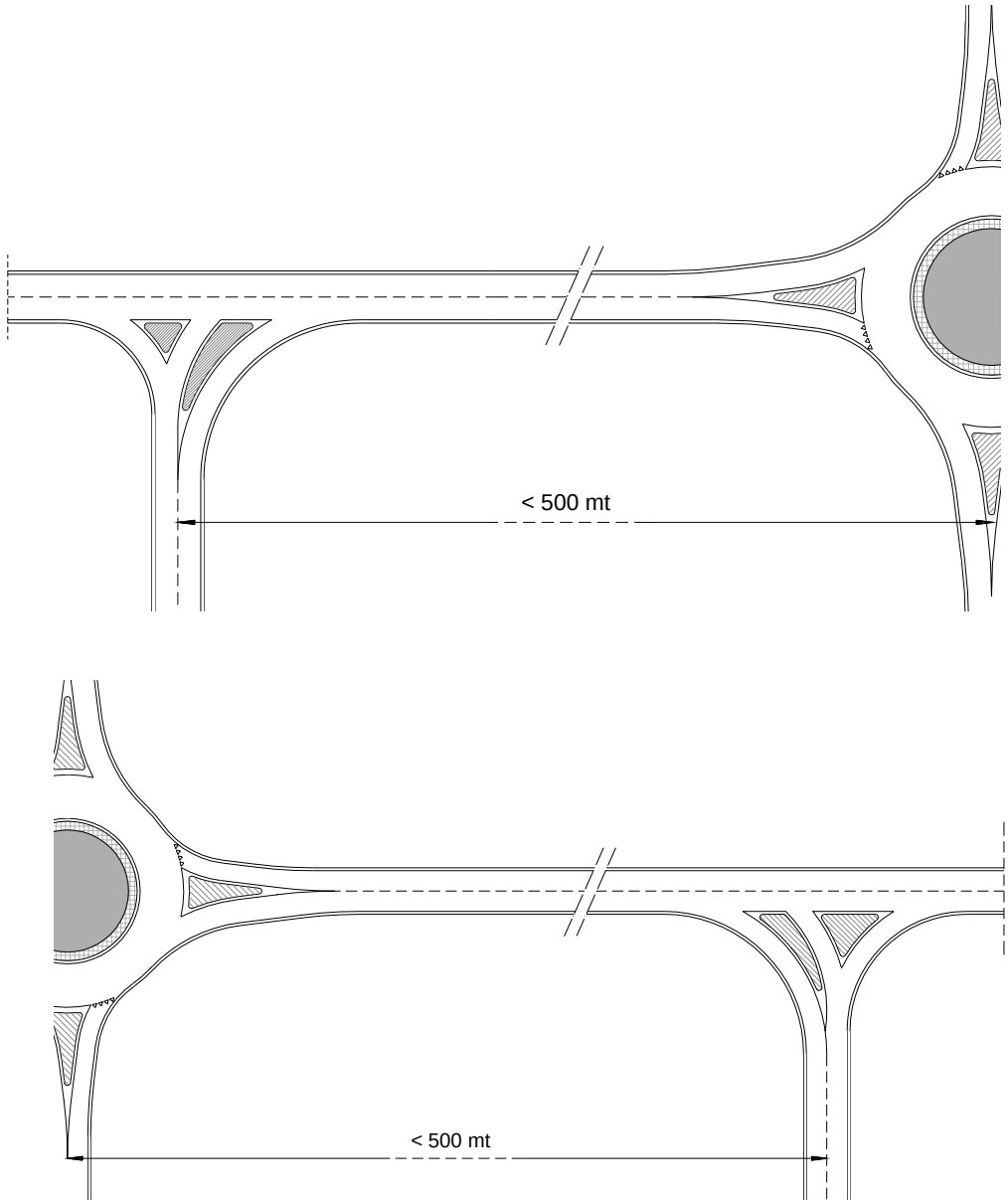


Fig. 3.B.2 Tipologie di intersezioni a raso canalizzate in presenza, nelle vicinanze, di una intersezione di tipo rotatorio

Un numero limitato di veicoli in svolta a sinistra - sia dalla principale che dalla secondaria - (tendenzialmente 400 veic/giorno) rende ragionevole la realizzazione di intersezioni canalizzate. La presenza di più elevati flussi in svolta a sinistra potrebbe rendere meno sicura l'intersezione; occorrerebbe pertanto valutare la possibilità di realizzare una rotatoria.

3.B.1.2 Quali caratteristiche consentono una maggiore sicurezza

Alcune cautele e attenzioni in fase di progetto possono aumentare gli standard di sicurezza delle intersezioni canalizzate. In particolare occorre garantire:

- **la maggiore semplicità di realizzazione e funzionamento**, ovvero:
  - dimensioni contenute e normalizzate dei singoli elementi geometrici (corsie di accumulo, corsie di immissione,…);
  - uno scostamento progressivo dalle traiettorie passanti;
- **l'assenza di ostacoli rigidi** lungo le traiettorie di possibile fuoriuscita dei veicoli, in particolare sulle isole direzionali o divisionali;

- **una buona percezione e leggibilità** dell'intersezione tramite una corretto disegno degli elementi geometrici e un corretto posizionamento della segnaletica verticale;
- **l'utilizzo di traiettorie veicolari ben definite e "obbligate"** per evitare velocità operative troppo elevate incompatibili con la sicurezza.
- la riduzione delle possibili aree di collisione tra i veicoli;
- **il corretto dimensionamento** degli elementi compositivi l'intersezione anche al fine di consentire una diminuzione della velocità in ingresso e un rapido abbandono dell'intersezione in uscita per i veicoli provenienti/diretti dalle/alle strade secondarie;
- la realizzazione di **isole insormontabili** per la delimitazione delle zone escluse dalle manovre veicolari, anche al fine di inibire manovre non consentite la cui proibizione, con la sola segnaletica orizzontale e verticale, potrebbe essere disattesa.

3.B.2 Configurazione geometrica e allineamento degli assi stradali

La progettazione ottimale degli incroci lineari si attua preferibilmente garantendo la ortogonalità (o quantomeno angoli superiori a 70°) tra gli assi afferenti alla zona di incrocio. Si può procedere a tale fine o correggendo il tracciato della secondaria o creando uno schema a baionetta (purché sia possibile distanziare gli assi di almeno 100 m) (fig. 3.B.3).

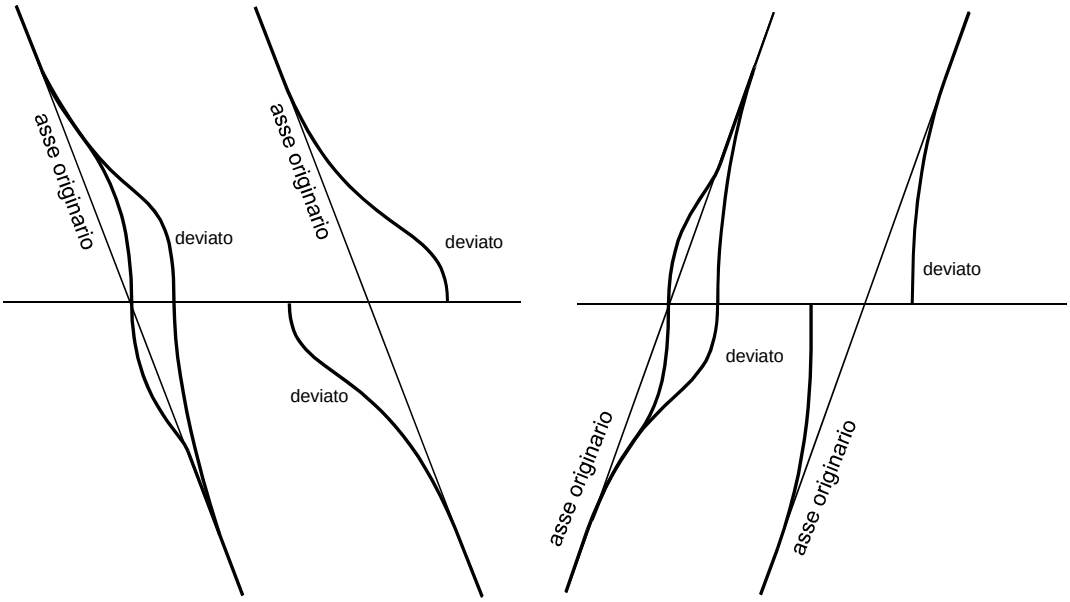


Fig. 3.B.3 Rettifica d'asse della secondaria

3.B.3 Diverse tipologie di intersezioni canalizzate a raso

E' possibile distinguere le intersezioni a raso canalizzate in funzione degli elementi progettuali e compositive che le contraddistinguono. Si possono avere:

- corsie di accumulo specializzate per le svolte a sinistra dalla strada principale, eventualmente protette;
- corsie di decelerazione per la svolta a destra dalla strada principale;
- corsie di accelerazione per la svolta a destra dalla secondaria;
- corsie di immissione nella mezzeria della strada principale destinate ad agevolare la svolta a sinistra dalla secondaria.

La scelta delle differenti tipologie compositive avviene in funzione dei flussi veicolari presenti o previsti, dei vincoli ambientali presenti, dei bracci confluenti al nodo e delle loro caratteristiche di sicurezza.

In ordine al tipo di regolazione, le suddette intersezioni possono poi essere così ulteriormente suddivise:

- intersezioni con precedenza regolata dal segnale “dare precedenza”;
- intersezioni con precedenza regolata dal segnale “fermarsi e dare precedenza” (STOP);
- intersezioni regolate da impianti semaforici.

Le intersezioni a raso canalizzate si possono prevedere su strade:

- extraurbane secondarie (C);
- urbane di scorrimento (D);
- urbane di quartiere (E);
- locali extraurbane (F_{ex});
- locali urbane (F_{urb}).

3.B.4 Visibilità e percezione

3.B.4.1 Visibilità

La trattazione delle condizioni di visibilità negli incroci a raso impone la verifica differenziata tra le manovre di svolta, aventi la precedenza, e le traiettorie veicolari non prioritarie e quindi destinate a condizioni di flusso interrotto a favore del passaggio di altri veicoli. La metodologia qui descritta non possiede carattere di cogenza, anche se risulta auspicabile che tutte le nuove intersezioni possano avere tali requisiti progettuali.

Per le traiettorie prioritarie - traiettorie aventi precedenza sulle altre - si devono mantenere all’interno dell’intera area di svincolo le medesime condizioni di visibilità previste dalla specifica normativa per gli assi stradali; la presenza dell’intersezione non può difatti costituire deroga agli standard usuali in rapporto alla visibilità del tracciato.
Per le manovre non prioritarie - la cui regolamentazione avviene con segnali di stop o di precedenza - le verifiche vengono sviluppate secondo il criterio dei triangoli di visibilità relativi ai punti di conflitto di intersezione generati dalle correnti veicolari: all’interno del triangolo non devono esistere ostacoli alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto di intersezione considerato.
La verifica globale circa le condizioni di visibilità dell’intersezione richiede pertanto di considerare tutti i triangoli relativi ai punti di collisione; l’ubicazione degli eventuali nuovi vincoli esterni all’area di svincolo sarà da determinarsi in considerazione dell’inviluppo dei segmenti relativi ai singoli triangoli.

Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso risulta essenziale procedere sempre ad una gerarchizzazione viaria 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 collisione, evitando di porre in essere situazioni di semplice precedenza a destra senza regolazione segnaletica.
Nel caso in cui non possa essere garantita la visibilità sui triangoli così costruiti si rende necessario regolare l’intersezione mediante segnale di stop sulla strada secondaria con il contestuale inserimento di specchi parabolici che facilitino l’avvistamento dei veicoli sulla principale.

I parametri da acquisire per le verifiche di visibilità sono i seguenti:

- determinazione del tempo di manovra;
- individuazione della velocità di riferimento;
- collocazione planimetrica dei punti di osservazione;
- collocazione altimetrica dei riferimenti visivi.

3.B.4.1.1 Il tempo di manovra

La sicurezza dell'intersezione impone che l'utente impegnato nelle traiettorie prive di diritto di precedenza possa disporre del tempo necessario per verificare la presenza di veicoli in arrivo sulla strada principale, per decidere sulla manovra da compiere, per eseguire e completare l'attraversamento e lo sgombero dell'area di incrocio.
Si definisce pertanto tempo di manovra il periodo intercorrente tra l'approccio del veicolo nell'area di visibilità dell'incrocio e l'ultimazione della manovra di sgombero relativa al punto di collisione considerato. Il tempo di manovra si compone pertanto di fasi psico-tecniche e di fasi cinematiche ed il suo valore dipende anche dai seguenti elementi:

- larghezza trasversale dell'arteria principale;
- tipo di regolazione segnaletica.

In via generale e semplificativa si possono adottare per il tempo di manovra 6 secondi per le manovre regolate da stop e 12 secondi per le manovre regolate da precedenza.
Una ulteriore implementazione dei tempi di manovra deve prevedersi nei casi, per quanto possibile da evitarsi, in cui le traiettorie siano soggette a pendenze longitudinali superiori al 2%. In questi casi si incrementa il tempo di 1 secondo per ogni punto percentuale di pendenza eccedente il 2%.

3.B.4.1.2 La velocità di riferimento

Il lato maggiore del triangolo di visibilità corrisponde al prodotto della velocità di riferimento per il tempo di manovra. Si definisce velocità di riferimento il valore cinematico cui corrispondono le condizioni ordinarie di circolazione da considerarsi più impegnative ai fini della sicurezza dell'intersezione.
Per la determinazione della velocità di riferimento può articolarsi secondo tre criteri alternativi:

- strade di nuova realizzazione: si adotta il valore relativo al diagramma di velocità;
- strade esistenti: si adotta il valore prescritto dalla segnaletica stradale, quello massimo ammissibile dal Codice della Strada ovvero quello del 85-esimo percentile.

3.B.4.1.3 Collocazione planimetrica dei punti di osservazione

I punti caratteristici per le verifiche di visibilità vanno assunti sulla mezzeria delle traiettorie veicolari a cui si riferiscono.
In caso di regolazione mediante segnale di precedenza, il vertice del triangolo di visibilità relativo alla direzione secondaria si pone ad una distanza di 20 m dal ciglio della strada principale.
In caso di regolazione mediante segnale di stop il vertice del triangolo di visibilità relativo alla direzione secondaria si pone ad una distanza di 3 m dalla linea di arresto.

3.B.4.1.4 Collocazione altimetrica dei riferimenti visivi

Il punto di osservazione convenzionale per le verifiche di visibilità viene posto altimetricamente ad una quota di 1,10 m al di sopra del piano viabile, in corrispondenza delle posizioni planimetriche indicate nel paragrafo precedente.
Nessun ostacolo alla visione diretta e continua dei veicoli confluenti può perforare il piano virtuale individuato dalla superficie congiungente i tre vertici del triangolo di visibilità come sopra definito. Non si considerano ostacoli visivi elementi discontinui (pali di illuminazione, segnaletica, ecc..) aventi larghezze in orizzontale inferiori a 0,80 m.

3.B.4.1.5 La distanza di visibilità principale

Il lato maggiore del triangolo viene rappresentato dalla distanza di visibilità principale *D*, quale viene espressa dalla formula:

$$D = v \times t$$

dove: D = distanza di visibilità principale [m]
v = velocità di riferimento [m/s]
t = tempo di manovra [s]

3.B.4.1.6 Indicazioni generali

Per i nuovi interventi sono da escludere le intersezioni site in corrispondenza di una curva, come pure vanno attentamente verificate le condizioni di eventuali raccordi altimetrici che potrebbero determinare sia effetti negativi sulla visibilità sia disagevoli percezioni delle velocità dei veicoli in approccio (ad esempio quando la secondaria si raccorda in una concavità della principale).
In prossimità di una intersezione ogni oggetto situato al contorno stradale è suscettibile di mascherare la visibilità. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi una delle dimensioni planimetriche superiori a 0,80 m.

3.B.4.2 Percezione

In ogni caso, nei casi di insufficiente visibilità in uno o più rami dell'incrocio, è necessario procedere ad interventi atti a potenziare la leggibilità del nodo nel senso di facilitare all'utente la rapida comprensione del funzionamento delle intersezioni così da permettere agli utenti in avvicinamento di adeguare il proprio comportamento di guida (ad esempio rallentando e cedendo la precedenza) in relazione al comportamento tenuto o che si presume verrà tenuto dagli altri automobilisti.
Favoriscono certamente la percezione delle "singolarità" del tracciato e della zona di interscambio:

- una visibilità della zona di intersezione adeguata alle velocità di approccio veicolari;
- l'impiego di geometrie di svincolo il più possibili vicine agli schemi tipo;
- una segnaletica semplice, ben posizionata e di facile comprensione;
- la presenza di elementi strutturali o di riferimenti specifici che avvertono dell'avvicinamento ad un'area di interscambio (isole di separazione delle corsie, ecc).

La lettura del tracciato può, nondimeno, essere facilitata dal paesaggio che può essere opportunamente "costruito" così da fornire, ad esempio, una visualizzazione anticipata delle vie secondarie (figg. 3.B.4 e 3.B.5).

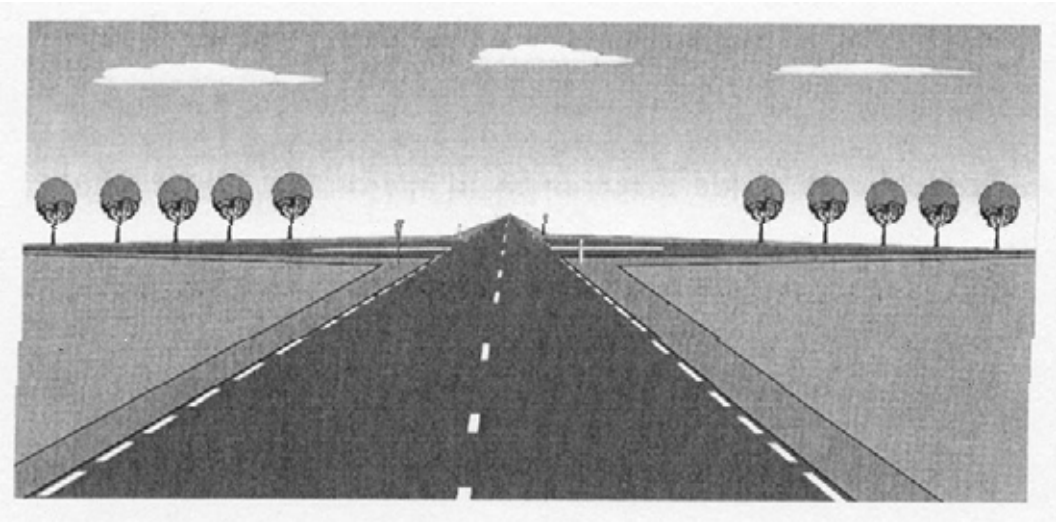


Fig. 3.B.4 Visualizzazione della strada secondaria mediante un allineamento trasversale.

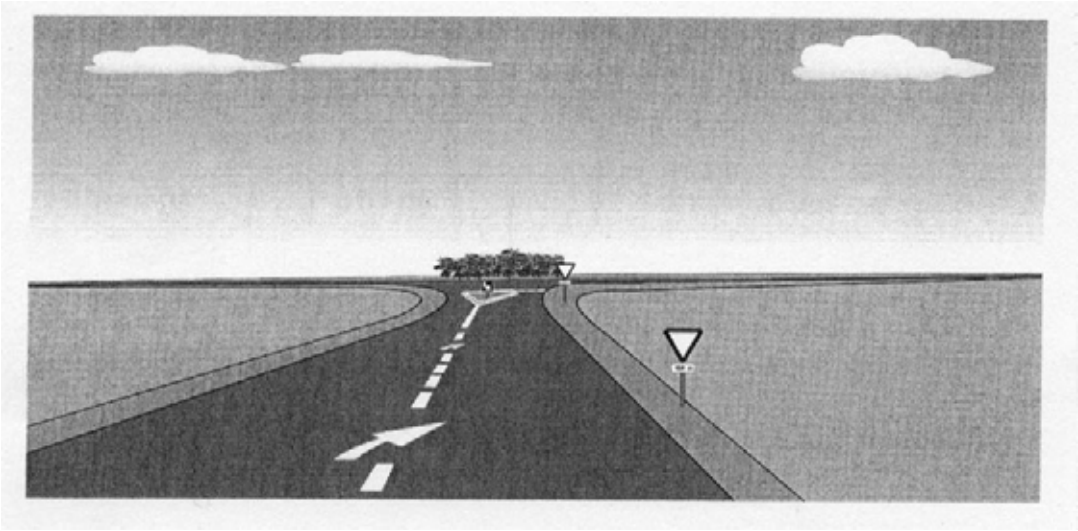


Fig. 3.B.5 Schermo di vegetazione che blocca la visuale sul ramo secondario di un'intersezione a T.

Tali sistemazioni, ovviamente, devono essere studiate in modo da non compromettere la sicurezza dell'intersezione riducendo, ad esempio, la visibilità dell'area di incrocio.

3.B.5 Pendenze e scolo acque meteoriche

In linea generale, nella impostazione progettuale del area di svincolo, occorre:

- eliminare le zone piane all'interno dell'intersezione mediante la sistematica adozione sia di pendenze longitudinali sia di pendenze trasversali;
- individuare i punti di recapito dei compluvi mediante caditoie o scarichi laterali in modo da delimitare sia le singole superfici scolanti sia i percorsi delle acque meteoriche sulla pavimentazione.

