

Insegnamento di Fondamenti di Infrastrutture viarie

Territorio ed infrastrutture di trasporto

La meccanica della locomozione: questioni generali

Il fenomeno dell'aderenza e l'equazione generale del moto

Dall'equazione generale del moto alle caratteristiche di moto

Sistemi di trazione e motori di trazione

Trazione ferroviaria: studio di una fase completa di moto

Trazione stradale: studio di una fase completa di moto

La frenatura in ferrovia e su strada

Legislazione e Normativa

Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade

Andamento planimetrico di un tracciato stradale:

- 1) elementi del tracciato planimetrico, rettilinei e curve circolari, pendenza trasversale in curva, curve a raggio variabile
- 2) allargamento in curva e diagramma di velocità

Distanze di visibilità e andamento altimetrico di un tracciato stradale

Volume del solido stradale: metodi di calcolo

Intersezioni stradali

Fondamenti di Infrastrutture viarie

Intersezioni stradali (1)

Si definisce intersezione stradale *l'area in cui due o più strade s'intersecano sotto qualsiasi angolazione dando luogo a reciproche soggezioni di marcia per i veicoli in transito.*

I punti in cui avviene una manovra d'intersezione si chiamano "*punti di conflitto*" in quanto sono i punti in cui si ha un conflitto, anche solo potenziale, fra veicoli delle diverse correnti veicolari. Si dicono invece "*zone di manovra*" quelle aree che comprendono non solo il punto di conflitto, ma anche le zone che lo circondano. Il numero dei punti di conflitto dipende da come è organizzata l'intersezione, mentre la frequenza delle interazioni tra flussi veicolari dipende, a parità di ogni altra condizione, dall'entità dei flussi stessi.

I diversi tipi di incrocio vengono divisi in tre categorie:

intersezioni lineari a raso
intersezioni a livelli sfalsati
intersezioni semaforizzate

(1) T. Esposito, R. Mauro, "Caratteristiche geometriche delle strade" in "Manuale di Ingegneria Civile" Volume 3, Zanichelli/ESAC, Bologna, 1996.

Intersezioni stradali

Riferimenti normativi

Il DM del 19 aprile 2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” disciplina:

- *i criteri per l'ubicazione delle intersezioni in una rete stradale,*
- *le manovre elementari,*
- *la classificazione tipologica delle intersezioni,*
- *la caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione,*
- *il dimensionamento funzionale delle intersezioni,*
- *l'illuminazione,*
- *gli accessi.*

Le caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali, che costituiscono i punti nodali della viabilità (in corrispondenza di esse gli utenti effettuano le scelte decisionali sull'itinerario programmato), devono risultare congruenti con quelle delle reti stradali a cui appartengono. Pertanto occorrerà, con riferimento alle possibili “forme elementari” del modo di effettuare le svolte, cioè utilizzando l'analisi funzionale dei flussi di traffico (tipologia delle manovre possibili e geometria delle traiettorie dei veicoli in moto), che il progettista individui le opere necessarie a realizzare le manovre di passaggio da una strada all'altra in modo sicuro, con il minimo perditempo e con criteri di efficienza tecnico economica.

Due sono i momenti che caratterizzano l'organizzazione razionale di una intersezione stradale:

- *l'attribuzione di una categoria tipologica,*
- *la procedura compositiva degli elementi geometrici e funzionali.*

Infatti in corrispondenza delle intersezioni stradali, i veicoli compiono manovre caratterizzate da velocità variabili e da traiettorie curve.

Intersezioni stradali

Criteri per l'ubicazione delle intersezioni

La normativa⁽²⁾ sottolinea che la corretta collocazione delle intersezioni rappresenta un elemento fondamentale e va verificato tenendo conto di:

- *interferenze funzionali con intersezioni adiacenti,*
- *compatibilità plano-altimetriche degli assi viari,*
- *caratteristiche tipologiche della sede viaria (naturale, gallerie viadotti, ecc.).*

In particolare:

- per quanto riguarda l'interferenza con nodi viari adiacenti occorre che, in ambito extraurbano, il distanziamento minimo sia di 500 m.

- per le condizioni plano-altimetriche le intersezioni vanno preferibilmente realizzate in corrispondenza di tratti rettilinei (se curvilinei occorre rispettare le distanze minime di visibilità); l'angolazione degli assi stradali non deve risultare inferiore a 70°; non sono consentiti accessi, passi carrabili, aree di sosta, fermate veicolari, ecc. sulle rampe e lungo le corsie di entrata e uscita; le pendenze aggiuntive (alle pendenze delle strade confluenti) non devono essere superiori del 2% solo per le intersezioni a raso.

- le intersezioni possono essere realizzate in viadotto (in corrispondenza delle opere di sostegno) ed in galleria (escludendo le zone d'ingresso/uscita in corrispondenza degli imbocchi).

⁽²⁾ DM 19 aprile 2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”.

Intersezioni stradali

Manovre elementari

La normativa⁽²⁾ definisce le principali manovre elementari che possono essere effettuate in una intersezione (figura 1). Tra queste, le manovre di diversione (immissione a sinistra) non sono ammesse sulla corrente principale di traffico per le strade di tipo A, B e D; sono invece ammesse sulle loro strade di servizio, sulle rampe di svincolo e sulla corrente principale di traffico per le strade di tipo C, E ed F.

In corrispondenza di un'intersezione nascono, dall'intersecarsi delle traiettorie, i seguenti “punti di conflitto” (figura 2): d'intersezione o attraversamento, di diversione e d'immissione.

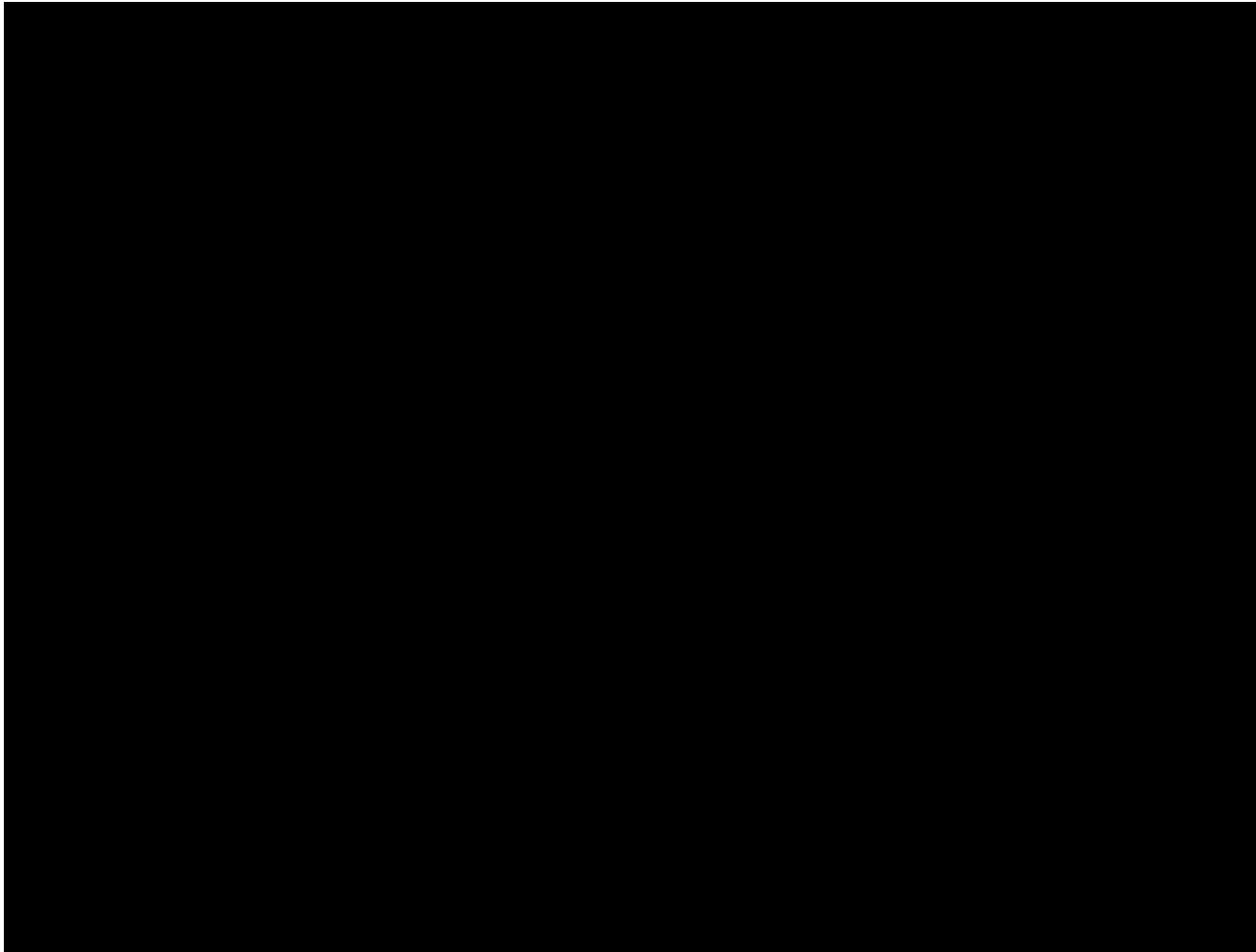
Per i punti di conflitto d'intersezione o attraversamento deve essere adottata una delle seguenti soluzioni progettuali:

- 1° sfalsamento altimetrico delle traiettorie,
- 2° realizzazione di tronchi di scambio (il punto di conflitto “d'intersezione” viene trasformato in “punti di diversione e/o immissione”),
- 3° sfalsamento temporale imposto (semaforo) o attuato dall'utente (precedenza o stop).

⁽²⁾ DM 19 aprile 2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”.

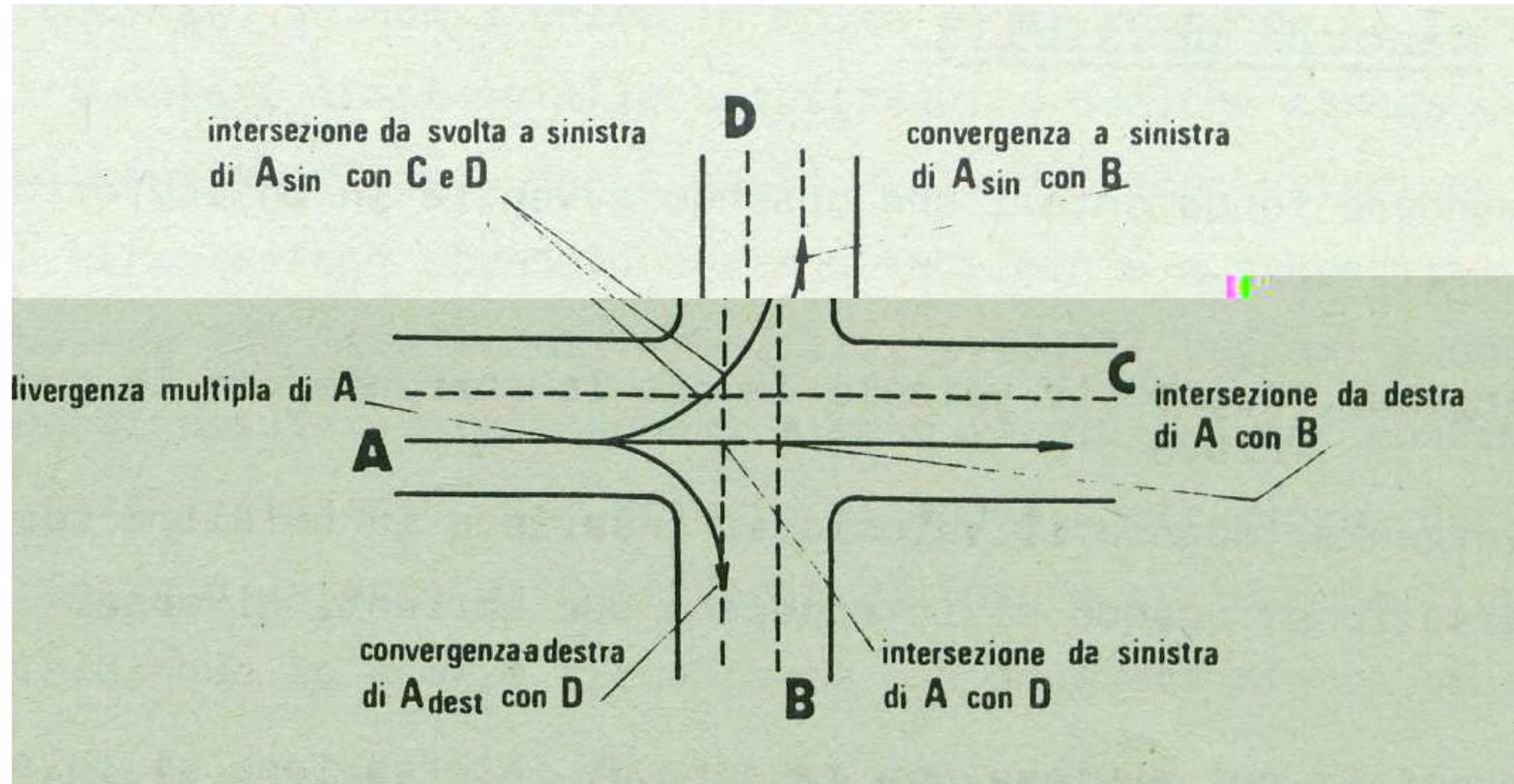
Manovre elementari

Definizione delle manovre elementari



Manovre elementari

Punti di conflitto della direttrice veicolare A



Intersezioni stradali

Classificazione tipologica

Per l'insieme delle otto tipologie funzionali delle strade, i possibili nodi d'intersezione tra due strade, previsti dalla normativa⁽²⁾, sono riportati in figura 3 .

