



Comune di Pescara
Assessorato LL.PP. e Mobilità
CMG centro monitoraggio e
gestione sicurezza stradale

Corsi di Formazione - Materiali
14 Maggio 2015

C3

CNR strade-PFT 2001 Intersezioni stradali

Normativa-Manualistica

a cura di Giuseppe Di Giampietro



WWW.WEBSTRADE.IT



IL TESTO COMPLETO DI QUEST'OPERA CON RIFERIMENTI NORMATIVI BIBLIOGRAFICI, MANUALISTICI, LINK ATTIVI E ALTRE RISORSE E' DISPONIBILE IN FORMATO ELETTRONICO SU DVD WEBSTRADE.IT.

I materiali presentati sono frutto di ricerche finanziate MURST 2000-2010. Essi non sono pubblicati e sono utilizzati con finalità didattiche. E' escluso qualsiasi uso professionale o riproduzione senza la preventiva autorizzazione del curatore

<digiampietro@webstrade.it - www.webstrade.it - 02-4474-978 >

(Retro pagina vuoto)



**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI
TRASPORTI**

-
**ISPettorato Generale per la
CIRCOLAZIONE E LA SICUREZZA STRADALE**

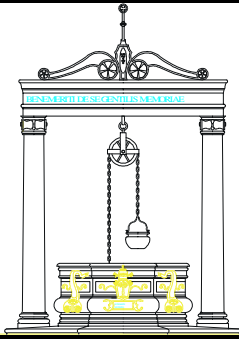
-
ROMA

STUDIO A CARATTERE PRENORMATIVO

RAPPORTO DI SINTESI

**“NORME SULLE CARATTERISTICHE FUNZIONALI E
GEOMETRICHE DELLE INTERSEZIONI STRADALI”**

Documento approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR con prescrizione di emendamenti non ancora riportati nel presente documento



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
“LA SAPIENZA”
DIPARTIMENTO DI IDRAULICA, TRASPORTI E STRADE

ROMA – 10 settembre 2001



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

TRIESTE – 10 settembre 2001

REDAZIONE

Coordinatore generale:

prof. ing. Aurelio Amodeo (Univ. Trieste)

Responsabili scientifici:

prof. ing. Alessandro Ranzo (Univ. Roma La Sapienza)

prof. ing. Bruno Crisman (Univ. Trieste)

Redattori:

- 1) *prof. ing. Mario Bordin (Univ. Udine)*
- 2) *prof. ing. Alberto Bucchi (Univ. Bologna)*
- 3) *prof. ing. Roberto Camus (Univ. Trieste)*
- 4) *prof. ing. Luciano Caroti (Univ. Pisa)*
- 5) *prof. ing. Antonio D'Andrea (Univ. Roma La Sapienza)*
- 6) *prof. ing. Giovanni Da Rios (Polit. Milano)*
- 7) *prof. ing. Luciano Di Fraia (Univ. Napoli Federico II°)*
- 8) *prof. ing. Paolo Ferrari (Univ. Pisa)*
- 9) *prof. ing. Aurelio Marchionna (Univ. Trieste)*
- 10) *dott. ing. Roberto Roberti (Univ. Trieste)*
- 11) *dott. ing. Giuseppe Cantisani (Univ. Roma La Sapienza)*
- 12) *dott. ing. Giuseppe Loprencipe (Univ. Roma La Sapienza)*
- 13) *dott. ing. Stefano Glavina (Univ. Trieste)*

INDICE DEL RAPPORTO

REDAZIONE DEL RAPPORTO	pag.	I
INDICE DEL RAPPORTO	pag.	II
PREMESSA	pag.	1
1. CRITERI PER LA UBICAZIONE DELLE INTERSEZIONI IN UNA RETE STRADALE	pag.	3
1.1 Introduzione	"	3
1.2 L'attribuzione dei pesi e dei punteggi alle varie soluzioni progettuali	"	4
1.3 La scelta fra le soluzioni progettuali	"	6
2. CLASSIFICAZIONE DELLE INTERSEZIONI	pag.	9
2.1 Analisi delle manovre elementari	"	9
2.2 Classifica funzionale delle manovre di svolta	"	10
2.3 Tipologie essenziali per la svolta a sinistra	"	11
2.4 Tipologie essenziali per la svolta a destra	"	12
2.5 Classificazione tipologica delle intersezioni	"	13
3. SCHEMI ORGANIZZATIVI DELLE INTERSEZIONI	pag.	23
SCHEDE 1 - 11	"	24
4. DIMENSIONAMENTO FUNZIONALE DELLE INTERSEZIONI	pag.	39
4.1 Introduzione	"	39
4.2 Criteri di progettazione delle corsie di accumulo e di immissione nelle intersezioni a raso lineari	"	40
4.3 Criteri di progettazione delle rotatorie	"	44
4.4 Criteri di progettazione delle corsie di immissione e delle zone di scambio nelle intersezioni a più livelli	"	54
5. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEGLI ELEMENTI DELLE INTERSEZIONI	pag.	61
5.1 Larghezza delle corsie	"	61
5.2 Lunghezze dei tratti specializzati	"	63
5.3 Componenti funzionali per intersezioni lineari	"	69
5.4 Dimensionamento delle isole di canalizzazione	"	72
5.5 Elementi geometrici delle rotatorie	"	81
5.6 Casi particolari di rotatorie	"	86
5.7 Geometria degli assi e dei margini stradali	"	86
5.8 Caratteristiche geometriche delle intersezioni a livelli sfalsati	"	89
5.9 Percorsi pedonali e ciclabili	"	91
5.10 Distanze di visuale libera sugli incroci a raso	"	101