3.B.6 Geometria degli elementi

Per la sistemazione delle vie di preselezione e delle isole di traffico delle intersezioni a raso canalizzate sono necessarie delle modifiche planimetriche del tracciato stradale, la creazione di opportuni allargamenti e/o restringimenti della carreggiata stradale dei bracci confluenti all'intersezione, l'inserimento di adeguate isole di traffico.
Un'intersezione a raso canalizzata si compone di tutti o di parte dei seguenti elementi geometrici (vedi figura 3.B.6):

- *corsie di accumulo* sulla mezzeria stradale destinate ad agevolare le svolte a sinistra dalla principale. Consistono nell'allargamento trasversale della carreggiata in modo da consentire la fermata dei veicoli in attesa di svolta senza interrompere il flusso passante lungo la medesima direzione di provenienza e si compongono di quattro parti: un tratto di raccordo, un tratto di manovra, un tratto di decelerazione ed un tratto di accumulo;
- *corsie di decelerazione* destinate ad agevolare le svolte a destra dalla principale. Consistono nell'allargamento laterale della carreggiata in modo da consentire che la manovra di uscita dei veicoli a bassa velocità dalla corrente passante non ne ostacoli in misura significativa le condizioni di deflusso portando i veicoli al di fuori delle traiettorie passanti;
- *corsie di accelerazione* destinate ad agevolare le svolte a destra dalla strada secondaria. Consistono nell'allargamento laterale della carreggiata principale in modo da consentire la manovra di uscita dei veicoli in inserimento sulla corrente passante senza significativo condizionamento del flusso passante;
- *corsie di immissione nella mezzeria* della strada principale, destinate ad agevolare la svolta a sinistra dalla secondaria.

Le larghezze dei singoli elementi modulari sono le seguenti:

- corsie destinate alle traiettorie passanti: si mantiene il calibro corrente;
- corsie specializzate per funzioni di accumulo e immissione in mezzeria: si adotta un valore minimo di 3,25 m, riducibile fino a 2,50 m se non sono percorse da significativo traffico pesante o da mezzi adibiti al trasporto pubblico, e massimo di 4,00 m;
- corsie di decelerazione/accelerazione; si adotta un valore minimo di 3,25 m, riducibile fino a 2,50 m se non sono percorse da significativo traffico pesante o da mezzi adibiti al trasporto pubblico, e massimo di 3,75 m.

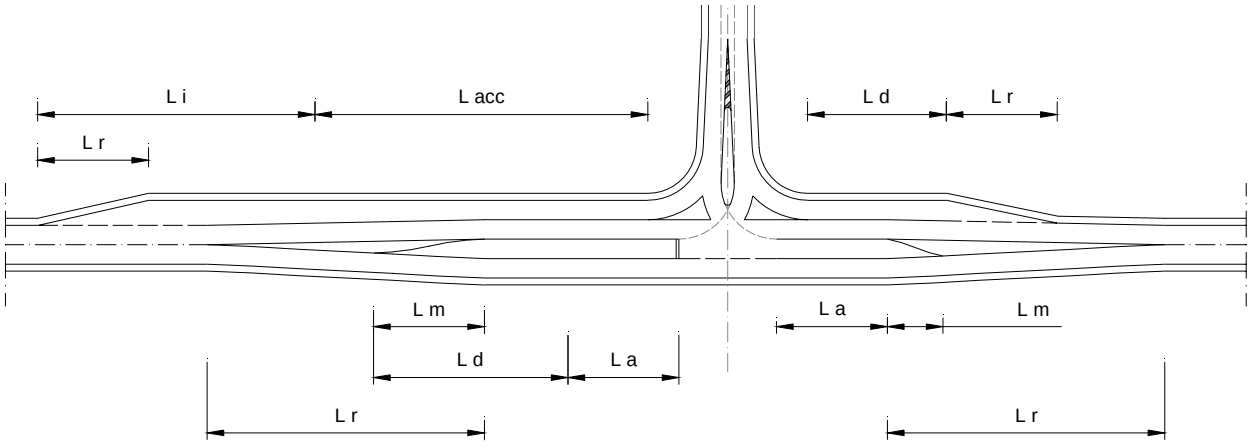


Fig. 3.B.6 Elementi geometrici compositivi di un'intersezione canalizzata.

3.B.6.1 Corsie di accumulo

Le corsie di accumulo nella mezzeria stradale si possono realizzare principalmente tramite l'utilizzo di quattro elementi:

- un tratto di raccordo;
- un tratto di manovra;
- un tratto di decelerazione;
- un tratto di accumulo, in funzione della tipologia di intersezione e dell'eventuale obbligo di arresto per la presenza di un impianto semaforico/segnaletica stradale;

secondo le modalità rappresentate in figura 3.B.7.

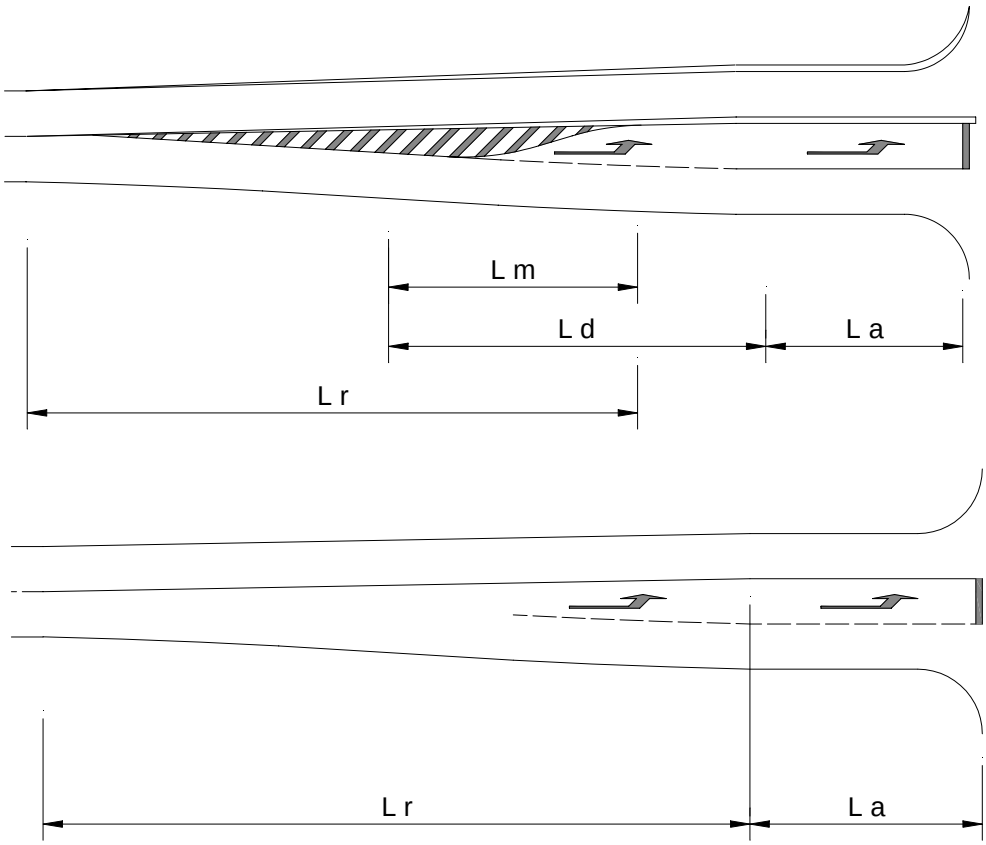


Fig. 3.B.7 Modalità di costruzione delle intersezioni canalizzate con corsie di svolta a sinistra

Tratto di raccordo

Sulla strada principale è necessario inserire un tratto di raccordo in modo che sia immediatamente e chiaramente riconoscibile la presenza dell'intersezione e che gli utenti siano invitati ad adattare la loro velocità (vedi fig. 3.B.8). Il suo corretto dimensionamento è differente in funzione del differente contesto - ambito urbano ovvero extraurbano - in cui si realizza l'intersezione. La lunghezza del tratto di raccordo L_r dipende dalla velocità di progetto V_p e dall'allargamento d della carreggiata stradale secondo le seguenti formule:

$L_r = 0{,}6 \times V_p \sqrt{d'}$ ambito extraurbano

$L_r = 0{,}45 \times V_p \sqrt{d'}$ ambito urbano/strade extraurbane secondarie (strade di tipo E ed F) con $L_{r\,min}$ = 20 m

dove:

V_p = velocità di progetto [km/h]
d = allargamento complessivo [m]
d' = allargamento della semicarreggiata ove inserire la corsia di accumulo centrale [m]

con, tendenzialmente, d' $\geq$ d/2

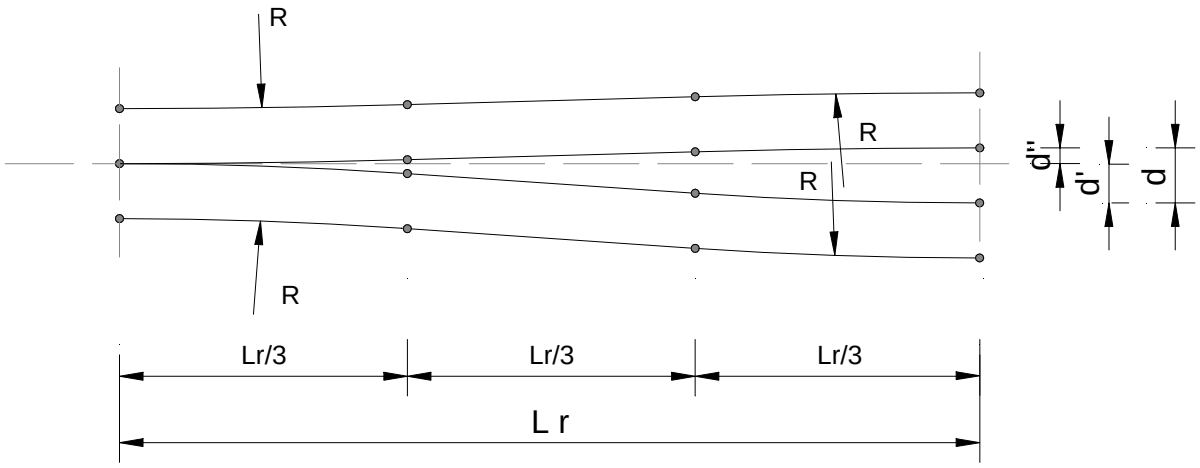


Fig. 3.B.8 Tratto di raccordo

Tratto di manovra
Il tratto di manovra L_m, in ambito extraurbano, deve avere una estensione di 30-40 m. Può essere ridotta a 20 m nel caso in cui la velocità di progetto V_p è minore di 60 km/h (vedi tabella 3.B.1).

Velocità di progetto	***Lunghezza del tratto L_m [m]***	
	Ambito extraurbano	Ambito urbano
80 km/h < $V_p \leq$ 100 km/h	40	-
60 km/h < $V_p \leq$ 80 km/h	30	30
$V_p \leq$ 60 km/h	20÷30	20

Tab. 3.B.1 Lunghezza del tratto di manovra in funzione della velocità di progetto e dell'ambito attraversato.