Si distinguono:

- nodi omogenei quelli che connettono strade dello stesso tipo,
- nodi non omogenei quelli invece che connettono strade di tipo diverso,
- nodi tra i quali non è consentita la connessione.

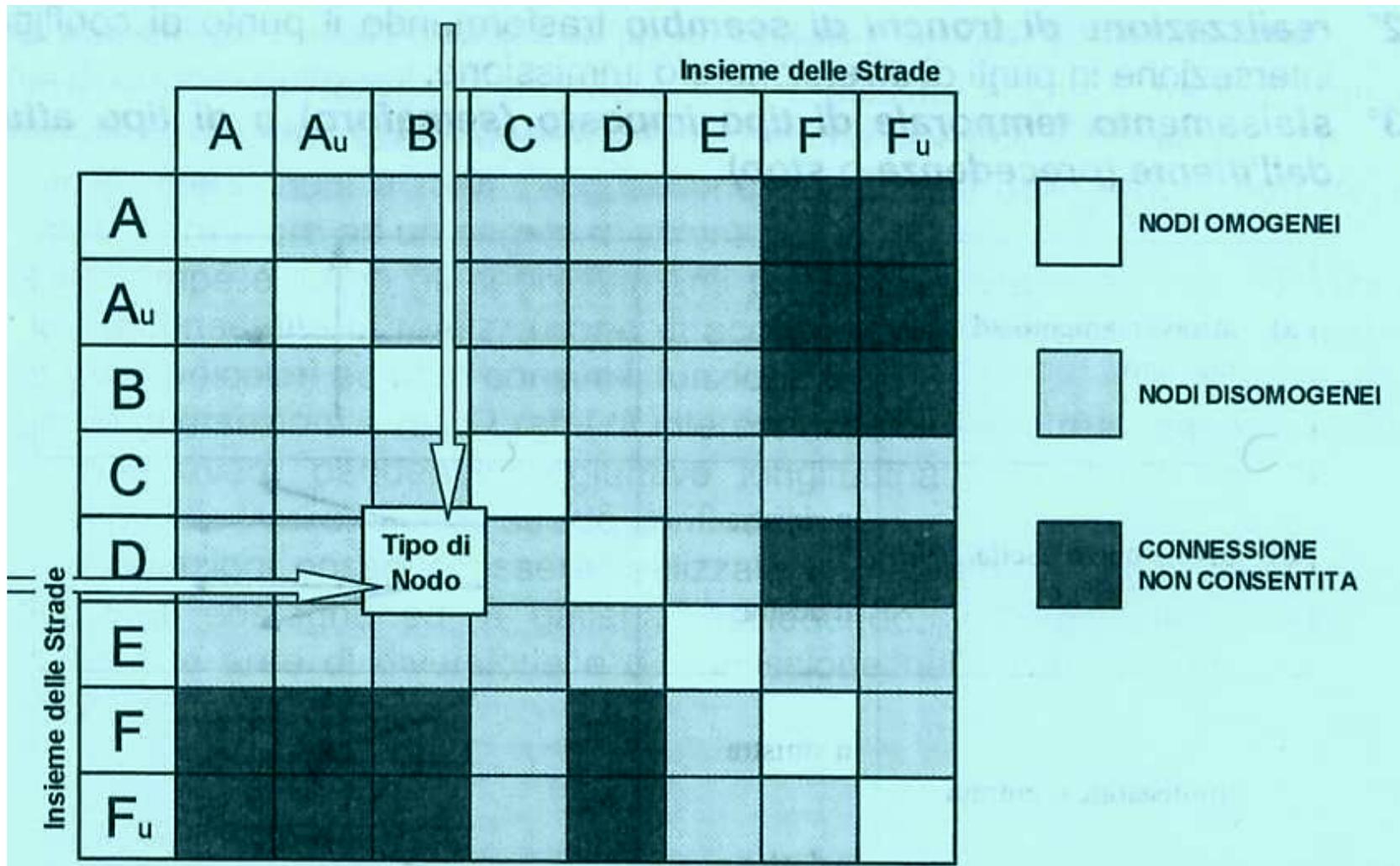
Laddove la connessione è ammessa, è possibile distinguere diverse tipologie di nodo:

- di tipo 1: l'intersezione sarà uno svincolo a livelli sfalsati con eventuali zone per manovre di scambio, quando le strade che s'intersecano siano entrambe a carreggiate separate;
- di tipo 2: nel caso in cui una delle due strade che convergono nel nodo è ad unica carreggiata è possibile prevedere manovre a raso solo su questa strada, mentre l'incrocio tra correnti principali va risolto sfalsando i livelli;
- di tipo 3: se entrambe le strade sono ad unica carreggiata l'intersezione sarà a raso;
- di tipo x: negli altri casi l'intersezione non è consentita ed il solo incrocio tra correnti principali va risolto sfalsando i livelli.

Tra le soluzioni funzionali quelle più usuali fanno riferimento all'incrocio tra due strade (intersezione a quattro bracci) o all'innesto di una strada sull'

Classificazione tipologica

Possibili nodi d'intersezione



Classificazione tipologica

Organizzazione reti stradali e intersezioni ammesse

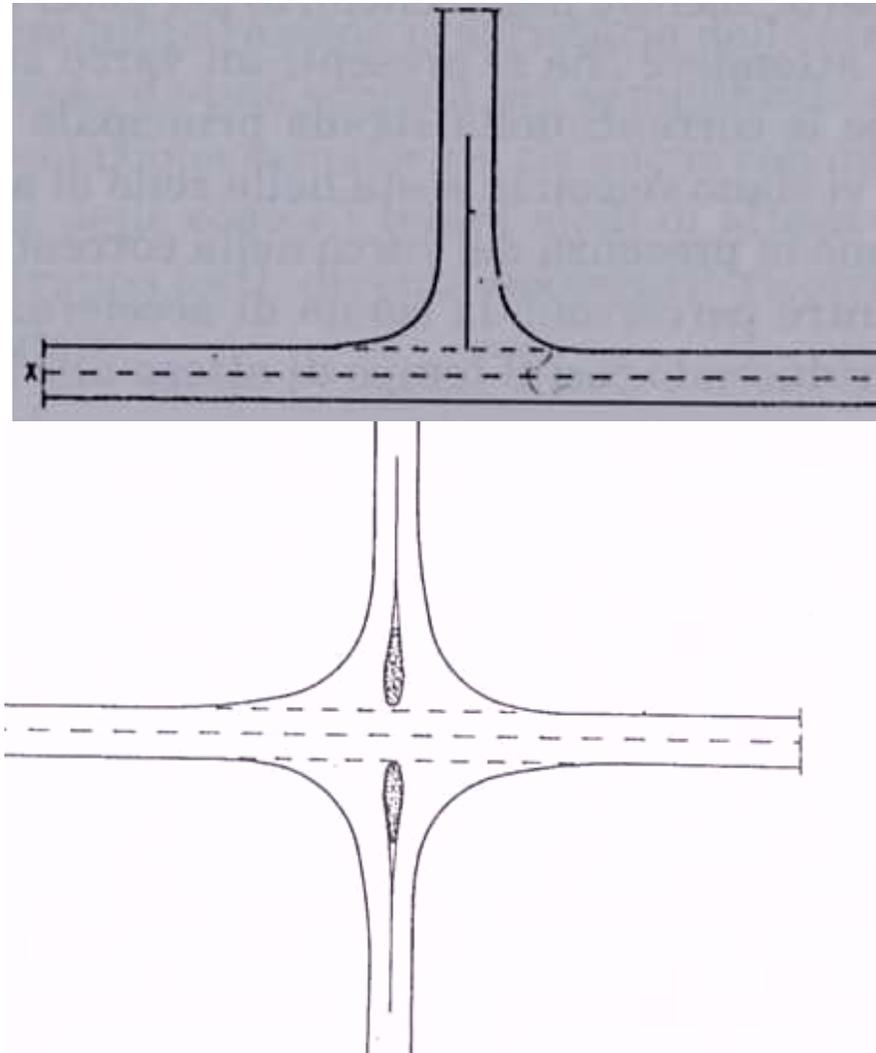


Tipologie d'intersezioni lineari a raso

Il sistema più semplice per realizzare l'immissione di una strada in un'altra è quello di arrotondare gli spigoli dell'intersezione per facilitare la svolta dei veicoli⁽³⁾, ma determina una eccessiva riduzione della velocità dei veicoli che s'immettono giustificata solo se tale flusso veicolare è