5.11 Drenaggi delle acque	"	105
5.12 Piano di segnalamento	"	106
5.13 Criteri per l'inserimento delle intersezioni	"	107
6. SISTEMI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA	pag.	109
6.1 Introduzione	"	109
6.2 Criteri per l'introduzione della semaforizzazione	"	109
6.3 Classificazione delle intersezioni	"	111
6.4 Modalità di controllo	"	112
6.5 Modalità di gestione dei piani semaforici	"	114
6.6 Definizioni	"	116
6.7 Elementi per la progettazione dei piani semaforici	"	121
6.8 Contenuti del progetto	"	139
6.9 Interazioni fra il controllo semaforico e geometria dell'intersezione	"	141
7. ACCESSI E DIRAMAZIONI	pag.	149
7.1 Premessa	"	149
7.2 Riferimenti bibliografici e normativi	"	149
7.3 Accessi e diramazioni. Definizioni e tipologia	"	150
7.4 Disposizioni generali	"	150
7.5 Accessi alle strade extraurbane	"	152
7.6 Accessi alle strade urbane. Passi carrabili	"	156
 APPENDICE 1	 pag.	 163
Controllo dell'efficienza globale	"	165
A1.1 Introduzione	"	165
A1.2 Modalità operative delle analisi di sicurezza	"	166
A1.3 Organizzazione delle liste di controllo	"	167
A1.4 Check list per la sicurezza delle intersezioni	"	168
 APPENDICE 2	 pag.	 183
Illuminazione delle intersezioni	"	185
A2.1 Incidenti stradali di notte	"	185
A2.2 Effetti dell'illuminazione e costi/benefici	"	185
A2.3 Situazione normativa	"	187
A2.4 Principali parametri di qualità dell'illuminazione stradale	"	187
A2.5 Requisiti dell'illuminazione delle intersezioni e aspetti progettuali	"	189
A2.6 Guida visiva	"	192
A2.7 Intersezioni di strade non illuminate	"	193
A2.8 Configurazioni di impianti	"	193
A2.9 Conclusioni	"	195

APPENDICE 3	pag.	197
Esempi	"	199
A3.1 Esempio sui criteri per la ubicazione delle intersezioni in una rete stradale	"	199
A3.2 Esempi di intersezioni a livelli totalmente o parzialmente sfalsati	"	203
A3.3 Esempi di intersezioni a rotatoria	"	208
A3.4 Esempio sul dimensionamento della lunghezza della zona di accumulo in una intersezione a raso	"	215
A3.5 Esempio sul calcolo della capacità di una rotatoria	"	215
A3.6 Esempio sul calcolo del livello di servizio di una zona di scambio	"	219

PREMESSA

In attuazione dell'art. 13 del Decreto Legislativo 30.04.1992 n. 285 "Nuovo codice della strada" e successive modificazioni, il Ministro dei Lavori Pubblici, ora Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, emana le "Norme funzionali e geometriche per la costruzione, il controllo e il collaudo delle strade, dei relativi impianti e servizi". Dette norme devono essere improntate alla sicurezza della circolazione di tutti gli utenti della strada, alla riduzione dell'inquinamento acustico ed atmosferico per la salvaguardia degli occupanti gli edifici adiacenti le strade ed al rispetto dell'ambiente e di immobili di notevole pregio architettonico o storico.

Nell'ambito di questo compito legislativo sono state già preparate e licenziate dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e dal Consiglio superiore dei lavori pubblici le "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

Di seguito a quanto sopra l'Ispettorato per la circolazione e la sicurezza stradale, cui sono state demandate le competenze del Ministero dei Lavori Pubblici relative all'attuazione del D.Leg.vo citato, ha stipulato una convenzione con il Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade dell'Università di Roma "La Sapienza" per lo studio per la "Ricerca delle indicazioni progettuali per le caratteristiche geometriche, funzionali, di traffico e di illuminazione delle intersezioni stradali urbane", ed una convenzione con il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Trieste per lo studio per la "Ricerca delle indicazioni progettuali per le caratteristiche geometriche, funzionali, di traffico e di illuminazione delle intersezioni stradali extraurbane".

Pur afferendo alle due Convenzioni separate citate, il seguente "Rapporto di sintesi coordinato" viene redatto in forma congiunta per ragioni di complementarietà disciplinare degli argomenti ivi trattati.