In ambito urbano si fa riferimento ai valori in tabella 3.B.1. In corrispondenza di ambiti caratterizzati dalla presenza di vincoli rilevanti, è possibile ridurre la lunghezza di tale tratto ovvero, al limite, escluderlo inserendo bruscamente la corsia di svolta a destra, o a sinistra, per permettere una maggiore estensione della zona di accumulo dei veicoli. Se il tratto di manovra è escluso, nel caso di svolta a sinistra, è necessario realizzare un'isola di canalizzazione insormontabile.

Tratto di decelerazione
La decelerazione di un veicolo in svolta dalla strada principale avviene utilizzando, come rappresentato nelle figure 3.B.7 e 3.B.8, anche i tratti di raccordo e di manovra. Il tratto di decelerazione L_d si raccorda con l'eventuale successivo tratto di accumulo.
La formula generale per il calcolo del tratto L_d è data da:

$$L_d = \frac{V_1^2 - V_2^2}{26\left(a \pm \frac{i}{10}\right)}$$

dove:

L_d = lunghezza necessaria per la variazione cinematica [m]
V_1 = velocità maggiore nella variazione cinematica [km/h], assumibile:

- nella velocità dell'ottantacinquesimo percentile (V_{85}) del flusso da cui provengono i veicoli in uscita, per le strade esistenti;
- 0,75xV_p per le strade di progetto (V_p: velocità di progetto nella corsia considerata [km/h]);

V_2 = velocità minore nella variazione cinematica [km/h], assumibile:

- nella velocità di progetto corrispondente al raggio R della curva di deviazione verso la strada secondaria nel caso in cui non sia necessaria la fermata dei veicoli;
- in un valore nullo se il tratto successivo è destinato all'accumulo dei veicoli in svolta e pertanto potrebbe essere occupato da una coda;

a = decelerazione assumibile fino a 2,5 m/s^2

i = pendenza longitudinale

Per garantire maggiore agio alle manovre di uscita dalla corrente principale va precisato che almeno metà della lunghezza della tratta di decelerazione L_d deve venir realizzata in complanarità e parallelismo con la corsia di provenienza, accettandosi per la fase terminale di decelerazione anche un tratto curvilineo purché di curvatura compatibile con la velocità istantanea ipotizzata nella fase di decelerazione.

Tratto di accumulo

Il tratto di accumulo si raccorda con il tratto di decelerazione e termina con la linea di arresto o del "dare precedenza".

Nelle intersezioni semaforizzate la lunghezza L_a di tale tratto è in funzione del tempo di attesa.

Nelle intersezioni regolate a precedenza, invece, una lunghezza di 20 m è in genere sufficiente dove le manovre per la svolta a sinistra sono limitate. In casi del tutto eccezionali (ambito urbano o zone edificate) può essere anche ridotto, garantendo comunque la possibilità di accumulo per due autoveicoli (L_a = 12 m). Una metodologia di dimensionamento più corretta si basa sullo studio del fenomeno di attesa dei veicoli in procinto di 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 secondi.

Nella progettazione delle corsie di accumulo due sono i parametri che devono 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 e le sue caratteristiche di sicurezza.

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. Nelle figure 3.B.9 e 3.B.10 sono riportati 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 di 7 secondi 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.

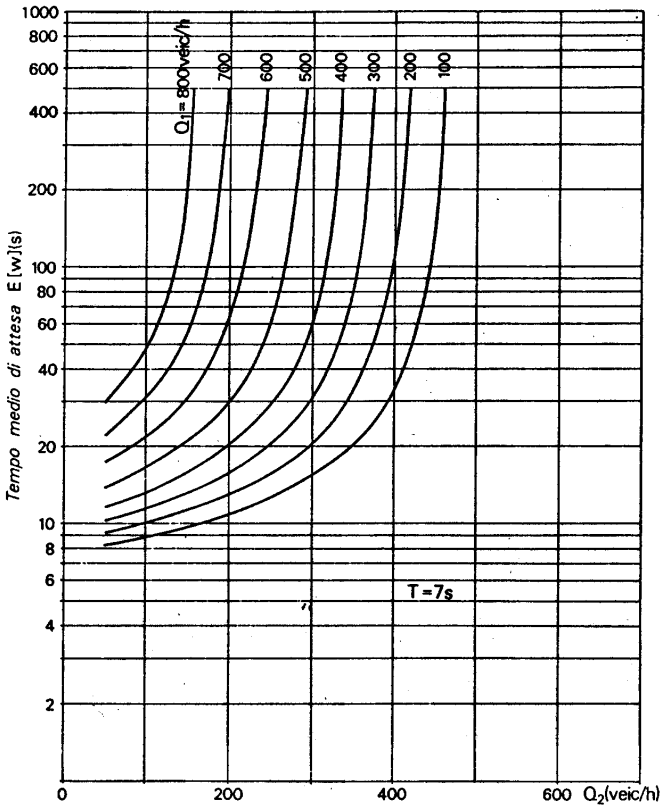


Fig. 3.B.9 Tempo medio di attesa in una corsia di accumulo

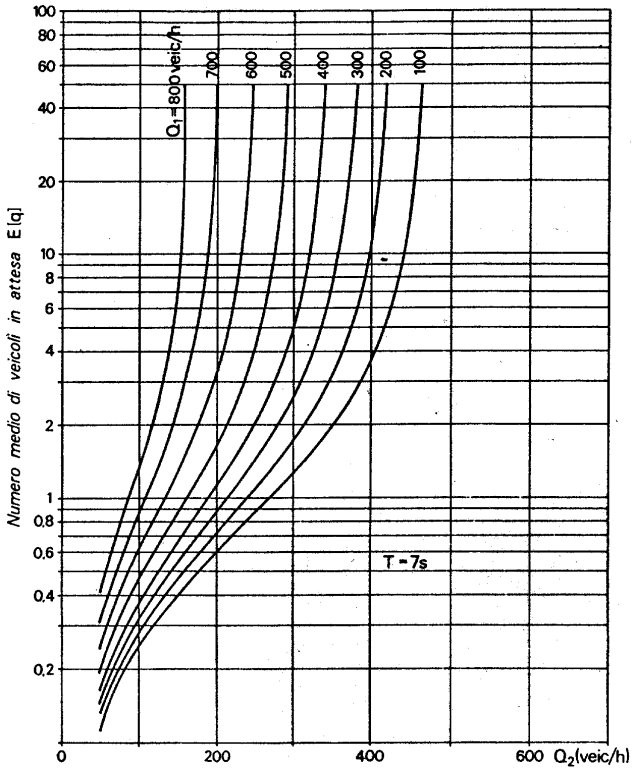


Fig. 3.B.10 Numero medio di veicoli in attesa in una corsia di accumulo

3.B.6.2 Corsie di decelerazione

Le corsie di decelerazione si possono realizzare principalmente tramite l'utilizzo di tre elementi:

- un tratto di manovra;
- un tratto di decelerazione;
- un eventuale tratto di accumulo, in funzione della tipologia di intersezione e dell'eventuale obbligo di arresto per la presenza di un impianto semaforico/segnaletica stradale.

Le corsie di decelerazione destinate ad agevolare le svolte a destra dalla principale vengono

.11 Modalità di costruzione delle intersezioni canalizzate con corsie di svolta a

anovra

tto di manovra L_m varia in funzione della velocità di progetto. Indicativamente i

km/h;

80 km/h;

celerazione e di accumulo

nte, di accumulo vengono realizzati con riferimento alle

3.B.6.3 Corsie di accelerazione

Le corsie di accelerazione si possono realizzare principalmente tramite l'utilizzo di tre elementi:

- un tratto di accelerazione;
- un eventuale tratto di immissione;
- un tratto di raccordo;

secondo le modalità rappresentate in figura 3.B.12.
In luogo del metodo cinematico di seguito proposto è possibile calcolare la lunghezza dei singoli elementi anche con altre metodologie (metodi probabilistici, semiempirici,…).

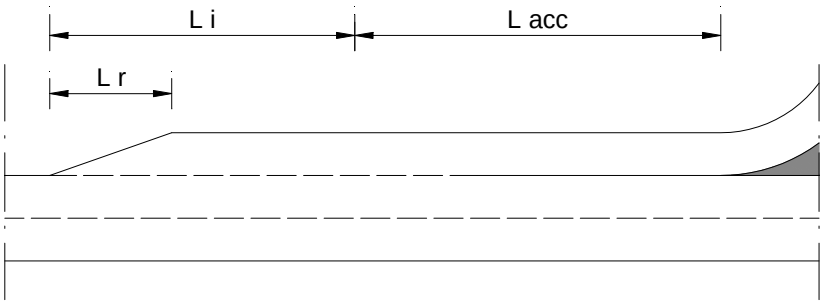


Fig. 3.B.12 Modalità di costruzione delle corsie di accelerazione

Tratto di accelerazione
La formula generale per il calcolo del tratto di accelerazione L_{acc} viene assunta nella seguente espressione:

$$L_{acc} = \frac{V_1^{\,2} - V_2^{\,2}}{26\left(a \pm \frac{i}{10}\right)}$$

dove:

L_{acc} = lunghezza necessaria per la variazione cinematica [m]
V_1 = velocità maggiore nella variazione cinematica [km/h], assumibile:

- nella velocità dell'ottantacinquesimo percentile (V_{85}) del flusso della strada sulla quale la corsia si immette, per le strade esistenti;
- 0,75xV_p per le strade di progetto (V_p: velocità di immissione nel flusso veicolare assumibile con velocità di progetto nella corsia considerata [km/h]);

V_2 = velocità di progetto corrispondente al raggio R della curva della rampa di provenienza [km/h]
a = accelerazione assumibile fino a 1 m/s^2
i = pendenza longitudinale

Tratto di immissione
Il tratto di immissione L_i permette ai veicoli provenienti dalla secondaria di trovare un intervello utile al fine di immettersi sulla strada principale. In linea di massima una lunghezza di 150 m è sempre sufficiente; con velocità di progetto V_p minore di 80 km/h può essere ridotta fino a 50 m (e al limite, in corrispondenza di flussi poco consistenti, essere pari a 0 m).
La lunghezza di immissione può essere in alternativa calcolata anche considerando i flussi di traffico presenti o attesi. Si può pertanto considerare nullo il valore di L_i fino a flussi nell'ora di punta pari a 800 veic/h. Per valori superiori la lunghezza di immissione è data da:

$$L_i = \frac{N - 800}{100} \times V_1$$

dove:

N = flusso della corrente principale dove si immette la corsia [veic/h]. In caso di strada a più corsie si assume N pari a:

- per 2 corsie: 60% del flusso complessivo della corrente principale;
- per 3 corsie: 40% del flusso complessivo della corrente principale;
- per 4 corsie: 30% del flusso complessivo della corrente principale;

V_1 = velocità maggiore nella variazione cinematica [km/h], assumibile:

- nella velocità dell'ottantacinquesimo percentile (V_{85}) del flusso della strada sulla quale la corsia si immette, per le strade esistenti;
- 0,75xV_p per le strade di progetto (V_p: velocità di immissione nel flusso veicolare assumibile con velocità di progetto nella corsia considerata [km/h]).