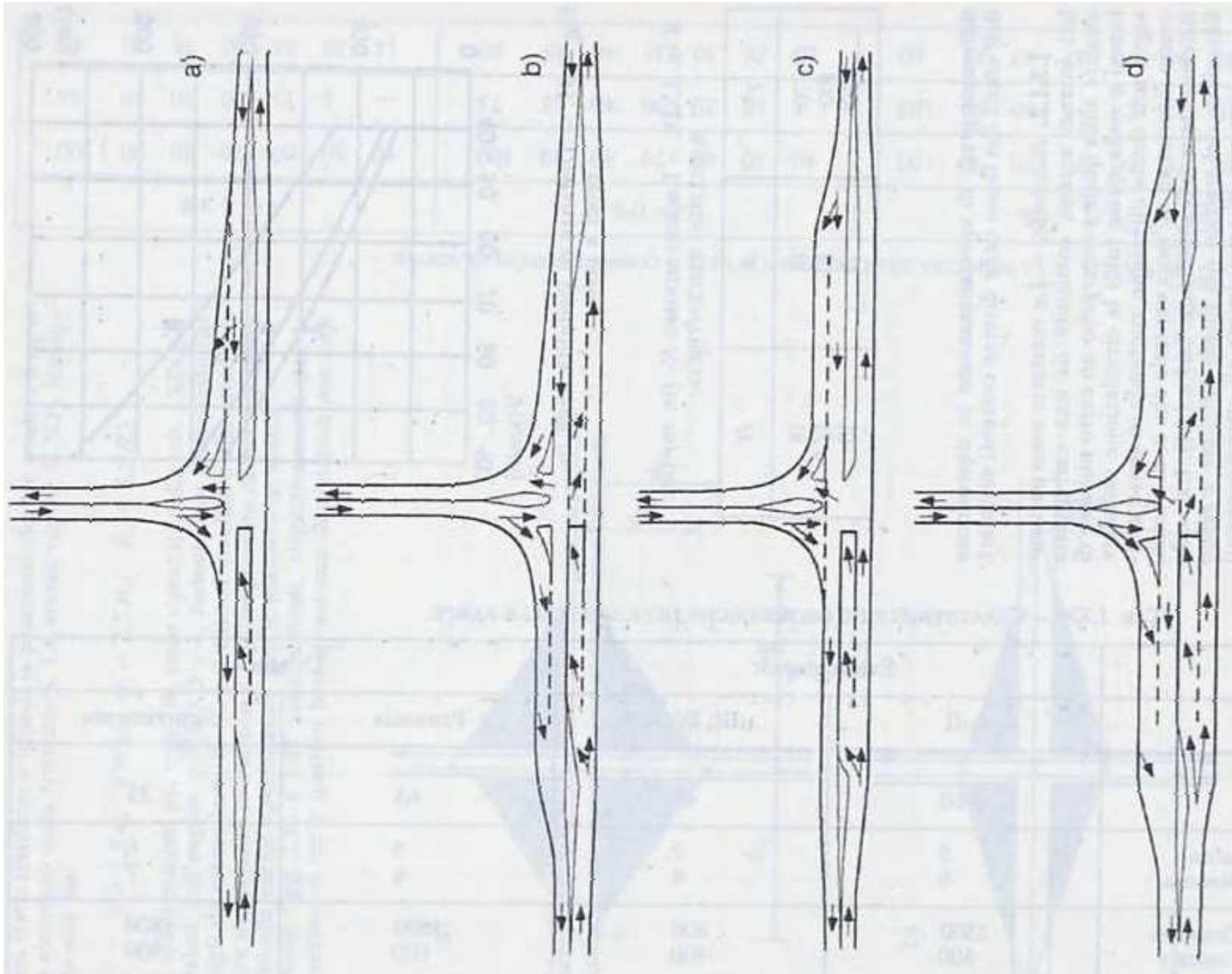
Tipologie d'intersezioni a raso

**Esempio di intersezione a tre e quattro bracci
senza allargamento della strada principale**



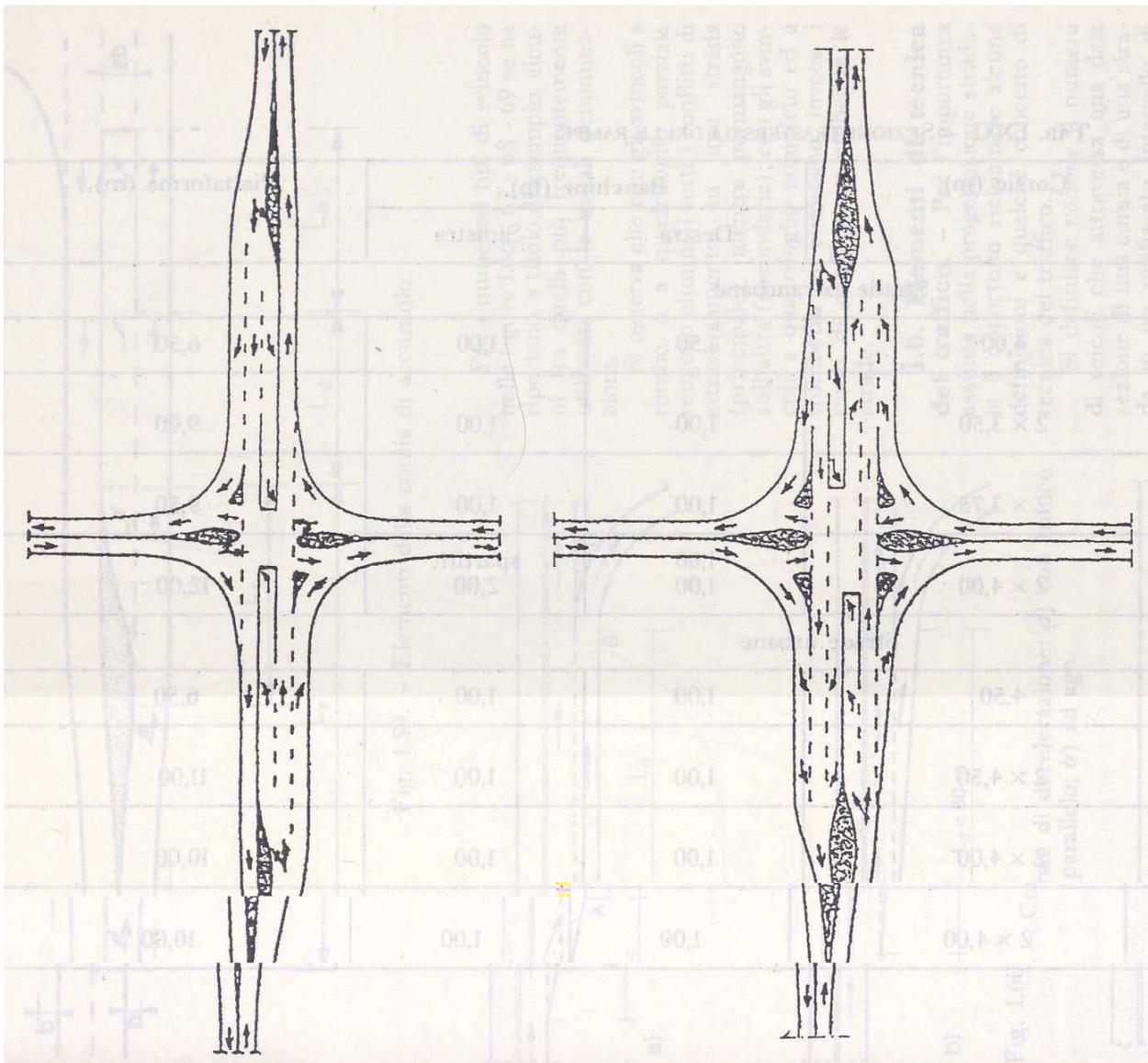
Tipologie d'intersezione a raso

Schemi complessi di intersezione a tre bracci



Tipologie d'intersezione a raso

Schemi complessi di intersezione a quattro bracci



Tipologie d'intersezioni a livelli sfalsati

Quando una delle strade che s'intersecano sovrappassa l'altra si ha un'intersezione altimetricamente sfalsata o *svincolo*. Per raccordare in questo caso le due strade (per consentire cioè le manovre di svolta) si prevedono brevi tronchi di solito in pendenza detti *rampe*.

Lo sfalsamento altimetrico permette quindi di eliminare le interferenze tra correnti dirette, mentre quelle con le correnti che svoltano si elimina in parte o del tutto a seconda del numero e del tipo di rampe ossia a seconda di come sono organizzate le svolte.

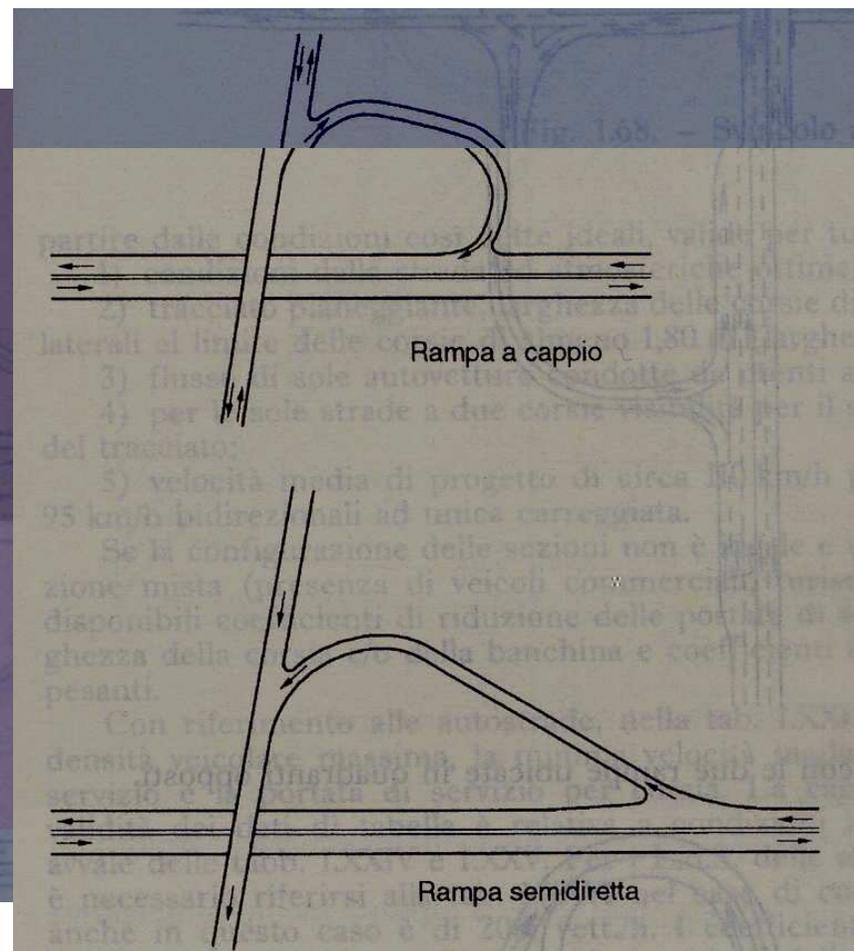
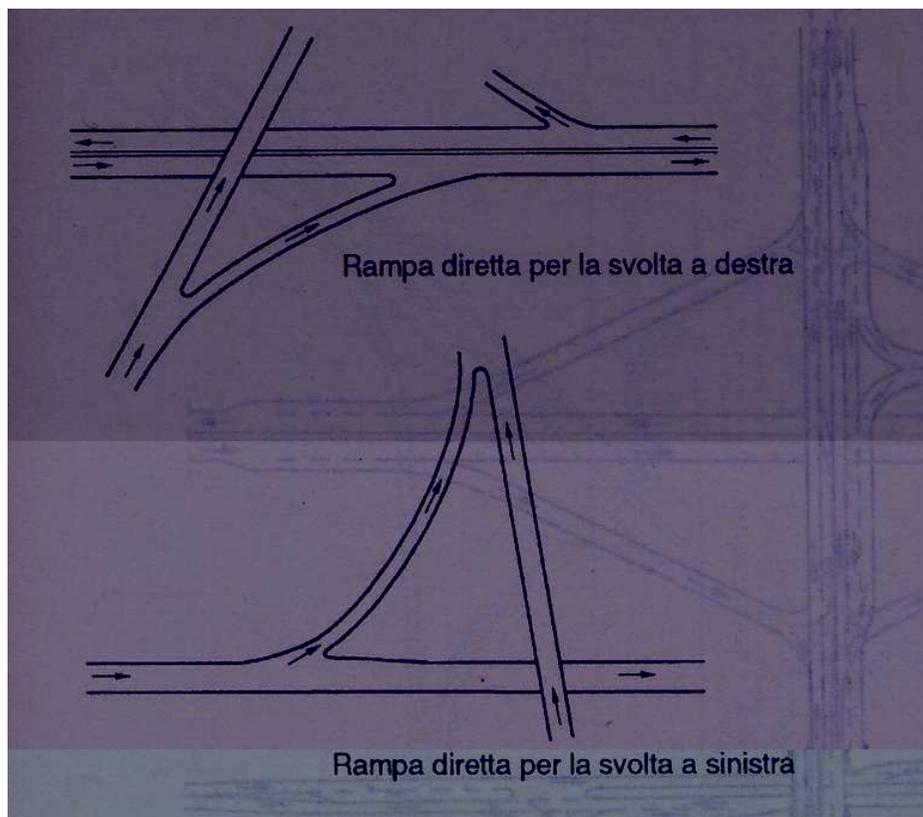
In figura 9 sono riportati alcune esempi di *rampe: diretta per svolta a destra o a sinistra, a cappio e semidiretta*.

Tali schemi contraddistinguono, in alcuni casi ripetendosi più volte, le tipologie di svincoli; si riportano di seguito quelli più frequentemente utilizzati:

- *svincolo a trombetta* (in figura 10);
- *svincolo a rombo* (in figura 11);
- *quadrifoglio parziale* con due rampe ubicate in quadranti opposti (in figura 12);
- *quadrifoglio completo* (in figura 13).