1 – CRITERI PER LA UBICAZIONE DELLE INTERSEZIONI IN UNA RETE STRADALE

1.1 - Introduzione

Il sistema delle infrastrutture stradali a servizio di un territorio è costituito dalla sovrapposizione di reti stradali distinte, ciascuna formata da strade aventi caratteristiche funzionali e geometriche omogenee, mentre diverse sono le stesse caratteristiche per le strade appartenenti a reti diverse. Tenendo conto delle tipologie di strade previste dalle Norme italiane, si possono distinguere quattro categorie di reti stradali:

- Rete primaria
- Rete principale
- Rete secondaria (denominata di quartiere nelle aree urbane)
- Rete locale.

Le intersezioni stradali, cioè quelle particolari configurazione infrastrutturali che consentono il passaggio da una strada ad un'altra, debbono essere di norma ubicate nei punti in cui strade diverse appartenenti a reti di una stessa categoria si incontrano, e ciò allo scopo di garantire il massimo grado di connessione a ciascun livello di rete. La ubicazione dei punti di trasferimento fra reti di categorie diverse, cioè delle intersezioni fra strade appartenenti a reti di livello diverso, è invece il risultato di considerazioni, da un lato di carattere economico, riguardanti sia i costi di costruzione, sia i costi del trasporto e quelli ambientali, dall'altro di carattere gestionale, riguardanti la razionalizzazione dei flussi di traffico e l'integrazione delle reti.

Da un punto di vista pratico il problema della ubicazione delle intersezioni fra strade di livello diverso si pone quando si progetta una nuova strada, poiché fa parte del progetto l'insieme delle interconnessioni della nuova infrastruttura con le strade esistenti; oppure quando si intende semplicemente inserire nuove intersezioni in una rete infrastrutturale attuale, allo scopo di migliorare l'integrazione delle strade di livello superiore con il territorio circostante. In ogni caso il problema da risolvere è quello del confronto fra diverse soluzioni progettuali, una delle quali è quella di non intervento, formata dalla rete attuale, mentre le altre sono derivate da quest'ultima mediante la introduzione di una nuova strada e/o di nuove intersezioni. In genere queste soluzioni progettuali sono numerose, ciascuna con un diverso numero e una differente ubicazione delle intersezioni, e con un eventuale diverso tracciato di una nuova strada. Poiché i punti

di vista in base ai quali deve essere eseguito il confronto sono differenti – costo di costruzione, costo generalizzato del trasporto sopportato dagli automobilisti, impatto ambientale – sembra opportuno l'uso di una tecnica di analisi multiobiettivo.

Questa tecnica di analisi cerca di rendere il più possibile logica e trasparente la procedura di scelta della soluzione progettuale ritenuta migliore. Essa conduce alla attribuzione ad ogni progetto di un vettore di punteggi, ciascuna componente del quale misura la validità del progetto da un certo punto di vista. Questi vettori vengono quindi confrontati fra loro utilizzando una procedura di gerarchizzazione in cui intervengono, fra l'altro, i pesi attribuiti ai vari punti di vista. La procedura può essere ripetuta più volte, attribuendo ogni volta pesi diversi a ciascun punto di vista, allo scopo di individuare soluzioni progettuali robuste, che cioè risultano superiori alle altre entro una gamma abbastanza ampia di pesi.

Le varie fasi dell'analisi multiobiettivo per la scelta della migliore ubicazione delle intersezioni in una rete di infrastrutture stradali sono descritte nei paragrafi successivi.

1.2 - L'attribuzione dei pesi e dei punteggi alle varie soluzioni progettuali

Sia A l'insieme dei progetti a confronto. Su A viene definito un insieme di m funzioni g_j , $j = 1 \dots m$, usualmente denominate *criteri*, le quali misurano la validità dei progetti secondo i diversi punti di vista. I valori assunti dai criteri debbono essere indipendenti dalle unità di misura, quindi adimensionali, e definiti in uno stesso intervallo, in genere $[0,1]$, in modo da poter essere confrontati fra loro (proprietà della *standardizzazione* dei criteri). Inoltre deve essere $g_j(a) > g_j(b)$ se si ritiene che il progetto a sia migliore del progetto b relativamente al punto di vista rappresentato dal criterio g_j (proprietà della *direzionalità* dei criteri).

In uno studio relativo alle intersezioni stradali è in genere sufficiente assumere quattro criteri ($m = 4$), che riflettono i vari punti di vista precedentemente indicati. Si considerino pertanto i seguenti attributi relativi a ciascun progetto:

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 le strade della rete nelle quali il traffico produce danno ambientale, per esempio quelle che attraversano centri abitati.

I valori assunti dai criteri relativamente a ciascun progetto vengono ottenuti trasformando questi attributi mediante la seguente relazione, allo scopo di soddisfare le proprietà di standardizzazione e di direzionalità prima indicate:

$$e_{ij} = g_j(i) = \frac{\max_{k \in A} a_{kj} - a_{ij}}{\max_{k \in A} a_{kj} - \min_{k \in A} a_{kj}} \quad (1)$$

dove e_{ij} è il valore (usualmente denominato *punteggio*) assunto dal criterio g_j in corrispondenza del progetto $i \in A$, mentre a_{kj} è il valore dell'attributo j relativo al progetto k .

