

LA PROGETTAZIONE DI STRADE E DI INTERSEZIONI

II D.M. 05/11/2001, il D.M. 19/04/2006.

QUADERNO N°2

PROGETTAZIONE DI INTERSEZIONI



Relatori:

Dr. Ing. Marco Stefanutti

Responsabile U.O. Progettazione – Friuli Venezia Giulia Strade S.p.A.

Dott. Ing. Federico Monutti

Progettista stradale – Digicorp Ingegneria S.r.l.

Udine, 30 maggio 2013

INDICE

2 LE NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE PER LA COSTRUZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI	4
2.1 BREVE EXCURSUS STORICO DELLE NORME DI PROGETTAZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI IN ITALIA.....	4
2.2 Le norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali (D.M. 19/04/2006): AMBITO DI APPLICAZIONE	5
2.3 DEFINIZIONI E CRITERI DI UBICAZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI.....	6
2.4 MANOVRE ELEMENTARI.....	7
2.5 CLASSIFICAZIONE TIPOLOGICA DELLE INTERSEZIONI.....	8
2.6 CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEGLI ELEMENTI DELL'INTERSEZIONE	12
2.6.1 Definizioni	12
2.6.2 Elementi da dimensionare longitudinalmente con criteri cinematici	15
2.6.3 Elementi da dimensionare longitudinalmente con criteri geometrici.....	17
2.6.3.1 Tratti di raccordo $L_{v,a}$ e manovra $L_{m,a}$ nelle corsie di accumulo per la svolta a sinistra nelle intersezioni a raso	17
2.6.3.2 Tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a raso.....	18
2.6.3.3 Tratto di raccordo delle corsie di entrata nelle intersezioni a livelli sfalsati.....	18
2.6.3.4 Tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a livelli sfalsati	18
2.6.4 Intersezioni lineari a raso.....	19
2.6.4.1 Larghezza delle corsie nelle intersezioni a raso	19
2.6.5 Intersezioni a rotatoria.....	19
2.6.5.1 Tipi di rotatoria	19
2.6.5.2 Larghezza delle corsie.....	20
2.6.5.3 Geometria delle rotatorie	22
2.6.6 Distanze di visibilità nelle intersezioni a raso	23
2.6.7 Intersezioni a livelli sfalsati.....	25
2.6.7.1 Velocità di progetto delle rampe.....	25
2.6.7.2 Geometria degli elementi modulari	27
2.6.7.3 Larghezza degli elementi modulari.....	28
2.7 DIMENSIONAMENTO FUNZIONALE DELLE INTERSEZIONI.....	29
2.8 ILLUMINAZIONE	29
2.9 ACCESSI	29
2.9.1 Accessi alle strade urbane – Passi carrabili.....	30
2.10 LO STUDIO A CARATTERE PRENORMATIVO (2001) – ARGOMENTI COMPLEMENTARI.....	31
2.10.1 La scelta della migliore ubicazione.....	31

2.10.2	Gli schemi organizzativi delle intersezioni	31
2.10.3	Criteri per l'introduzione della corsia specializzata per la svolta a sinistra.....	34
2.10.4	Dimensionamento funzionale delle intersezioni	35
2.10.4.1	Criterio di progettazione delle corsie di accumulo nelle intersezioni a raso lineari.....	35
2.10.4.2	Criterio di progettazione delle corsie di immissione nelle intersezioni a raso lineari.....	38
2.10.4.3	Calcolo della capacità di una rotonda	40
2.10.4.3.1	Metodo del SETRA	41
2.10.4.3.2	Metodo del CETUR.....	44
2.10.4.3.3	Metodo di Kimber	45
2.10.4.4	Criteri di progettazione delle corsie di immissione e delle zone di scambio nelle intersezioni a piu' livelli.....	47
2.10.5	Caratteristiche geometriche degli elementi delle intersezioni	48
2.10.5.1	Elementi geometrici delle rotonde.....	53
2.10.6	Caratteristiche geometriche degli accessi	56
2.10.6.1	Accessi alle strade urbane.....	56
2.10.7	Altre indicazioni.....	57
2.11	BIBLIOGRAFIA.....	59

2 LE NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE PER LA COSTRUZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI

2.1 BREVE EXCURSUS STORICO DELLE NORME DI PROGETTAZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI IN ITALIA

La storia della normativa italiana per la progettazione delle intersezioni stradali può essere fatta risalire alla circolare ANAS del 1960 e aggiornata nel 1963 “Sistemazione degli accessi alle strade statali – Intersezioni semplici a T a Y a X”. Si tratta di un documento molto importante perché definisce schemi che vengono largamente impiegati negli anni seguenti per la realizzazione delle intersezioni a raso. Gli stessi schemi vengono ripresi e integrati dalle norme C.N.R. successive. E' importante la prescrizione del raggio minimo di 20 m per ciascuna manovra di svolta: infatti si era rilevato che i mezzi pesanti mal si adattavano ad eseguire traiettorie curvilinee con raggio minore di 15 m.

Le norme C.N.R. n. 31 del 1973 “Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade” costituiscono ancora oggi una pietra miliare per la progettazione delle intersezioni. Infatti la norma riguarda la progettazione delle strade e delle intersezioni a raso o a livelli sfalsati sia in ambito urbano sia in ambito extraurbano. Le prescrizioni delle norme C.N.R. n. 31/73 sono state riprese anche in testi importanti sulla progettazione delle intersezioni come quelli del prof. Da Rios o dei Proff. Ferrari e Giannini. Nelle norme si trova la definizione della geometria delle curve di ciglio (la cosiddetta tricentrica C.N.R.), delle corsie di accelerazione e di decelerazione, delle corsie di accumulo, dei triangoli di visibilità, etc.

Le norme C.N.R. n. 90/83 “Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle intersezioni stradali urbane” trattano le sole intersezioni in ambito urbano alla luce della classificazione delle strade operata dalle norme C.N.R. n. 60/78 “Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle strade urbane”. Le norme contengono prescrizioni concettualmente simili a quelle delle norme C.N.R. n. 31/73.

Seguono le norme C.N.R. n. 150/1992 “Norme sull’arredo funzionale delle strade urbane”, di grande interesse per la regolazione semaforica, per la segnaletica stradale, e per la geometria dei passi carrabili.

Il Codice della Strada del 1992 è importante, perché prevede l’emanazione delle norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade e dei relativi impianti (art. 13); inoltre vengono trattati gli accessi e la segnaletica.

Nelle norme fino a qui descritte manca un argomento che oggi invece è di fondamentale importanza: le rotatorie. Mentre in molti Paesi (la Francia in primo luogo) si stabilivano regole di circolazione e criteri geometrici precisi per le rotatorie, in Italia si realizzavano rotatorie con i diametri più disparati e con regole di precedenza varie (precedenza a destra, all’anello, in parte all’anello in parte a destra, etc.) creando non poca confusione ai guidatori. Ancora oggi nel Codice della Strada mancano norme di comportamento dei conducenti nelle rotatorie, ben presenti invece nei codici stradali francese e americano, ad esempio.

Nel 2001 viene pubblicato lo “Studio a studio a carattere prenormativo - Rapporto di sintesi - Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”, redatto dalle Università di Roma e di Trieste con la collaborazione di professori universitari provenienti da varie università italiane; il documento è stato approvato, con prescrizione di emendamenti, dalla Commissione di

studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR nel settembre del 2001.

Il documento contiene argomenti importanti come la classificazione, gli schemi organizzativi, la geometria delle intersezioni a raso e a livelli sfalsati, il dimensionamento funzionale, la regolazione semaforica, gli accessi. Il documento dedica finalmente spazio anche alle rotatorie. Rispetto alle norme C.N.R. precedenti lo studio costituisce un importante aggiornamento. Tuttavia il documento non è una norma; si tratta di uno studio a carattere prenormativo, sul quale la futura norma sulle intersezioni si deve basare.

La norma finalmente esce nel 2006 (D.M. 19/04/2006), preceduta da una bozza approvata nel 2004 dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Rispetto allo Studio a carattere prenormativo del 2001 ci sono importanti novità: si tratta di un documento molto più sintetico, a carattere cogente, in cui sono definite le regole fondamentali per la progettazione delle nuove intersezioni stradali negli ambiti urbano ed extraurbano. Non sono precisati molti dettagli geometrici, né le modalità esatte di esecuzione di determinate verifiche: viene infatti lasciata una certa libertà al progettista di adottare una soluzione geometrica, purché siano rispettate alcune regole e determinati principi di progettazione.

Nel 2005 la Regione Lombardia emana le “Linee guida sulle zone di intersezione” (DGR n° 7/20829 del 16/02/2005): si tratta di un documento di grande interesse, perché segue le principali indicazioni della bozza di norma italiana sulle intersezioni e aggiunge elementi importanti nelle parti in cui la norma italiana appare omissiva. L'intervento legislativo intende migliorare e adattare alle peculiarità del territorio lombardo l'attuale normativa nazionale di riferimento, ma ci sono alcune prescrizioni contrastanti con essa.

Nel 2006 la Provincia di Bolzano emana le sue “Norme funzionali e geometriche per la progettazione e la costruzione di strade” (D.P.P. n°28 del 27/06/2006), le quali contengono anche indicazioni per le intersezioni stradali.

2.2 LE NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE PER LA COSTRUZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI (D.M. 19/04/2006): AMBITO DI APPLICAZIONE

Le nuove norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali attuano l'art. 13 del D.L.vo 30.4.1992 n. 285 e successive modifiche e integrazioni (il Codice della strada).

Art. 2 - Campo di applicazione

“1. Le norme approvate con il presente decreto si applicano alla costruzione di nuove intersezioni sulle strade ad uso pubblico, fatta salva la deroga di cui all'art. 13, comma 2 del decreto legislativo n. 285/1992.”

Le norme riguardano quindi solo la progettazione delle nuove intersezioni. Si può derogare dalla norma nei casi previsti dall'articolo 13, comma 2 del decreto legislativo n. 285/92 come modificato dall'art. 1 del D.L. 151 del 27.6.2003:

“La deroga alle norme di cui al comma 1 è consentita solo per specifiche situazioni allorquando particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche non ne consentono il rispetto, sempre che sia assicurata la sicurezza stradale e siano comunque evitati inquinamenti.”

Nel caso di nuove intersezioni se non è possibile il rispetto delle norme, occorre richiedere una deroga, supportata da specifiche analisi di sicurezza.

“2. La deroga di cui al comma 1, supportata da specifiche analisi di sicurezza, e' ammessa previo parere del Consiglio superiore dei lavori pubblici, per le intersezioni che interessano le autostrade, le strade extraurbane principali e le strade urbane di scorrimento, e del S.I.I.T - Settore infrastrutture territorialmente competente - per le altre strade.”

Nota:

Sebbene il D.M. non la richiami espressamente, per le analisi di sicurezza c'è la circolare del Ministero dei Lavori Pubblici (08/06/2001).

Per l'adeguamento di **intersezioni esistenti** le norme costituiscono solo un riferimento. Gli interventi di adeguamento di strade e di intersezioni esistenti in futuro dovranno seguire una apposita normativa, attualmente disponibile solo in forma di bozza.

Art. 2 - Campo di applicazione

“3. Nel caso di interventi di adeguamento di intersezioni esistenti le norme allegate costituiscono il riferimento cui la progettazione deve tendere nelle more dell'emanazione di una specifica norma, fermo restando quanto stabilito in proposito dal Codice della strada e dal Regolamento di attuazione.”

Nota:

Nel caso di progetto di un intervento di adeguamento di un'intersezione esistente la norma non richiede un'analisi della sicurezza o comunque una specifica relazione a dimostrazione che l'intervento produce un incremento della sicurezza e un miglioramento della funzionalità. Tuttavia, per analogia con il D.M. 22/04/2004 e con le future norme sull'adeguamento, è consigliabile introdurre una relazione o una parte di relazione con i contenuti sopra indicati.

Per la realizzazione di **nuovi accessi** le nuove norme costituiscono solo un riferimento, in attesa di un'ulteriore norma dedicata, fermo restando quanto stabilito dal Codice della Strada.

Il Codice della Strada infatti già tratta l'ubicazione, la distanza e l'organizzazione degli accessi.

2.3 DEFINIZIONI E CRITERI DI UBICAZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI

Di seguito sono riportate importanti definizioni fornite dall'art. 3 del Codice della strada e utilizzate dalla nuova norma:

Intersezione a livelli sfalsati: insieme di infrastrutture (sovrappassi, sottopassi, rampe, corsie specializzate, etc..) che consente lo smistamento delle correnti veicolari fra rami di strade poste a diversi livelli.

Intersezione a raso (o a livello): area comune a più strade, organizzata in modo da consentire lo smistamento delle correnti di traffico dall'una all'altra di esse.

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

La nuova norma fornisce indicazioni per la corretta ubicazione delle intersezioni, che possono così essere sintetizzate:

- le intersezioni devono essere realizzate preferibilmente in rettilineo; possono essere costruite anche in curva, ma nel rispetto delle distanze di visibilità;
- nelle intersezioni a raso l'angolazione tra gli assi delle strade non deve essere inferiore a 70°;

- nelle rampe e lungo gli apprestamenti per le manovre di entrata ed uscita non è consentita la realizzazione di accessi, passi carrabili, aree di sosta, etc;
- le intersezioni possono essere realizzate anche in viadotto o in galleria, escludendo però le zone di imbocco e di uscita delle gallerie.

2.4 MANOVRE ELEMENTARI

Le manovre elementari che possono essere eseguite in corrispondenza di un'intersezione stradale sono rappresentate in Tabella 1. Le manovre sono: l'*attraversamento* ad incrocio, la *diversione* (o uscita) in sinistra o in destra, l'*immissione* (o entrata) in sinistra o in destra, la *svolta*, lo *scambio*.

La diversione e l'immissione in sinistra non sono ammesse nelle strade a doppia carreggiata (tipo D); sono consentite nelle rampe di svincolo, nelle strade di servizio e nelle strade a carreggiata singola.

In relazione ai vari tipi di manovra, si identificano diversi tipi di "punti di conflitto" tra traiettorie, così definiti:

- *punti di conflitto di intersezione* o attraversamento;
- *punti di conflitto di diversione*;
- *punti di conflitto di immissione*.

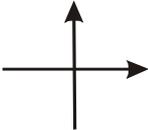
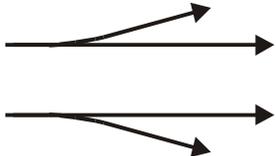
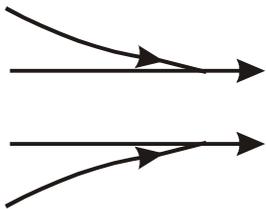
a) attraversamento ad incrocio		
b) diversione o uscita	in sinistra in destra	
c) immissione o entrata	in sinistra in destra	
d) svolta propriamente detta		
e) scambio		

Tabella 1 – Classificazione delle manovre elementari.

2.5 CLASSIFICAZIONE TIPOLOGICA DELLE INTERSEZIONI

Il D.M. 05/11/2001 definisce 8 tipi di strada, 4 per l'ambito extraurbano, 4 per l'ambito urbano. Si possono così ottenere 8 x 8 possibili nodi di interconnessione tra strade, rappresentati in Figura 1.

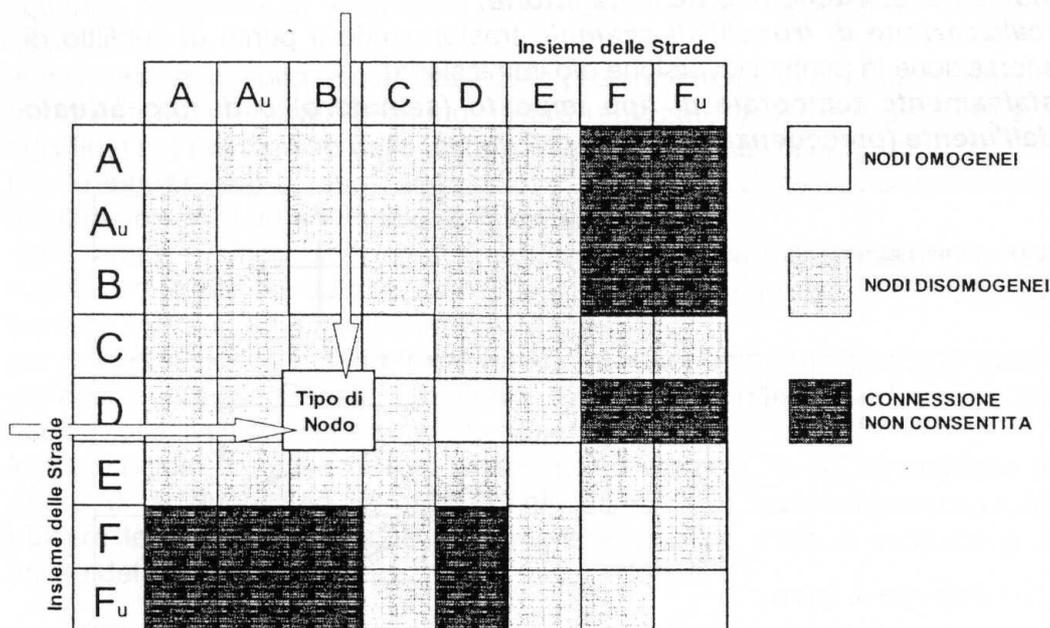


Figura 1 – Matrice dei possibili nodi di intersezione.

Si distinguono nodi omogenei (tra strade dello stesso tipo) e nodi disomogenei (tra strade di tipo diverso). I nodi disomogenei tra strade appartenenti a livelli gerarchici troppo differenti non sono ammessi.

Non sono consentiti punti di conflitto di intersezione nei nodi tra due strade a carreggiate separate: la connessione dovrà essere risolta con uno *svincolo* (*nodo di tipo 1*).

Se una delle strade è a carreggiate separate e l'altra a carreggiata singola, nell'ultima sono ammesse manovre a raso, ma l'incrocio fra le correnti principali viene sistemato con *livelli sfalsati* (*nodo di tipo 2*).

Se le strade che si incontrano sono a carreggiata singola, l'intersezione può essere risolta *a raso* (*nodo di tipo 3*).

In Figura 2 sono indicate le soluzioni ammesse (svincolo, intersezione a livelli sfalsati, intersezione a raso) a seconda dei tipi di strada che si intersecano; la Figura 3 contiene una descrizione dei tipi di intersezione ammessi in ambito urbano.

La norma specifica che le soluzioni proposte riguardano le intersezioni a quattro bracci e le intersezioni a tre bracci.

Intersezioni più complesse devono essere evitate.

Solo nel caso di intersezione a rotatoria nel nodo possono confluire più di 4 bracci.

Attenzione:

Nelle figure sono indicati i livelli minimi da rispettare; non è in altri termini vietato realizzare un'intersezione a livelli sfalsati laddove sia sufficiente un'intersezione a raso.

Note:

Con riferimento alle strade di tipo D, E, F urbane vale quanto segue:

- l'intersezione tra strade di scorrimento (D) deve avvenire per mezzo di uno svincolo (solo manovre di scambio);
- l'intersezione tra strade di scorrimento e strade di quartiere (E) deve avvenire per mezzo di un'intersezione a livelli sfalsati con eventuali manovre a raso sulla strada secondaria (E);
- non è consentita la realizzazione di intersezioni tra strade di scorrimento (D) e strade locali (F).
- le intersezioni che coinvolgono le strade di tipo E e F possono essere sistemate a raso.

Attenzione:

L'intersezione tra due strade a carreggiate separate o tra una strada a doppia carreggiata e una strada a singola carreggiata non può mai essere a raso. Ciò significa che nelle strade a doppia carreggiata non possono mai essere introdotte rotatorie a raso, né intersezioni semaforizzate!

Si tratta di sistemazioni molto diffuse nelle infrastrutture esistenti.

Le intersezioni a raso si distinguono in due tipi:

- *intersezioni lineari a raso* se sono consentite manovre di attraversamento ad incrocio;
- *intersezioni a rotatoria*, se vengono eliminate le manovre di attraversamento ad incrocio.

Nel primo tipo la circolazione viene regolata con la disciplina della precedenza a destra, la seconda con la disciplina della priorità all'anello.

Importante:

Nelle rotatorie non è più consentito dare la precedenza a chi proviene da destra (ovvero a chi proviene dai rami di accesso alla rotatoria), né dare priorità a determinati rami (per esempio ai rami delle strade più importanti). Di conseguenza tutte le nuove rotatorie funzioneranno allo stesso modo; ciò renderà più agevole la comprensione della condotta di guida da tenere da parte degli utenti della strada.

ⁱ Gli esempi riportati nella presente dispensa sono riferiti alle strade urbane di tipo D, E, F (negli esempi indicate semplicemente come *strade urbane*), secondo la classificazione delle strade operata dal Codice e dal D.M. 05/11/2001. Negli esempi per semplicità vengono escluse dall'insieme delle strade urbane le autostrade urbane (tipo Aurb).

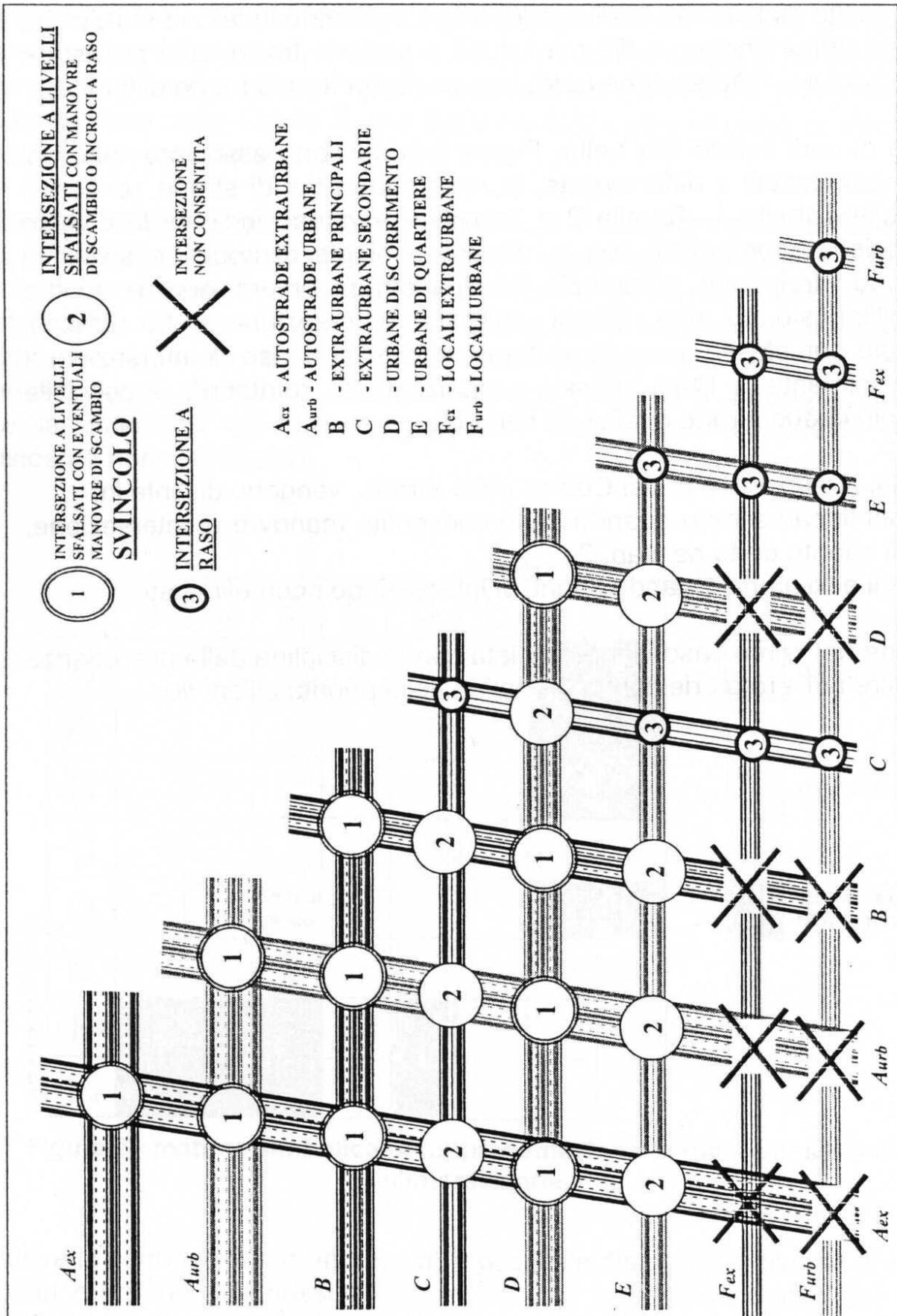


Figura 2 – Intersezioni ammesse a seconda dei tipi di strada che si incontrano.