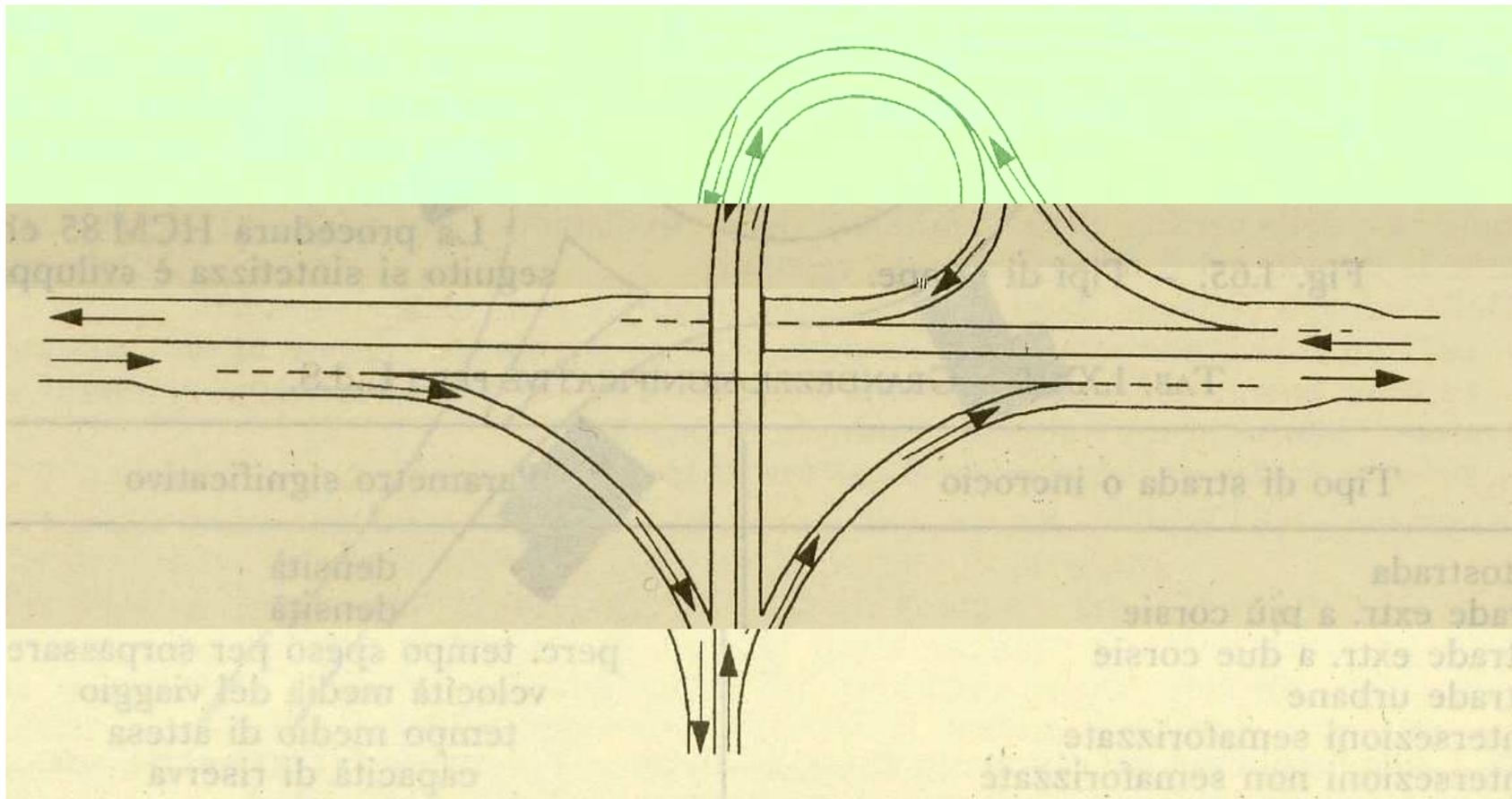
Intersezioni altimetricamente sfalsate o svincoli

Esempi di rampe



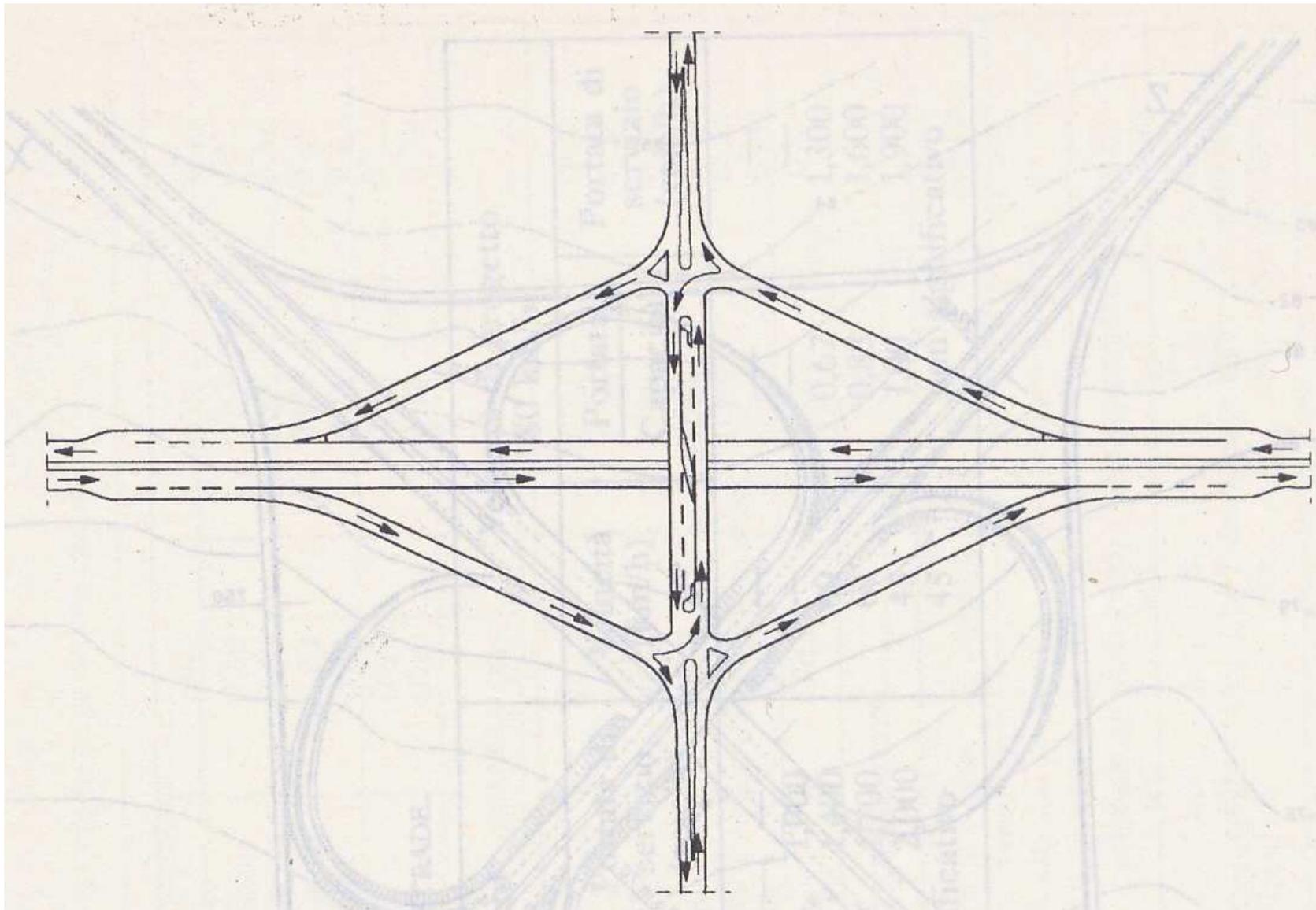
Intersezioni altimetricamente sfalsate o svincoli