Il significato del criterio derivante dall'attributo 1) sopra indicato è evidente. Quelli dei criteri relativi agli attributi 2) e 3) riflettono il punto di vista del costo generalizzato del trasporto. Il criterio derivante dall'attributo 4) è relativo al punto di vista dell'impatto ambientale.

Un punto centrale dell'analisi multiobiettivo è il calcolo degli attributi dei vari progetti. Mentre il costo di costruzione è un parametro che accompagna abitualmente ogni singolo progetto, il calcolo degli altri tre attributi richiede l'assegnazione della domanda di trasporto alla rete stradale di cui il progetto fa parte.

Il primo passo della procedura di assegnazione è l'individuazione della rete e la sua rappresentazione mediante un grafo. La rete da considerare è costituita dall'insieme delle infrastrutture stradali sulle quali si ritiene che si verificheranno apprezzabili variazioni dei flussi veicolari come conseguenza delle modifiche apportate dai progetti in esame alla situazione attuale. Questa rete è rappresentata mediante un grafo, formato da un insieme di archi e di nodi. Alcuni di questi ultimi sono ubicati alle intersezioni stradali, gli altri sono i centroidi di origine e di destinazione della domanda di trasporto, i quali sono i baricentri di aree per le quali è possibile conoscere il numero di spostamenti generati e attratti nel periodo di tempo di riferimento. Le dimensioni di queste aree dipendono dalle caratteristiche della rete: nelle reti extraurbane esse in genere coincidono con i territori comunali, nelle reti urbane sono le porzioni di territorio delimitate dalle strade di quartiere.

In genere le reti che vengono prese in esame in uno studio relativo alla ubicazione delle intersezioni stradali hanno dimensioni non molto grandi, per cui possono essere percorse in periodi di tempo limitati, non superiori ad un'ora. Pertanto la domanda di trasporto che viene assegnata alla rete è quella relativa all'ora di punta dei giorni feriali: a questo intervallo temporale si riferiscono quindi gli output derivanti dalla procedura di assegnazione. Per ottenere quelli relativi al giorno medio dell'anno, che costituiscono gli attributi dei singoli progetti, i risultati dell'assegnazione vengono divisi per il rapporto fra traffico orario di punta e traffico giornaliero medio nell'anno (in genere compreso fra 0.08 e 0.10).

I tronchi stradali che vengono rappresentati da archi del grafo sono quelli delle strade primarie, principali e secondarie (o di quartiere, secondo che si tratti di reti extraurbane o urbane), mentre l'insieme delle strade locali è individuato dai connettori che collegano i centroidi con gli archi rappresentativi delle strade secondarie o di quartiere.

Il calcolo dei flussi, dei costi monetari e dei tempi di viaggio sulle reti urbane può essere eseguito indifferentemente con una procedura di assegnazione di equilibrio deterministica o stocastica. Nel caso delle reti extraurbane, in cui spesso molti archi hanno condizioni di circolazione molto lontane dalla saturazione, è consigliabile l'uso di una procedura stocastica di equilibrio.

Applicando la procedura di assegnazione alla rete attuale e a ciascuna di quelle ottenute da quest'ultima introducendovi le modifiche proprie di ciascun progetto, si ottengono gli attributi dei vari progetti e quindi, applicando la (1), i valori assunti dai quattro criteri.

1.3 - La scelta fra le soluzioni progettuali

Siano i e k due progetti alternativi. Se per tutti i criteri g_j risulta $g_j(i) \geq g_j(k)$, con il segno di stretta disuguaglianza valido per almeno un criterio, si dice che il progetto k è *dominato* dal progetto i , e viene pertanto escluso dalla rosa dei progetti a confronto. L'esclusione per dominanza è tuttavia un caso abbastanza eccezionale, in genere conseguenza di errori commessi nella redazione del progetto dominato: non fornisce quindi un metodo valido per procedere ad una gerarchizzazione nell'insieme dei progetti. L'analisi multiobiettivo utilizza pertanto un metodo alquanto più severo di quello della dominanza per confrontare i vari progetti.

Ad ogni criterio g_j viene attribuito un peso $w_j > 0$ tale che $\sum w_j = 1$. Il peso di un criterio individua l'importanza relativa attribuita al punto di vista^j a cui il criterio si riferisce.