Tratto di raccordo

La lunghezza del tratto di raccordo L_r varia in funzione della velocità di progetto. Indicativamente i valori da utilizzare sono:

- 75 m per V_p > 80 km/h;
- 50 m per 60 km/h < $V_p \leq$ 80 km/h;
- 20 m per $V_p \leq$ 60 km/h.

3.B.6.4 Zone di scambio

Si definisce *scambio* su una carreggiata stradale l'attraversamento reciproco, lungo una significativa lunghezza della carreggiata, di due correnti di traffico che procedono nella stessa direzione. Nelle intersezioni stradali fenomeni di scambio si verificano quando una rampa di immissione precede una rampa di uscita, e le due rampe sono collegate da una corsia ausiliaria formata dalla unione delle due corsie di immissione e di decelerazione, in modo da dar luogo ad un allargamento della carreggiata rispetto alla sua sezione corrente. In questo caso lo scambio avviene fra il flusso di immissione che percorre la corsia ausiliaria e intende trasferirsi nella carreggiata corrente e il flusso di uscita che percorre la carreggiata corrente e vuole trasferirsi sulla corsia ausiliaria (fig. 3.B.13).

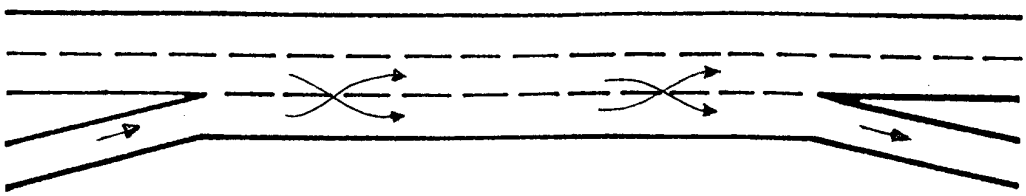


Fig. 3.B.13 Zona di scambio in una intersezione stradale

La *zona di scambio* è formata dal tratto di carreggiata in cui è stato eseguito l'allargamento. Essa è percorsa dall'insieme dei flussi di immissione e di uscita (*flusso di scambio*) e di quello lungo la carreggiata corrente che non è interessato alle manovre di immissione e di uscita (*flusso non di scambio*). La lunghezza della zona di scambio è convenzionalmente definita come la distanza fra il punto ubicato nel triangolo di immissione dove la distanza fra il margine destro della carreggiata corrente dista 0.60 m dal margine sinistro della rampa di immissione, ed il punto del triangolo di uscita dove i due margini distano m 3.60 (fig. 3.B.14).

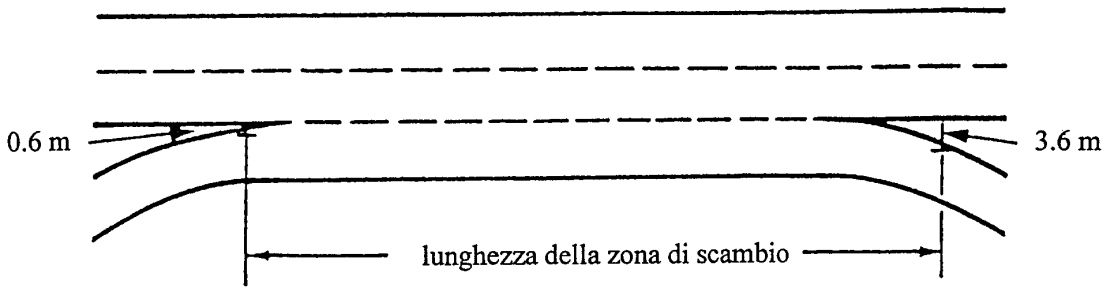


Fig. 3.B.14 Lunghezza di una zona di scambio

Il metodo di progetto delle zone di scambio qui riportato è quello proposto dall'Highway Capacity Manual. Si tratta di un metodo di verifica: assegnate le caratteristiche geometriche della zona di scambio (lunghezza e numero di corsie a disposizione del flusso totale, di scambio e non di scambio), se ne calcola il livello di servizio.
In generale la geometria delle zone di scambio è tale che entrambi i flussi, di scambio e non di scambio, riescono a mantenere la stessa velocità media. Nel caso in cui la larghezza di carreggiata a disposizione del flusso di scambio risultasse insufficiente, la velocità di quest'ultimo potrebbe risultare alquanto inferiore a quella del flusso non di scambio: in questo caso si dice che il funzionamento della zona di scambio è *vincolato*.
Il punto di partenza del calcolo del livello di servizio di una zona di scambio è il calcolo della velocità media dei due flussi, di scambio e non di scambio, mediante la relazione:

$$v_i = 24 + \frac{v - 16}{1 + w} \qquad (1)$$

dove:

- v_i = velocità (km/h) del flusso di scambio (i = s) o non di scambio (i = ns)
- v = velocità di circolazione libera nel tratto di carreggiata che attraversa la zona di scambio
- w = fattore di intensità di scambio, il quale è una misura dell'attività di scambio.

Il fattore w viene calcolato mediante la seguente relazione:

$$w = \frac{a(1+V)^b (f/N)^c}{(L/0.3)^d} \qquad (2)$$

dove:

- V = rapporto fra il flusso di scambio f_s e il flusso totale f nella zona di scambio. I flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora.
- N = numero complessivo di corsie della zona di scambio.
- L = lunghezza in metri della zona di scambio.

Funzionamento della zona di scambio	***Coefficienti in*** v_s				***Coefficienti in*** v_{ns}			
	a	*b*	*c*	*d*	*a*	*b*	*c*	*d*
Non vincolato	0.226	2.20	1.00	0.90	0.020	4.00	1.30	1.00
Vincolato	0.280	2.20	1.00	0.90	0.020	4.00	0.88	0.60

Tab. 3.B.2 Coefficienti della formula (2)

I coefficienti *a*, *b*, *c*, *d* sono forniti dalla Tab. 3.B.2 per la velocità di scambio v_s e non di scambio v_{ns}, nei due casi di funzionamento vincolato e non vincolato della zona di scambio. Si ritiene che in una zona di scambio avente la configurazione della fig. 3.B.13 la larghezza di carreggiata a

disposizione del flusso di scambio sia uguale a 1.4 corsie. Il numero di corsie necessario per un funzionamento non vincolato è dato dalla relazione:

$$N_s = \frac{2.19 \cdot N \cdot V^{0.571} (L/30)^{0.234}}{(v_s/1.6)^{0.438}} \qquad (3)$$

Se risulta N_s > 1,4 il funzionamento è vincolato.
Il calcolo ha inizio assumendo che il funzionamento sia non vincolato. Si leggono nella Tab. 3.B.2 i coefficienti *a*, *b*, *c*, *d* relativi a questa ipotesi, e si calcolano mediante la (1) le velocità v_s e v_{ns} dei flussi di scambio e non di scambio. Si calcola quindi mediante la (3) il numero N_s di corsie necessario per un funzionamento non vincolato. Se risulta N_s > 1,4 si ripete il calcolo di v_s e v_{ns} introducendo nella (1) i valori dei coefficienti *a*, *b*, *c*, *d* relativi al funzionamento vincolato.
Si calcola infine la velocità media nello spazio v_m (km/h) nella zona di scambio mediante la relazione:

$$v_m = \frac{f_s + f_{ns}}{\frac{f_s}{v_s} + \frac{f_{ns}}{v_{ns}}} \qquad (4)$$

e quindi la densità veicolare D in auto/km per corsia:

$$D = \frac{f/N}{v_m} \qquad (5)$$

Il livello di servizio nella zona di scambio, definito secondo la metodologia dell'Highway Capacity Manual per le carreggiate autostradali, è indicato nella tabella 3.B.3 in funzione della densità veicolare D.

Densità	***Livello di servizio***
6.25	A
12.50	B
17.50	C
22.00	D
≤ 27.00	E
> 27.00	F

Tab. 3.B.3 Livelli di servizio delle zone di scambio

La trattazione svolta considera la situazione più diffusa nelle ordinarie zone di scambio, in cui le correnti vengono ad intrecciarsi all'interno di un'unica corsia dedicata, cui si può anche destinare una sezione trasversale allargata, ma sempre unica, al fine di favorire la trasversalità delle traiettorie conflittuali.
In linea generale non si ritiene consigliabile l'adozione di schemi di intersezione dove i flussi di scambio siano così elevati o cinematicamente importanti da richiedere una duplicazione in senso trasversale delle corsie destinate all'intreccio delle traiettorie, in quanto la disponibilità di un doppio canale di scorrimento appare antitetica ad una precisa costrizione della manovra in termini ristretti e con velocità moderate. In tali casi il modello comportamentale di riferimento per il calcolo dei tratti necessari si modifica rispetto alla trattazione illustrata, riportandosi sostanzialmente ad una casistica intermedia tra l'intreccio veicolare ed una marcia per file parallele.
Pur venendo esaminata tale situazione nell'Highway Capacity Manual, non si ritiene conveniente introdurre la trattazione di altri schemi di tratti di scambio, che dovrebbero limitarsi a casi del tutto particolari e quindi non generalizzabili quali soluzioni tecniche di corrente riferimento Ciò anche in

considerazione delle notevoli lunghezze (comunque superiori a 400-500 m complessivi) che richiederebbero tali tratti di scambio “morbido” e pluricorsia, senza considerare le difficoltà di una corretta interpretazione, da parte dell’utenza, del comportamento ottimale.

3.B.6.5 Corsie di immissione nella mezzeria stradale

E’ possibile realizzare corsie di immissione nella mezzeria della strada principale destinate ad agevolare la svolta a sinistra dalla secondaria. In questo caso per poter eseguire tale manovra non si deve attendere che si presenti un intervallo sufficiente da entrambe le correnti di traffico sulla principale affrontando la manovra in due momenti differenti: una prima manovra impegnando la corsia di immissione nella mezzeria della principale, una seconda inserendosi nel flusso della principale.
Questa soluzione, per motivi inerenti la sicurezza della circolazione, è utilizzabile indicativamente soltanto nel caso in cui i flussi di traffico sulla strada principale siano elevati (> 8.000 veic/giorno) e le manovre di svolta a sinistra dalla secondaria non siano trascurabili (> 200 veic/giorno).
Le corsie di immissione nella mezzeria della strada principale si possono realizzare principalmente tramite l’utilizzo di tre elementi:

- un tratto di accumulo;
- un tratto di manovra;
- un tratto di raccordo.

secondo le modalità rappresentate in figura 3.B.15.