Svincolo a trombetta

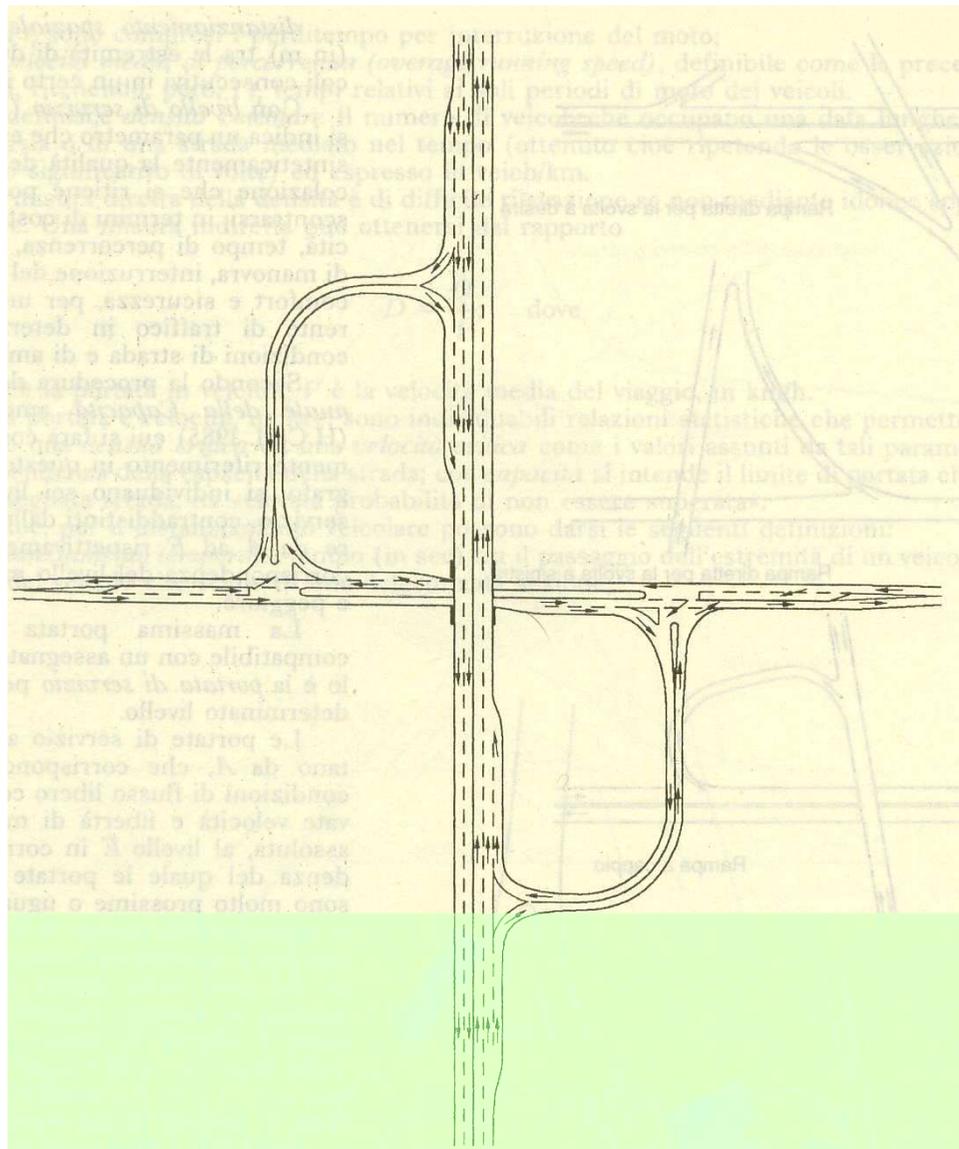


Intersezioni altimetricamente sfalsate o svincoli

Svincolo a rombo

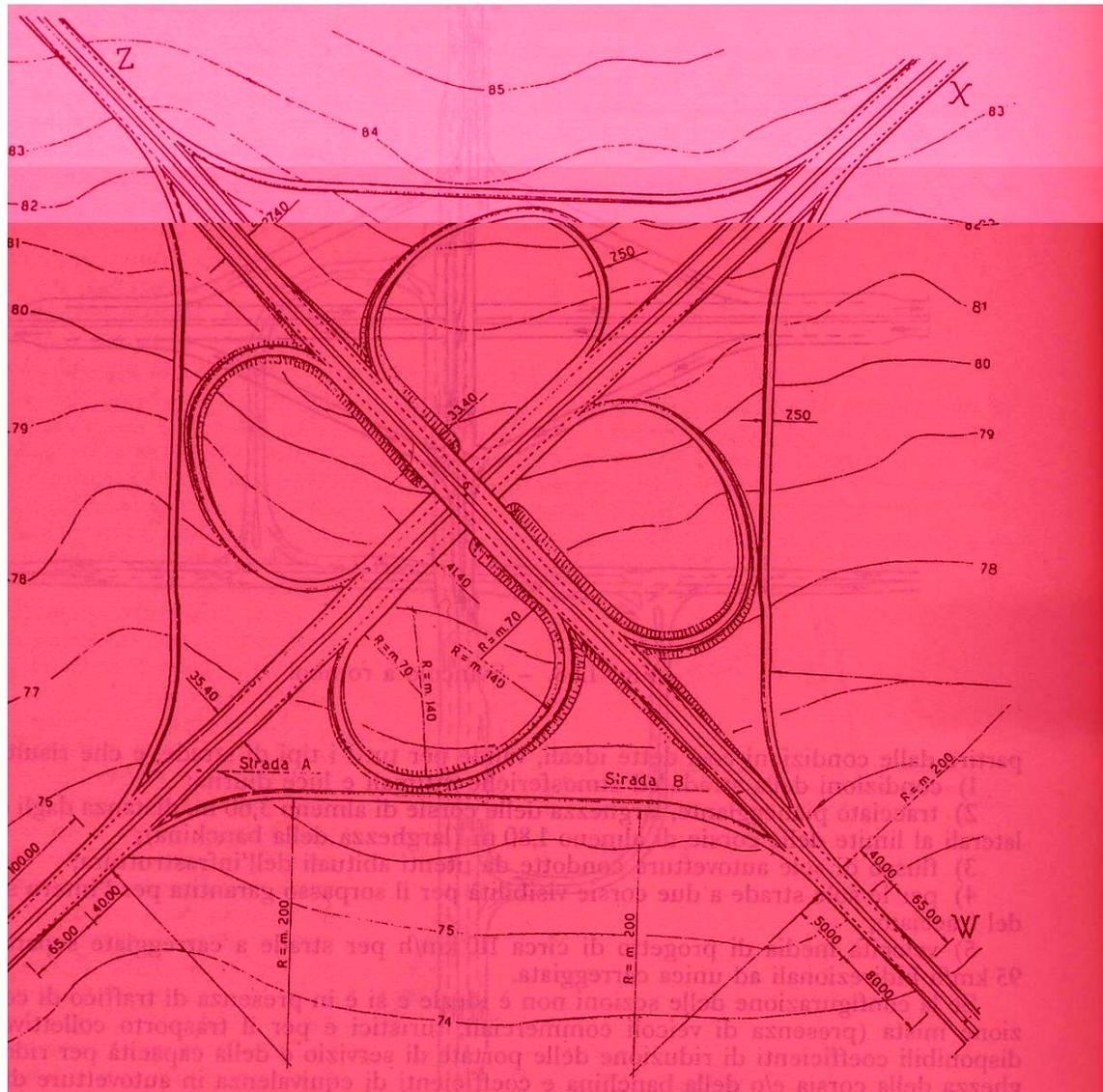


Intersezioni altimetricamente sfalsate o svincoli
Quadrifoglio parziale



Intersezioni altimetricamente sfalsate o svincoli

Quadrifoglio completo



Intersezioni stradali

Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

La normativa⁽⁴⁾, per la definizione delle caratteristiche geometriche dell'intersezione, individua i seguenti elementi:

- dimensioni e composizione delle piattaforme stradali,
- pendenze longitudinali, trasversali e composte delle rampe, delle aree per il transito dei veicoli e degli spazi marginali,
- raccordi altimetrici,
- caratteristiche geometriche degli elementi compositivi (raggi curve circolari, parametri curve a raggio variabile, rotazione delle sagome stradali e andamento dei cigli),
- eventuali allargamenti delle carreggiate o delle aree di transito (per tutte le tipologie di veicoli ammessi a circolare nell'intersezione),
- caratteristiche delle curve di ciglio (necessarie a consentire l'iscrizione in curva dei veicoli pesanti e/o migliorare le condizioni operative delle correnti di svolta),
- forma, dimensioni e caratteristiche delle isole di canalizzazione (da cui dipendono le caratteristiche di visibilità e guida visiva delle traiettorie d'approccio alle zone d'incrocio),
- forma, dimensioni e caratteristiche degli elementi complementari e d'arredo,
- eventuali altri elementi.

⁽⁴⁾ DM 19 aprile 2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali".

Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

Definizioni

I principali elementi compositivi di un'intersezione sono:

- le rampe: tronchi stradali di collegamento dei rami di un'intersezione a livelli sfalsati (svincolo),
- le corsie specializzate: destinate ai veicoli che si accingono ad effettuare le manovre di svolta a destra ed a sinistra (consentono di non arrecare eccessivo disturbo alla corrente principale di traffico). Possono essere d'entrata (o d'immissione), d'uscita (di diversione) e d'accumulo (per la svolta sinistra) e possono essere realizzate nelle intersezioni lineari a raso e a livelli sfalsati, come previsto dalla seguente tabella:

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

Quando le corsie specializzate sono “ammesse” il loro inserimento va valutato in relazione a criteri funzionali. Le corsie specializzate si sviluppano generalmente in affiancamento alla strada cui afferiscono; in particolare le corsie d'entrata e di accumulo assumono una configurazione parallela all'asse principale della strada, mentre quelle in uscita possono essere realizzate con tipologia in parallelo ovvero mediante l'adozione delle soluzione “ad ago”.

Di seguito: corsie d'entrata, corsie d'uscita, corsie d'accumulo e zone di scambio.

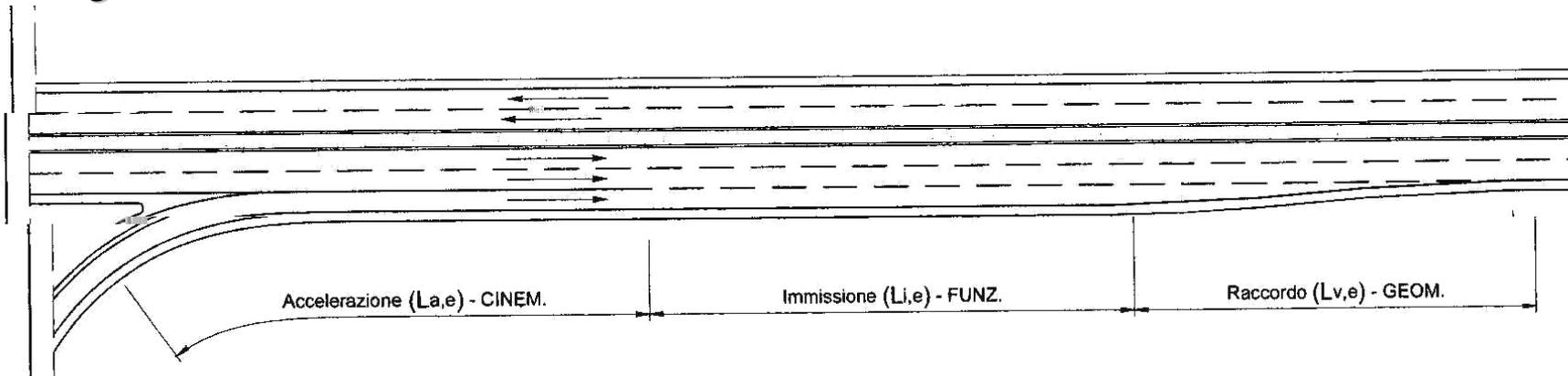
Definizioni

Corsie d'entrata

Le corsie d'entrata (d'immissione) sono composte dai seguenti tratti elementari:

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

In figura 14 sono illustrati in successioni tali tre tratti:



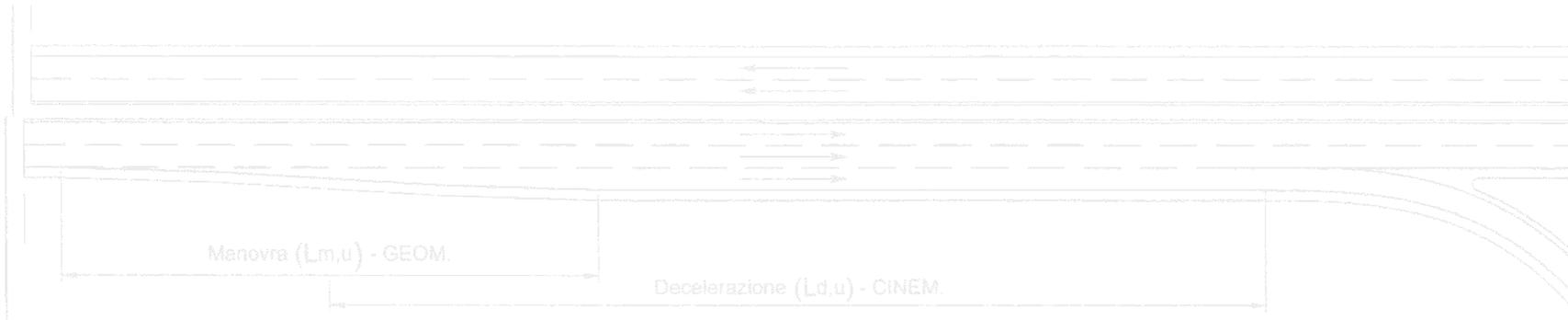
Definizioni

Corsie d'uscita

Le corsie d'uscita (di diversione) sono composte dai seguenti tratti elementari:

- tratto di manovra di lunghezza $L_{m,u}$;
- tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,u}$.

In figura 15 è illustrato il caso della tipologia parallela:



In figura 16 è illustrato il caso della tipologia ad ago:



Corsie di accumulo

Le corsie d'accumulo per la svolta a sinistra sono composte dai seguenti tratti elementari:

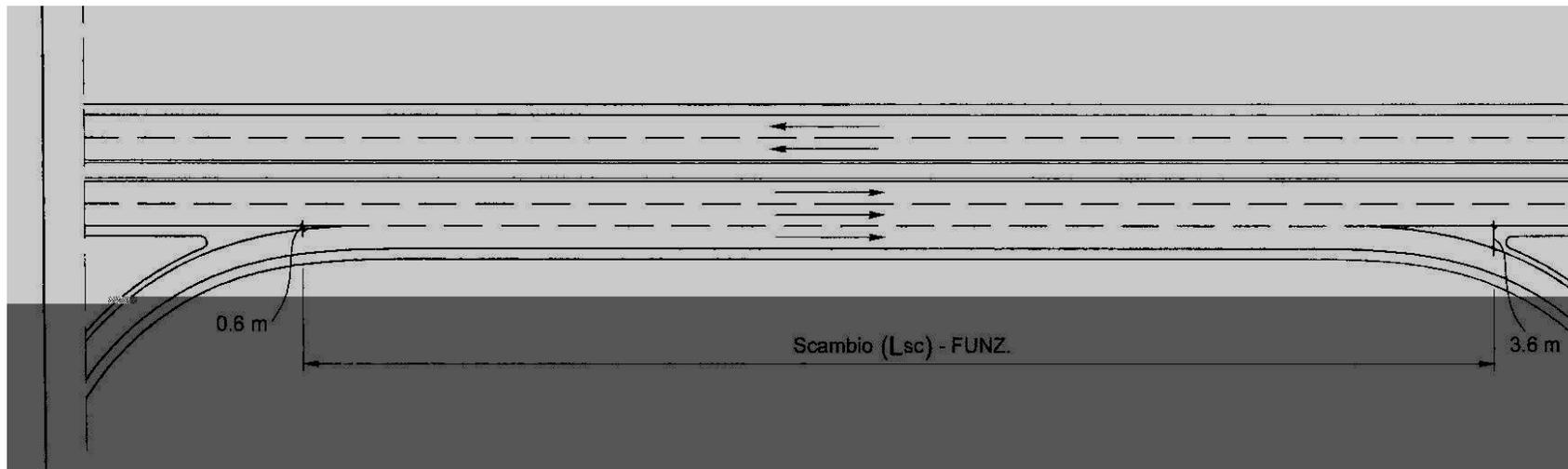
- tratto di raccordo di lunghezza $L_{v,a}$;
- tratto di manovra di lunghezza $L_{m,a}$;
- tratto di decelerazione di lunghezza $L_{d,a}$;
- tratto di accumulo di lunghezza $L_{a,a}$.