Siano i e k due progetti. Indichiamo con Ψ_{ik} l'insieme degli indici j dei criteri g_j per i quali i punteggi e_{ij} meritati dal progetto i superano o eguagliano quelli e_{kj} del progetto k , e con Φ_{ik} l'insieme degli indici j dei criteri g_j per i quali i punteggi del progetto k superano quelli del progetto i . Cioè:

$$\begin{aligned}\Psi_{ik} &= \{j : e_{ij} \geq e_{kj}\} \\ \Phi_{ik} &= \{j : e_{ij} < e_{kj}\}\end{aligned}\quad (2)$$

Per ogni coppia (i, k) di progetti si definiscono due indicatori: un indicatore di *concordanza* c_{ik} e uno di *discordanza* d_{ik} . Il primo è dato dalla somma dei pesi relativi ai criteri che concordano nel ritenere il progetto i non inferiore al progetto k :

$$c_{ik} = \sum_{j \in \Psi_{ik}} w_j \quad (3)$$

L'indice d_{ik} è una misura dell'importanza che, nell'insieme dei valori assoluti degli scarti fra i punteggi meritati dai due progetti relativamente ai diversi criteri, ha il massimo scarto assoluto fra i punteggi relativi ai criteri per i quali il progetto i è inferiore al progetto k :

$$d_{ik} = \frac{\max_{j \in \Phi_{ik}} (w_j |e_{ij} - e_{kj}|)}{\max_j (w_j |e_{ij} - e_{kj}|)} \quad (4)$$

L'indice di discordanza viene introdotto in aggiunta a quello di concordanza allo scopo di evitare che un progetto venga giudicato di rango più elevato di un altro perchè ha punteggi superiori per la maggior parte dei criteri, pur essendo, relativamente ad alcuni pochi criteri (per esempio quelli riguardanti l'impatto ambientale), nettamente inferiore.

Si fissano quindi due valori di soglia λ e μ entrambi compresi fra 0 e 1, λ più vicino a 0 e μ più vicino a 1. Se, data una coppia (i, k) di progetti, risulta contemporaneamente:

$$\begin{aligned} c_{ik} &\geq \lambda \\ d_{ik} &\leq \mu \end{aligned} \tag{5}$$

non esistono elementi che consentono di affermare che i è peggiore di k . Se d'altra parte risulta anche:

$$\begin{aligned} c_{ki} &\geq \lambda \\ d_{ki} &\leq \mu \end{aligned} \tag{6}$$

ovvero se allo stesso tempo almeno una delle (5) e almeno una delle (6) non risultano verificate, non esistono elementi per asserire la superiorità di un progetto sull'altro. Se invece entrambe le (5) sono soddisfatte e una almeno delle (6) non è verificata, si può affermare che il progetto i è di rango superiore a k .

Esaminando in questo modo tutte le coppie di progetti, è possibile partizionare l'insieme A dei progetti in due sottoinsiemi: un sottoinsieme E formato dai progetti per i quali non è stato possibile individuare la superiorità di uno su un altro dello stesso sottoinsieme, ed un sottoinsieme A/E formato dai progetti per i quali ne è stato individuato almeno uno di rango superiore appartenente a E .

Se l'insieme E è formato da un solo progetto, è questo quello su cui ricade la scelta definitiva. Se invece in E sono contenuti più progetti, è possibile ridurre l'indeterminatezza della scelta modificando i pesi attribuiti ai criteri e/o avvicinando fra loro i due valori di soglia λ e μ , in modo da ottenere un nuovo insieme E . L'operazione può essere ripetuta più volte, fino ad ottenere che l'intersezione fra i vari insiemi E così ricavati contenga un numero molto limitati di progetti (al limite uno solo), la cui superiorità rispetto agli altri è stabilita in modo robusto, cioè per un'ampia gamma di pesi e di valori di soglia.

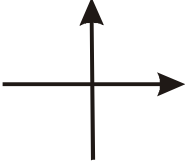
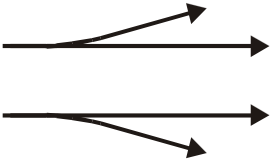
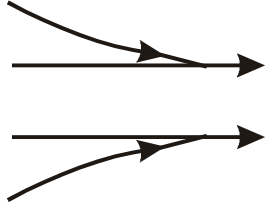


2 – CLASSIFICAZIONE DELLE INTERSEZIONI

Una classifica sistematica di tutte le possibili “forme elementari” del modo di effettuare le svolte, facilita la definizione dello svincolo o dell’intersezione a raso; consente cioè di tradurre in forma schematica di elementi di collegamento o di svolta lo schema dei flussi di traffico che interessano il nodo.

2.1 - ANALISI DELLE MANOVRE ELEMENTARI

In corrispondenza delle intersezioni stradali i veicoli compiono delle “Manovre”, abbandonano cioè il regime di marcia caratterizzato da velocità pressochè costante e da una traiettoria a bassa curvatura. Dette manovre sono infatti caratterizzate da velocità variabili e traiettorie fortemente curve, almeno nella maggioranza dei casi.

Le principali manovre elementari sono quelle indicate qui di seguito:

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		

Conseguentemente alle manovre indicate vengono ad identificarsi alcuni punti caratteristici, dalla presenza dei quali dipendono le condizioni di sicurezza e di operatività dell'intersezione. Questi costituiscono i cosiddetti "punti di conflitto" fra le traiettorie, e nascono dalla interferenza potenziale di queste. Si distinguono in:

- punti di conflitto di attraversamento;
- punti di conflitto di diversione;
- punti di conflitto di immissione.