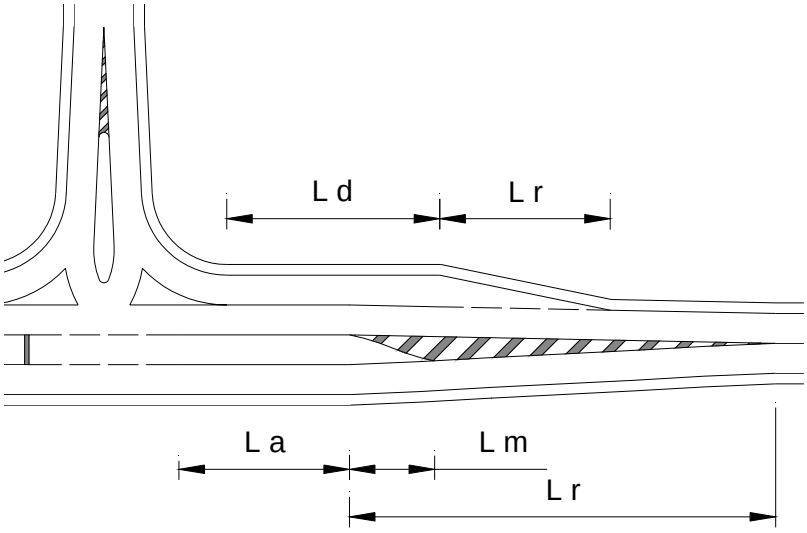


Fig. 3.B.15 Modalità di costruzione delle corsie di immissione nella mezzeria della strada principale

Tratto di accumulo
Una lunghezza di almeno 15÷20 m del tratto di accumulo L_a è in genere sufficiente dove le manovre per la svolta a sinistra dalla secondaria sono limitate. Occorre invece effettuare uno studio più approfondito per il suo dimensionamento nel caso in cui i flussi veicolari in svolta a sinistra siano rilevanti.

Tratto di manovra
Un tratto di manovra di lunghezza L_m massima di 10 m è sempre sufficiente in quanto consente uno stacco ben marcato per l’inserimento sulla corsia passante.

Tratto di raccordo
Da dimensionare secondo quanto stabilito al precedente paragrafo 3.B.6.1.

3.B.6.6 Allargamento della banchina pavimentata nelle intersezioni a T

Per gli incroci a T il livello minimo di intervento è rappresentato dall'allargamento della banchina pavimentata in modo da garantire una larghezza utile di banchina e corsia almeno di 5 m (vedi fig. 3.B.16).

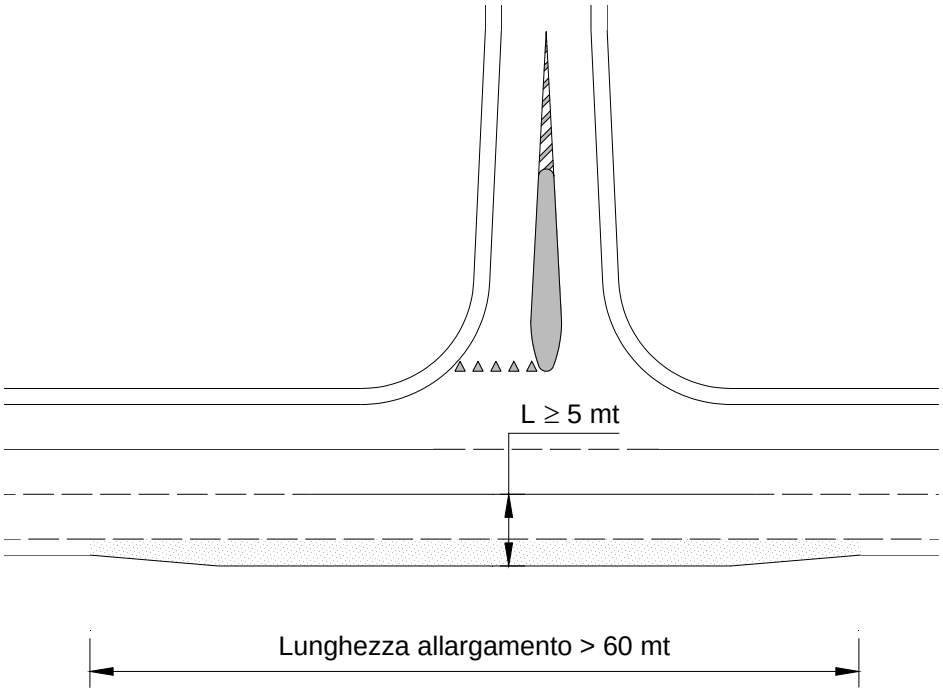


Fig. 3.B.16 Allargamento della banchina pavimentata

3.B.6.7 Geometria dei margini stradali

Per l'andamento dei cigli della carreggiata principale (tratti di manovra e di raccordo), in corrispondenza di allargamenti o restringimenti della stessa si adotta lo schema compositivo di fig. 3.B.6.17 che suddivide l'intero percorso di passaggio in tre tratti uguali. Tale soluzione rappresenta un punto di equilibrio tra opposte esigenze; infatti nel caso generale, sia in allargamento sia in restringimento, la traiettoria teorica è costituita da una successione di curva e controcurva, che determinano un flesso di riallineamento all'asse dalla posizione trasversale iniziale a quella finale. Il flesso teorico richiederebbe però l'abbandono dell'elemento rettilineo che è di semplice materializzazione in favore di curve a raggio variabile non facilmente traducibile a livello di segnaletica.

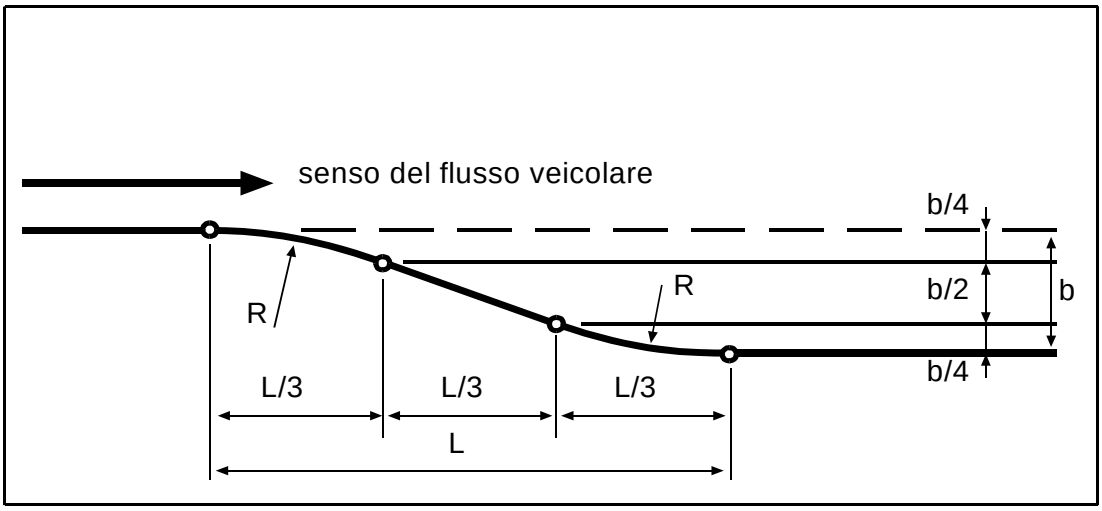


Fig. 3.B.6.17 Elementi della linea di ciglio

I tre tratti hanno le seguenti caratteristiche:

- un primo tratto curvilineo, cui corrisponde una deviazione (misurata in senso trasversale) pari ad ¼ dello spostamento totale;
- un secondo tratto rettilineo, in tangenza al precedente, cui corrisponde una deviazione pari a ½ dello spostamento trasversale totale;
- un terzo tratto curvilineo, di curvatura opposta al primo, cui corrisponde una deviazione pari a ¼ dello spostamento totale.

Per quanto attiene il raggio di curvatura dei due tratti curvilinei simmetrici si adotta la seguente formulazione:

$$R = L^2 / 4{,}5 \times b$$

dove:

- L = lunghezza complessiva del tratto di raccordo (maggiore di 30-40 m)
- b = spostamento del ciglio in senso trasversale tra gli estremi del raccordo

3.B.6.8 Criteri di inserimento delle diverse tipologie di intersezioni a raso canalizzate

In relazione ad alcune specifiche casistiche, nelle tabelle seguenti si definiscono dei criteri puramente indicativi di inserimento delle diverse tipologie di elementi geometrici costituenti un'intersezione a raso canalizzata in funzione dei flussi veicolari sulla strada principale e di quelli inerenti le manovre di svolta.

Traffico Giornaliero medio sulla principale (veicoli/giorno)	***Veicoli impegnati in svolta a sinistra dalla principale***		
	< 100 veicoli/giorno	***100÷400 veicoli/giorno***	***> 400 veicoli/giorno***
< 8.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria
> 8.000 veicoli/giorno	Allargamento della banchina pavimentata	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria

Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra negli incroci lineari a T dalla principale

Traffico Giornaliero medio sulla principale (veicoli/giorno)	***Veicoli impegnati in svolta a sinistra dalla principale***		
	< 200 veicoli/giorno	***200÷400 veicoli/giorno***	***> 400 veicoli/giorno***
< 8.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria
> 8.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente oppure corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	Corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria

Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra negli incroci lineari a X dalla principale

Traffico Giornaliero medio sulla principale (veicoli/giorno)	***Veicoli impegnati in svolta a destra dalla principale***		
	< 100 veicoli/giorno	***100÷400 veicoli/giorno***	***> 400 veicoli/giorno***
< 10.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente	Pseudocorsia di raccordo di uscita[1]	Corsia di decelerazione
> 10.000 veicoli/giorno	Pseudocorsia di raccordo di uscita[1]	Corsia di decelerazione	Corsia di decelerazione

Criteri di inserimento di elementi per svolte a destra negli incroci lineari a X e a T dalla principale

Traffico Giornaliero medio sulla principale (veicoli/giorno)	***Veicoli impegnati in svolta a sinistra dalla secondaria***		
	< 200 veicoli/giorno	***200÷400 veicoli/giorno***	***> 400 veicoli/giorno***
< 8.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente	Corsia di immissione nella mezzeria stradale	Corsia di immissione nella mezzeria stradale oppure rotatoria
> 8.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente oppure corsia di immissione nella mezzeria stradale	Corsia di immissione nella mezzeria stradale	Corsia di immissione nella mezzeria stradale oppure rotatoria

Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra negli incroci lineari a T dalla secondaria

Traffico Giornaliero medio sulla principale (veicoli/giorno)	***Veicoli impegnati in svolta a destra dalla secondaria***		
	< 100 veicoli/giorno	***100÷400 veicoli/giorno***	***> 400 veicoli/giorno***
< 10.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente	Mantenimento della sezione corrente	Corsia di accelerazione
> 10.000 veicoli/giorno	Mantenimento della sezione corrente	Corsia di accelerazione	Corsia di accelerazione

Criteri di inserimento di elementi per svolte a destra negli incroci lineari a X e a T dalla secondaria

[1] Per pseudocorsia di raccordo si intende l'allargamento progressivo della sezione stradale principale mediante la creazione di un tratto di raccordo di larghezza crescente fino al calibro di corsia.