[(I)2.79365(n)-2.81426(a)-35.1782(f)-4.71104(i)0.62659(u)-2.81426(u)-2.81426(r)-4.7115(a)1.22299()-35.1782(1)-2.8

Definizioni

Zone di scambio

In tali zone avviene l'attraversamento reciproco di due correnti di traffico aventi medesima direzione e verso. In figura 18 è visualizzata la lunghezza L_{sc} della zona di scambio:



Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

Elementi longitudinali da dimensionare con criteri cinematici

Le lunghezze $L_{a,e}$, $L_{d,u}$ e $L_{d,a}$ vanno dimensionate con criteri cinematici che valutano tale lunghezza (in accelerazione o in decelerazione) con la seguente espressione:

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

dove:

L (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;

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/s²) è l'accelerazione, positiva o negativa, assunta per la manovra.

I valori di v_1 , v_2 ed a della formula precedente valgono:

➤ corsie di decelerazione:

- per v_1 si assume la velocità di progetto del tratto da cui provengono i veicoli in uscita;
- per v_2 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione verso l'altra strada;
- per a si utilizza il valore di:
 - 3 m/s² per strade di tipo A e B (quando per quest'ultime si utilizzano valori di aderenza longitudinale corrispondenti al tipo A);
 - 2 m/s² per tutte le altre strade.

➤ tratto di decelerazione nelle corsie di accumulo per la svolta a sinistra:

- per v_1 si assume la velocità di progetto della strada da cui proviene il flusso di svolta;
- per v_2 si assume il valore 6,95 m/s;
- per a un valore di 2 m/s².

➤ tratto di accelerazione nelle corsie d'entrata:

- per v_1 si assume la velocità di progetto della rampa nel punto d'inizio del tratto d'accelerazione della corsia d'entrata;
- per v_2 si assume il valore corrispondente all'80% della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette;
- per a un valore di 1 m/s².

Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

Elementi longitudinali da dimensionare con criteri geometrici

Le lunghezze $L_{v,e}$, $L_{m,u}$, $L_{v,a}$ e $L_{m,a}$ vanno dimensionate con criteri geometrici ed in particolare:

A. Tratti di raccordo $L_{v,a}$ e manovra $L_{m,a}$ nelle corsie di accumulo per la svolta a sinistra negli incroci a raso:

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

A black rectangular box redacting the mathematical formula used to calculate the length of the approach section, $L_{v,a}$.

dove la $L_{v,a}$ dipende dalla velocità di progetto V_p [Km/h] e dall'allargamento d [m] da raggiungere (figura 19) pari alla larghezza della corsia d'accumulo incrementata di 0,5 m. Va comunque assicurata una lunghezza $L_{v,a}$ minima di 20 m.

La lunghezza del tratto di manovra $L_{m,a}$ [m] si desume in base alla velocità V_p [Km/h] di progetto.

B. Tratti di manovra $L_{m,u}$ delle corsie d'uscita negli incroci a raso:

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

C. Tratto di raccordo $L_{v,e}$ delle corsie d'entrata negli incroci a livelli sfalsati:

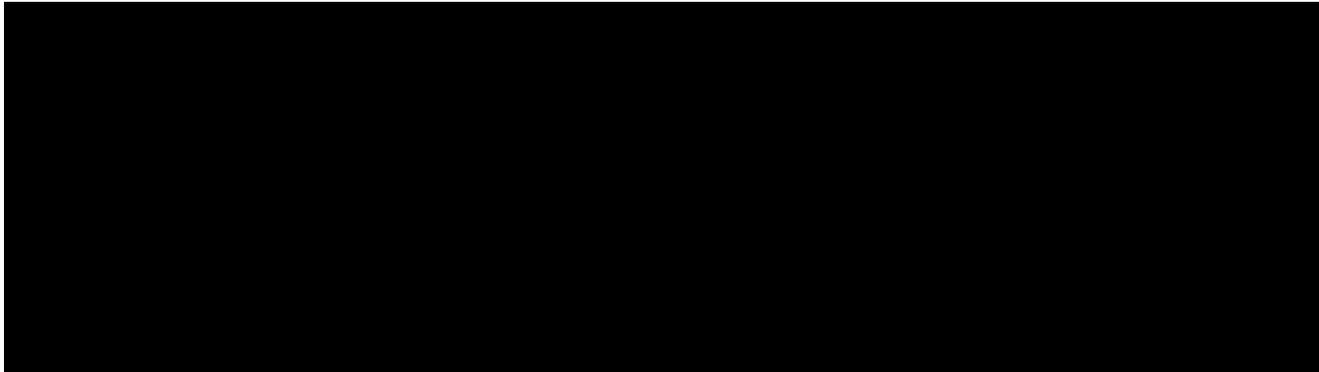
La lunghezza $L_{v,e}$ del tratto di raccordo delle corsie d'entrata è funzione della velocità V_p [Km/h] di progetto come riportato nella tabella della figura 20.

D. Tratto di manovra $L_{m,u}$ delle corsie d'uscita negli incroci a livelli sfalsati:

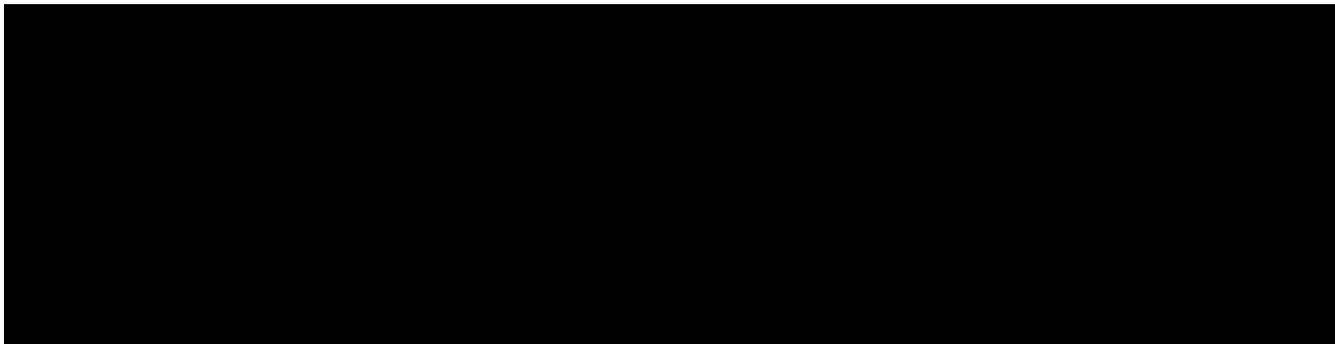
La lunghezza $L_{m,u}$ del tratto di manovra in una corsia d'uscita è funzione della velocità V_p [Km/h] di progetto come riportato nella tabella della figura 20.

Elementi longitudinali da dimensionare con criteri geometrici

Allargamento d e lunghezza L_{m,a}



Allargamento d



Lunghezza L_{m,a}

Elementi longitudinali da dimensionare con criteri geometrici

Lunghezza $L_{v,e}$ e lunghezza $L_{m,u}$

Velocità di progetto V_p [km/h]	Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ [m]
$V_p > 80$	75
$V_p \leq 80$	50

Lunghezza $L_{v,e}$

	40	20
	60	40
	80	60
	100	75

Lunghezza $L_{m,u}$

Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

Intersezioni lineari a raso

La larghezza minime dei dispositivi aggiuntivi da inserire sulla strada principale per effettuare le svolte a destra o a sinistra sono riportate nell'allegata tabella:

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 mezzzeria	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.

Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

Intersezioni a rotatoria

Tre sono le tipologie fondamentali di rotatoria in base al diametro della circonferenza esterna (limite della corona rotatoria come da figura 21):

- rotatorie convenzionali di diametro esterno compreso tra 40 e 50 m;
- rotatorie compatte di diametro esterno compreso tra 25 e 40 m;
- mini rotatorie di diametro esterno compreso tra 14 e 25 m.

Altro elemento distintivo tra le tre tipologie è rappresentato dalla sistemazione dell'isola centrale che può essere in parte resa transitabile per le manovre dei veicoli pesanti per le mini rotatorie con diametro esterno compreso tra 25 e 18 m, mentre lo diventa completamente per quelle con diametro compreso tra 18 e 14 m. Le rotatorie compatte sono caratterizzate da bordi non sormontabili dell'isola centrale.

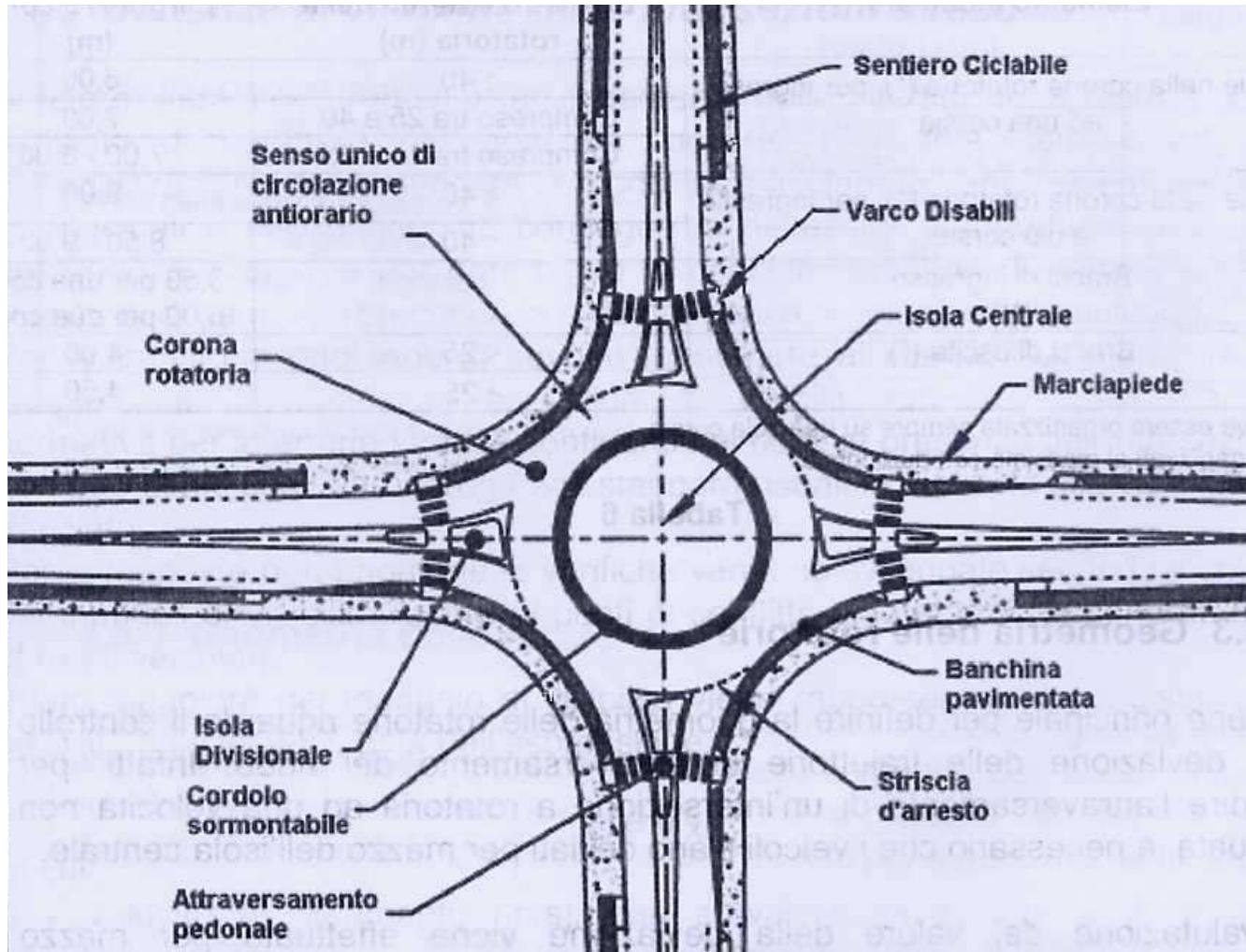
In ambito extraurbano l'adozione di mini rotatorie viene limitata agli incroci di tipo F/F tra strade locali, mentre le rotatorie compatte sono consentite per gli incroci di tipo C/C, C/F, F/C.