2.6 CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEGLI ELEMENTI DELL'INTERSEZIONE

Per la definizione delle caratteristiche geometriche dell'intersezione, i principali elementi da stabilire sono:

- le dimensioni e la composizione delle piattaforme stradali;
- le pendenze longitudinali e trasversali delle rampe;
- i raccordi altimetrici;
- i raggi delle curve circolari;
- i parametri delle curve di transizione;
- la rotazione della sagoma;
- l'allargamento della carreggiata;
- la geometria delle curve di ciglio;
- le caratteristiche delle isole di canalizzazione.

2.6.1 Definizioni

Gli elementi principali di un'intersezione sono le rampe e le corsie specializzate.

Le rampe rappresentano i tronchi stradali di collegamento tra i rami di un'intersezione a livelli sfalsati.

Le corsie specializzate servono per i veicoli che devono effettuare manovre di svolta a destra e a sinistra; ci possono essere *corsie di entrata* (o di immissione), *corsie di uscita* (o di diversione) e *corsie di accumulo* per la svolta a sinistra.

L'ammissibilità di un dato tipo di corsia specializzata in un determinato tipo di strada principale è indicata in Tabella 2.

Tipo di strada principale	Tipologia di corsia specializzata		
	di uscita (o diversione)	di entrata (o immissione)	d'accumulo per svolta a sinistra
strade extraurbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
B	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
C	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Non ammessa	Ammessa
strade urbane			
A	Obbligatoria	Obbligatoria	Non ammessa
D	Ammessa	Ammessa	Non ammessa
E	Ammessa	Ammessa	Ammessa
F	Ammessa	Ammessa	Ammessa

Tabella 2 – Ammissibilità delle corsie specializzate a seconda del tipo di strada principale.

Si noti che in ambito extraurbano la corsia di entrata non è ammessa nelle strade a singola carreggiata.

Note per le intersezioni in ambito urbano:

- Le corsie di uscita e di entrata sono ammesse, ma non sono obbligatorie, in tutti i tipi di strada urbana.
- Le corsie d'accumulo per la svolta a sinistra non è ammessa nelle strade urbane di scorrimento, dove tra l'altro non sono consentite intersezioni a raso.
- Nella norma e nello studio a carattere prenormativo non vengono menzionate, né appaiono in alcuna figura, le corsie di immissione centrali, che hanno lo scopo di facilitare la svolta a sinistra di chi proviene dalla strada secondaria, suddividendo la manovra in due parti. Le norme C.N.R. n. 31/73 prevedevano tale corsia, sebbene non fornissero criteri espliciti per il dimensionamento. Le norme francesi affermano che non è bene introdurre le corsie di immissione centrali, per le difficoltà di percezione della corsia e di avvistamento dei veicoli provenienti da dietro sulla strada principale; le corsie di immissione sono ammesse quando il traffico sulla strada principale è rilevante e quando il flusso di svolta è composto da diversi veicoli pesanti.

L'introduzione delle corsie specializzate, laddove esse siano ammesse, deve avvenire in relazione a criteri funzionali.

Le corsie specializzate sono affiancate parallelamente all'asse principale della strada; le corsie di uscita possono essere realizzate anche con la soluzione ad ago.

Le ***corsie di entrata*** sono composte dai seguenti tratti (Figura 4):

- tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$;
- tratto di immissione di lunghezza $L_{i,e}$;
- elemento di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$.

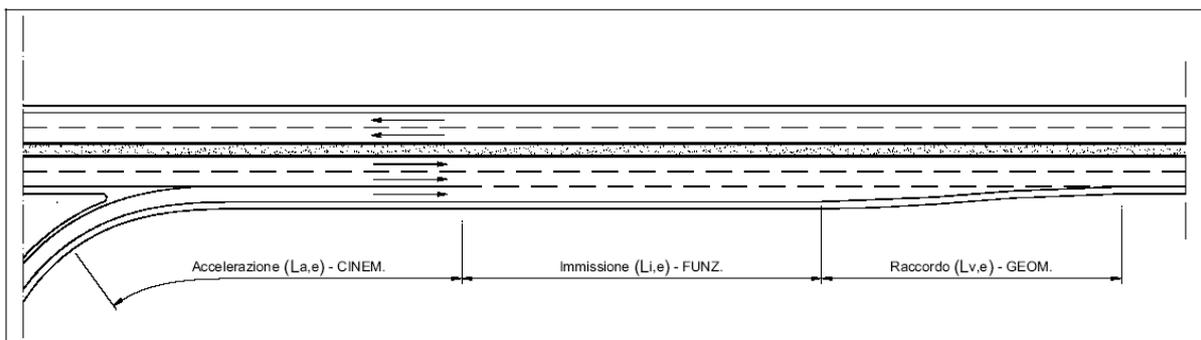


Figura 4 – Elementi della corsia di entrata.

Le ***corsie di uscita*** sono composte dai seguenti elementi:

- tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$;
- tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$, che può essere parallelo all'asse principale (corsia di uscita parallela, Figura 5), oppure può coincidere con la curva a raggio variabile (corsia di uscita ad ago, Figura 6).

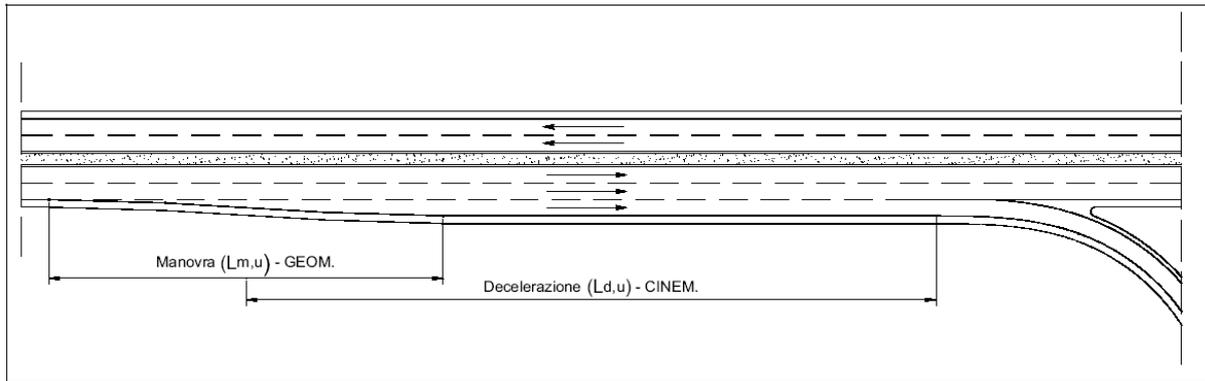


Figura 5 – Corsia di uscita parallela all'asse principale.

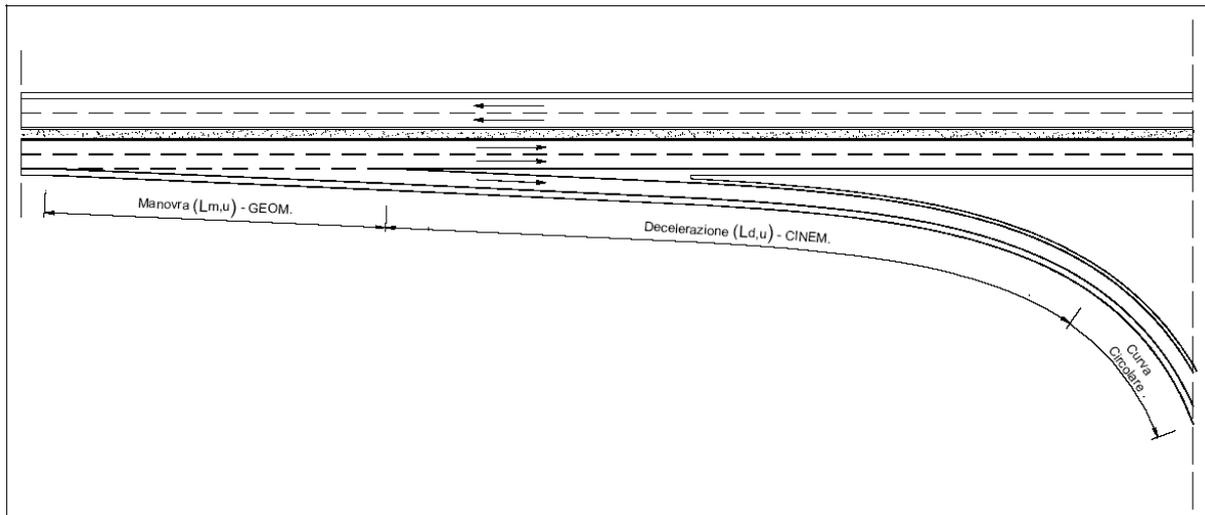


Figura 6 – Corsia di uscita ad ago.

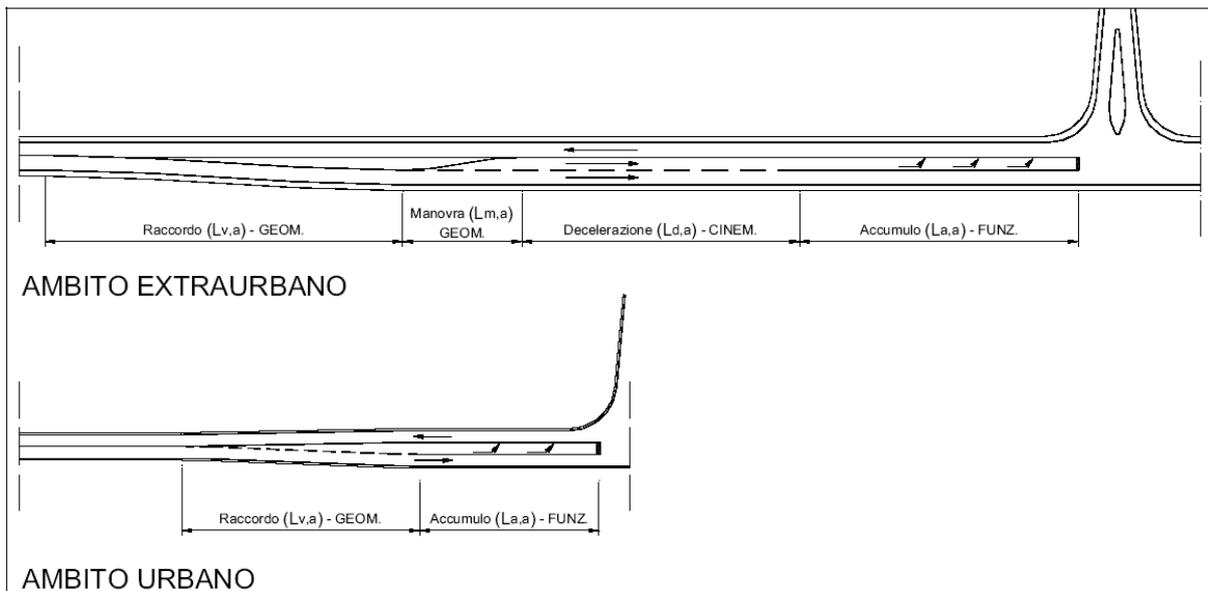


Figura 7 – Corsia di accumulo negli ambiti extraurbano e urbano.

Le **corsie di accumulo** per la svolta a sinistra sono composte in ambito urbano dai seguenti elementi (Figura 7):

- tratto di raccordo di lunghezza $L_{v,a}$;
- tratto di accumulo di lunghezza $L_{a,a}$.

Nota:

In ambito urbano, date le minori velocità di percorrenza, non sono necessari il tratto di manovra e il tratto di decelerazione previsti per l'ambito extraurbano.

Le **zone di scambio**, dove avviene l'attraversamento reciproco di due correnti aventi la medesima direzione, sono costituite da un tratto parallelo alla strada principale di lunghezza L_{sc} , che si determina come indicato in Figura 8.

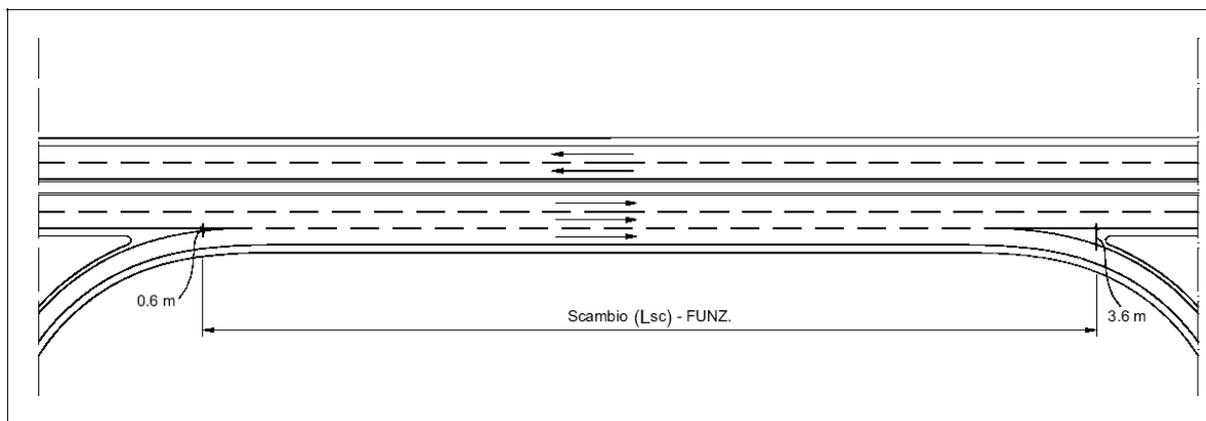


Figura 8 – Zone di scambio.

Le lunghezze $L_{a,e}$ (tratto di accelerazione della corsia di entrata), $L_{d,u}$ (tratto di decelerazione della corsia di uscita) e $L_{d,a}$ (tratto di decelerazione della corsia di accumulo) vanno dimensionate con criteri cinematici (§2.6.2).

Le lunghezze $L_{v,e}$ (tratto di raccordo della corsia di entrata), $L_{m,u}$ (tratto di manovra della corsia di uscita), $L_{v,a}$ (tratto di raccordo della corsia di accumulo), $L_{m,a}$ (tratto di manovra della corsia di accumulo) vanno dimensionate con criteri geometrici (§2.6.3).

Le lunghezze $L_{i,e}$ (tratto di immissione della corsia di entrata), $L_{a,a}$ (tratto di accumulo della corsia di svolta a sinistra), L_{sc} (tratto di scambio della zona di scambio) vanno dimensionate con criteri funzionali (§2.7).

2.6.2 Elementi da dimensionare longitudinalmente con criteri cinematici

Il calcolo della lunghezza (L) degli elementi da dimensionare con criteri cinematici avviene con la formula dello spazio percorso nel moto uniformemente accelerato:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a};$$

dove:

v_1 (m/s) è la velocità di ingresso nel tratto di decelerazione o accelerazione;

v_2 (m/s) è la velocità di uscita dal tratto di decelerazione o accelerazione;

a (m/s^2) è l'accelerazione o la decelerazione.

I valori v_1 , v_2 e a da inserire nella formula precedente si determinano con i seguenti criteri:

- Per il tratto di decelerazione di una corsia di uscita v_1 è la velocità di progetto del tracciato della strada principale desunta dal diagramma di velocità costruito secondo il D.M. 05/11/2001, v_2 è la velocità di progetto della curva, che si determina in base al raggio e alla pendenza trasversale con l'equazione di equilibrio del veicolo in curva, a è la decelerazione che vale $3 m/s^2$ per le strade di tipo A e B (aventi pavimentazione con caratteristiche paragonabili a quelle del tipo A) e $2 m/s^2$ per le altre strade.

In Tabella 1 sono riportati i valori della lunghezza del tratto di decelerazione di una corsia di uscita in funzione delle velocità di progetto V_{p1} e V_{p2} .

LUNGHEZZA DEL TRATTO DI DECELERAZIONE (L_d (m))

Casi con $d=-2 m/s^2$

Vp2 (km/h)	Vp1 (km/h)						
	40	50	60	70	80	90	100
30	13.50	30.86	52.08	77.16	106.10	138.89	175.54
40	0.00	17.36	38.58	63.66	92.59	125.39	162.04
50	...	0.00	21.22	46.30	75.23	108.02	144.68
60	...	...	0.00	25.08	54.01	86.81	123.46
70	...	...	...	0.00	28.94	61.73	98.38
80	...	...	...	...	0.00	32.79	69.44

Casi con $d=-3 m/s^2$

Vp2 (km/h)	Vp1 (km/h)							
	70	80	90	100	110	120	130	140
30	51.44	70.73	92.59	117.03	144.03	173.61	205.76	240.48
40	42.44	61.73	83.59	108.02	135.03	164.61	196.76	231.48
50	30.86	50.15	72.02	96.45	123.46	153.03	185.19	219.91
60	16.72	36.01	57.87	82.30	109.31	138.89	171.04	205.76
70	0.00	19.29	41.15	65.59	92.59	122.17	154.32	189.04
80	...	0.00	21.86	46.30	73.30	102.88	135.03	169.75

Tabella 3 – Lunghezza del tratto di decelerazione di una corsia di uscita ($L_{d,u}$).

- per il tratto di accelerazione delle corsie di entrata v_1 è la velocità di progetto della rampa nel punto iniziale del tratto di accelerazione, per v_2 si assume l'80% della velocità di progetto del tracciato principale, a vale $1 m/s^2$. In Tabella 4 sono riportate le lunghezze del tratto di accelerazione delle corsie di entrata.

LUNGHEZZA DEL TRATTO DI ACCELERAZIONE ($L_{a,a}$ (m))

Vp2 (km/h)	Vp1 =80%Vp (km/h)								
	30	40	50	60	70	80	90	100	110
30	0.00	27.01	61.73	104.17	154.32	212.19	277.78	351.08	432.10
40	...	0.00	34.72	77.16	127.31	185.19	250.77	324.07	405.09
50	0.00	42.44	92.59	150.46	216.05	289.35	370.37
60	0.00	50.15	108.02	173.61	246.91	327.93
70	0.00	57.87	123.46	196.76	277.78
80	0.00	65.59	138.89	219.91

Tabella 4 – Lunghezza del tratto di accelerazione delle corsie di entrata ($L_{a,e}$).

2.6.3 Elementi da dimensionare longitudinalmente con criteri geometrici

2.6.3.1 Tratti di raccordo $L_{v,a}$ e manovra $L_{m,a}$ nelle corsie di accumulo per la svolta a sinistra nelle intersezioni a raso

La lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,a}$ dipende dalla velocità di progetto della strada principale (V_p) e dall'allargamento d da raggiungere, pari alla larghezza della corsia di accumulo incrementata di 0.50 m, corrispondente alla larghezza necessaria per la materializzazione dell'elemento separatore dei due sensi di marciaⁱⁱ.

La lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,a}$ si calcola con la seguente formula:

$$L_{v,a} = 0.6 \cdot V_p \sqrt{d'}$$

dove d' è il massimo dei due allargamenti verso sinistra o verso destra della carreggiata (Figura 9).

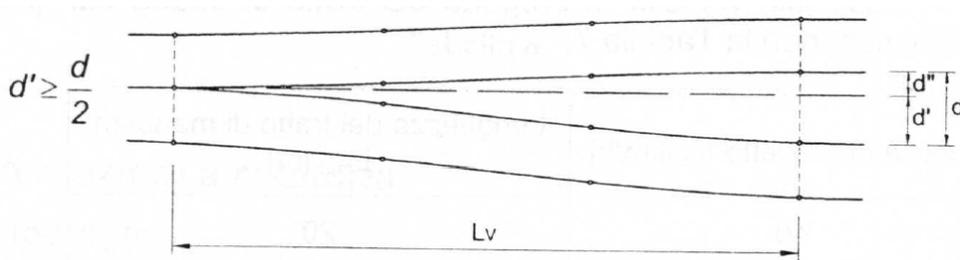


Figura 9 – Tratto di raccordo di una corsia di accumulo.

In Tabella 5 sono riportati i valori di $L_{v,a}$ calcolati per diversi valori di d' e di V_p ; sono evidenziate le righe corrispondenti ai casi di inserimento della corsia di accumulo esattamente nel mezzo della carreggiata, con larghezza della corsia di accumulo desunta dalla Tabella 9.

d' (m)	V_{p1} (km/h)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
1.75	23.81	31.75	39.69	47.62	55.56	63.50	71.44	79.37
1.875	24.65	32.86	41.08	49.30	57.51	65.73	73.94	82.16
2	25.46	33.94	42.43	50.91	59.40	67.88	76.37	84.85
2.25	27.00	36.00	45.00	54.00	63.00	72.00	81.00	90.00
2.5	28.46	37.95	47.43	56.92	66.41	75.89	85.38	94.87
2.75	29.85	39.80	49.75	59.70	69.65	79.60	89.55	99.50
3	31.18	41.57	51.96	62.35	72.75	83.14	93.53	103.92
3.25	32.45	43.27	54.08	64.90	75.72	86.53	97.35	108.17
3.5	33.67	44.90	56.12	67.35	78.57	89.80	101.02	112.25

Tabella 5 – Lunghezza del tratto di raccordo di una corsia di accumulo.

I valori della lunghezza del tratto di manovra $L_{m,a}$ sono stabiliti in funzione della velocità di progetto della strada principale in Tabella 6.

ⁱⁱ Dal testo della norma non è chiaro se la materializzazione dell'elemento separatore è obbligatoria o meno.

Velocità di progetto V_p (km/h)	Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,a}$ (m)
$V_p \geq 60$	30
$V_p < 60$	20

Tabella 6 – Lunghezza del tratto di manovra di una corsia di accumulo ($L_{m,a}$).

2.6.3.2 Tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a raso

La lunghezza $L_{m,u}$ del tratto di manovra delle corsie di uscita è pari a 30 m e 20 m rispettivamente in ambito extraurbano ed urbano.

2.6.3.3 Tratto di raccordo delle corsie di entrata nelle intersezioni a livelli sfalsati

I valori della lunghezza del tratto di raccordo delle corsie di entrata $L_{v,e}$ nelle intersezioni a livelli sfalsati sono stabiliti in funzione della velocità di progetto della strada principale in Tabella 7.

Velocità di progetto V_p (km/h)	Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ (m)
$V_p \geq 80$	75
$V_p < 80$	50

Tabella 7 – Lunghezza del tratto di raccordo delle corsie di entrata.

Nota:

La norma non indica i valori di $L_{v,e}$ per le intersezioni a raso; in tale caso si possono assumere valori corrispondenti a quelli indicati per le intersezioni a livelli sfalsati.

2.6.3.4 Tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a livelli sfalsati

I valori della lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ delle corsie di uscita nelle intersezioni a livelli sfalsati sono stabiliti in funzione della velocità di progetto della strada principale in Tabella 8.