Osservando i citati tipi di manovre elementari (attraversamento, svolta ecc.) è facile riconoscere un primo elemento di classificazione dei "modi" pratici di risoluzione del nodo; se prevarranno infatti manovre di attraversamento si parlerà di intersezioni a "raso" o a "livello" (semaforico o no); se prevarranno manovre di immissione, diversione e svolta, mancando completamente quelle di attraversamento, si sarà in presenza di "intersezioni" a livelli completamente sfalsati. Nel caso che prevalessero invece manovre di scambio, le soluzioni possono considerarsi "intermedie" tra quelle a livelli completamente sfalsati e quelle a "raso".

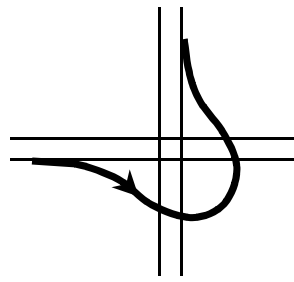
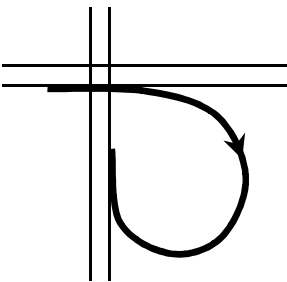
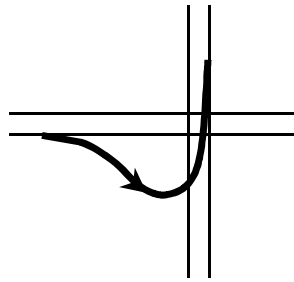
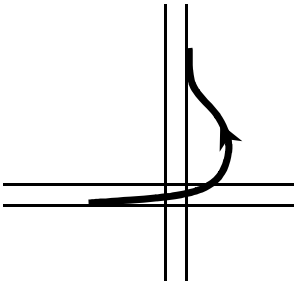
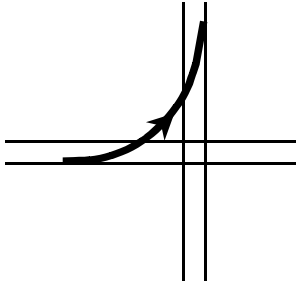
In ogni caso per risolvere i flussi di svolta la soluzione prevederà sempre manovre di immissione, diversione e svolta; questa constatazione dà conto della utilità di introdurre una classificazione del "modo" di effettuazione delle manovre elementari di svolta, comprendendo in questo le necessarie "immissioni" e "diversioni".

2.2 CLASSIFICA FUNZIONALE DELLE MANOVRE DI SVOLTA

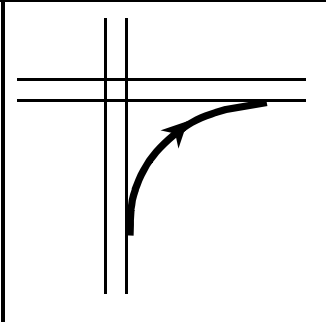
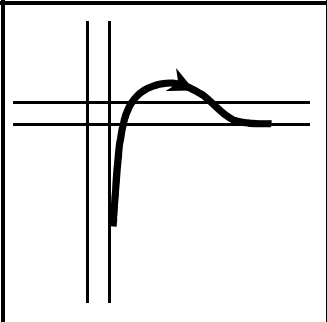
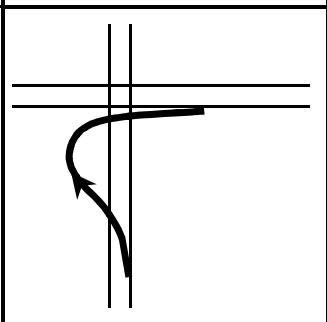
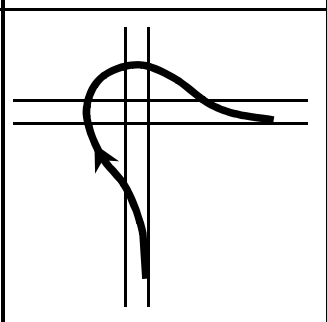
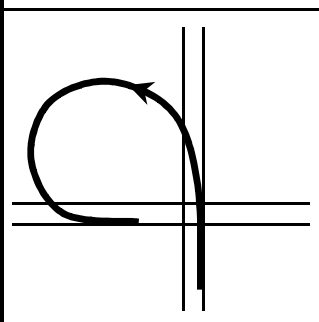
L'elemento fondamentale che determina la diversità tra i "modi" di risolvere una intersezione stradale, è rappresentata dalla forma delle manovre di svolta.

Nelle figure ai paragrafi 2.3 e 2.4 sono rappresentati i modi essenziali di effettuazione della svolta a sinistra e a destra.