Un'intersezione stradale a rotatoria va accompagnata da idonea segnaletica (integrativa di quella di preavviso) e da eventuali ulteriori strumenti di regolazione della velocità.

Per sistemazioni a “circolazione rotatoria”, che non rientrano in queste tre tipologie, il dimensionamento e la composizione geometrica debbono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci continui.

Intersezioni a rotatoria

Elementi modulari della rotatoria



Intersezioni a rotatoria

Larghezza delle corsie

Con riferimento alla figura 21, si definiscono le larghezze degli elementi modulari come indicato nella sottostante tabella:

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.

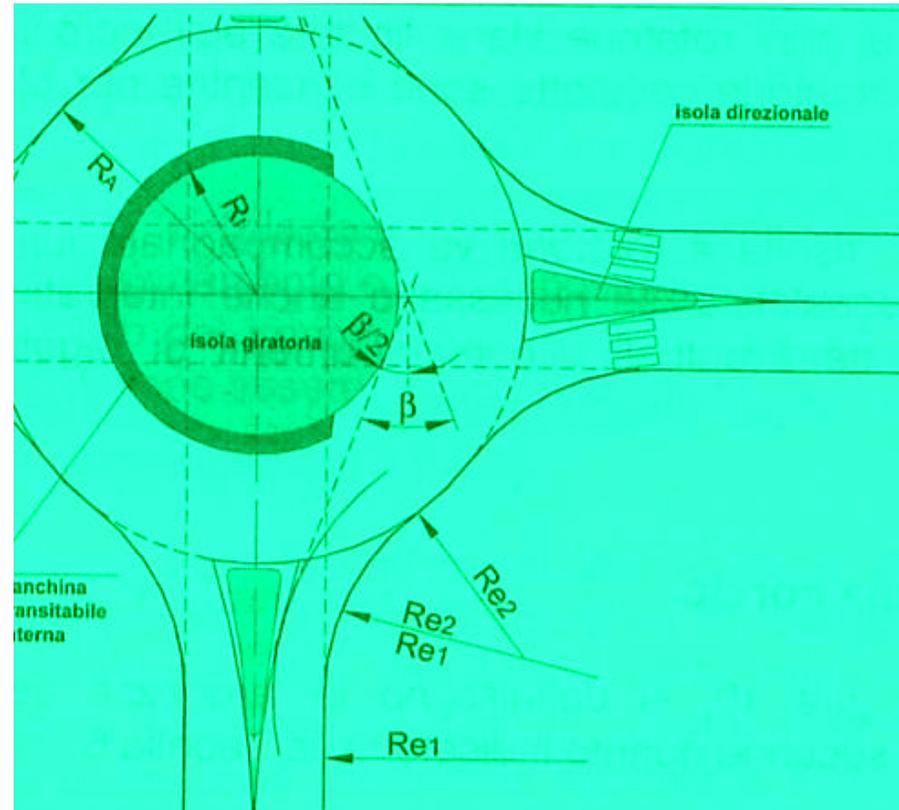
Intersezioni a rotatoria

Geometria delle rotatorie

Il criterio principale per definire la geometria delle rotatorie riguarda il controllo della deviazione delle traiettorie in attraversamento del nodo.

Infatti, per impedire l'attraversamento di un'intersezione a rotatoria ad una velocità non adeguata, è necessario che i veicoli siano deviati dall'isola centrale

La valutazione del valore della deviazione, come indicato nella allegata figura 22, viene effettuata per mezzo dell'angolo di deviazione β . Per determinare la tangente al ciglio dell'isola centrale corrispondente all'angolo di deviazione β , bisogna aggiungere al raggio di entrata $Re,2$ un incremento b pari a 3,50 m.



Per ciascun braccio d'immissione si raccomanda un valore dell'angolo di deviazione β di almeno 45° .

Intersezioni lineari a raso

Distanze di visibilità

Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso occorre procedere sempre ad una gerarchizzazione delle manovre in modo da articolare le varie correnti veicolari in principali e secondarie.

Per le traiettorie prioritarie occorre mantenere all'interno dell'intera area d'intersezione le medesime condizioni di visibilità previste dalle specifica normativa per le arterie stradali confluenti nei nodi. La presenza dell'intersezione non può infatti costituire deroga agli standard usuali in rapporto alla visibilità del tracciato.

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

Il lato maggiore del triangolo di visibilità è dato dalla distanza di visibilità principale: $D = v t$ in cui:

$v =$ velocità di riferimento [m/s] (velocità di progetto del tratto considerato o limite di velocità imposto dalla segnaletica) e $t =$ tempo di manovra [s] (pari a 12 s in presenza di manovre regolate da segnale di precedenza o di 6 s in presenza di manovre regolate da segnale di stop).

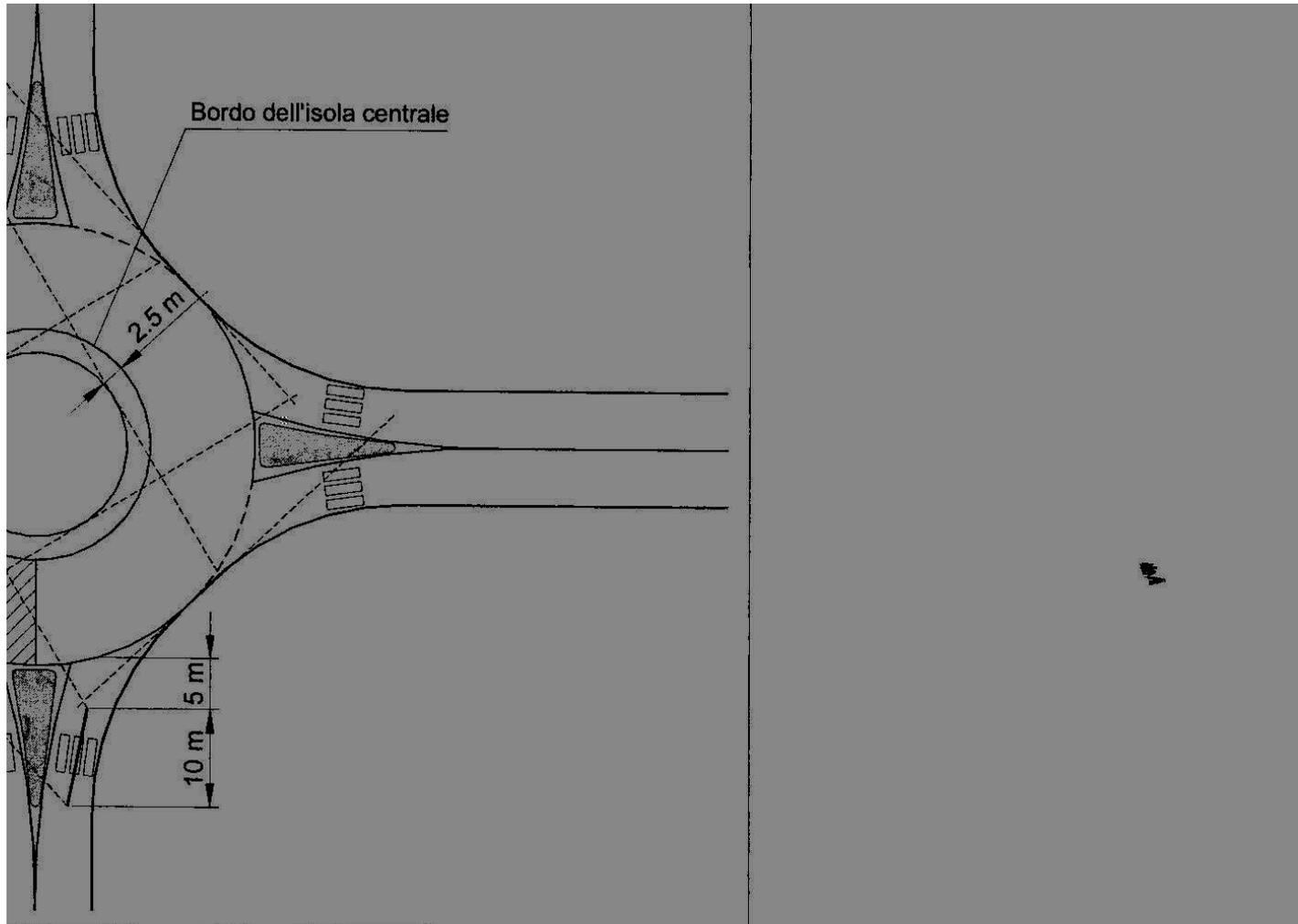
Il lato minore del triangolo di visibilità sarà misurato (dal ciglio della strada principale) ad una distanza di 20 m (per le intersezioni regolate da precedenza), di 3 m (per le intersezioni regolate da stop).

All'interno del triangolo di visibilità non devono esistere ostacoli (isolati aventi la massima dimensione planimetrica superiore a 0,8 m) alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto d'intersezione considerato.

I conducenti che si avvicinano alla rotatoria devono vedere i veicoli che percorrono l'anello centrale al fine di

Distanze di visibilità

Campi di visibilità nell'incrocio a rotatoria



Caratterizzazione geometrica degli elementi dell'intersezione

Intersezioni a livelli sfalsati

Le possibili tipologie di rampe ed i corrispondenti elementi compositivi planimetrici sono riportati nelle sottostanti figure 24 e 25.

Per l'inserimento delle curve a raggio variabile va fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 5 novembre 2001.

L'intervallo di velocità di progetto da adottarsi per ciascuna tipologia prevista è indicato nella tabella A di figura 26, dove per velocità di progetto delle rampe deve intendersi quella dell'elemento rampa (escludendo quindi i dispositivi d'immissione e/o d'accelerazione).

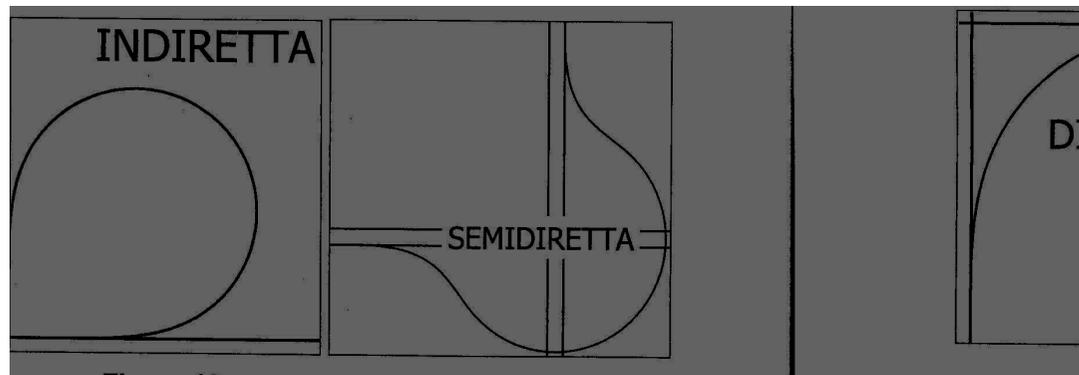
Per le rampe indirette il valore indicato in tale tabella rappresenta la velocità minima di progetto, mentre la velocità di progetto massima si assume pari a quella della corrispondente rampa semidiretta. Rispetto alla velocità di progetto dovrà essere verificata la sussistenza, lungo le rampe, di visuali libere commisurate alla distanza di visibilità per l'arresto (ai sensi del D.M. 5 novembre 2001).

I parametri fondamentali per il disegno geometrico delle rampe sono indicati nella tabella B di figura 26. Al raggio planimetrico minimo è sempre associata la pendenza massima del 7 %. Per raggi superiori la pendenza definita congruentemente con quanto indicato nel D.M. 5 novembre 2001.