3.B.6.9 Isole di canalizzazione

Le isole di canalizzazione o isole di traffico, siano esse materializzate[2] o realizzate tramite segnaletica orizzontale, assolvono a molteplici funzioni tra le quali:

- contribuire alla riduzione delle possibili aree di conflitto tra i veicoli evitando la possibilità di effettuare manovre incontrollate o l'uso improprio della sede stradale;
- inibire le manovre veicolari non consentite;
- regolare le velocità operative veicolari;
- controllare gli angoli delle traiettorie veicolari;
- semplificare i punti di collisione;
- delineare i flussi principali;
- proteggere fisicamente i veicoli nelle zone di accumulo;
- consentire l'eventuale attraversamento dei pedoni in sicurezza.

In particolare, l'isola materializzata sulla secondaria ha anche altre precise ed importanti funzioni progettuali:

- interrompe l'impressione di continuità della via con obbligo di precedenza o stop;
- induce al rallentamento o all'arresto dei veicoli;
- determina le traiettorie di immissione o attraversamento della principale;
- migliora la percezione dell'incrocio per gli utenti della principale;
- governa le traiettorie in uscita dalla principale.

3.B.6.8.1 Isole divisionali

Le isole divisionali, solitamente di forma allungata, sono generalmente utilizzate per separare corsie con senso di circolazione opposto. La loro larghezza minima dovrebbe essere pari a 1÷1,2 m, soprattutto se servono anche per la protezione fisica dei pedoni.
Per evitare che possano costituire una sorpresa per i conducenti, è necessario che la lunghezza dell'isola sia accuratamente studiata anticipando i dispositivi di segnalamento, soprattutto in presenza di una curva.

3.B.6.8.2 Isole a goccia

La costruzione geometrica dell'isola a goccia sulla secondaria deve essere studiata in funzione delle differenti traiettorie veicolari di svolta. Il suo corretto inserimento avviene calcolando i raggi di svolta a sinistra in entrata e in uscita, anche in funzione della presenza o meno di isole divisionali sulla strada principale (vedi fig. 3.B.18). Possono essere inseriti successivamente gli elementi relativi ai calibri di corsia nonché alle isole accessorie direzionali, il cui inserimento va previsto preferibilmente in presenza di corsie specializzate per la decelerazione o l'immissione. La testa dell'isola in prossimità della strada principale deve essere arretrata da essa almeno di una distanza pari alla larghezza della banchina.
Anche per l'isola a goccia della secondaria è richiesta la realizzazione di un manufatto materializzato e non transitabile, pur suggerendo la adozione di cordoli di tipo sormontabile per non ostacolare le eventuali traiettorie anomale ed eccezionali di veicoli pesanti. Va comunque escluso in ogni caso una realizzazione mediante semplice approntamento segnaletico orizzontale.

[2] Nel caso di realizzazione di manufatti materializzati e non transitabili si suggerisce la adozione di cordoli di tipo sormontabile per non ostacolare le eventuali traiettorie anomale ed eccezionali di veicoli pesanti.

p e d

3.B.7 Particolari attenzioni per le diverse tipologie di utenti

3.B.7.1 Pedoni e ciclisti

Le intersezioni a raso collocate in area urbana devono essere opportunamente attrezzate per l'esercizio del traffico pedonale: gli attraversamenti devono essere protetti ed ubicati in modo da assicurare ai pedoni la visibilità della maggior parte possibile dell'intersezione. Un'elevata circolazione pedonale può tuttavia imporre la regolazione con semaforo dell'intersezione per motivi di sicurezza.
In ambito extraurbano, in caso di una presenza pedonale modesta e non continuativa nell'arco della giornata, la ricerca della massima sicurezza andrebbe impostata sul frazionamento e sulla separazione dei tratti di attraversamento, portando gli itinerari dei pedoni ad intercettare una sola corrente di flusso per volta; mediante un appropriato disegno ed una idonea distribuzione delle isole di traffico dovrebbero crearsi, all'interno dell'area di svincolo, appositi spazi protetti di rifugio dove il pedone può attendere, senza pericolo alcuno, di affrontare il successivo attraversamento.
La creazione di isole di rifugio impone precise indicazioni progettuali in ordine alla loro materializzazione con cordoli insormontabili nonché a protezioni aggiuntive di massima sicurezza e percettibilità per l'utenza veicolare. In linea generale i percorsi pedonali protetti devono essere concentrati in modo da non avere più di un attraversamento completo per singola arteria considerata, da localizzare in corrispondenza delle correnti veicolari, tra quelle afferenti al nodo, meno importanti per volume di traffico e di velocità di percorrenza.

I criteri ispiratori per la sicurezza del traffico ciclistico si basano sui seguenti presupposti:

- limitazione delle aree di collisione con il traffico veicolare mediante la concentrazione degli attraversamenti pedonali e veicolari in un numero minimo di punti adeguatamente attrezzati;
- separazione fisica e funzionale delle vie ciclabili dalle corsie destinate al transito veicolare, anche mediante l'introduzione di un dislivello;
- eliminazione tendenziale di qualsiasi promiscuità di percorso fra i percorsi ciclabili e quelli pedonali, da tenersi materialmente separati per la sicurezza degli utenti più esposti;
- introduzione di accorgimenti planimetrici e di attrezzatura del piano viabile per la limitazione e il controllo della velocità ciclabile nei punti di attraversamento a raso.

Ai fini di un approccio sistematico al disimpegno del traffico ciclistico in un'intersezione a raso di tipo lineare è opportuno distinguere gli approntamenti progettuali per le diverse manovre possibili:

- *traiettorie ciclabili passanti rispetto al nodo*: i percorsi delle due ruote devono continuare ed essere segnalati nella zona di incrocio se con diritto di precedenza, devono venir interrotti se con obbligo di precedenza. Negli attraversamenti di flussi veicolari significativi è opportuno creare zone mediane protette o adottare regolazione semaforica dedicata; in tal caso la linea di arresto dei percorsi ciclabili dovrebbe essere avanzata rispetto alle corsie veicolari;
- *traiettorie ciclabili con svolte a sinistra*: vanno previste e privilegiate corsie di preselezione evitando comunque la commistione con svolte veicolari similari. Possono prevedersi in casi particolari anche percorsi di tipo indiretto, con attraversamenti concentrati, in presenza di arterie a carreggiate con due o più corsie passanti per senso di marcia.

3.B.7.2 Trasporto pubblico locale

Alle fermate dei mezzi di trasporto pubblico devono essere destinate piazzole opportunamente attrezzate e dimensionate poste al di fuori dei tratti curvilinei dei raccordi per la svolta a destra.
In assenza di piazzole dedicate, per motivi di sicurezza occorre evitare il posizionamento dell'attraversamento pedonale davanti alla fermata del mezzo pubblico se non in presenza di un'isola salvapedone che inibisca la possibilità di sorpasso. Tale sistemazione è soprattutto da escludere in presenza di doppia corsia, in quanto bisogna assolutamente evitare che i veicoli possano superare il mezzo pubblico a scapito della sicurezza dei pedoni.

3.B.7.3 Trasporti eccezionali

Occorre evidenziare che di fatto non è consigliabile, per ragioni di sicurezza, prevedere ampi spazi solo per offrire facile accesso ai veicoli eccezionali in quanto queste sistemazioni potrebbero indurre gli utenti ordinari ad impegnare l'intersezione con velocità eccessive.
È bene inoltre concepire le eventuali zone sormontabili (o semi - sormontabili) in modo tale da dissuadere i veicoli leggeri a transitarvi. A tal fine si suggerisce di adottare:

- un sopralzo delle zone sormontabili rispetto alla carreggiata (non superiore a 3 cm);
- un rivestimento rugoso che presenti contrasto sia di giorno che di notte rispetto alla carreggiata stradale;
- una separazione di queste zone mediante segnaletica orizzontale.

E' comunque sempre opportuno effettuare una verifica dell'inserimento dinamico dei mezzi pesanti nell'area di intersezione.

3.B.8 Segnaletica orizzontale e verticale

I riferimenti per il progetto della segnaletica sono al Codice della Strada e al relativo Regolamento di attuazione.

3.B.9 Barriere di sicurezza

Laddove necessarie, le barriere devono essere opportunamente raccordate (transizioni tra i differenti tipi di barriera) e i terminali devono consentire un sufficiente assorbimento di energia; se ciò non risultasse possibile, si devono utilizzare terminali svasati e piegati nel terreno.
E' in linea di massima da escludere il loro posizionamento sulle isole di canalizzazione.

3.B.10 Illuminazione

L'installazione in una intersezione di un impianto d'illuminazione deve facilitare la percezione e la comprensione del suo funzionamento da parte degli utenti. L'illuminazione dell'area di incrocio porta sicuramente dei benefici a condizione che siano evitati:

- "l'aggressività" dei pali dei lampioni, molto pericolosi in caso di impatto per la loro elevata rigidezza;
- l'abbagliamento in entrata ed il fenomeno della presenza dei cosiddetti "buchi neri" o zone d'ombra in uscita dall'intersezione;
- la cattiva leggibilità, se la modalità di sistemazione dei lampioni inganna i conducenti circa la geometria dell'intersezione.

Non tutte le intersezioni canalizzate devono essere illuminate o illuminate con la medesima tipologia e modalità d'impianto, ma è necessario adeguare la progettazione in base alla localizzazione dell'intersezione:

- in *ambito urbano*: le intersezioni canalizzate devono essere necessariamente illuminate in modo sistematico anche per garantire la continuità d'illuminazione all'interno di zone già illuminate. I conducenti devono, infine, cogliere la presenza di biciclette e pedoni su attraversamenti ciclo - pedonali;
- in *ambito extraurbano*: l'illuminazione non è indispensabile, ma è raccomandata se almeno uno dei bracci afferenti è illuminato o se nelle immediate vicinanze è presente una zona illuminata che possa distrarre i conducenti da un regolare approccio all'intersezione ed in ogni caso se il livello di traffico notturno confluente assume una consistenza elevata.

Per le intersezioni canalizzate che presentano problemi di visibilità o di percezione in lontananza si possono utilizzare dei dispositivi speciali (boe luminose sulle testate delle eventuali isole divisionali, lampade intermittenti,...) al fine di attirare l'attenzione dei conducenti.
I supporti non devono essere d'ostacolo visuale alla segnaletica verticale, né alle entrate né ai margini della carreggiata e, come si è detto, non devono costituire pericolo per la circolazione. Ciò impone di evitare l'installazione dei pali all'interno delle eventuali isole divisionali, sempre che queste non siano di grande ampiezza o i calcoli illuminotecnici non lo impongano.
Le intersezioni urbane si devono adeguatamente illuminare con impianti in grado di fornire un livello di luminanza, in rapporto a quelle ambientali, tale da non procurare disturbi visivi all'utenza

stradale e dotati di sorgenti luminose e di elementi rifrattori realizzati in modo tale da non ingenerare un abbagliamento debilitante verso gli automobilisti in transito o influire negativamente sulla leggibilità delle segnalazioni.
Il livello di luminanza delle varie zone dell'intersezione non dovrebbe essere omogeneo così da evidenziare i punti di collisioni più importanti e/o gli attraversamenti pedonali.