2.3 - TIPOLOGIE ESSENZIALI PER LA SVOLTA A SINISTRA

	DIRETTA	SEMIDIRETTA	INDIRETTA (LOOP)
Uscita in DS Entrata in DS			
Uscita in DS Entrata in SX			
Uscita in SX Entrata in DS			
Uscita in SX Entrata in SX			

2.4 - TIPOLOGIE ESSENZIALI PER LA SVOLTA A DESTRA

	DIRETTA	SEMIDIRETTA	INDIRETTA (LOOP)
Uscita in DS Entrata in DS			
Uscita in DS Entrata in SX			
Uscita in SX Entrata in DS			
Uscita in SX Entrata in SX			

2.5 – CLASSIFICAZIONE TIPOLOGICA DELLE INTERSEZIONI.

E' possibile individuare in un sistema di infrastrutture stradali una precisa classificazione delle strade che lo costituiscono, collegata alla funzione che ogni strada assolve nel sistema così come definita dal Codice della Strada e recepita dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

Sulla base di questa classificazione, articolata in otto tipi di strade, (quattro per l'ambito extraurbano e quattro per l'ambito urbano) possono idealmente rappresentarsi secondo gli elementi di una matrice (8x8) come riportata nella figura al punto 2.5.1 seguente, tutti i possibili nodi di intersezione fra due strade che possono presentarsi nell'ambito di un sistema di infrastrutture stradali.

Essi possono essere identificati in base alle tipologie delle due strade che convergono nel nodo. Nel caso di nodo in cui convergano più di due strade occorrerà considerare, separatamente a due a due, tutte le strade che convergono nel nodo.

Si ricorda che, a norma dell'articolo 3 del Codice della Strada, valgono le seguenti definizioni:

- SVINCOLO: intersezione a livelli sfalsati in cui le correnti veicolari non si intersecano tra loro;
- INTERSEZIONE A LIVELLI SFALSATI: insieme di infrastrutture (sovrappassi, sottopassi e rampe) che consente lo smistamento delle correnti veicolari fra rami di strade poste a diversi livelli;
- 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.

Fra i nodi si possono distinguere quelli che connettono strade dello stesso tipo (omogenei) e quelli che connettono strade di tipo diverso (disomogenei) . Mentre nei primi vanno sempre previste connessioni che realizzino i trasferimenti dei flussi da una strada all'altra; nei secondi (disomogenei), per ragioni di sicurezza e funzionalità, non sempre va realizzata la connessione dei flussi. Pertanto nella matrice alcune tipi di nodi, nei quali è forte la differenza fra i livelli gerarchici delle strade confluenti, vengono etichettati con la dicitura "connessione non consentita", intendendosi che, in questi casi, non sono ammesse

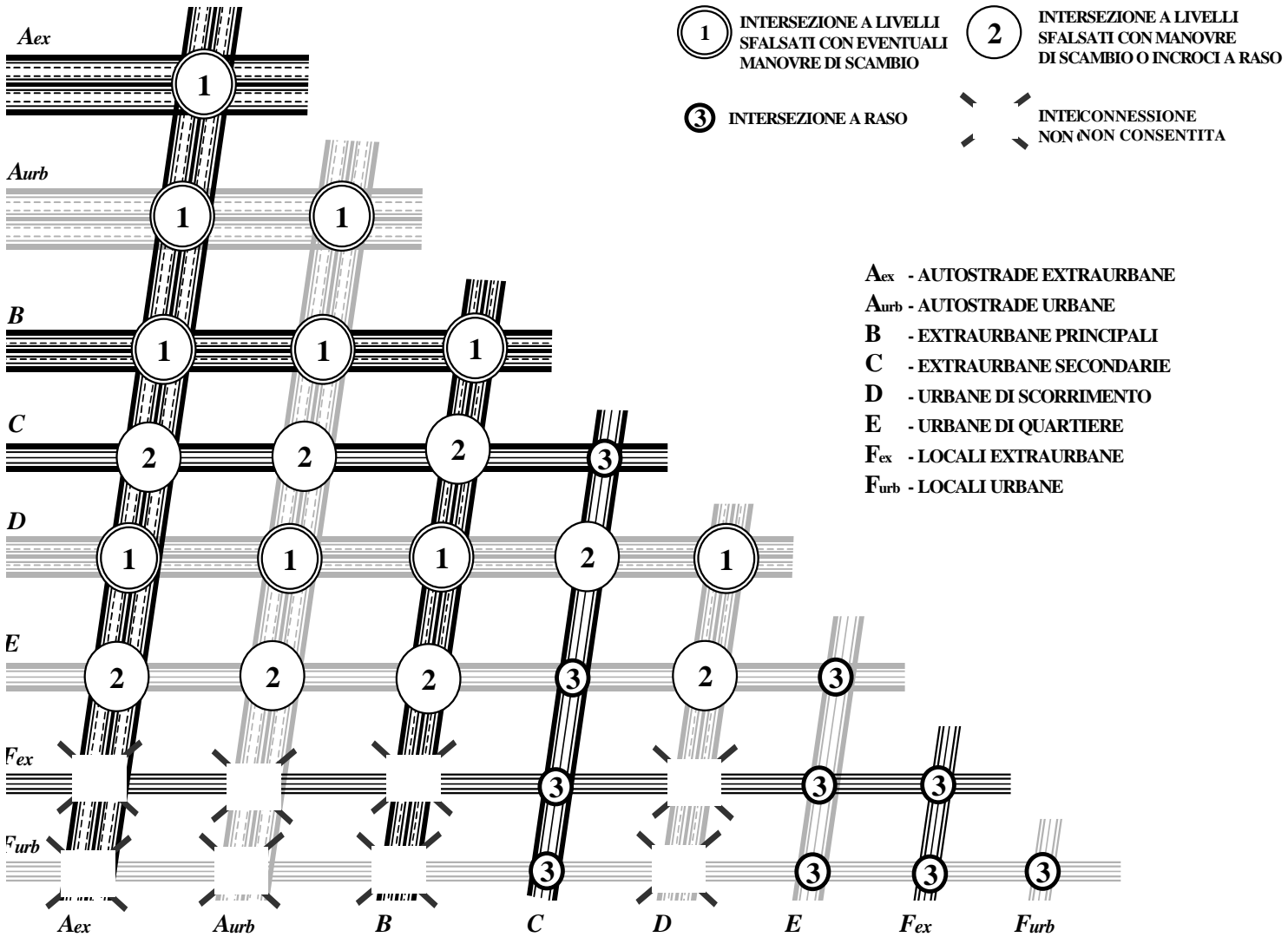
connessioni che realizzino il trasferimento di flussi di traffico da una strada all'altra, mentre resta la necessità di risolvere la sistemazione delle strade che si incrociano (vedi scheda n. 11).