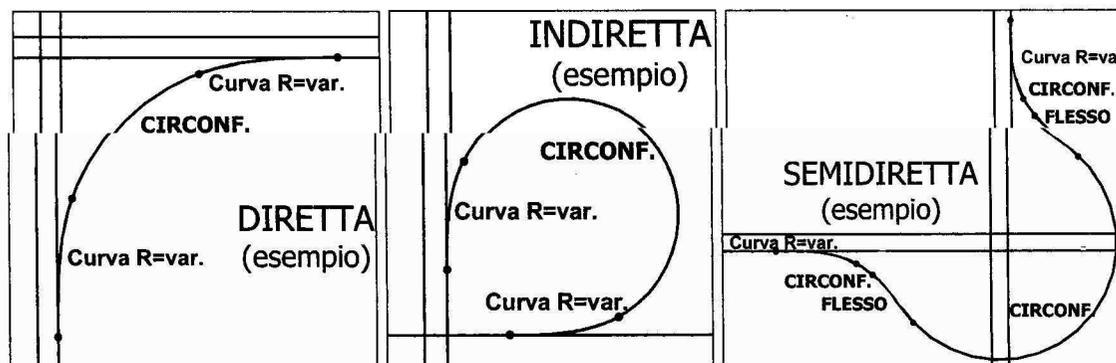
Le larghezze minime degli elementi modulari degli svincoli sono determinate in funzione della strada di livello gerarchico superiore (tra quelle confluenti nel nodo). Tali valori sono indicati nella tabella C di figura 27 (fatti salvi eventuali allargamenti di corsia necessari in relazione ai valori dei raggi planimetrici adottati). Per le larghezze degli elementi marginali si rinvia a quanto previsto dal D.M. 5 novembre 2001, assimilando le rampe dirette e semidirette delle intersezioni di tipo 1 a strade di tipo C e tutte le altre rampe a strade extraurbane di tipo F.

Intersezioni a livelli sfalsati

Tipologie e composizioni geometriche delle rampe



Tipologie di rampa



Caratteristiche planoaltimetriche delle rampe

Intersezioni a livelli sfalsati

Tabelle A e B

Tabella A - Velocità di progetto per le diverse tipologie di rampe

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

rampe

Tabella 7 - Velocità di progetto nei

Tabella B - Caratteristiche planoaltimetriche delle rampe



Intersezioni a livelli sfalsati

Tabelle C

Tabella C - Larghezza degli elementi modulari degli svincoli

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	-

Intersezioni stradali

Dimensionamento funzionale delle intersezioni

Un'intersezione deve essere dimensionata con riferimento alla domanda di traffico specializzata in relazione alle manovre consentite.

Gli elementi ed i parametri da determinare in funzione della domanda di traffico, riferita al periodo di punta di progetto, sono:

- per le intersezioni lineari a raso: la lunghezza delle corsie accumulo;
- per le intersezioni a rotatoria: la capacità della rotatoria ed il livello di servizio della soluzione adottata;
- per le intersezioni a livelli sfalsati: la lunghezza delle corsie.

In particolare, nelle intersezioni lineari a raso, le corsie specializzate di svolta a sinistra vanno sempre realizzate nel caso di strade con due corsie per senso di marcia, mentre, nel caso di una corsia per senso di marcia, la previsione della corsia d'accumulo è posta in relazione ai flussi di traffico.

Per le corsie specializzate d'accumulo e per gli attestamenti nelle zone regolate da Precedenza e Stop, dovranno essere determinati (con regole e criteri della tecnica della circolazione) il n° medio di veicoli in attesa ed il tempo medio di attesa. La lunghezza dei singoli elementi va quindi determinata in funzione del n° di veicoli in attesa e considerando uno spazio d'occupazione per veicolo pari a 6 m. Allo scopo poi di garantire (con elevata probabilità) che i veicoli in attesa riescano ad essere ospitati nell'elemento considerato, occorre assegnare a questo una lunghezza doppia di quella calcolata (sulla base del n° medio di veicoli in attesa).

Per le manovre d'immissione e di scambio, la lunghezza delle corsie specializzate deve essere determinata secondo procedure basate sulla distribuzione probabilistica dei distanziamenti temporali tra veicoli in marcia su ciascuna corsia.

Il livello di servizio dell'intersezione non dovrà essere inferiore a quello prescritto dal D.M. 5 novembre 2001 per il tipo di strade confluenti nel nodo.

A seconda del metodo di calcolo utilizzato potranno essere valutate con criteri funzionali le sole lunghezze $L_{i,e}$ (per le immissioni), $L_{a,a}$ (per corsie d'accumulo) e $L_{s,c}$ (per gli scambi) ovvero l'intera corsia specializzata o parte di essa. In tale modo si garantisce che la manovra nel suo complesso offra il livello di servizio richiesto.

Intersezioni stradali

Illuminazione

L'illuminazione delle intersezioni stradali deve essere sempre prevista nei seguenti casi:

- nodi di tipo 1: intersezioni a livelli sfalsati con eventuali manovre di scambio (svincoli);
- nodi di tipo 2: intersezioni a livelli sfalsati con manovre di scambio o incroci a raso.

I livelli di illuminamento e le condizioni di uniformità da garantire debbono essere tali da consentire il reciproco avvistamento dei veicoli, l'avvistamento di eventuali ostacoli e la percezione della configurazione degli elementi dell'intersezione, nelle diverse condizioni che possono verificarsi durante l'esercizio (diurno/notturno) dell'infrastruttura.

Per i nodi di tipo 3 (intersezioni a raso), l'illuminazione deve essere realizzata nei casi in cui si accerti la ricorrenza di particolari condizioni ambientali locali (presenza di nebbie o foschie) che potrebbero invalidare la corretta percezione degli ostacoli. L'accertamento di tali cause invalidanti deve essere compiuto presso le preposte autorità territoriali.

Intersezioni stradali

Accessi

Si definiscono accessi le immissioni di veicoli, provenienti da un 'area o da un edificio privato, in una strada di uso pubblico ovvero le immissioni di una strada ad uso privato in una strada ad uso pubblico e viceversa.

Lungo i rami delle intersezioni non è consentita la realizzazione di accessi.

Lungo i tronchi delle strade extraurbane ed urbane, gli accessi devono essere realizzati in conformità a specifici criteri come di seguito indicato.

Intersezioni stradali

Accessi alle strade extraurbane

La possibilità di prevedere accessi privati su una strada dipende dalla sua classificazione (ai sensi del Codice della Strada) secondo quanto indicato in tabella A di figura 28. In tale tabella sono pure riportati i criteri di distanziamento che occorre rispettare per l'ubicazione di questi elementi.

Le strade extraurbane principali, lungo le quali sono ammessi accessi solo se coordinati, qualora di nuova costruzione, debbono essere provviste di fasce laterali di terreno tali da consentire l'eventuale inserimento di strade di servizio per il collegamento degli accessi privati di immissione sulla strada.

La localizzazione e la configurazione degli accessi debbono essere tali da rispettare le distanze di visuale libera stabilite per le intersezioni. La sistemazione geometrica degli accessi deve essere realizzata come per le corrispondenti tipologie d'intersezione.

Le presenti disposizioni si applicano, sia agli accessi da area o edificio privato alla strada di uso pubblico, sia agli accessi da strada ad uso privato a strada ad uso pubblico. Per queste ultime valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.

Intersezioni stradali

Accessi alle strade urbane

La possibilità di prevedere accessi privati su una strada dipende dalla sua classificazione (ai sensi del Codice della Strada) secondo quanto indicato in tabella B di figura 28. In tale tabella sono pure riportati i criteri di distanziamento che occorre rispettare per l'ubicazione di questi elementi.

Le strade urbane di scorrimento, lungo le quali sono ammessi accessi solo se coordinati, qualora di nuova costruzione, debbono essere provviste di fasce laterali di terreno tali da consentire l'eventuale inserimento di strade di servizio per il collegamento degli accessi privati di immissione sulla strada.

La localizzazione e la configurazione degli accessi debbono essere tali da rispettare le distanze di visuale libera stabilite per le intersezioni. La sistemazione geometrica degli accessi deve essere realizzata come per le corrispondenti tipologie d'intersezione.

I passi carrabili debbono avere un'ubicazione ed una configurazione plano-altimetrica tali da:

- non arrecare pericolo od intralcio alla circolazione veicolare e pedonale;
- agevolare le manovre dei veicoli in ingresso o in uscita dal passo carrabile.

Le presenti disposizioni si applicano, sia agli accessi da area o edificio privato alla strada di uso pubblico, sia agli accessi da strada ad uso privato a strada ad uso pubblico. Per queste ultime valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.

Le distanze minime della tabella B di figura 28 debbono essere adottate anche per i varchi degli spartitraffico laterali in presenza di strade di servizio destinate alla concentrazione delle manovre di svolta a destra e a sinistra (indirette o semidirette).

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

Accessi

Tabelle A e B

Tabella A - Accessi alle strade extraurbane

Tipo di strada	A	B	C	F
	Autostrada extraurbana	Extraurbana principale	Extraurbana secondaria	Locale extraurbana
nessi	NO (1)	SI	SI	SI
organizzazione accessi	-	Coordinati	coordinati	Diretti
Distanza minima tra innesti successivi (2)	-	1000	300 (4)	-
Distanza minima tra accesso ed intersezione (3)	-	1000	300 (4)	30

Sono consentiti esclusivamente gli accessi alle pertinenze di servizio (aree di sosta, aree di parcheggio, aree di servizio).

Misurata tra gli assi degli accessi consecutivi per ogni senso di marcia.

Misurata tra l'asse dell'accesso e l'asse dell'intersezione.

L'ente proprietario della strada può derogare a tale distanza fino ad un minimo di 100 m, qualora, in relazione alla situazione morfologica, risulti particolarmente gravosa la realizzazione di strade di servizio. La stessa deroga può essere applicata per tratti di strade che, in considerazione della densità di insediamenti o di abitazioni, sono soggetti a limitazioni di velocità e per i tratti di strada compresi all'interno di zone previste come edificabili o trasformabili dagli strumenti urbanistici generali od attuativi vigenti.

Tabella B - Accessi alle strade urbane

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

Intersezioni stradali

Intersezioni semaforizzate⁽⁶⁾

Quando in un'intersezione regolata con STOP le portate superano certi limiti, la probabilità che nella corrente principale si presenti un intervallo uguale o superiore a quello critico diventa piccola. Si ha infatti un peggioramento delle condizioni operative di tutta l'intersezione: non solo in termini di tempi di attesa, ma anche con riferimento alla sicurezza. In questi casi si ricorre alla regolazione semaforica che ha il compito di disciplinare le manovre che avvengono nell'intersezione, determinando il periodico arresto di ciascuna corrente veicolare.

Il progetto di un'intersezione semaforizzata comprende la definizione della larghezza da assegnare a ciascuna strada che vi confluisce (bracci dell'intersezione) ed il calcolo del ciclo semaforico. Per ciclo semaforico s'intende l'insieme delle configurazioni che l'impianto di semaforizzazione può assumere in corrispondenza di ciascun braccio dell'intersezione: *verde* per indicare la *via libera*, *giallo* per indicare *che i veicoli che sopraggiungono devono fermarsi*, *rosso* per indicare la *via impedita*. Il tempo di verde su un braccio talvolta è pari alla somma di tempi di verde parziali. Per l'intersezione di figura 17 (non sono consentite le svolte), indicati con V_1 , V_2 , R_1 , R_2 , G_1 , G_2 i tempi di verde, rosso e giallo per le due strade, risulta ovviamente: $R_1 = V_2 + G_2$ e $R_2 = V_1 + G_1$ per cui la durata complessiva del ciclo vale: $C = V_1 + V_2 + G_1 + G_2$.

⁽⁶⁾ P. Ferrari, F. Giannini, "Intersezioni semaforizzate" in "Geometria e progetto di strade" Volume 1, ISEDI, Torino, 1994

Intersezioni stradali

Schema di una intersezione semaforizzata