Note:

- In linea generale, rispetto alle norme C.N.R. N. 31/73, le corsie di entrata, di uscita e di accumulo hanno una lunghezza quasi uguale nel caso di velocità di progetto basse, maggiore anche del 50% nel caso di velocità di progetto alte.

- Nello studio a carattere prenormativo le lunghezze del tratto di decelerazione di una corsia di uscita erano molto minori di quelle della norma: infatti era prevista una decelerazione di -3.5 m/s^2 .

Velocità di progetto V_p (km/h)	Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ (m)
40	20
60	40
80	60

Tabella 8 – Valori della lunghezza del tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a livelli sfalsati ($L_{m,u}$).

2.6.4 Intersezioni lineari a raso

2.6.4.1 Larghezza delle corsie nelle intersezioni a raso

In Tabella 9 sono stabilite le larghezze delle corsie delle traiettorie passanti, delle corsie di uscita e delle corsie di accumulo nelle intersezioni a raso.

Elemento modulare	Strade extraurbane		Strade urbane	
	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)
Corsie destinate alle traiettorie passanti	nei casi ammessi	(*)	nei casi ammessi	(*)
Corsie specializzate di uscita	C	3,50	E	3,00
	F	3,25	F	2,75
Corsie specializzate per l'accumulo in mezzera	C	3,25	E	3,00 (**)
	F	3,00	F	2,75 (**)

(*) si mantiene la larghezza delle corsie prevista nel D.M. 5/11/2001 per i tipi di strada interessati dall'intersezione;
(**) riducibili a 2,50 se le corsie non sono percorse da traffico pesante o da mezzi adibiti al trasporto pubblico.

Tabella 9 – Larghezza delle corsie nelle intersezioni a raso.

Nota:

Non sono indicate le larghezze delle corsie di entrata, non ammesse se la strada principale è di tipo C o F extraurbana, ma consentite se la strada principale è di tipo E o F urbana, o a carreggiate separate. Nel dubbio si può assumere una larghezza corrispondente a quella della corsia di uscita.

2.6.5 Intersezioni a rotatoria

2.6.5.1 Tipi di rotatoria

Si definiscono tre tipi di rotatoria, a seconda del diametro esterno della corona rotatoria (Figura 10):

- rotatoria convenzionale, con diametro esterno compreso tra 40 e 50 m;
- rotatoria compatta, con diametro esterno compreso tra 25 e 40 m;
- mini rotatorie, con diametro esterno compreso tra 14 e 25 m.

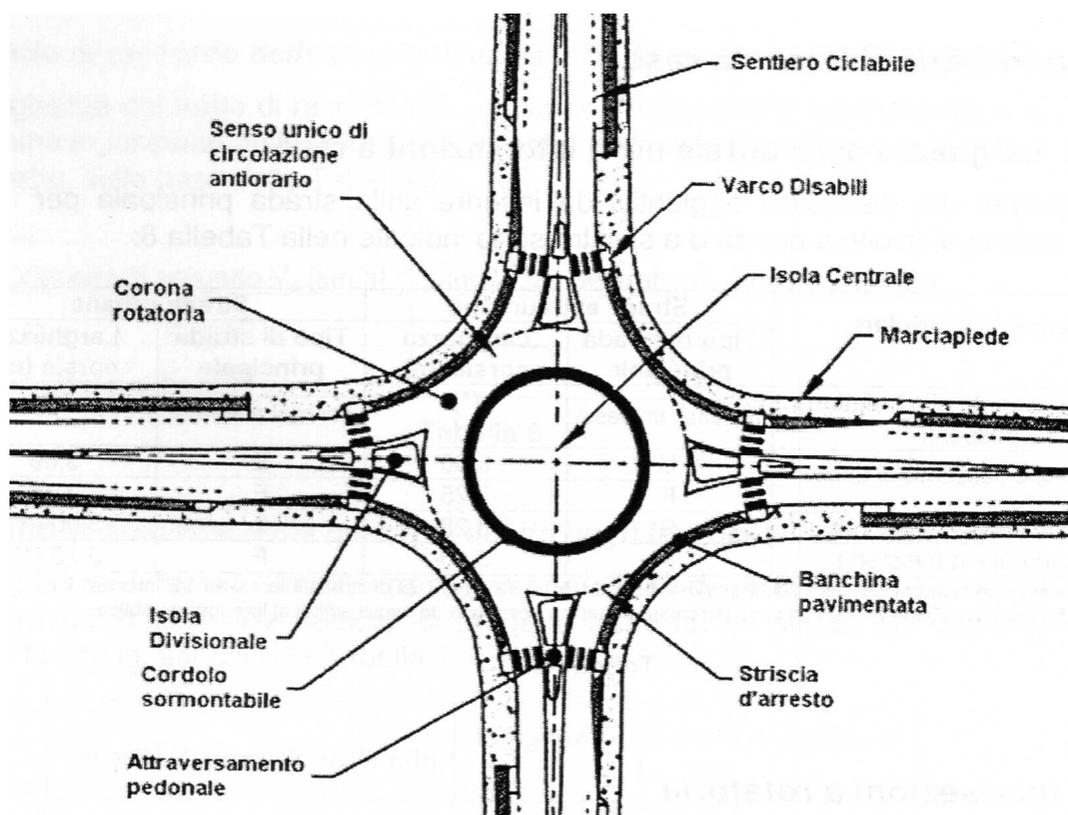


Figura 10 – Elementi costitutivi di una rotatoria.

Sono ammesse anche rotatorie di tipo diverso (con diametri superiori), ma il dimensionamento e la composizione geometrica devono avvenire con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui; ciò significa che lo spazio compreso tra due bracci contigui deve essere sufficientemente lungo da garantire lo scambio tra chi si immette in rotatoria dal primo braccio e chi esce dalla rotatoria verso il secondo braccio.

L'*isola centrale* può essere costituita in parte da una *zona sormontabile*, atta a favorire le manovre dei veicoli pesanti. La zona sormontabile non è prevista nelle rotatorie convenzionali e compatte, può sostituire parte dell'isola centrale nelle mini rotatorie con diametro compreso tra 18 e 25 m, occupa l'intera isola centrale nelle mini rotatorie di diametro compreso tra 14 e 18 m.

Nei rami di approccio alla rotatoria occorre introdurre strumenti per la regolazione della velocità, ipotizzando l'arresto del veicolo nei punti di ingresso e sviluppando le verifiche di visibilità.

2.6.5.2 Larghezza delle corsie

In Tabella 10 sono riportati i valori della larghezza delle corsie della corona rotatoria, dei bracci di ingresso e dei bracci di uscita.

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

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

(**) organizzati al massimo con due corsie.

Tabella 10 – Larghezza delle corsie della corona rotatoria e dei bracci di ingresso e di uscita.

L'anello della rotatoria deve avere una sola corsia; la larghezza dell'anello consente il passaggio contemporaneo di due veicoli leggeri, ma non è consentita una suddivisione in corsie per mezzo della segnaletica orizzontale.

La larghezza della corsia che costituisce l'anello dipende dal diametro della corona rotatoria e dal numero di corsie del braccio di immissione: se il braccio di immissione ha una sola corsia, la larghezza dell'anello passa da 6 m per diametri esterni maggiori di 40 m a 8 m di larghezza per diametri di 14 m; se il braccio di immissione ha due corsie, l'anello deve essere largo 9 m per diametri esterni maggiori di 40 m e 8.5-9 m per diametri inferiori.

I bracci di ingresso sono larghi **3.50 m** quando hanno una sola corsia, **6 m** quando hanno due corsie.

- I bracci di uscita sono più larghi di quelli di ingresso: **4 m** per diametri della corona rotatoria minori di 25 m, **4.50 m** per diametri maggiori di 25 m. I bracci di uscita hanno al massimo una corsia.

- Diversamente da altre norme, le norme italiane per diametri superiori a 40 m prescrivono che l'anello sia largo solo 6 m; da un lato ciò può favorire la sicurezza della manovre inducendo a mantenere velocità basse sull'anello, dall'altro ciò dà luogo ad una riduzione della capacità della rotatoria.

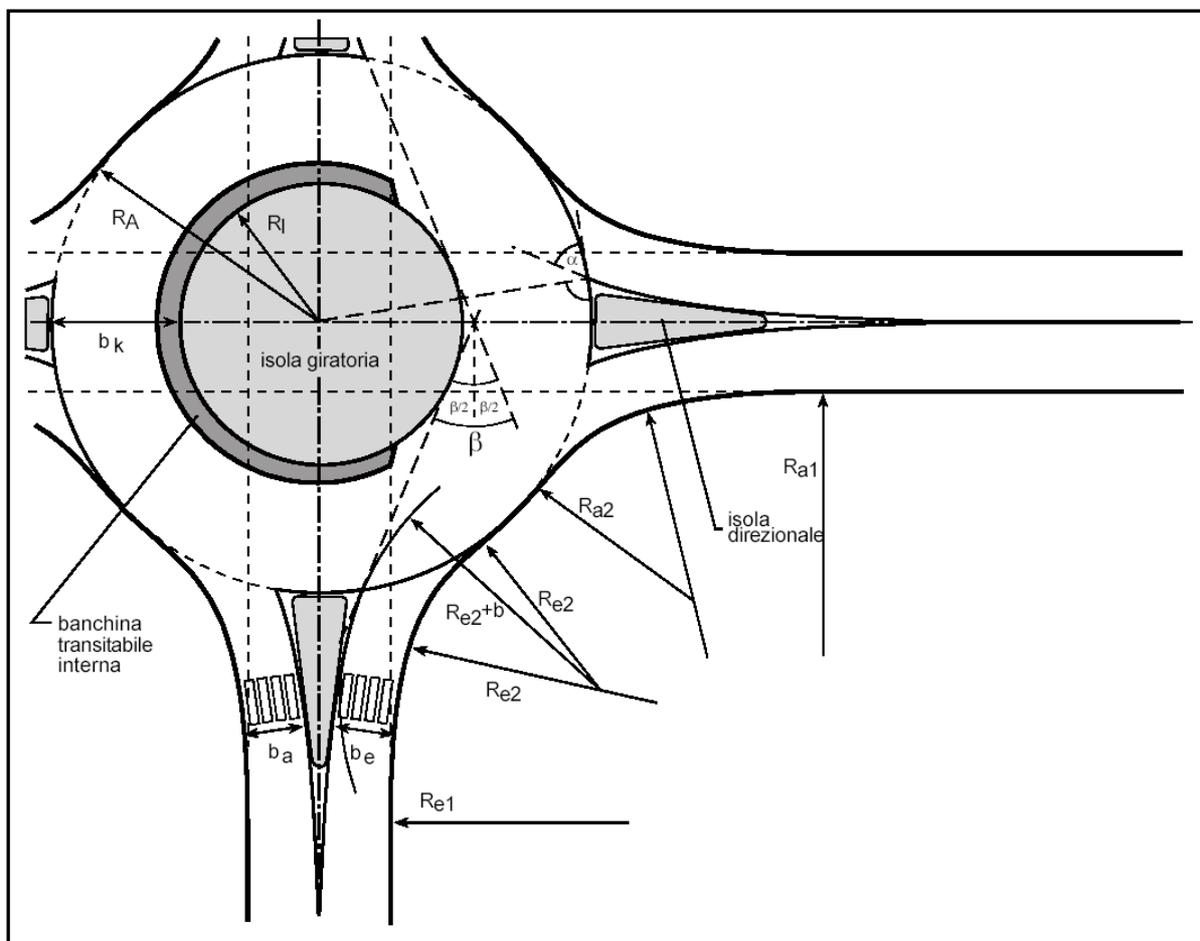


Figura 11 – Parametri di progetto di una rotatoria.

2.6.5.3 Geometria delle rotatorie

Nella progettazione delle rotatorie occorre controllare la deviazione delle traiettorie che devono attraversare il nodo. La norma raccomanda che l'angolo di deviazione β rappresentato in Figura 11, che corrisponde alla deviazione di una traiettoria passante dovuta alla presenza dell'isola centrale, risulti almeno di 45° .

Note:

- Nella norma non compare più la verifica della deflessione riportata nello studio a carattere prenormativo, basata sul raggio di curvatura minimo della traiettoria passante e della traiettoria di svolta a destra (ripresa anch'essa dalle norme francesi).
- Nello studio a carattere prenormativo viene richiesto che l'angolo α (indicato in Figura 11) tra il ciglio della corsia di entrata e il ciglio della corona rotatoria sia di $80-90^\circ$; se ciò non è possibile è sufficiente che β sia maggiore di 45° . In generale si tratta di verifiche più severe di quelle basate sulle traiettorie di deflessione.
- La norma non fornisce alcuna indicazione sui valori dei raggi di ingresso o di uscita, né sul metodo di costruzione geometrica delle isole separatrici. La figura indica che i cigli sono sagomati con una coppia di archi di raggio diverso (i raggi minori sono quelli degli archi tangenti all'anello). Lo studio a carattere prenormativo presentava la stessa figura e forniva le seguenti indicazioni numeriche:
 - in ambito urbano i raggi di entrata sono $R_{e,2} = 10\text{ m}$, $R_{e,1} = 5R_{e,2}$, i raggi di uscita $R_{a,2} = 12\text{ m}$, $R_{a,1} = 4R_{a,2}$;
 - in ambito extraurbano i raggi di entrata sono $R_{e,2} = 12\text{ m}$, $R_{e,1} = 5R_{e,2}$, i raggi di uscita $R_{a,2} = 14\text{ m}$, $R_{a,1} = 4R_{a,2}$.

Si tratta di valori di raggio piuttosto piccoli e non commisurati al raggio della corona giratoria, come invece avviene nelle norme francesi, le quali prevedono quanto segue:

- per le entrate: $R_{e,1}=10-15\text{ m}$, $R_{e,1}<R_A$;
- per le uscite: $R_{a,2}=15-30\text{ m}$, $R_{a,2}>R_i$;
- i raccordi: $R_{e,1}=R_{a,1}=4R_A$.

2.6.6 Distanze di visibilità nelle intersezioni a raso

Secondo la norma è opportuno stabilire sempre il regime delle precedenze nelle intersezioni a raso, evitando situazioni di semplice precedenza a destra.

Le traiettorie prioritarie (quelle che hanno diritto di precedenza) devono mantenere le visuali libere minime previste dal D.M. 05/11/2001 anche in corrispondenza delle intersezioni.

Per le traiettorie non prioritarie devono essere libere da ostacoli aree triangolari denominate *triangoli di visibilità* (Figura 12). Il lato maggiore del triangolo di visibilità si calcola con la seguente formula:

$$D = v \cdot t ;$$

dove:

v = velocità di riferimento, pari alla velocità di progetto del tracciato, oppure, in presenza di limiti di velocità, la massima velocità consentita.

t = tempo di manovra, pari a **12 s** in presenza di manovre regolate dal segnale “dare precedenza”, **6 s** in presenza di manovre regolate dal segnale di “stop”; tali tempi devono essere aumentati di un secondo per ogni punto percentuale in più della pendenza del ramo secondario, quando la stessa supera il 2%.

In Tabella 11 sono riportati i valori della lunghezza del lato maggiore del triangolo di visibilità per diverse velocità di riferimento (V), nell'ipotesi di strada secondaria piana. Le lunghezze D_p si utilizzano quando al termine della strada secondaria è posto il segnale “dare precedenza”, le lunghezze D_s quando c'è il segnale di “stop”.

	Vp1 (km/h)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Dp (m)	100.00	133.33	166.67	200.00	233.33	266.67	300.00	333.33
Ds (m)	50.00	66.67	83.33	100.00	116.67	133.33	150.00	166.67

Tabella 11 – Lunghezza del lato maggiore del triangolo di visibilità.

Ad esempio nel caso in cui sulla strada principale sia imposto un limite di velocità di 50 km/h, il triangolo di visibilità ha lato maggiore di 166 m o di 83 m, rispettivamente nei casi di segnale di dare precedenza o di stop al termine della strada secondaria.

Il lato minore del triangolo di visibilità è lungo **20 m** a partire dal ciglio della strada principale in presenza del segnale “dare precedenza”, **3 m** a partire dalla linea di arresto in presenza del segnale di “stop”.

Si considera ostacolo alla visibilità qualunque oggetto isolato avente dimensione planimetrica maggiore di 0.80 m.

Nota:

Si tratta dell'unico caso nelle norme tecniche italiane in cui si utilizza il limite locale di velocità per l'esecuzione di una verifica.

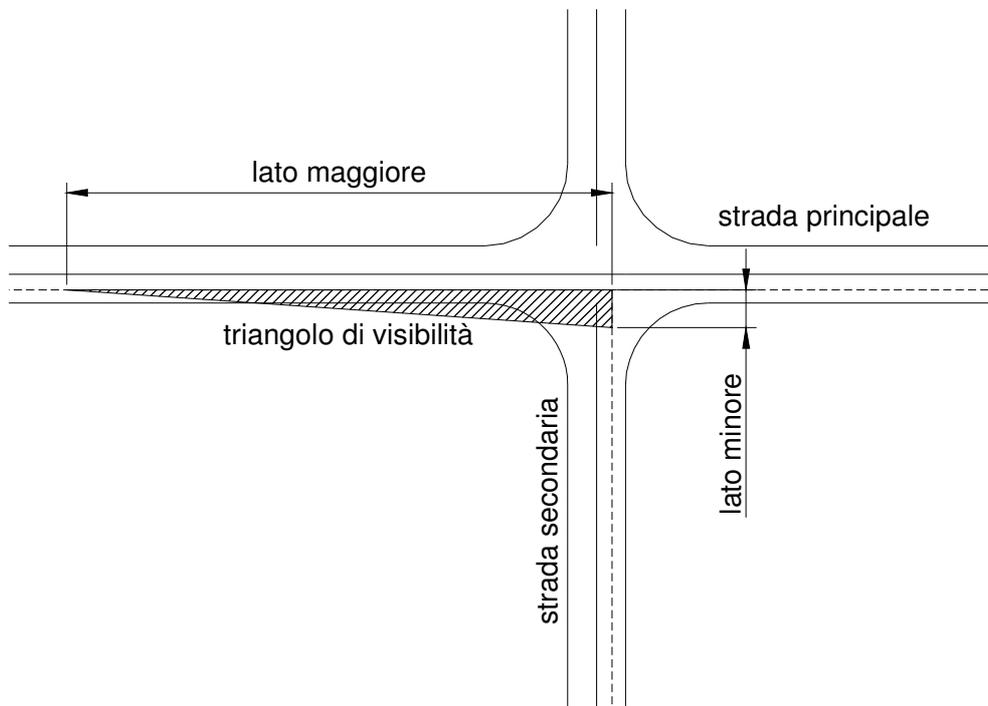


Figura 12 – Esempio di triangolo di visibilità.

Nelle intersezioni a rotatoria i conducenti che giungono da un determinato ramo devono poter vedere un quarto della corona rotatoria con sufficiente anticipo, al fine di dare la precedenza o arrestarsi di fronte ai veicoli che percorrono l'anello. Il campo di visibilità (Figura 13) si determina convenzionalmente conducendo le tangenti al limite della corona rotatoria e ad un contorno circolare posto 2.5 m all'interno del limite dell'isola centrale a partire dagli estremi di un segmento lungo 10 m posto in asse alla corsia di entrata e distante dal limite della corona giratoria 5 m. La verifica di visibilità deve essere eseguita per ogni ramo di ingresso alla rotatoria. La norma francese, da cui il criterio è tratto, spiega che nella fascia più esterna dell'isola centrale, larga 2 m in presenza di una zona sormontabile, 2.5 m altrimenti, non devono esserci ostacoli, né devono essere piantati alberi; la norma francese raccomanda inoltre che le condizioni di visibilità siano simili per i 4 rami di ingresso, in modo da favorire l'omogeneità di comportamento dei conducenti provenienti dai vari rami.

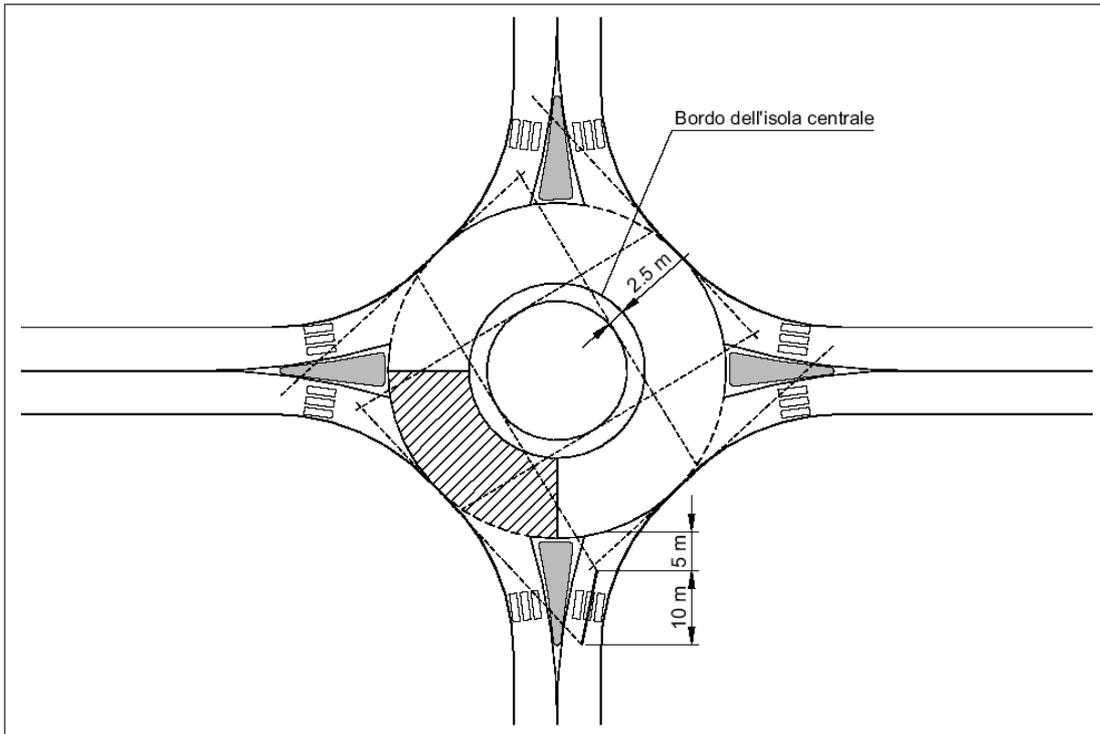


Figura 13 – Campi di visibilità in rotatoria.

2.6.7 Intersezioni a livelli sfalsati

2.6.7.1 Velocità di progetto delle rampe

Si distinguono 3 tipi di rampa: diretta, indiretta, semidiretta. I 3 tipi sono rappresentati in Figura 14.

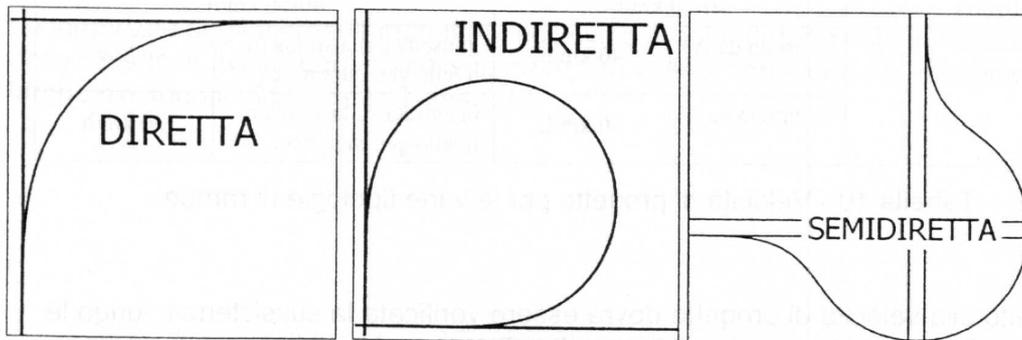


Figura 14 – Tipi di rampa delle intersezioni a livelli sfalsati.