4. INTERSEZIONI A LIVELLI SFALSATI

4.1 Generalità

Le intersezioni a livelli sfalsati possono eliminare attese e ritardi e realizzare una elevata sicurezza di circolazione, laddove siano ben progettate ed opportunamente dimensionate.
A fronte di tali aspetti vantaggiosi, occorre considerare alcuni elementi negativi, quasi tutti riconducibili all'aspetto tecnico-economico, ma anche correlati ad aspetti estetici e morfologici in relazione all'ambiente circostante. Ciò è vero sia in ambito urbano, ove le edificazioni preesistenti rendono talvolta impossibile l'inserimento dei manufatti che realizzano lo sfalsamento altimetrico e le rampe, sia in zone poco antropizzate, dove si può determinare un significativo impatto paesaggistico.
In caso di intersezioni non omogenee, cioè tra strade aventi caratteristiche operative o classificazione funzionale differente, si può ricorrere a soluzioni di sfalsamento parziale, cioè a soluzioni che riservano traiettorie protette alle relazioni di traffico principali e risolvono le altre con intersezioni a raso.

4.2 Caratteristiche geometriche delle rampe di svincolo

4.2.1 Velocità di progetto

Per definire le caratteristiche planoaltimetriche delle rampe occorre preliminarmente individuarne gli intervalli di velocità di progetto.
Alcune indicazione per le loro individuazioni viene fornita nella tab. 4.1 dove si correlano le tipologie fondamentali di rampe con la classificazione delle strade afferenti al nodo, attribuendo gli intervalli cinematici di progetto. In linea generale le velocità di riferimento per la geometria delle rampe variano tra un minimo di 30 km/h ed un massimo di 80 km/h, ma si suggerisce di adottare comunque valori cinematici dell'ordine del 60-70% rispetto alle velocità di progetto delle arterie confluenti nel nodo.
Le migliori prestazioni cinematiche sono espresse dalle rampe curvilinee dirette, mentre per le rampe indirette vengono ammessi riferimenti cinematici ridotti, con ulteriori specificazioni per differenziare le traiettorie di uscita dalle correnti principali rispetto a quelle di immissione, da ritenersi suscettibili di valori prestazionali più ridotti in termini di velocità di riferimento.
Tra le tipologie di rampa si è ritenuto opportuno introdurre anche quelle rettilinee dirette dove cioè le limitazioni alla velocità di progetto non derivano da vincoli di traiettorie curvilinee ma richiedono provvedimenti segnaletici ed altre indicazioni di carattere prescrittivo.

Tipi di rampe	***Incroci A/A, A/B, B/A***	***Incroci A/C, B/B, C/A, C/B, altro***
Curvilinea diretta	50-80 km/h	40-60 km/h
Curvilinea semidiretta	40-70 km/h	40-60 km/h
Curvilinea indiretta	in uscita da A: 40 km/h in entrata su A: 30 km/h	in uscita: 40 km/h in entrata: 30 km/h
Rettilinea diretta	60-80 km/h	40-70 km/h

Tab. 4.1 Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

4.2.2 Caratteristiche planoaltimetriche

I parametri fondamentali per il disegno geometrico delle rampe sono indicati nella tab. 4.2; i raggi planimetrici da adottare variano tra un minimo di 25 e un massimo di 250 m.
Per quanto riguarda inoltre la pendenza massima delle livellette, oltre alla differenziazione tra percorsi in salita anziché in discesa, si ammettono valori fino all'8% per gli incroci meno importanti e fino al 6% per quelli dovranno essere caratterizzati da migliori indici prestazionali.
La pendenza trasversale assume il valore minimo del 2,5% (per il deflusso dell'acqua meteorica), con un massimo, in curva, del 6%.

Velocità di progetto (km/h)	***30***	***40***	***50***	***60***	***70***	***80***
Raggio planimetrico minimo (m)	25	45	75	120	180	250
Pendenza max salita (%) Pendenza max discesa (%)	7,0 8,0		5,0 6,0			
Raggi minimi verticali convessi (m)	500	1000	1500	2000	2800	4000
Raggi minimi verticali concavi (m)	250	500	750	1000	1400	2000
Pendenza trasversale minima (%)	2,5					
Pendenza trasversale max (%)	6,0					
Visibilità longitudinale minima (m)	25	35	50	70	90	115

Tab. 4.2 Caratteristiche planoaltimetriche delle rampe

4.3 Dimensionamento funzionale delle corsie di svincolo

Larghezza delle corsie

La larghezza dei canali di traffico (corsie) previsti nell'incrocio viene fissata in base ai seguenti criteri:

- mantenimento dei margini di sicurezza riferibili alle corsie delle singole arterie afferenti al nodo;
- adeguamento della dimensione trasversale alle prestazioni cinematiche caratteristiche delle singole traiettorie servite;
- adeguamento delle dimensione trasversale alle mutate direzioni di flusso dalle traiettorie adiacenti e contigue.

Le larghezze dei singoli elementi modulari sono le seguenti:

- corsie specializzate per funzioni cinematiche laterali (decelerazione ed accelerazione): si adotta un valore minimo di 3,25 m e massimo di 3,75 m;
- rampe monosenso lateralmente confinate: si adotta il valore minimo di 6,50 m pavimentati, di cui 1,00 m per la banchina sinistra, 4,00 m per la corsia di marcia e 1,50 m per la banchina destra; nel caso i flussi di traffico previsti esigano più di 1 corsia di marcia, in luogo della corsia di 4,00 m si potranno inserire 2 corsie da 3,25 m ciascuna;
- rampe bisenso lateralmente confinate: si adotta il valore di 9,00 m (1,00 di banchina + 3,50 di corsia + 3,50 di corsia + 1,00 di banchina).

In situazioni di elevata curvatura, caratterizzate da raggi di traiettoria in mezzeria inferiori a 15,00 m, si deve assumere il valore maggiore dell'intervallo di larghezza indicato per i singoli elementi compositivi. Per raggi planimetrici superiori la scelta all'interno dell'intervallo è correlata all'incidenza del traffico pesante.
L'allargamento delle corsie specializzate si sviluppa nella transizione da corsie adiacenti e complanari alla carreggiata verso corsie lateralmente delimitate dove la maggiore dimensione, come indicata in prosieguo, è funzionale a consentire il superamento da parte dei flussi di traffico dei veicoli eventualmente in panne lungo le rampe.

Lunghezze dei tratti specializzati

La lunghezza dei singoli elementi viene fissata in base ai seguenti criteri:

- analisi delle diverse fasi del movimento veicolare all'interno dei tratti specializzati;
- articolazione dei tratti in due o più segmenti omogenei per funzione;
- attribuzione di specifici tempi o spazi per ciascuna funzione svolta;
- acquisizione di modelli cinematici e/o comportamentali nel complesso dei tratti.

Si dovranno considerare, in particolare:

- **le corsie di accelerazione**, sempre obbligatorie nelle intersezioni a livelli sfalsati, per consentire ed agevolare l'immissione dei veicoli sulla strada principale (per il dimensionamento si veda il paragrafo 3.B.6.3);
- **le corsie di decelerazione**, sempre obbligatorie nelle intersezioni a livelli sfalsati, per l'uscita dalla strada principale in modo da non provocare rallentamenti ai veicoli non interessati da tale manovra (per il dimensionamento si veda il paragrafo 3.B.6.2);
- **le zone di scambio**, che si hanno quando una rampa di immissione precede una rampa di uscita e le due rampe sono collegate da una corsia ausiliaria formata dalla unione delle due corsie di immissione e di decelerazione, in modo da dar luogo ad un allargamento della carreggiata rispetto alla sua sezione corrente. In questo caso lo scambio avviene fra il flusso di immissione che percorre la corsia ausiliaria e intende trasferirsi nella carreggiata corrente e il flusso di uscita che percorre la carreggiata corrente e vuole trasferirsi sulla corsia ausiliaria (per il dimensionamento si veda il paragrafo 3.B.6.4).

Geometria dei margini stradali

Per l'andamento dei cigli della carreggiata principale nelle intersezioni a livelli sfalsati si veda il paragrafo 3.B.6.7.

4.4 Pendenze e scolo delle acque meteoriche

Si ritiene particolarmente importante affrontare tale problematica in quanto la definizione delle intersezioni a livelli sfalsati comporta l'adozione di una dimensione trasversale rilevante che costituisce una modifica sostanziale di impostazione rispetto alla sezione stradale corrente dove il riferimento all'asse longitudinale, con il meccanismo pressoché automatico della rotazione della falda trasversale, non porta a considerare la specificità areale del deflusso meteorico.
In linea generale, nella impostazione progettuale del problema, vanno seguiti i seguenti criteri:

- tendenziale eliminazione di zone piane all'interno dell'intersezione mediante la sistematica adozione sia di pendenze longitudinali sia di pendenze trasversali;
- sistematica individuazione planimetrica di tutte le zone pavimentate con pendenza trasversale critica ($-2,5\% < p < +2,5\%$);
- definizione sistematica delle linee di compluvio e di displuvio derivanti dalla combinazione delle pendenze, evitando la concentrazione della raccolta meteorica mediante linee di deflusso ortogonali alle principali traiettorie veicolari passanti;
- individuazione dei punti di recapito dei compluvi o mediante caditoie o mediante scarico laterale in modo da delimitare sia le singole superfici scolanti sia i percorsi delle acque meteoriche sulla pavimentazione;

E' consigliata una rappresentazione mediante reticoli isometrici per visualizzare in assonometria il complesso delle falde scolanti sull'intera area di incrocio, così dedicando una specifica elaborazione grafica al problema.

4.5 Segnaletica orizzontale e verticale

I riferimenti per il progetto della segnaletica sono al Codice della Strada e al relativo Regolamento di attuazione.

4.6 Barriere di sicurezza

Laddove necessarie, le barriere devono essere opportunamente raccordate (transizioni tra i differenti tipi di barriera) e i terminali devono consentire un sufficiente assorbimento di energia; se ciò non risultasse possibile, si devono utilizzare terminali svasati e piegati nel terreno.

4.7 Illuminazione

Le intersezioni sono punti cruciali di una rete stradale. Esse perciò, più ancora dei tronchi stradali rettilinei, devono avvantaggiarsi dei benefici indotti da una corretta illuminazione.
L'illuminazione dovrebbe rivelare l'esistenza della intersezione, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione di eventuali ostacoli, ostruzioni o impianti situati nelle immediate vicinanze della sede stradale, nonché il movimento di veicoli nei pressi dell'area della intersezione.
Il criterio attualmente più diffuso posto a base del dimensionamento degli impianti di illuminazione stradale è quello della luminanza.
Secondo la pubblicazione CIE 115/95, il livello di luminanza dovrebbe essere di un grado più elevato di quello previsto per la strada più importante dell'intersezione.