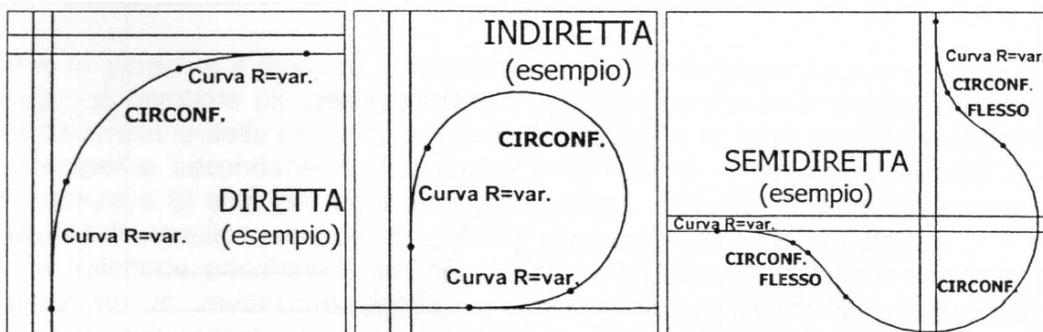


Figura 15 – Elementi geometrici del tracciato delle rampe.

In Figura 15 sono indicati gli elementi che compongono il tracciato delle rampe (circonferenze e curve a raggio variabile).

Le curve a raggio variabile sono normalmente costituite da clotoidi, le quali devono essere dimensionate con i criteri previsti dal D.M. 05/11/2001. I tratti di decelerazione delle corsie di uscita ad ago e i tratti in accelerazione delle corsie di immissione devono essere realizzati con un elemento a curvatura variabile opportunamente scelto dal progettista.

Nota:

Particolarmente adatte allo scopo sono le iperclotoidi, curve a raggio variabile appartenenti alla famiglia delle clotoidi multiparametro.

Le curve a raggio variabile diverse dalle clotoidi devono essere convenientemente dimensionate, prescindendo dal D.M. 05/11/2001 (che prevede solo le clotoidi).

Lungo le rampe deve essere garantita la distanza di visibilità per l'arresto, valutata nelle modalità stabilite dal D.M. 05/11/2001.

Nota:

La verifica di visibilità per l'arresto dovrà pertanto essere effettuata ipotizzando che il punto di vista e l'ostacolo si trovino in asse corsia ad un'altezza rispettivamente di 1.10 m e 0.10 m dalla superficie stradale.

Osservazione molto importante:

La norma sulle intersezioni non chiede che siano effettuate tutte le verifiche sulla composizione del tracciato previste dal D.M. 05/11/2001. La norma richiede infatti solo:

- il dimensionamento delle clotoidi;
- le verifiche di visibilità;
- il calcolo della velocità di progetto delle curve adiacenti alle corsie di uscita o di immissione, per il dimensionamento delle stesse.

Per realizzare le verifiche di cui sopra è comunque necessario attribuire alle rampe un intervallo di velocità di progetto e redigere il diagramma di velocità, senza eseguire ulteriori verifiche (composizione dell'asse, variazioni di velocità di progetto), etc.

A tal fine la norma suddivide le intersezioni a livelli sfalsati in due gruppi:

- tutti gli svincoli (*intersezioni tipo 1*) ad eccezione delle intersezioni B/B, D/D, B/D, D/B;
- le intersezioni a livelli sfalsati (*intersezioni tipo 2*) più le intersezioni B/B, D/D, B/D, D/B.

In Tabella 12 sono indicati gli intervalli di velocità di progetto delle rampe dirette, semidirette e indirette.

Nota:

Nel caso delle strade urbane le intersezioni a livelli sfalsati sono di tipo 2. Le velocità di progetto possono quindi raggiungere i 60 km/h nel caso di rampe dirette e semidirette, i 30-40 km/h nel caso di rampe indirette.

Tipi di rampe	Intersezioni Tipo 1 (fig.3), escluse B/B, D/D, B/D, D/B.		Intersezioni Tipo 2 (fig.3), e B/B, D/D, B/D, D/B.	
Diretta	50-80 km/h		40-60 km/h	
Semidiretta	40-70 km/h		40-60 km/h	
Indiretta	in uscita da A	40 km/h	in uscita dalla strada di livello ger. superiore	40 km/h
	in entrata su A	30 km/h	in entrata sulla strada di livello ger. superiore	30 km/h

Tabella 12 – Intervalli di velocità di progetto delle rampe.

2.6.7.2 Geometria degli elementi modulari

I parametri geometrici fondamentali per la definizione della geometria del tracciato e del profilo delle rampe sono indicati in Tabella 13.

Velocità di progetto	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo	(m)	25	45	75	120	180	250
Pendenza max in salita	(%)	10	7,0		5,0		
Pendenza max in discesa	(%)	10	8,0		6,0		
Raggi minimi verticali convessi	(m)	500	1000	1500	2000	2800	4000
Raggi minimi verticali concavi	(m)	250	500	750	1000	1400	2000
Distanza di visuale minima	(m)	25	35	50	70	90	115

Tabella 13 – Caratteristiche planoaltimetriche delle rampe.

Note:

- I raggi planimetrici minimi sono coerenti con quelli ottenibili applicando il D.M. 05/11/2001 per un'assegnata velocità di progetto e una pendenza trasversale del 7%.

- I raggi verticali convessi e concavi invece si differenziano da quelli ricavabili con le norme di progettazione delle strade: la norma sulle intersezioni pone, in via semplificativa, il raggio minimo convesso pari al doppio del raggio minimo concavo. Dal confronto con i requisiti minimi del D.M., i raggi minimi dei raccordi concavi appaiono sottodimensionati, i raggi minimi dei raccordi convessi risultano invece sovradimensionati.

Strade extraurbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2.50	-
	B	3,75	1.75	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	B	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1.00	-
	B	1 corsia: 3,50	1.00	-

Strade urbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3,75	2.50	-
	D	3,25	1.00	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
	D	1 corsia: 4,00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3,50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3,50	1.00	-
	D	1 corsia: 3,50	1.00	-

Tabella 14 – Larghezza degli elementi modulari.

2.6.7.3 Larghezza degli elementi modulari

Le larghezze delle corsie e delle banchine in sinistra e in destra sono indicate in Tabella 14. La tabella è suddivisa in due parti, a seconda del tipo di strada principale, una per le strade extraurbane A e B, una per le strade urbane A e D.

Le corsie hanno larghezza compresa tra 3.5 e 4.0 m, le banchine da 1.0 a 2.5 m.

Nota:

Contrariamente a quanto previsto in precedenza, nelle rampe monodirezionali con una sola corsia la banchina in destra è di 1.0 m anziché di 1.5 m.

Gli elementi marginali (arginelli, cunette, etc.) hanno le stesse dimensioni previste dal D.M. 05/11/2001, assimilando le rampe dirette e semidirette delle intersezioni tipo 1 a strade di tipo C e le altre rampe a strade di tipo F.

2.7 DIMENSIONAMENTO FUNZIONALE DELLE INTERSEZIONI

Un'intersezione deve essere dimensionata oltre che con criteri geometrici, anche con criteri funzionali, ovvero in base alla domanda di traffico delle diverse manovre.

Gli elementi da dimensionare o da verificare con criteri funzionali sono:

- per le intersezioni a raso: la lunghezza delle corsie di accumulo;
- per le intersezioni a rotatoria: la capacità della rotatoria e il livello di servizio;
- per le intersezioni a livelli sfalsati: la lunghezza delle corsie di immissione e delle zone di scambio.

Le corsie specializzate per la svolta a sinistra devono sempre essere realizzate nel caso di intersezione tra strade con due corsie per senso di marcia (sia nelle strade di tipo E, sia in quelle di tipo F urbane possono esserci più corsie per senso di marcia); nelle altre strade l'introduzione delle corsie di accumulo per la svolta a sinistra dipende dall'entità del flusso di veicoli che interessa tale manovra (ma la norma non fornisce indicazioni quantitative per inserirle).

Per le corsie specializzate di accumulo e per gli attestamenti nelle zone regolate da precedenza e stop, dovranno essere determinati secondo i criteri della tecnica della circolazione il numero medio dei veicoli in attesa di svolgere la manovra e il tempo medio di attesa. La lunghezza delle corsie viene stabilita pari al *doppio dello spazio occupato dal numero medio di veicoli in attesa*, ipotizzando che ciascun veicolo sia lungo **6 m**.

Per le manovre di immissione e di scambio la lunghezza delle corsie specializzate deve essere determinata studiando la distribuzione probabilistica dei *distanziamenti temporali* tra i veicoli.

Il *livello di servizio* di un'intersezione non deve essere inferiore a quello stabilito dal D.M. 05/11/2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo.

Nota:

La norma impone le verifiche funzionali, ma non indica il metodo da seguire. Si possono impiegare allo scopo l'Highway Capacity Manual o il capitolo 4 della norma provvisoria del 2001.

2.8 ILLUMINAZIONE

L'illuminazione delle intersezioni è obbligatoria nelle intersezioni a livelli sfalsati (tipi 1 e 2).

Il livello di illuminamento deve essere tale da consentire il mutuo avvistamento dei veicoli, la percezione di eventuali ostacoli e la corretta percezione dell'intersezione.

Nelle intersezioni a raso l'illuminazione deve essere realizzata quando siano accertate particolari condizioni ambientali (ad esempio la nebbia) che ostacolano la corretta percezione di ostacoli o di elementi della stessa intersezione.

2.9 ACCESSI

Si definiscono accessi le immissioni per veicoli da un'area privata alla strada di uso pubblico, e le immissioni di una strada ad uso privato su una strada ad uso pubblico (diramazione).

Lungo i rami delle intersezioni non è consentita l'apertura di accessi; lungo i tronchi delle strade extraurbane e urbane gli accessi devono essere opportunamente distanziati e organizzati.

2.9.1 Accessi alle strade urbane – Passi carrabili

In Tabella 15 sono definiti l'organizzazione e il distanziamento degli accessi ai vari tipi di strada urbana.

Nelle autostrade urbane non sono consentiti accessi. Sono ammessi esclusivamente gli accessi alle aree di sosta, di parcheggio, o di servizio.

Nelle strade urbane di scorrimento sono consentiti accessi privati purché siano rispettate le distanze di 100 m tra gli assi di due innesti successivi e di 100 m tra l'asse di un innesto e l'asse di un'intersezione. Gli accessi alle strade urbane di scorrimento devono essere coordinati, ovvero collegati da un'apposita strada di servizio.

Gli accessi alle strade urbane di quartiere e locali devono essere ubicati a distanza non inferiore a 12 m dalle intersezioni, misurata dal limite dell'accesso al limite dell'area d'intersezione. Non ci sono limiti di distanza tra accessi successivi.

I comuni hanno la facoltà di autorizzare distanze inferiori a quelle fissate in Tabella 11 per i passi carrabili già esistenti, nel caso in cui sia tecnicamente impossibile procedere all'adeguamento.

Si definisce "passo carrabile" un accesso diretto ad un'area idonea allo stazionamento di uno o più veicoli.

Tipo di strada	A	D	E	F
	Autostrada urbana	Urbana di scorrimento	Urbana di quartiere	Locale urbana
Ammessi	NO	SI	SI	SI
Organizzazione accessi	-	Coordinati	Diretti	Diretti
Distanza minima tra innesti successivi	-	100	-	-
Distanza minima tra accesso ed intersezione	-	100	12	12

Tabella 15 – Organizzazione degli accessi alle strade urbane.

In corrispondenza degli accessi devono essere garantite le distanze di visibilità minime stabilite per le intersezioni a raso (§2.6.6). La geometria degli accessi corrisponde a quella stabilita per le intersezioni in generale (§2.6).

Note:

- Lo studio a carattere prenormativo del 2001 conteneva indicazioni precise sulla geometria degli accessi (raggi di curvatura, larghezza, separazione di accesso pedonale e accesso ai veicoli) basate sia sulle norme C.N.R. n. 150 del 1992, nonché sul Codice della Strada.
- Lo studio a carattere prenormativo prevedeva che gli accessi alle strade urbane di quartiere fossero coordinati attraverso una strada di servizio.
- Si ricorda che il D.M. 19/04/2006 costituisce solo un riferimento per la costruzione degli accessi, rimandando ad una futura specifica normativa.

2.10 LO STUDIO A CARATTERE PRENORMATIVO (2001) – ARGOMENTI COMPLEMENTARI

Le “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” nella veste quasi definitiva, volutamente sintetica, tralasciano alcuni argomenti che invece erano stati affrontati nello studio a carattere prenormativo. Nel seguito si esaminano in sintesi importanti argomenti dello studio, che possono considerarsi complementari a quanto contenuto nella norma.

2.10.1 La scelta della migliore ubicazione

La scelta della migliore ubicazione di un'intersezione dovrebbe avvenire con un'analisi multiobiettivo.

E' in genere sufficiente assumere quattro criteri:

1. *costo di costruzione* delle nuove intersezioni e, se del caso, della nuova strada.
2. *costo monetario del trasporto* (per carburante, pedaggi, etc) sopportato dagli automobilisti in un giorno medio dell'anno per percorrere la parte di rete infrastrutturale interessata dal progetto.
3. *tempo totale speso* dall'insieme degli automobilisti per viaggiare durante un giorno medio dell'anno nella porzione di rete considerata al punto precedente.
4. *numero totale dei veicoli* che nel corso di un giorno medio dell'anno percorrono strade nelle quali il traffico produce danno ambientale (per esempio le strade urbane).

Attraverso una procedura, basata sui criteri suesposti, si attribuisce un punteggio a ciascuna soluzione progettuale. I valori numerici permettono un confronto tra le soluzioni.

2.10.2 Gli schemi organizzativi delle intersezioni

Nelle figure seguenti sono riportati alcuni esempi di schema organizzativo delle intersezioni; negli schemi le linee tracciate con tratto grosso indicano relazioni di flusso che si svolgono sempre lungo la stessa carreggiata, ovvero senza soluzione di continuità; i tratti più sottili indicano invece relazioni di flusso che implicano manovre di diversione, di immissione o di scambio. Dei vari tipi di schema forniti dalla norma sono stati selezionati quelli relativi alle intersezioni ammesse per strade urbane di scorrimento e per strade urbane di quartiere e locali, ovvero intersezioni a livelli sfalsati con manovre di scambio o incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore, e intersezioni a raso.

In Figura 16 è rappresentato un esempio di intersezione a quattro braccia, a due livelli, con tronchi di scambio a formare rotatoria sulla strada di gerarchia inferiore. Si tratta di uno schema di notevole interesse perché riesce ad abbinare le peculiarità dello scorrimento dei livelli sfalsati con un interscambio continuo nel sistema giratorio. Lo schema è particolarmente adatto quando è rilevante il flusso che procede diritto lungo la strada principale.

Lo schema a “clessidra” (Figura 17) funziona in modo simile.

Con uscite ed entrate in
destra sulla via di gerarchia
superiore, ed in destra ed in
sinistra sulla via di
gerarchia inferiore.
Circolazione a rotatoria
sulla via di cerchia
inferiore.

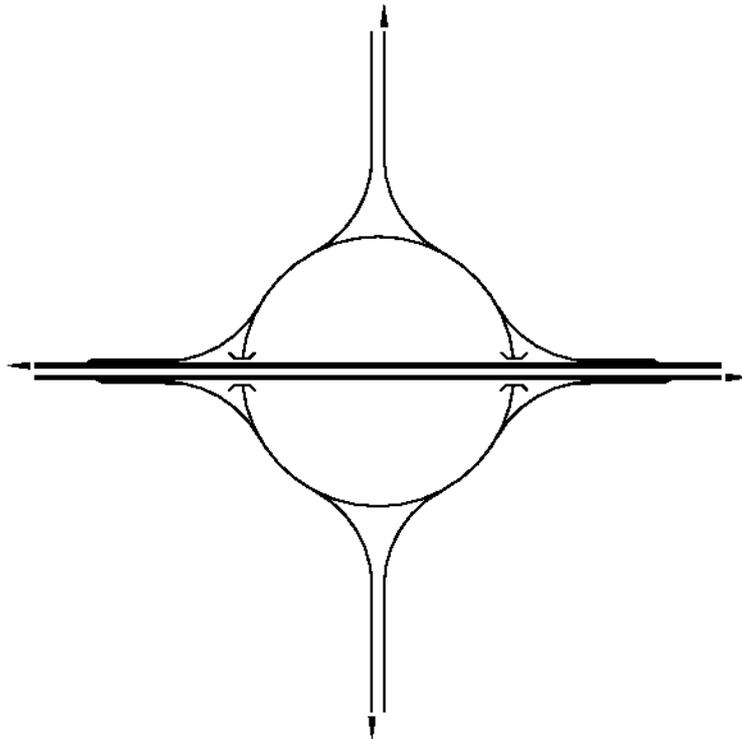


Figura 16 – Intersezione a livelli sfalsati con rotatoria lungo la strada di gerarchia inferiore.

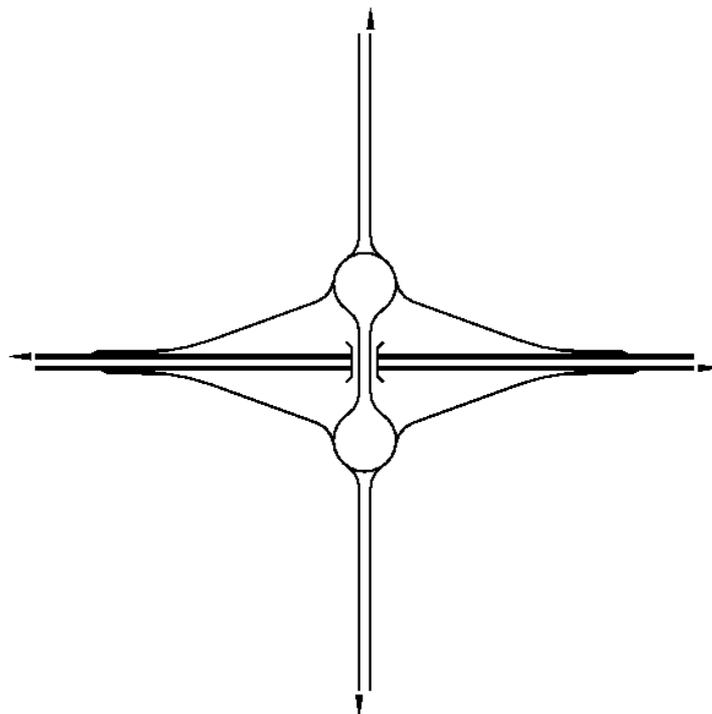


Figura 17 – Intersezione a livelli sfalsati a “clessidra”.

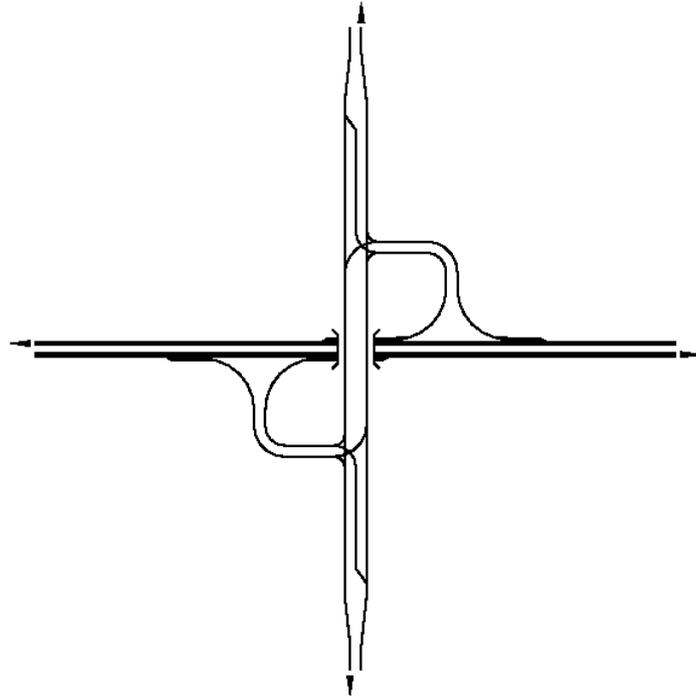


Figura 18 – Intersezione a livelli sfalsati con incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore (schema a semiquadrifoglio).

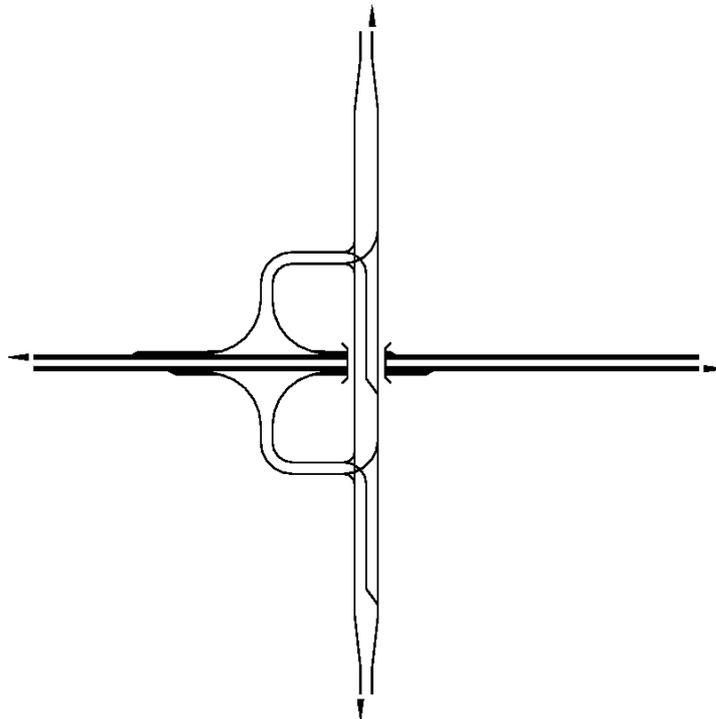


Figura 19 – Intersezione a livelli sfalsati con incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore (schema a semiquadrifoglio simmetrico).

In Figura 18 è riportato un esempio di intersezione a livelli sfalsati con incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore. Le rampe possono essere collocate anche in quadranti adiacenti (semiquadrifoglio simmetrico, Figura 19), quando le condizioni locali non permettono altre soluzioni (fiume,

linea ferroviaria, orografia difficile); tale soluzione però ha il difetto di avere due corsie di accumulo per la svolta a sinistra consecutive, con conseguente difficoltà per il presegnalamento.

In Figura 20 sono rappresentati gli schemi delle manovre nelle intersezioni a raso a 3 o 4 braccia (intersezioni a T o a X).

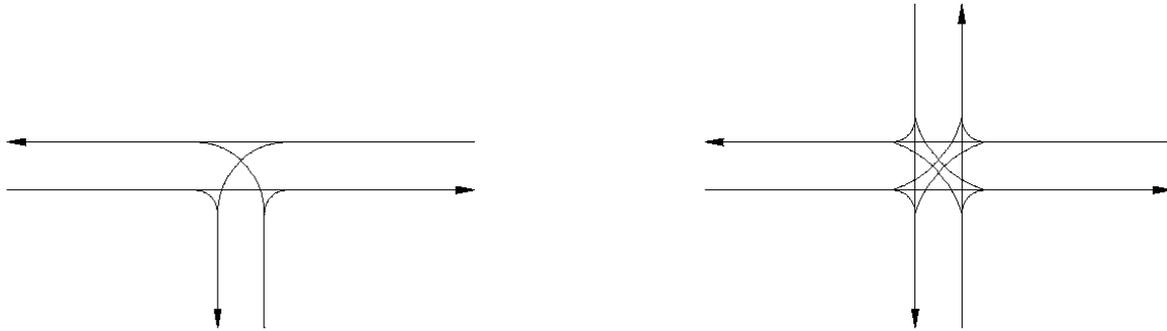


Figura 20 – Schemi delle manovre nelle intersezioni a raso a 3 e a 4 braccia.

In Figura 21 sono rappresentati gli schemi delle intersezioni a rotatoria a 3 e a 4 bracci; sono comunque consentiti più di 4 bracci. Le norme francesi fissano a 6 il numero massimo di bracci che possono confluire in una rotatoria.

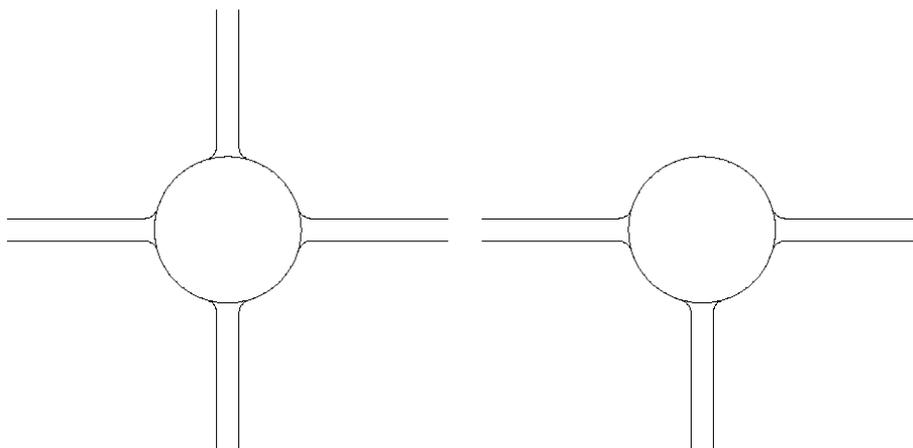


Figura 21 – Schemi delle intersezioni a rotatoria a 3 e a 4 bracci.

2.10.3 Criteri per l'introduzione della corsia specializzata per la svolta a sinistra.

La corsia specializzata per la svolta a sinistra viene inserita o meno a seconda della combinazione del traffico giornaliero medio sulla strada principale e del flusso impegnato nella svolta a sinistra (Tabella 16 per le intersezioni a T, Tabella 17 per le intersezioni a X). Se il flusso principale e quello interessato dalla svolta a sinistra sono limitati, la sezione della strada principale rimane inalterata, per flussi maggiori deve essere introdotta la corsia specializzata; se il flusso della manovra di svolta a sinistra è elevato (400 veicoli/giorno), si può anche valutare l'introduzione di una rotatoria.

Traffico giornaliero medio sulla principale (veicoli/g)	Veicoli impegnati in svolta a sinistra		
	meno di 100 veicoli/g	tra 100 e 400 veicoli/g	più di 400 veicoli/g
meno di 8000 veicoli/g	mantenimento della sezione corrente	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria
più di 8000 veicoli/g	mantenimento della sezione corrente o corsia di svolta		

Tabella 16 – Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra nelle intersezioni a T.

Traffico giornaliero medio della principale (veicoli/g)	Veicoli impegnati in svolta a sinistra		
	meno di 200 veicoli/g	tra 200 e 400 veicoli/g	più di 400 veicoli/g
meno di 8000 veicoli/g	mantenimento della sezione corrente	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria
più di 8000 veicoli/g	mantenimento della sezione corrente oppure corsia specializzata		

Tabella 17 – Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra nelle intersezioni a X.

2.10.4 Dimensionamento funzionale delle intersezioni

La norma impone che una serie di elementi delle intersezioni a livelli sfalsati o a raso vengano dimensionati con criteri funzionali (§2.7). La norma non specifica il procedimento da impiegare, lasciando al progettista la libertà di utilizzare il metodo che più gli aggrada. Lo studio a carattere prenormativo invece descrive i criteri per dimensionare o verificare i seguenti elementi:

- la lunghezza delle corsie di accumulo e di immissione delle intersezioni a raso;

- le dimensioni dell'anello e la larghezza dei bracci di ingresso di una rotatoria;

- la lunghezza delle corsie di immissione e delle zone di scambio delle intersezioni a livelli sfalsati.

I metodi di calcolo proposti dallo studio a carattere prenormativo assumono come dato di input il volume di traffico dell'ora di punta espresso in auto/ora. Tuttavia spesso si conosce solo il traffico giornaliero medio (TGM). In tal caso il traffico dell'ora di punta può essere valutato moltiplicando il traffico giornaliero medio per un coefficiente compreso fra 0.12 e 0.18.

2.10.4.1 Criterio di progettazione delle corsie di accumulo nelle intersezioni a raso lineari

La lunghezza della zona di accumulo ($L_{d,a}$) deve essere calcolata studiando il *fenomeno di attesa* dei veicoli che devono effettuare la svolta a sinistra.

Si consideri il comportamento di un guidatore che, giunto alla fine della corsia di accumulo, è in attesa di attraversare la corrente di senso opposto per eseguire la 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 manovra. L'ampiezza dell'intervallo accettato varia da guidatore a guidatore.

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. I risultati di numerose misure sperimentali concordano nell'assegnare ad esso un valore compreso fra 7 e 8 sec.

Nella progettazione delle corsie di accumulo due sono i parametri che 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, ed in particolare le sue caratteristiche di sicurezza: se infatti il tempo di attesa risultasse eccessivamente elevato, potrebbe accadere che i guidatori in testa alla coda, stanchi di aspettare, decidessero di forzare la corrente di verso opposto con il pericolo di incidenti.

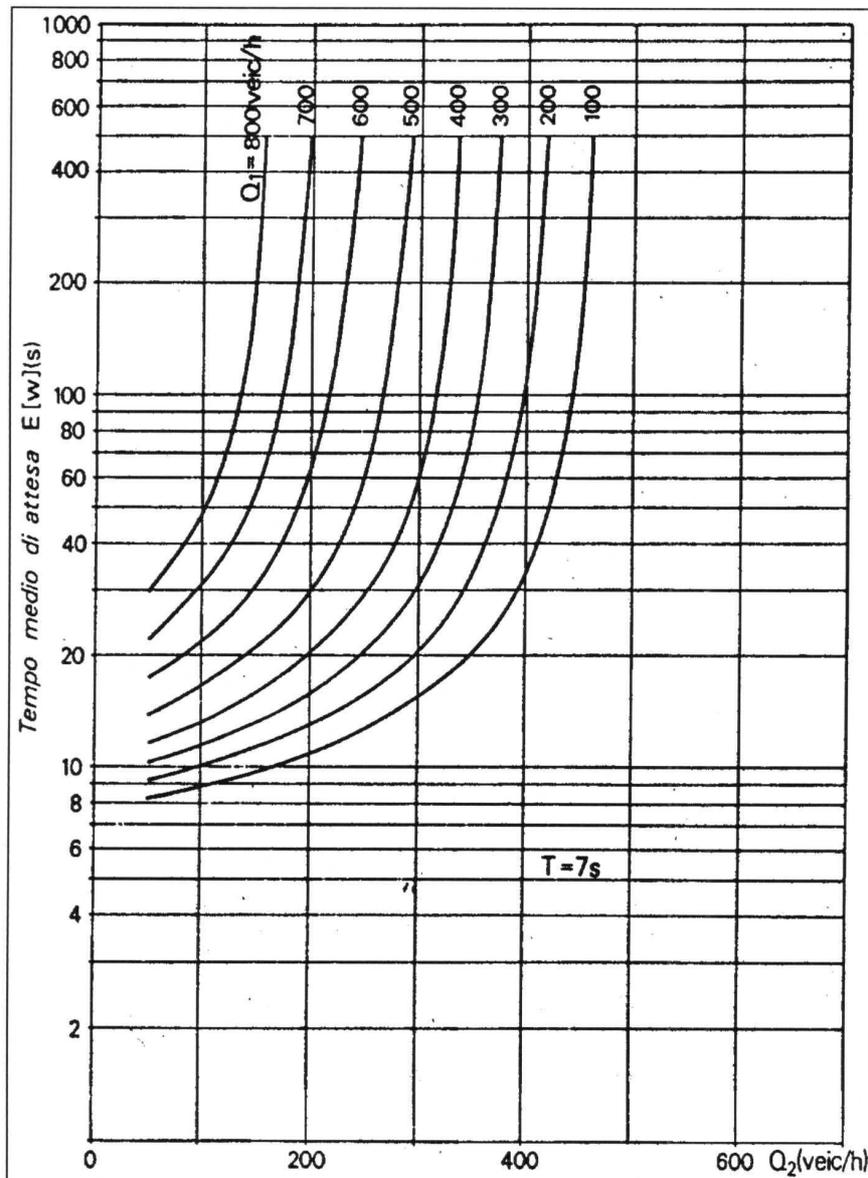


Figura 22 - Tempo medio di attesa in una corsia di accumulo.

In un fenomeno di attesa gli elementi che ne determinano le caratteristiche sono la *portata che alimenta la coda* (Q_2) ed il *tempo di servizio* (s), cioè il tempo che un utente giunto alla testa della coda deve aspettare prima di potere svoltare. Nel caso delle zone di accumulo alle intersezioni la portata che alimenta la coda è quella che svolta a sinistra, mentre 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 parametri della legge di probabilità sono funzioni dell'intervallo critico T e della portata Q_1 della corrente da attraversare.

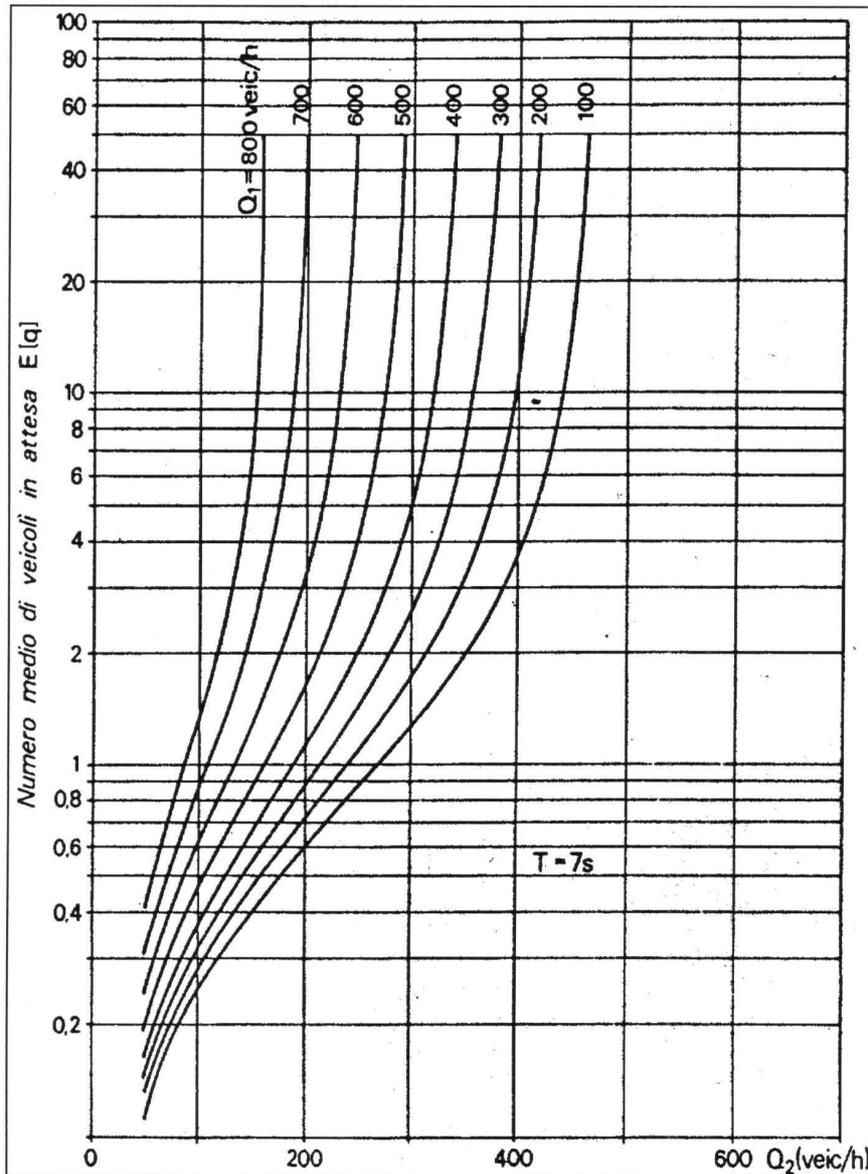


Figura 23 - Numero medio di veicoli in attesa in una corsia di accumulo.

Nell'ipotesi che i veicoli si succedano con legge poissoniana, le espressioni del tempo medio di attesa $E[w]$ e del numero medio di veicoli in attesa $E[q]$ sono:

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

$$E[q] = Q_2 E[w];$$

dove b e $\text{Var}[s]$ sono la media e la varianza del tempo di servizio, funzioni dell'intervallo critico T e della portata Q_1 della corrente da attraversare.

In Figura 22 e in Figura 23 è riportato l'andamento del tempo medio di attesa e del numero medio di veicoli in attesa in funzione della portata Q_2 della corrente che svolta a sinistra, per un intervallo critico $T = 7$ sec e per diversi valori della portata Q_1 della corrente.

Per calcolare la lunghezza della zona di accumulo partendo dal numero di veicoli in attesa, si ritiene che ciascuno di essi occupi un tratto di 6 m della zona di accumulo. Allo scopo di garantire che con elevata probabilità i veicoli in attesa riescano ad essere ospitati nella zona di accumulo, occorre assegnare ad essa una lunghezza doppia di quella corrispondente al numero medio di veicoli in attesa.

	Q1 (eph)							
Q2 (eph)	100	200	300	400	500	600	700	800
50	0	0	0	12	12	12	12	12
100	0	0	0	12	12	12	12	24
150	0	0	0	12	12	24	24	108
200	0	0	0	24	24	36	48	∞
250	0	0	0	36	48	108	∞	∞
300	0	0	0	72	576	∞	∞	∞
350	0	0	0	∞	∞	∞	∞	∞
400	0	0	0	∞	∞	∞	∞	∞

Tabella 18 – Valori della lunghezza di accumulo (L_{aa} (m)) di una corsia specializzata per la svolta a sinistra.

In Tabella 18 sono riportati i valori della lunghezza di accumulo (L_{aa}) di una corsia specializzata per la svolta a sinistra in funzione dei flussi Q_1 (corrente principale) e Q_2 (svolta a sinistra). Si può osservare che per bassi flussi della corrente principale ($Q_1 < 400$ eph) non occorre prevedere un tratto di accumulo ($L_{aa}=0$), mentre per flussi della corrente principale maggiori il tratto di accumulo è necessario con lunghezze crescenti all'aumentare del flusso della corrente in svolta a sinistra (Q_2); per valori di Q_2 superiori a 200-300 eph il tratto di accumulo assume una lunghezza notevole, tendendo all'infinito.

Nota:

Il D.M. 19/04/2006 non impone valori minimi di L_{aa} ; le norme C.N.R. N. 90/83 sulle intersezioni in ambito urbano invece richiedevano una lunghezza minima di accumulo di 20 m.

2.10.4.2 Criterio di progettazione delle corsie di immissione nelle intersezioni a raso lineari

Se il terminale di una rampa d'immissione è provvisto di STOP, la lunghezza della coda e i tempi di attesa sulla rampa dei veicoli che vogliono immettersi si determinano con lo stesso criterio delle corsie di accumulo.

Nel caso dell'immissione è però fondamentale conoscere la legge di variazione dell'intervallo critico con la velocità dei veicoli della corrente principale in cui avviene l'immissione; per semplicità si formula l'ipotesi che tutti i veicoli transitino dinanzi alla linea dello STOP con la stessa velocità (che può essere assunta uguale alla media di quelle osservate).

Affinché l'immissione di un veicolo sia tale che il veicolo che segue non sia costretto a rallentare, è necessario che, nell'istante in cui il veicolo partito con velocità nulla dallo STOP ha raggiunto la velocità di quello che lo segue, la distanza tra i due veicoli non sia inferiore a quella di sicurezza. Il più piccolo intervallo temporale tra due veicoli della corrente principale, che consente un'immissione di questo tipo, è l'intervallo critico.

Se si indica con δ la distanza temporale di sicurezza fra due veicoli della corrente principale (che si può porre pari ad 1 secondo), l'intervallo critico è dato da:

$$T = \frac{v}{2a} + 2\delta;$$

dove v è la velocità media della corrente principale e a è l'accelerazione con cui avviene l'immissione, che viene posta pari a 1.2 m/s^2 .

Il valore così calcolato di T deve essere inserito nelle seguenti espressioni che forniscono la media e la varianza del *tempo di servizio* (s), al fine di calcolare il *tempo medio di attesa* $E[w]$ e il *numero medio di veicoli* in attesa $E[q]$.

$$E[s] = T + \frac{e^{KQ_1T} - \sum_{i=0}^K \frac{(KQ_1T)^i}{i!}}{Q_1 \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(KQ_1T)^i}{i!}}$$

$$Var[s] = \frac{(K+1) \left[e^{KQ_1T} - \sum_{i=0}^{K+1} \frac{(KQ_1T)^i}{i!} \right]}{KQ_1^2 \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(KQ_1T)^i}{i!}} + (E[s] - T)^2$$

dove K è un parametro che assume solo valori interi ed è legato alla portata Q_1 dalla relazione rappresentata in Figura 24.

Ottenuti i valori di $E[s]$ e di $Var[s]$, si calcolano con le formule del paragrafo precedente la media $E[q]$ del numero di veicoli in coda e la media $E[w]$ dei tempi di attesa in coda.

In sede di progetto è necessario raddoppiare la lunghezza della rampa di immissione calcolata moltiplicando il numero medio di veicoli in attesa per 6 m.

Nel caso di immissione senza STOP, l'intervallo critico è dato dalla seguente espressione:

$$\tau = \frac{v - v_i}{2a} + 2\delta;$$

dove v_i è la velocità media della corrette che vuole immettersi.

Al posto della portata Q_1 si deve introdurre la portata virtuale Q^* :

$$Q^* = Q_1 \frac{v - v_i}{v}.$$

Dalle espressioni precedenti si ricava il tempo medio di attesa per l'immissione. Moltiplicando tale valore per v_i si ottiene la lunghezza della rampa di immissione necessaria ad un veicolo il cui tempo di attesa sia $E[w]$. Anche in questo caso alla rampa di accelerazione deve essere assegnata una lunghezza doppia di quella calcolata.

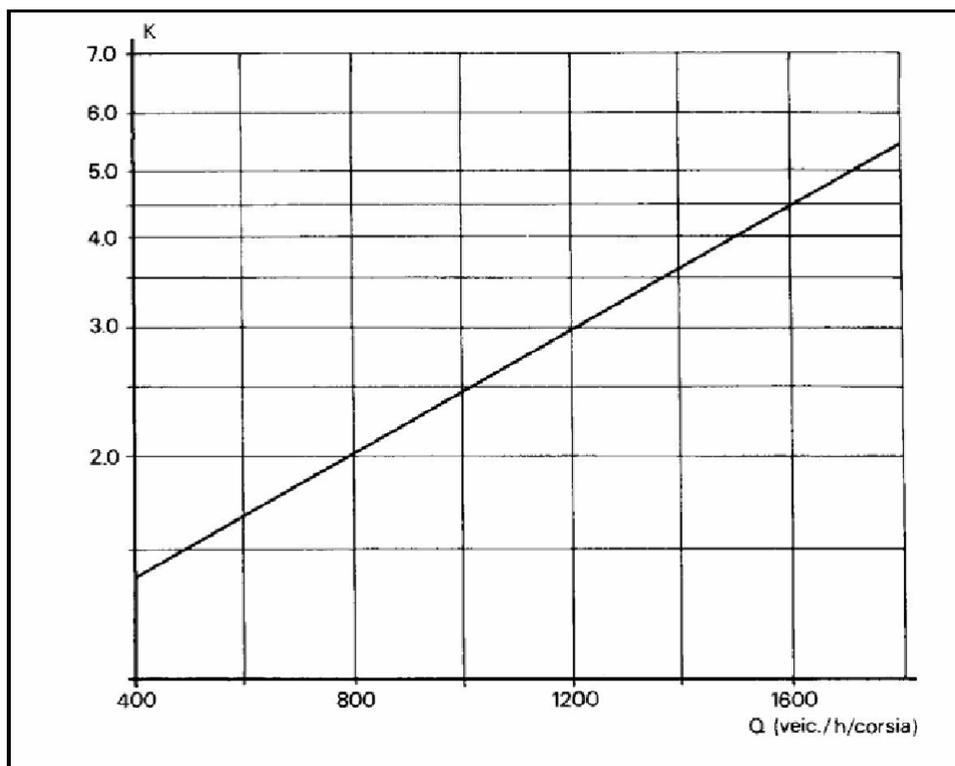


Figura 24 – Relazione K(Q).

2.10.4.3 Calcolo della capacità di una rotatoria

Si definisce capacità del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Tale valore di flusso dipende dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti i bracci della rotatoria. Non è pertanto possibile calcolare la capacità di un braccio se non è nota l'intera matrice M origine-destinazione della rotatoria, il cui generico elemento $m_{i,j}$ rappresenta il flusso in ingresso dal braccio i che esce al braccio j , dalla quale si ricava la matrice di distribuzione N , il cui generico elemento $n_{i,j}$ fornisce la frazione del flusso entrante dal braccio i che esce dal braccio j .

Per le rotatorie si hanno due diverse definizioni di capacità: la *capacità semplice* e la *capacità totale*.

Data una matrice M origine-destinazione, sia δ il più piccolo scalare che moltiplicato per M dia luogo ad un insieme di flussi entranti e uscenti dalla rotatoria tale che la capacità, come precedentemente definita, sia raggiunta su uno dei bracci. Il prodotto di δ per il flusso entrante da questo braccio che si ricava dalla matrice M è la *capacità semplice* della rotatoria.

Data una matrice di distribuzione N si definisce capacità totale della rotatoria la somma dei flussi in ingresso che, distribuendosi secondo N fra le diverse uscite, determinano il raggiungimento contemporaneo della capacità su tutti i bracci.

Il metodo di calcolo della capacità di una rotatoria è stato oggetto di studio in molti Paesi negli ultimi decenni, seguendo le linee indicate da Kimber nel 1980, il quale ricavò la relazione che lega la capacità di un braccio al flusso che percorre l'anello ed alle caratteristiche geometriche della rotatoria attraverso l'analisi statistica di dati raccolti su rotatorie in Gran Bretagna, tutte con priorità sull'anello. Egli dimostrò l'esistenza di una relazione lineare fra la capacità di un braccio e il flusso sull'anello, e pose in evidenza che, fra le caratteristiche geometriche della rotatoria, quelle che

hanno influenza maggiore sulla capacità di un braccio sono la larghezza della sua sezione trasversale corrente e quella della sua sezione allargata in corrispondenza dell'immissione.

I metodi di calcolo della capacità messi a punto nei diversi Paesi, pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale, differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diversi sono i tipi di rotatoria su cui sono stati ricavati i dati sperimentali, ma soprattutto per la diversità di comportamento degli automobilisti.

2.10.4.3.1 Metodo del SETRA

Lo studio a carattere prenormativo riporta il metodo del SETRA (Francia, 1987). Il metodo fornisce oltre al valore della capacità, anche il livello di servizio di una rotatoria. Sia la capacità che i flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora (eph). Per la trasformazione dei veicoli diversi dalle autovetture in eph si possono adottare i coefficienti di conversione proposti dalle Norme Svizzere (Tabella 19).

Tipo di veicolo	Coefficiente 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

Tabella 19 – Coefficienti di conversione in eph.

Il metodo del SETRA fa intervenire nel calcolo della capacità, oltre al traffico che percorre l'anello in corrispondenza di una immissione, anche il traffico che si allontana all'uscita immediatamente precedente, per cui definisce una relazione lineare tra la capacità e un *traffico complessivo di disturbo*, nel quale intervengono sia il flusso che percorre l'anello sia quello in uscita precedentemente definito.

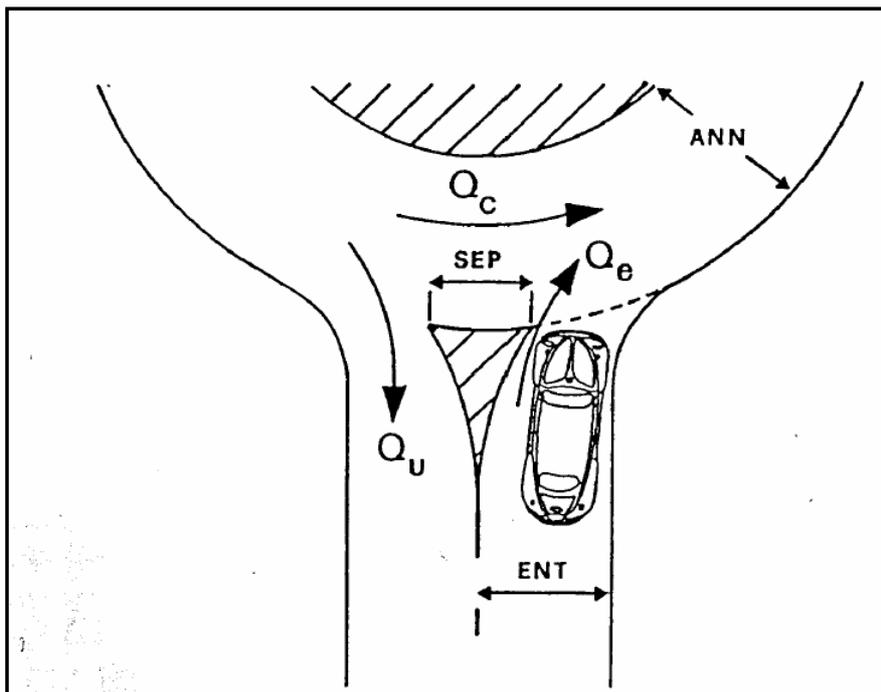


Figura 25 – Parametri che intervengono nel calcolo della capacità di una rotatoria.

Le grandezze che intervengono nel calcolo della capacità sono rappresentate in Figura 25: il flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione (Q_c), il flusso entrante (Q_e), il flusso uscente (Q_u), la larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio (SEP), la larghezza dell'anello (ANN), quella della semicarreggiata del braccio misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del 'dare precedenza' (ENT).

In altri termini la capacità del braccio (K), cioè il minimo valore di Q_e che dà luogo alla presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi, è una funzione così rappresentabile:

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

Attraverso una serie di passaggi, che vengono omissi per brevità, il metodo francese permette di calcolare la capacità semplice (K) e la capacità totale della rotatoria (Q).

A titolo di esempio una rotatoria compatta a norma (con diametro della corona esterna compreso tra 25 e 40 m), con 4 bracci di ingresso, flussi omogeneamente distribuiti (stessi flussi di ingresso e stessa percentuale di veicoli che escono nei vari rami), anello largo 7 m, bracci di ingresso monocorsia di larghezza 3.5 m, ha una capacità semplice (capacità del braccio) di 756 eph e una capacità totale di 3024 eph.

Nell'ipotesi di ingressi a due corsie di larghezza complessiva 6 m e anello largo 8.50 m (come previsto dalla norma) e flussi omogeneamente distribuiti si ottiene una capacità del braccio di 905 eph e una capacità totale di 3619 eph (si ha un aumento di capacità del 20% circa rispetto al caso di bracci ad ingresso singolo).

Un parametro che incide molto sulla capacità della rotatoria è la larghezza dell'isola separatrice (SEP). Gli esempi sopra riportati presuppongono una larghezza dell'isola separatrice di 15 m. Se la larghezza SEP si riduce ad esempio a 4 m la capacità semplice e la capacità totale diminuiscono: nel caso di ingressi ad una sola corsia si ha una capacità semplice di 624 eph (-17%) e una capacità totale di 2497 eph (-17%), nel caso di ingressi a doppia corsia si ha invece una capacità semplice di 740 eph (-18%) e una capacità totale di 2959 eph (-22%). La vicinanza tra le corsie di uscita e di entrata crea infatti indecisione in chi si deve immettere in rotatoria, perché deve valutare le intenzioni di chi si trova sull'anello (svolta a destra nell'uscita vicina, o prosegue lungo l'anello?); tali perdite di tempo si ridurrebbero notevolmente, se gli automobilisti utilizzassero le frecce direzionali prima di uscire dalla rotatoria.

La realizzazione di un anello più largo di quanto consentito dalla normativa porta ad un incremento della capacità: con $ENT=3.5$ m, $SEP=15$ m, $ANN=7+3.5$ m (l'equivalente di 3 corsie) e flussi omogeneamente distribuiti, si ha: $K=857$ eph e $Q=3430$ eph (+13%); con $ENT=6$ m, $SEP=15$ m, $ANN=9+4.5$ m (l'equivalente di 3 corsie) e flussi omogeneamente distribuiti, si ha: $K=1134$ eph e $Q=4536$ eph (+25%).

Attenzione però: l'aumento di capacità è puramente teorico; in presenza di anelli molto larghi risulta difficoltoso per i conducenti spostarsi dall'interno della corona rotatoria all'esterno verso il braccio di uscita; inoltre, a parità di diametro esterno, in una rotatoria con anello largo come 3 corsie è più difficile soddisfare la verifica di deflessione.

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

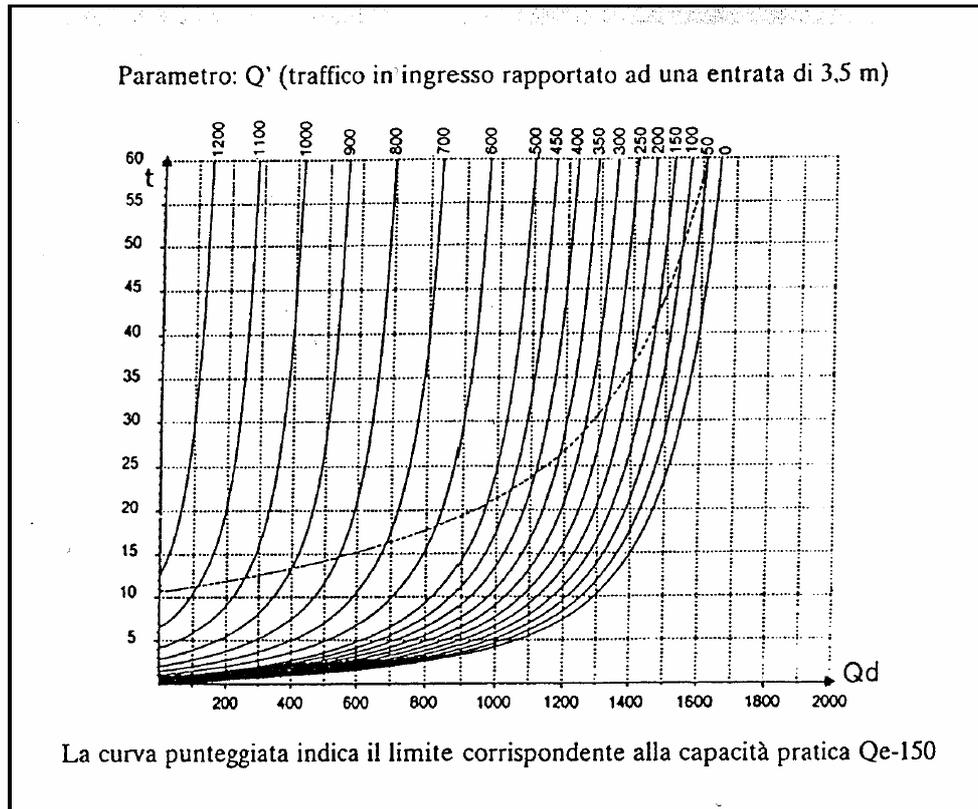


Figura 26 – Diagramma per la determinazione del tempo medio di attesa su un braccio di rotatoria.

Con tale modello sono stati ricavati dal SETRA i diagrammi di Figura 26 e Figura 27, nei quali sono riportati rispettivamente i tempi medi di attesa ed il 99° percentile della lunghezza di coda su un braccio di rotatoria in funzione del flusso di disturbo Q_d sull'anello e del flusso entrante equivalente Q'_e , che si calcola con la seguente formula:

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

Per *capacità pratica* si intende il flusso entrante a capacità totale della

rotatoria ridotto di 150 eph; la capacità pratica è il parametro da utilizzare come riferimento nella progettazione di una rotatoria, in modo da evitare che nei bracci si formino code in ingresso.

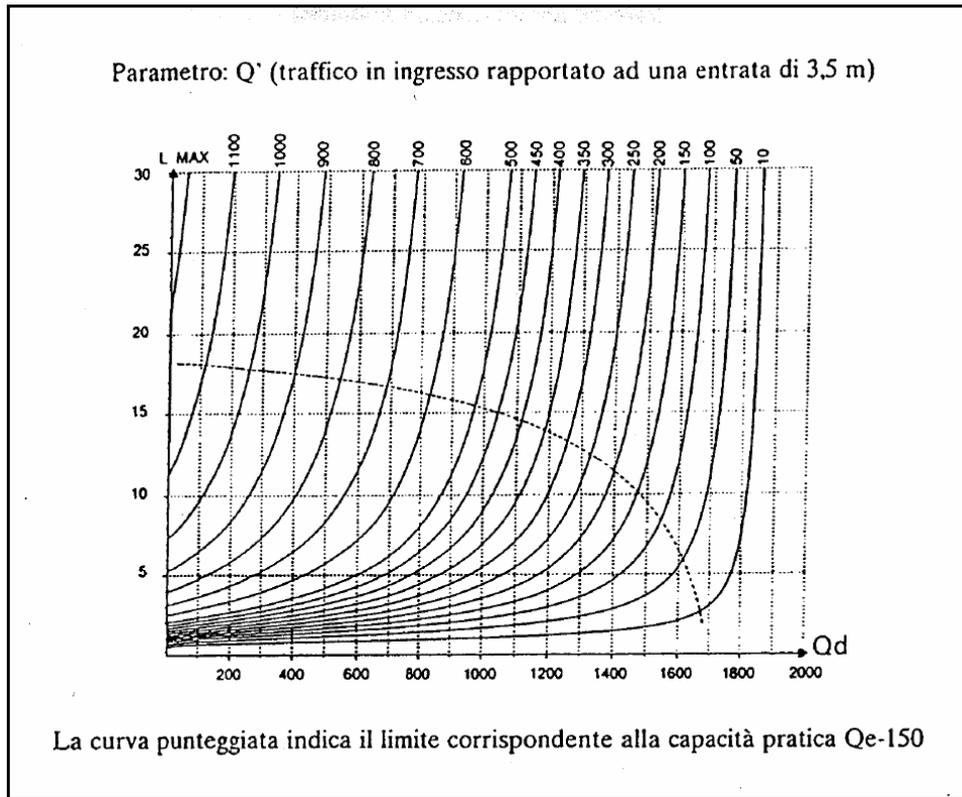


Figura 27 - 99° percentile del numero di veicoli in attesa su un braccio di rotatoria.

Utilizzando il tempo di attesa medio, valutato separatamente per ciascuna entrata, si può determinare il *livello di servizio* facendo riferimento alla Tabella 20 fornita dalla Norma Svizzera SNV 640022). Il braccio che presenta il livello di servizio più basso è determinante per l'intera rotatoria.

Livello di servizio	Tempo d'attesa medio
A	≤ 10 s
B	≤ 15 s
C	≤ 25
D	≤ 45
E	> 45
F	flusso in ingresso superiore alla capacità

Tabella 20 – Livello di servizio in funzione del tempo medio d'attesa.

Ad esempio, nel caso di rotatoria con ENT=3.5 m, SEP=15 m, ANN=7 m e flussi omogeneamente distribuiti, per un flusso di ingresso $Q'_e = 600$ eph si ricava un flusso di disturbo $Q_d=651$ eph e, dai diagrammi, un tempo medio di attesa di 10 s, una coda di 8 veicoli, un livello di servizio A.

Il metodo di calcolo della capacità di una rotatoria può essere ritenuto valido sia per le rotatorie extraurbane sia per quelle urbane, dal momento che il metodo si basa su rilievi sperimentali effettuati su entrambi i tipi di rotatoria.

2.10.4.3.2 Metodo del CETUR

Il CETUR francese propone comunque alcune formule adatte alle rotatorie urbane, che vengono riportate dallo studio a carattere prenormativo. Dall'applicazione di tali formule, a parità di caratte-

ristiche geometriche, si ottengono capacità decisamente superiori rispetto a quelle ottenibili con il metodo del SETRA.

2.10.4.3.3 Metodo di Kimber

Degno di nota è il metodo di Kimber, studioso inglese, il quale avvalendosi delle sperimentazioni del TRRL inglese, riuscì a dimostrare l'esistenza di una relazione lineare fra la capacità di un braccio e il flusso circolante sull'anello, ponendo in evidenza come tra tutte le caratteristiche geometriche di una rotatoria, quelle che maggiormente influiscono sulle capacità dei bracci siano le larghezze della sezione trasversale prima e in corrispondenza dell'ingresso (la cosiddetta "svasatura").

Diversamente dal metodo francese, che non considera molti elementi geometrici della rotatoria, il metodo di Kimber appare più accurato. La capacità di ogni singolo braccio può essere così sinteticamente espressa:

$$K = f(Q_c, E, V, L', D, R_i, \Phi)$$

I parametri geometrici considerati nel metodo di Kimber sono (Figura 28, Figura 29 e Figura 30):

- Ampiezza V (m) della semicarreggiata di entrata prima dell'inizio dell'eventuale svasatura.
- Ampiezza E (m) dell'entrata, misurata in corrispondenza dell'anello della rotatoria.
- Diametro D (m) della corona giratoria.
- Raggio d'ingresso R_i (m).

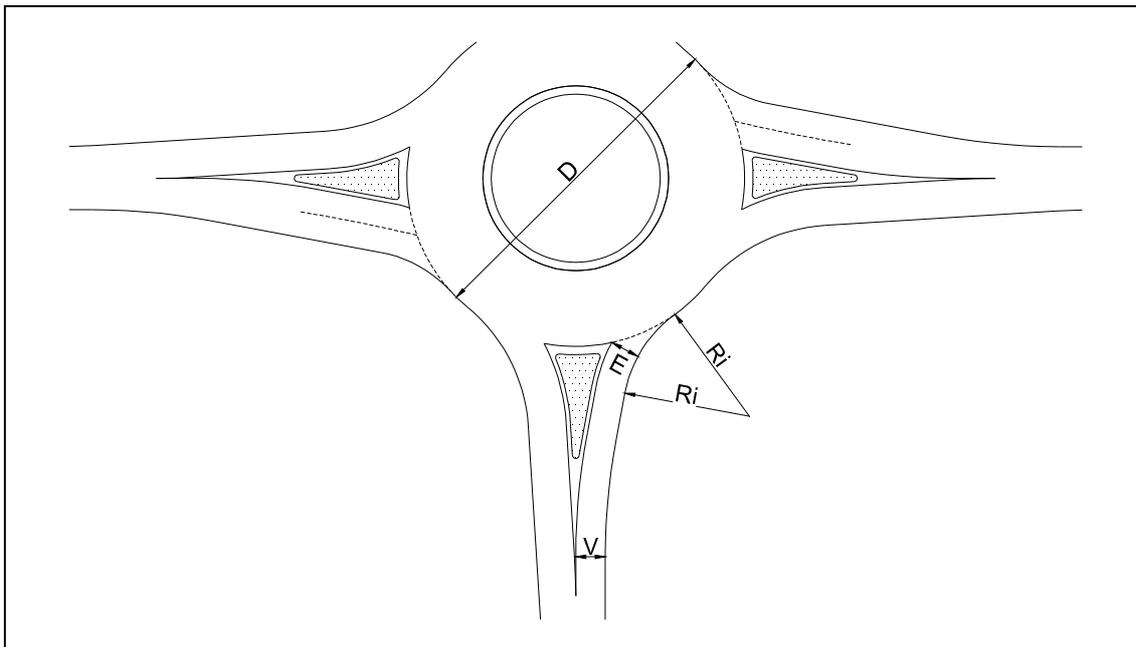


Figura 28 - Determinazione di V-E-D-Ri.

- Lunghezza media della svasatura L' (m) che si ottiene con un procedimento geometrico (si tratta grossomodo della lunghezza del tratto in cui la corsia di entrata viene allargata).

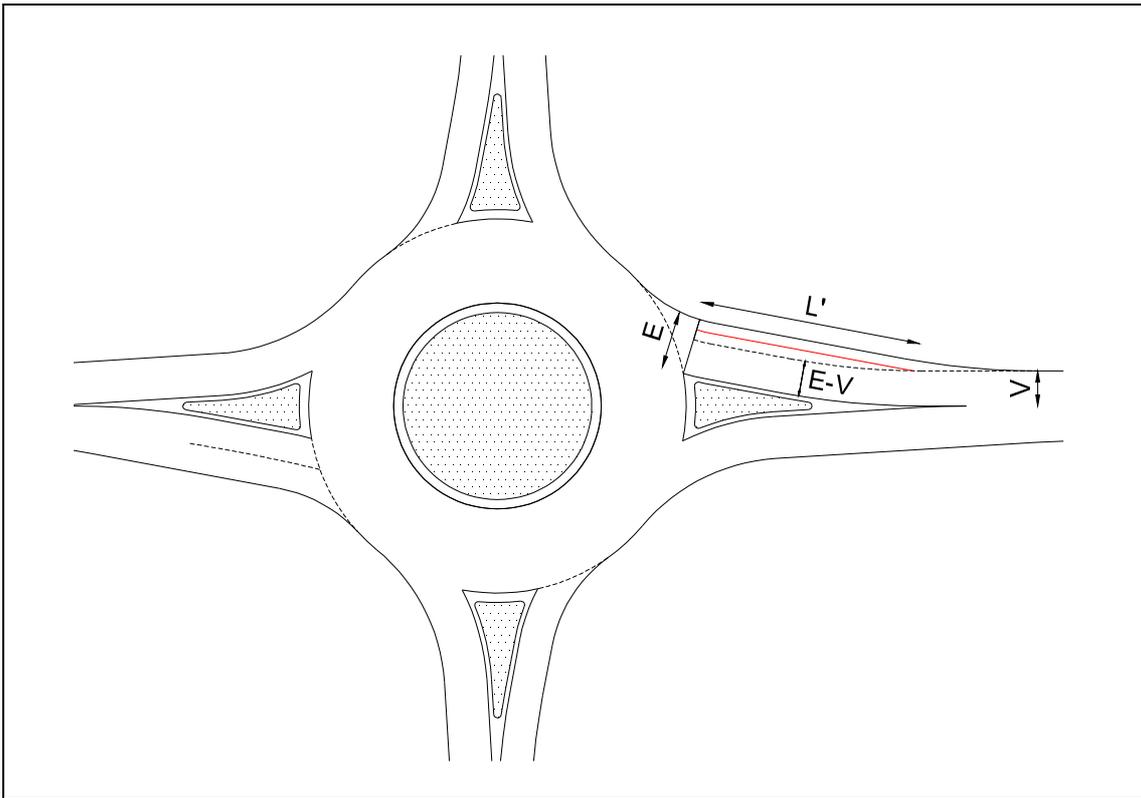


Figura 29 - Determinazione di L' .

- La strettezza della svasatura S che rappresenta la velocità di variazione della sezione di entrata.
- L'angolo di ingresso o di immissione ϕ ($^\circ$) delle correnti di traffico entranti rispetto al traffico circolante sull'anello e diretto all'uscita successiva.

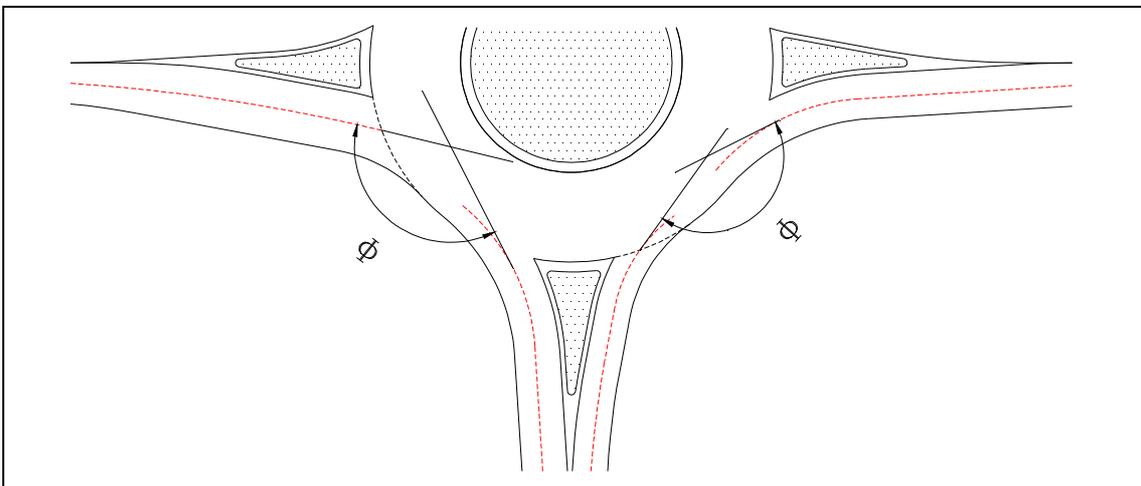


Figura 30 - Determinazione di ϕ .

Nota:

Nei casi più controversi (ad esempio rotonde ai limiti di capacità) può essere utile confrontare le capacità calcolate con i metodi del SETRA e di Kimber, in modo da capire se alcuni accorgimenti geometrici (svasatura dei bracci, aumento del diametro dell'anello, diversa angolazione dei rami) possono favorire incrementi di capacità.

2.10.4.4 Criteri di progettazione delle corsie di immissione e delle zone di scambio nelle intersezioni a più livelli

Le *corsie di immissione* nelle intersezioni a più livelli vengono dimensionate con criteri identici a quelli delle intersezioni a raso (§2.10.4.2).

Le zone di scambio, occorrenti per l'attraversamento reciproco di due correnti di traffico che procedono nella stessa direzione, vengono dimensionate con il metodo americano dell'HCM.

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 dall'unione delle due corsie, una di immissione e una di decelerazione. In tal 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 nella corsia ausiliaria (Figura 31).

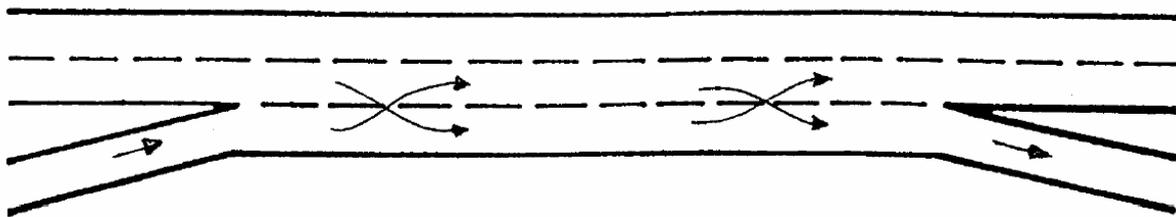


Figura 31 – Zona di scambio.

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 (Figura 32).

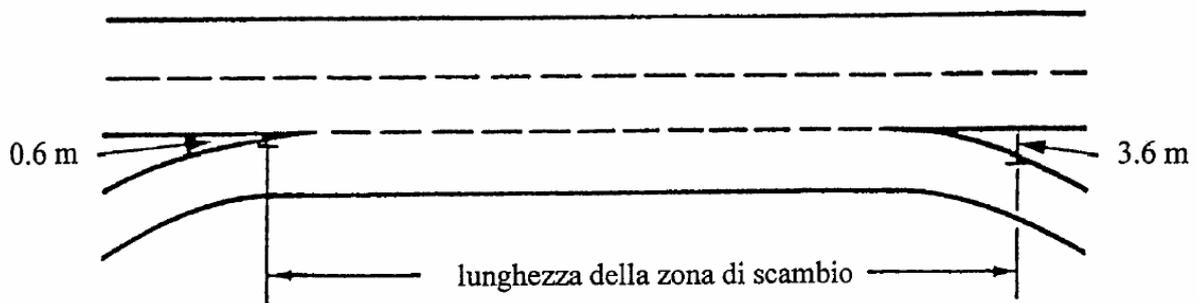


Figura 32 – Definizione della lunghezza di scambio.

Il metodo proposto dall'Highway Capacity Manual, non riportato nella presente dispensa per brevità, è in realtà 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), si determina la densità veicolare nella zona di scambio e il corrispondente livello di servizio.

In Tabella 21 è riportato il livello di servizio della zona di scambio in funzione della densità veicolare. Pur essendo previsto dall'HCM, lo studio a carattere prenormativo sconsiglia l'utilizzo di una doppia corsia di scambio per la riduzione della densità veicolare (eccessiva lunghezza della zona di scambio, difficoltà di interpretazione da parte dei guidatori, etc.).

Densità [auto/km per corsia]	Livello di servizio
6,25	A
12,50	B
17,50	C
22,00	D
≤ 27,00	E
> 27,00	F

Tabella 21 - Livello di servizio della zona di scambio in funzione della densità veicolare.

2.10.5 Caratteristiche geometriche degli elementi delle intersezioni

Di seguito sono riportati alcuni criteri di progettazione geometrica delle intersezioni proposti dallo studio a carattere prenormativo e tralasciati dalla norma.

- In Figura 33 sono rappresentate le regole di *sagomatura dei tratti di manovra e di raccordo*, valide sia per le intersezioni a raso, sia per le intersezioni a livelli sfalsati.

- La norma italiana, diversamente dalle norme straniere, non prescrive la verifica delle *fasce veicolari di ingombro dinamico* dei veicoli pesanti nelle intersezioni a raso. Lo studio a carattere prenormativo fornisce una serie di schede con le fasce di ingombro di diversi tipi di veicolo pesante, per differenti angoli di deviazione della traiettoria. In Figura 34 sono riportate, a titolo di esempio, le fasce di ingombro di un autoarticolato per un angolo di deviazione di 90°.

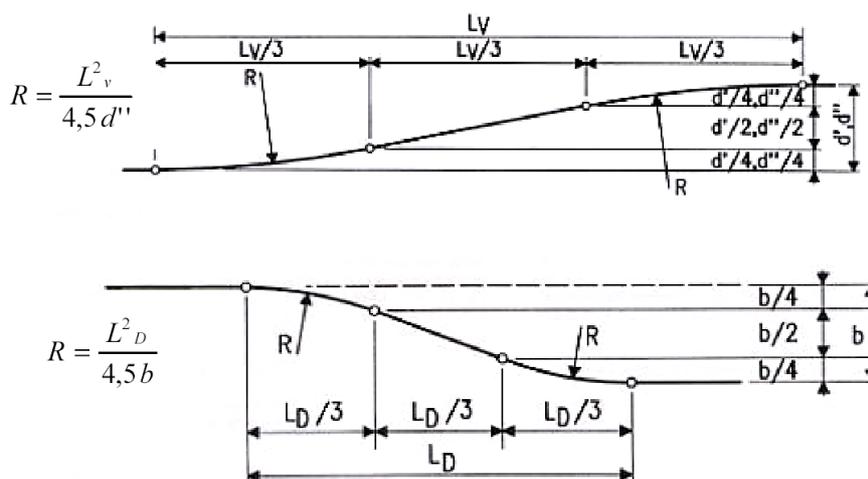


Figura 33 – Sagomatura dei tratti di manovra e di raccordo.

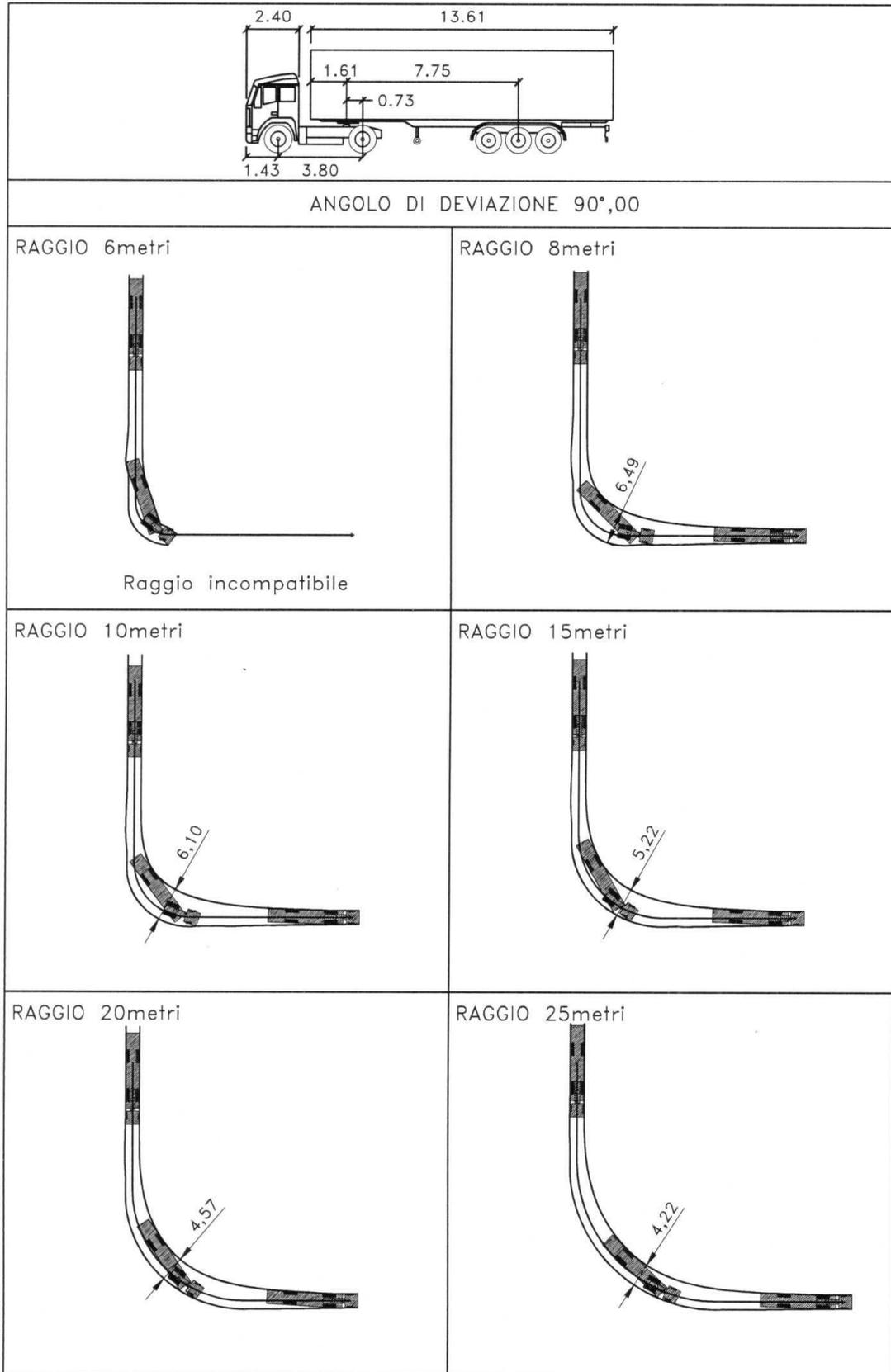


Figura 34 – Esempio di fascia di ingombro dinamico di un autoarticolato.

- La norma italiana non fornisce alcuna indicazione sulla costruzione delle isole a goccia sulla strada secondaria. Le norme svizzere presentano un criterio ben consolidato e adottato anche nel testo del prof. Da Rios. Lo studio a carattere prenormativo riprende il metodo francese, basato su un triangolo di costruzione rispetto al quale si iscrivono i raggi di svolta a sinistra in entrata e in uscita rispetto alla strada principale. Il triangolo si adatta anche ad angolazioni non ortogonali degli assi viari confluenti. Le dimensioni del triangolo dipendono dalla larghezza della strada secondaria, nonché da una collocazione disassata di 0.5 m rispetto alla mezzzeria della secondaria, che favorisce le svolte a sinistra in uscita dalla stessa (Figura 35). Altri parametri geometrici sono indicati in Figura 36 nei due casi distinti di presenza o meno di isole sulla strada principale.

Di seguito sono elencati i parametri geometrici che intervengono nella costruzione dell'isola a goccia:

- larghezza della carreggiata secondaria (l);
- altezza del triangolo di costruzione ($H = 4 l$);
- base del triangolo di costruzione ($B = H/2 = 2 l$);
- lato minore del triangolo ($b_1 = 0,55 l$);
- lato maggiore del triangolo ($b_2 = 1,45 l$);
- raggio di uscita in sinistra ($R_{is} = 2 l + a$);
- raggio di entrata in sinistra ($R_{ie} = 2 l + b$);
- raggio di raccordo dell'isola in entrata ($R_{re} = 8 l$);
- raggio di raccordo dell'isola in uscita ($R_{rs} = 16 l$).

Il progetto dell'intersezione parte dalla definizione geometrica dell'isola a goccia; in seguito vengono disegnate le corsie ed eventualmente le isole accessorie direzionali, il cui inserimento va previsto preferibilmente in presenza di corsie specializzate per la decelerazione o l'immissione.

L'isola a goccia della strada secondaria deve essere materializzata e non deve essere realizzata con la semplice segnaletica orizzontale.

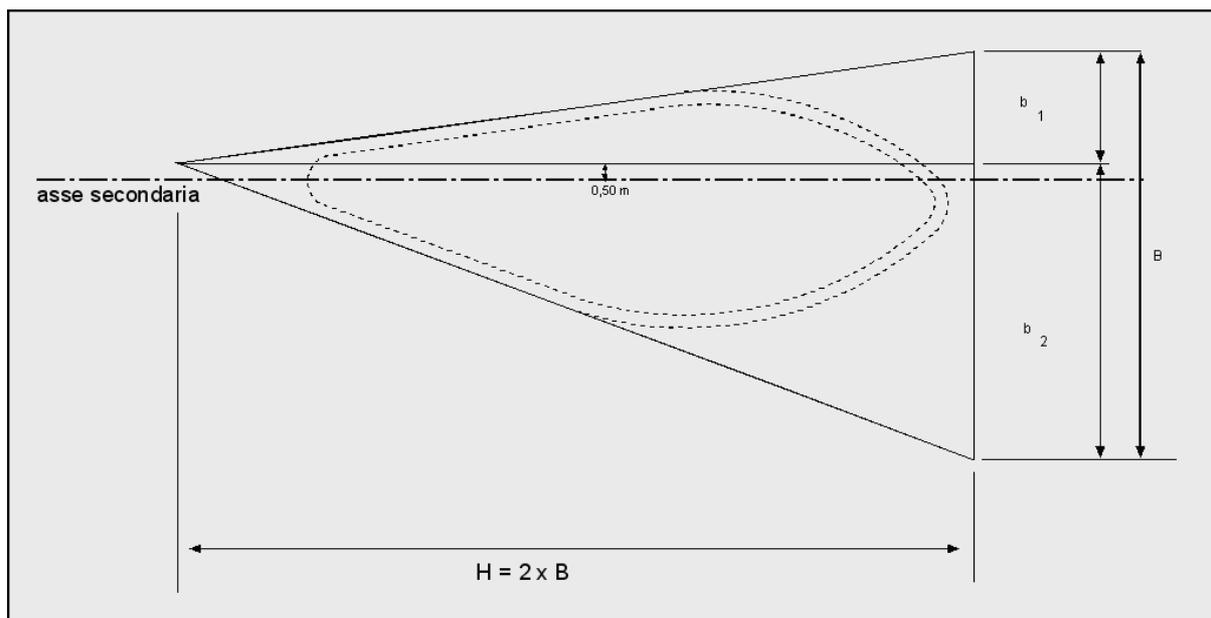


Figura 35 – Triangolo di costruzione dell'isola a goccia.

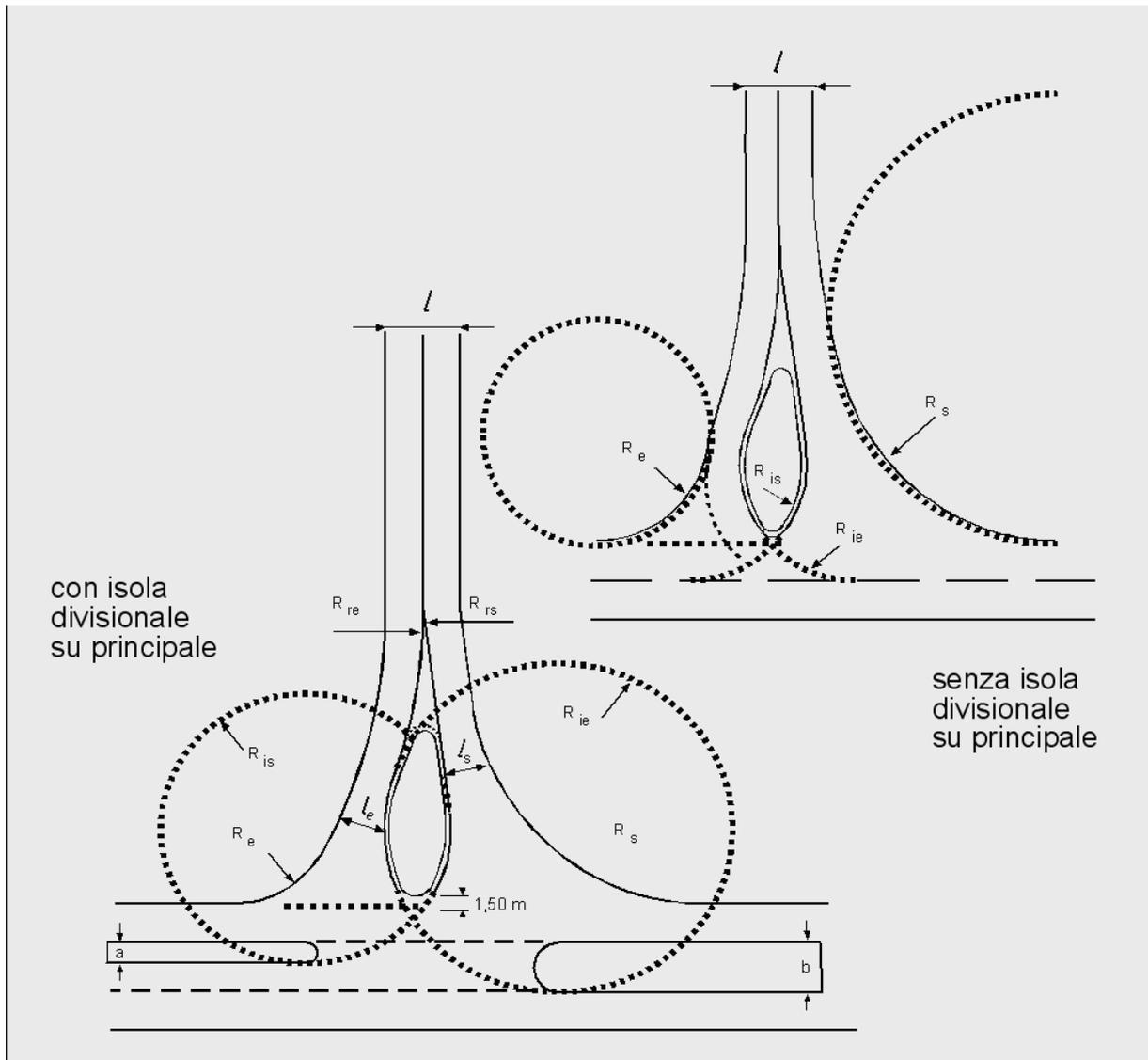


Figura 36 – Tracciamento dell'isola a goccia.

- I *cigli* delle corsie esterne sono sagomati secondo una tricentrica, come previsto dalle norme C.N.R. del 1973 (Figura 37):

$$R_1:R_2:R_3=2.5:1:5.5;$$

$$\alpha+\beta+\delta=\gamma; \alpha=\delta; \beta=5.5\alpha.$$

I valori minimi di R_2 oscillano tra 8 e 12 m.

Nota:

I cigli sono asimmetrici: nella corsia di immissione nella strada secondaria R_1 e R_3 devono essere invertiti, anche se ciò non è indicato espressamente in figura.

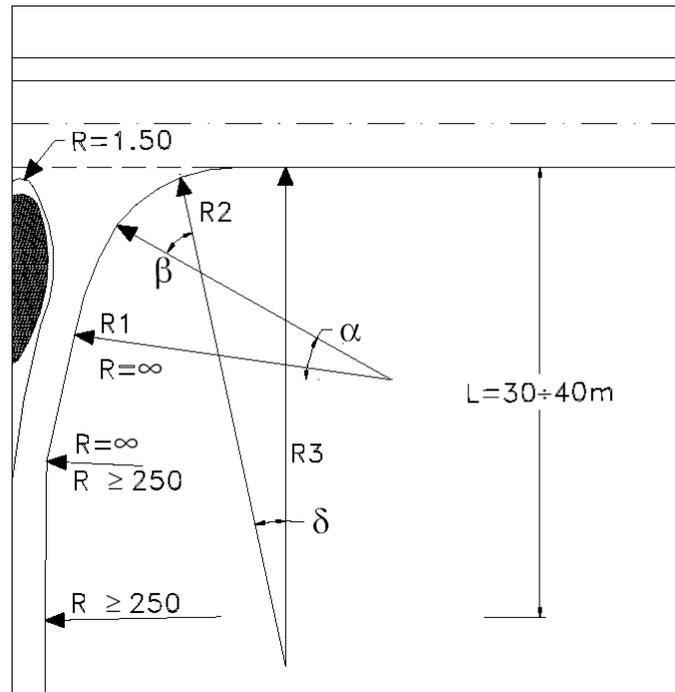


Figura 37 – Parametri della tricentrica di ciglio.

- I bordi dell'*isola triangolare direzionale* devono seguire i bordi delle vie di circolazione (Figura 38). In funzione della velocità di progetto V_P (V_{P1} , V_{P2} e V_{P3}) si adotta un arretramento corrispondente a (a_1 , a_2 , a_3) dei bordi dell'isola di separazione rispetto a quelli delle vie di circolazione come segue:
 - un arretramento costante a_1 e a_3 lungo le vie di circolazione rettilinee;
 - un arretramento variabile lungo la corsia per la svolta a destra: tale arretramento vale a_2 all'inizio per decrescere fino ad annullarsi in corrispondenza della fine dell'isola triangolare.

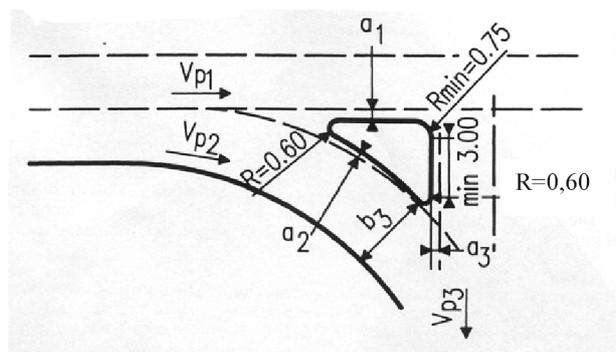


Figura 38 – Parametri per il tracciamento delle isole triangolari.

V_P [km/h]	a [m]
< 50	0,30
50 ÷ 70	$\geq 0,40$
> 70	$\geq 0,50$

Tabella 22 – Valori dell'arretramento dell'isola triangolare in funzione della velocità di progetto.

In Tabella 22 sono riportati i valori dell'arretramento in funzione della velocità di progetto.

2.10.5.1 Elementi geometrici delle rotatorie

Sulla geometria delle rotatorie lo studio a carattere prenormativo presenta alcuni requisiti in più rispetto a quanto indicato dalla norma; molti di essi sono tratti dalle norme francesi.

- E' opportuno evitare il posizionamento della rotatoria in curva o all'uscita da una curva; le norme francesi affermano che una nuova rotatoria dovrebbe essere costruita all'interno di un rettilineo lungo almeno 250 m; tale lunghezza può essere ridotta a 150 m nel caso di adeguamento di un'intersezione esistente.

- La posizione dell'isola centrale è ottimale quando tutti gli assi dei bracci che confluiscono nella rotatoria passano per il centro della rotatoria stessa. Se non è possibile realizzare una configurazione di questo tipo, si può permettere una leggera eccentricità verso destra, mentre è da evitarsi che la direzione del braccio induca un ingresso tangenziale (Figura 39).

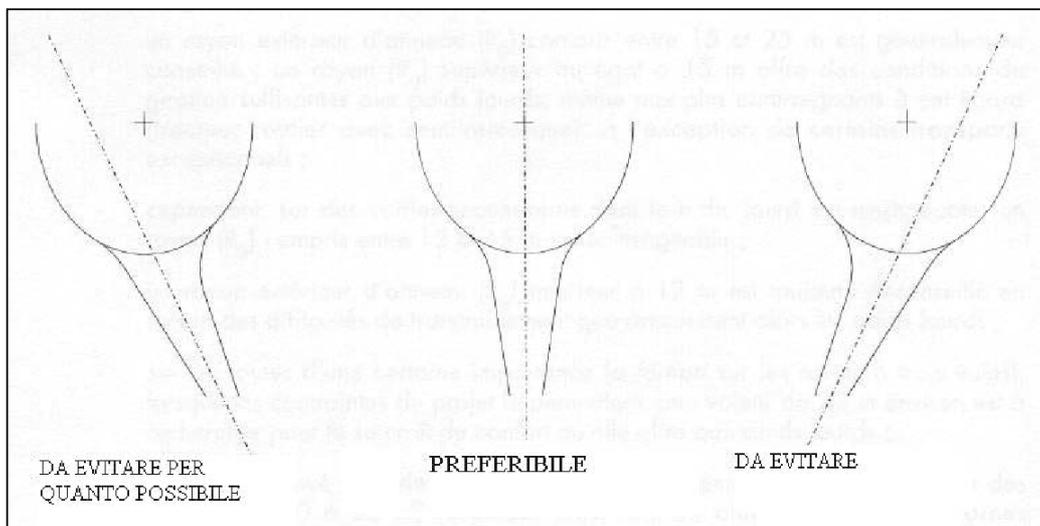


Figura 39 – Ammissibilità della direzione di ingresso in rotatoria.

- E' opportuno escludere una configurazione dell'approccio alla rotatoria in "curva e contro-curvaⁱⁱⁱ".
- E' opportuno non posizionare filari di alberi lungo i bracci di accesso alla rotatoria che possono dare l'illusione di continuità dell'itinerario.
- E' da escludere un'isola centrale di forma non circolare.
- E' da escludere un anello di larghezza variabile.
- E' da escludersi una pendenza dell'anello verso l'interno della rotatoria^{iv}.

ⁱⁱⁱ Nel caso di rotatoria posta alla fine di un lungo rettilineo le norme francesi e americane invece ammettono un approccio a forma di "S" con raggi relativamente grandi, allo scopo di indurre i conducenti a rallentare.

^{iv} La pendenza trasversale rivolta verso l'esterno facilita il raccordo delle piattaforme dei rami con quella dell'anello e consente lo smaltimento delle acque verso l'esterno dell'anello (non è quindi necessario installare nell'isola centrale alcun dispositivo per la raccolta delle acque); la pendenza trasversale verso l'esterno non contribuisce alla stabilità del veicolo in curva lungo l'anello; tuttavia nelle rotatorie compatte e nelle mini rotatorie ciò può essere ritenuto poco importante per le basse velocità veicolari e per la varietà di traiettorie che interessano l'anello (ingressi, uscite, spostamenti verso l'interno o verso l'esterno della corona), che possono avere anche una curvatura opposta a quella dell'anello.

- E' da evitare la presenza di una corsia specializzata per la svolta a destra sull'anello.
- Le sezioni tipo di una rotatoria compatta e di una minirotatoria sono rappresentate in Figura 40 e in Figura 41 (tratte dalle norme francesi). Si noti la presenza della zona sormontabile, ammessa solo nelle minirotatorie, di una fascia libera di 2 m nelle isole e della pendenza trasversale rivolta verso l'esterno. Le dimensioni devono evidentemente essere adattate a quelle stabilite dalla norma.

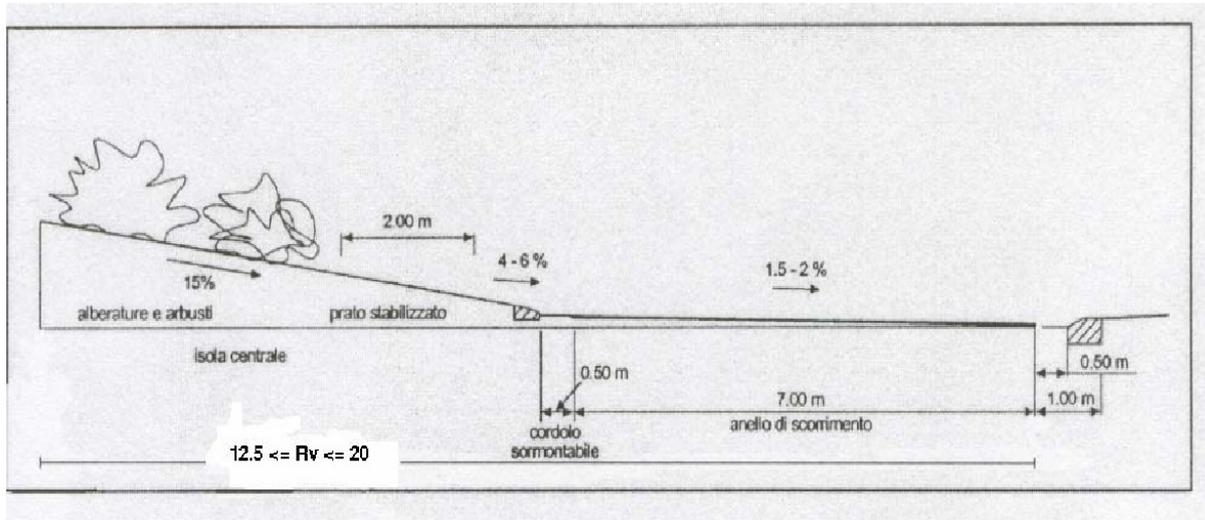


Figura 40 – Sezione tipo di una rotatoria compatta.

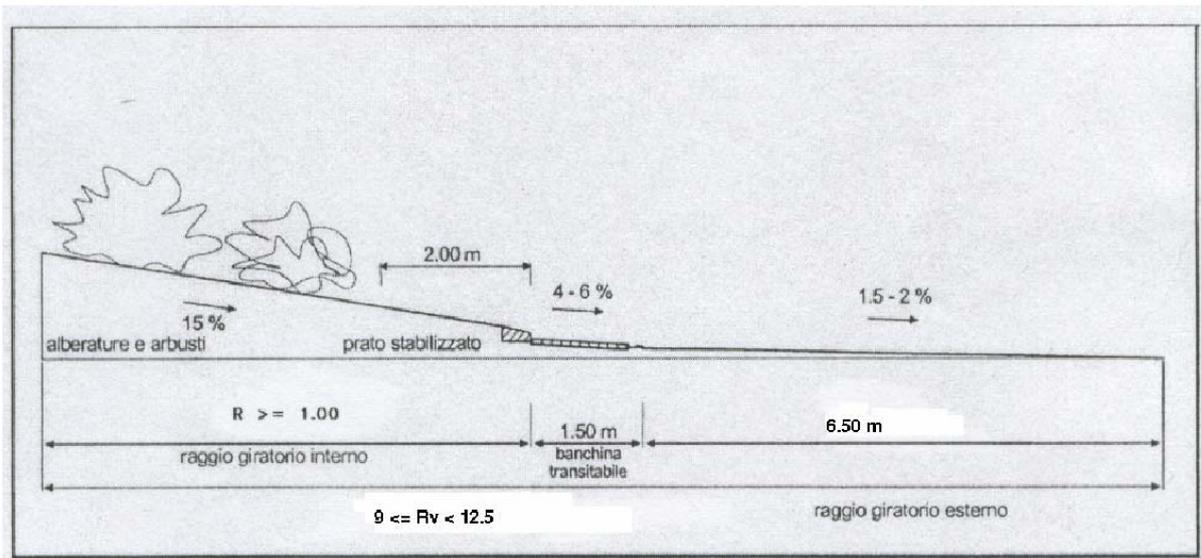


Figura 41 – Sezione tipo di una minirotatoria.

- Diversamente dalla norma, lo studio a carattere prenormativo effettua la verifica della deflessione di una traiettoria con il metodo francese: si definisce deflessione di una traiettoria il raggio dell'arco di cerchio che passa a 1.50 m dal bordo dell'isola centrale e a 2.00 m dal ciglio delle corsie di entrata e di uscita (Figura 42); tale raggio non deve superare il valore di 100 m. La verifica della de-

Nelle rotatorie di grande diametro (indicativamente per $D > 40-50$ m) è invece opportuno introdurre una pendenza trasversale verso l'interno in quanto aumentano le velocità veicolari e la lunghezza di tracciato curvilineo percorso dai veicoli.

flessione deve essere eseguita sia per le traiettorie tra bracci opposti, sia per quelle tra bracci adiacenti; la verifica va adottata sia per le minirotatorie sia per le rotatorie compatte.

- L'isola di separazione deve essere contornata da un ciglio non sormontabile sagomato, preferibilmente retro-riflettente. Il tracciamento delle strisce di demarcazione va effettuato ad una distanza pari a 0.50 m dai bordi dell'isola separatrice. Il colore della superficie dell'isola separatrice deve essere preferibilmente chiaro e deve presentare un contrasto sufficientemente elevato rispetto a quello della superficie della carreggiata.

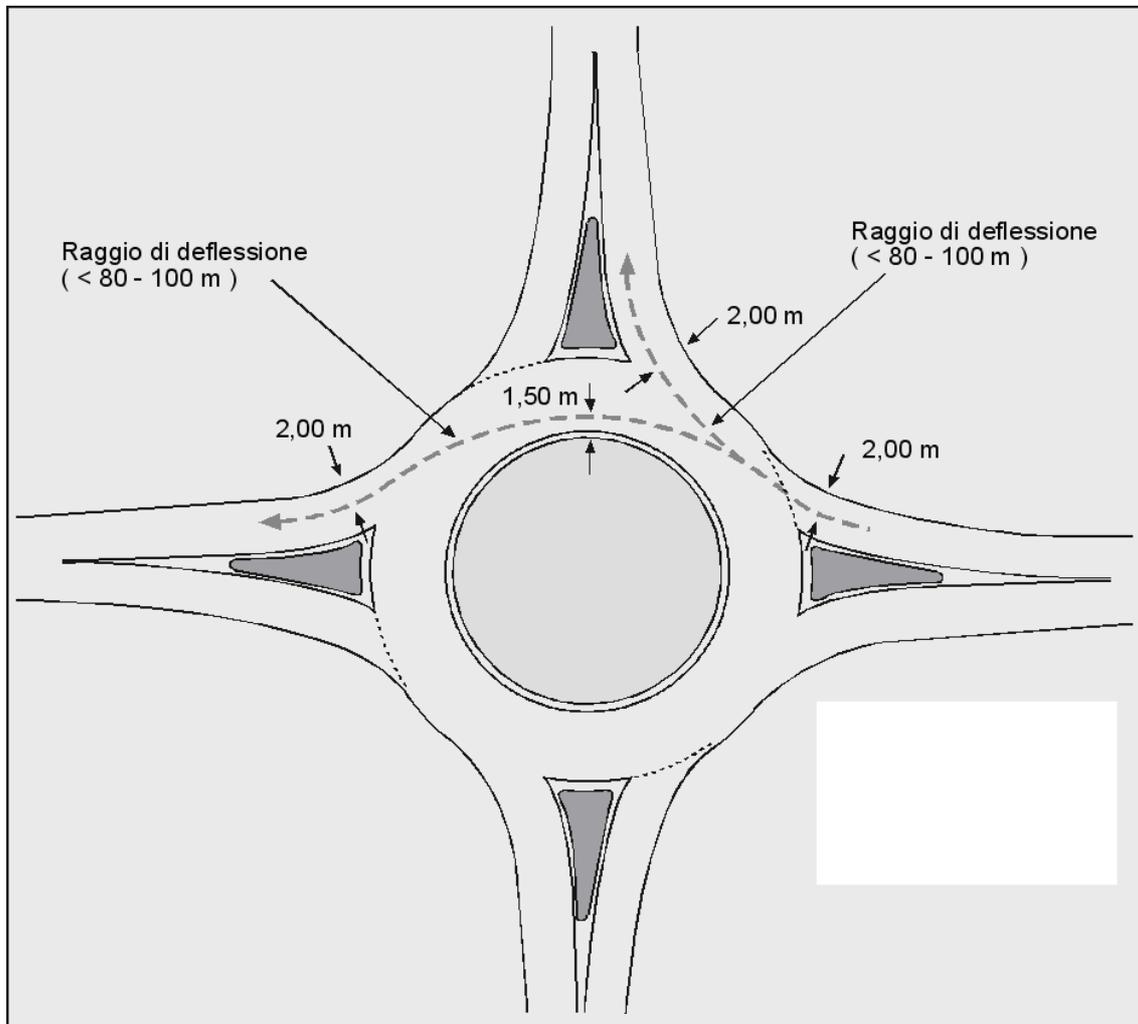


Figura 42 – Verifica di deflessione delle traiettorie.

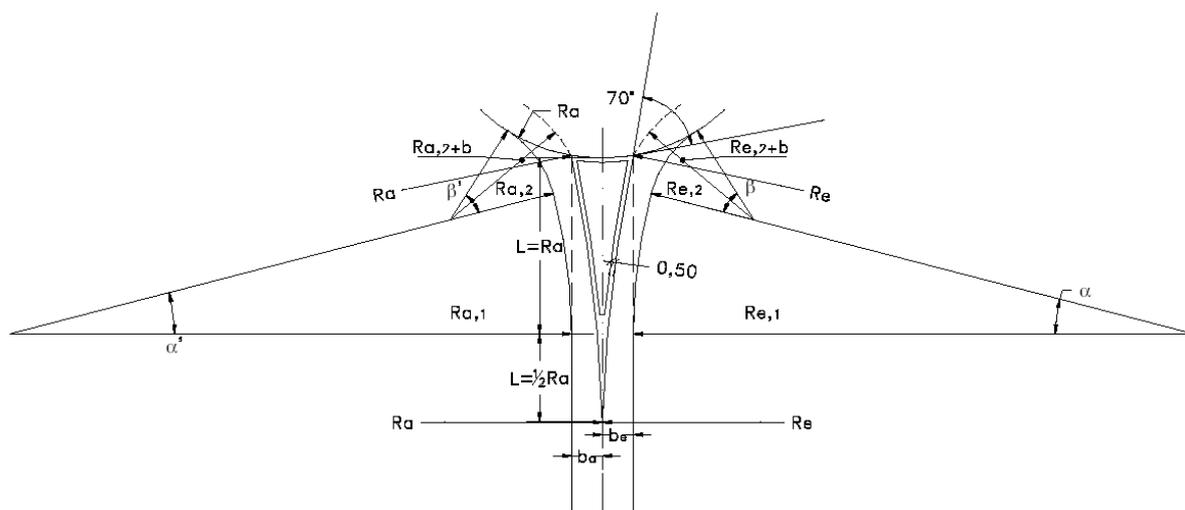


Figura 43 – Indicazioni per il tracciamento dell'isola separatrice.

- Il tracciamento dell'isola separatrice avviene con le indicazioni riportate in Figura 43. I valori dei raggi delle corsie di entrata e di uscita sono indicati in Tabella 23 e in Tabella 24.

Nota:

In realtà si tratta di un criterio per il tracciamento dei cigli esterni dei rami di ingresso e di uscita; diverse norme straniere utilizzano invece come punto di partenza la geometria dell'isola separatrice, oppure impostano il progetto delle corsie di entrata e di uscita con criteri finalizzati a ad evitare il problema del “path overlap” (sovrapposizione di traiettorie).

Ambito urbano		Ambito extraurbano	
$R_{e,2}$ [m]	10,00	$R_{e,2}$ [m]	12,00
$R_{e,1}$ [m]	$5 \cdot R_{e,2}$	$R_{e,1}$ [m]	$5 \cdot R_{e,2}$

Tabella 23 – Valori dei raggi della corsia di entrata.

Ambito urbano		Ambito extraurbano	
$R_{a,2}$ [m]	12,00	$R_{a,2}$ [m]	14,00
$R_{a,1}$ [m]	$4 \cdot R_{a,2}$	$R_{a,1}$ [m]	$4 \cdot R_{a,2}$

Tabella 24 – Valori dei raggi della corsia di uscita.

2.10.6 Caratteristiche geometriche degli accessi

Lo studio a carattere prenormativo riporta alcune indicazioni sulla geometria degli accessi non riprese dalla norma. Molte di esse derivano dalle norme C.N.R. N. 150/92 (“Norme sull’arredo funzionale delle strade urbane”) e dal Codice della Strada.

2.10.6.1 Accessi alle strade urbane

- Le strade di servizio devono collegarsi alla strada urbana di scorrimento mediante varchi a senso unico aventi una larghezza di 4.5 m e formanti un angolo di deviazione non superiore a 30° con l’asse stradale. Sulle strade urbane di scorrimento non sono consentite le manovre di svolta a sinistra, per le quali deve essere previsto lo sfalsamento altimetrico o il rinvio ad un’intersezione successiva.

- I passi carrabili per l'accesso ad un'area o ad un edificio non aperto al pubblico ed idoneo allo stazionamento di non più di tre autovetture devono avere una larghezza minima di 2.5 m. Per un numero di autovetture maggiore si applicano le prescrizioni relative a parcheggi, autorimesse, etc. descritte nel seguito.

- In corrispondenza del passo carrabile, i bordi del marciapiede devono essere raccordati con curve circolari di raggio pari a 5 m oppure pari alla larghezza del marciapiede, ove quest'ultima sia minore di 5 m.

- Qualora l'accesso alle proprietà laterali sia destinato anche a notevole traffico pedonale, deve essere prevista una separazione dell'entrata carrabile da quella pedonale.

- Qualora l'accesso dei veicoli alla proprietà laterale avvenga direttamente dalla strada, il passo carrabile deve essere realizzato in modo da favorire la rapida immissione dei veicoli nella proprietà laterale. L'eventuale cancello o portone a protezione della proprietà laterale dovrà essere arretrato di almeno 5 m allo scopo di consentire la sosta, fuori della carreggiata e del marciapiede, di un veicolo in attesa di ingresso. Nel caso di impossibilità costruttive, possono essere autorizzati sistemi di apertura automatica dei cancelli o delle serrande che delimitano gli accessi.

- Le infrastrutture destinate allo stazionamento delle autovetture (parcheggi, autorimesse e autosili) devono rispettare le seguenti prescrizioni:

I passi carrabili delle aree e degli edifici per la sosta aventi capacità non superiore a 15 posti auto devono avere una larghezza minima di 3.50 m; quelli aventi capacità uguale o superiore a 15 posti auto devono avere una larghezza minima di 5 m, tale da consentire l'incrocio dei veicoli (Figura 44, tratta dalle norme C.N.R. N. 150/92).

Nel caso di aree o di edifici per la sosta aventi notevole capacità, occorre prevedere la separazione degli ingressi e delle uscite, con rami a senso unico ciascuno della larghezza minima di 3.5 m; il passo carrabile deve essere adeguatamente illuminato.

- Nel caso di transito frequente di veicoli pesanti, si devono adottare una larghezza del passo carrabile di 6 - 10 m ed innesti sulla carreggiata con raccordo circolare di raggio pari a 6 m. Qualora l'accesso sia unico, si deve prevedere un'area interna di forma ed ampiezza tali da permettere, oltre allo stazionamento, anche l'eventuale inversione di marcia dei veicoli, al fine di evitare manovre di retromarcia sulla strada.

- Gli accessi ad insediamenti residenziali, produttivi, commerciali, turistici e ricreativi di grandi dimensioni devono essere progettati secondo i criteri geometrici e funzionali stabiliti per la progettazione delle intersezioni.

2.10.7 Altre indicazioni

Lo studio a carattere prenormativo affronta anche i seguenti argomenti, che non vengono trattati per brevità nella presente dispensa:

- percorsi pedonali e ciclabili;
- drenaggio delle acque;
- regolazione semaforica;
- analisi di sicurezza preventiva (safety audit);
- illuminazione.

Per quanto riguarda le piste ciclabili si cita il D.M. 30 novembre 1999, n. 557 "Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili", in cui si definiscono le sezioni tipo delle piste ciclabili e la loro geometria.

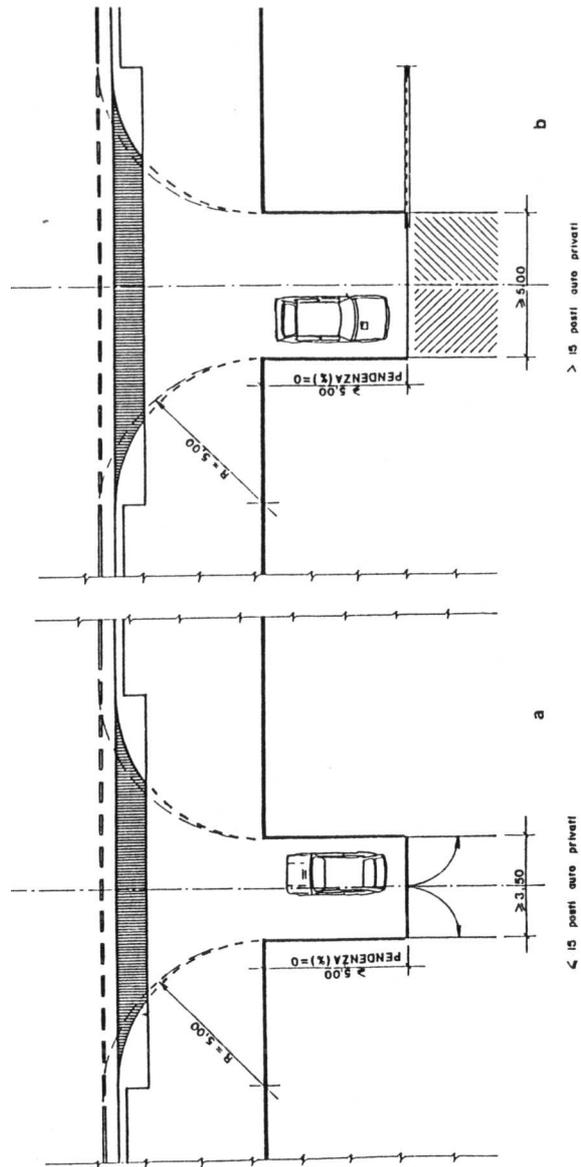


Figura 44 – Sistemazione dei passi carrabili (tratta dalle norme C.N.R. N. 150/92).

2.11 BIBLIOGRAFIA

- ANAS (1960 – 1963) – Circolari n. 1680 14/03/1960 e n. 733 30/04/1963 - Sistemazione degli accessi alle strade statali – Intersezioni semplici a “T”, a “Y” ed a “X” – Roma.
- C.N.R. (1973) – Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade – Bollettino ufficiale N. 31/73 – Roma.
- C.N.R. (1983) - Norme sulle caratteristiche geometriche e di traffico delle intersezioni stradali urbane - Bollettino ufficiale n. 90/83 – Roma.
- P. Ferrari, F. Giannini (1991) – Ingegneria stradale – Geometria e progetto di strade – ISEDI – Torino.
- C.N.R. (1992) - Norme sull'arredo funzionale delle strade urbane - Bollettino ufficiale n. 150/1992.
- D.L. 30/04/1992 n. 285 e successive modifiche e integrazioni – Codice della strada – Roma.
- D.P.R. 16/12/1992 n. 495 e successive modifiche e integrazioni – Regolamento di esecuzione e di attuazione del Codice della strada – Roma.
- G. Da Rios (1999) - Progetto di intersezioni stradali – UTET (TO).
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (1999) – D.M. 30/11/1999, n. 557 - Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale (2001) - “Studio a studio a carattere prenormativo - Rapporto di sintesi - Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”, 10/09/2001 – Roma.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – D.M. 19/04/2006 – “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” – Roma.
- T. Esposito, R. Mauro (2003) – “La geometria stradale” – Hevelius Edizioni – Benevento.
- L. Domenichini, F. La Torre (2004) - Documentazione del seminario: “Geometria delle Strade – Le nuove norme per le intersezioni e per gli adeguamenti delle strade esistenti. Il corpo normativo per il progetto dei tracciati stradali, delle intersezioni e degli adeguamenti delle strade esistenti.” – Roma, 11-12 novembre 2004.
- Regione Lombardia (2005) - DGR n° 7/20829 del 16/02/2005 – Linee guida su zone di intersezione – Milano.
- M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita (2005) – “Strade Ferrovie Aeroporti - La progettazione geometrica in sicurezza” – EPC Libri – Roma.
- S. Canale, N. Distefano, S. Leonardi, G. Pappalardo (2005) – “Progettare le rotatorie - Tecniche per la progettazione e la verifica delle intersezioni a circolazione rotatoria” – EPC Libri – Roma.
- F. Annunziata, E. Cecere, M. Coni, F. Maltinti, F. Pinna, S. Portas (2007) – Progettazione stradale – Dalla ricerca al disegno delle strade – Dario Flaccovio Editore – Palermo.
- V. Curti, L. Marescutti, L. Mussone (2008) – Rotonde – Tecnologie per la progettazione, la realizzazione e la valutazione – Maggioli Editore – Santarcangelo di Romagna (RN).
- SETRA (1998) – Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales – Carrefours Plans – Paris.
- CETUR-SETRA (1992) - “Giratoires 92, Actes du Seminaire” – Lyon

- CETUR (1997) - “Guide Les mini-giratoires. Textes et recommandations” - Lyon
- National Cooperative Highway Research Program (2010) – Report 672 - “Roundabouts: An informational guide” — Washington D.C.
- TA 78/97 - “Design of road markings at roundabout” – Design Manual for Roads and Bridges
- VSS – SN 640022 - Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlagen – Zürich.
- N (2000) – Highway Capacity Manual – Special Report 209 – Washington D.C.