Laddove la connessione è ammessa, si dà una prima indicazione del modo di risolverla; l'indicazione riguarda la possibilità o meno che in corrispondenza del nodo possano verificarsi punti di conflitto di intersezione. Tale possibilità è connessa, per evidenti motivi di sicurezza della circolazione, al mantenimento in corrispondenza del nodo della sezione corrente per i tipi di strade a carreggiate separate. Pertanto nel caso di nodo in cui le strade confluenti in esso sono tutte a carreggiate separate, la connessione sarà risolta con una intersezione a livelli sfalsati, ammettendo eventualmente per le sole correnti di svolta manovre di scambio; questi casi nella matrice vengono indicati come nodi di tipo 1.

Laddove una delle strade che convergono nel nodo è di un tipo per il quale la sezione trasversale è prevista ad unica carreggiata, possono essere ammesse su tale strada manovre a raso di svolta a sinistra, mentre l'incrocio fra le correnti principali va risolto sfalsando i livelli (nodo di tipo 2).

Laddove le due strade che si considerano appartengano a tipi per i quali la sezione trasversale prevista è ad unica carreggiata, l'intersezione potrà essere risolta a raso (nodo di tipo 3).

2.5.1 – Organizzazione delle reti stradali e definizione delle intersezioni ammesse



Per le piattaforme dei tipi di strade considerate vedere “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”

seguono tabelle a parte - file:

aa tabellaA3_cap_252.doc

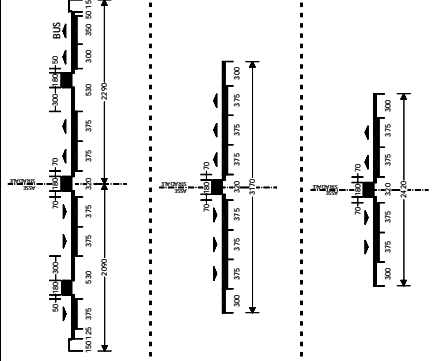
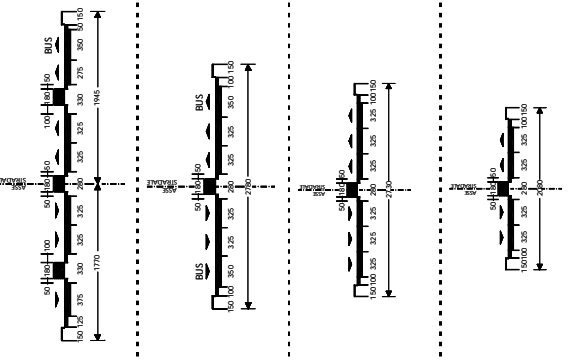
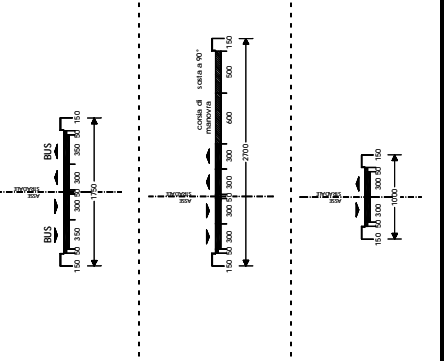
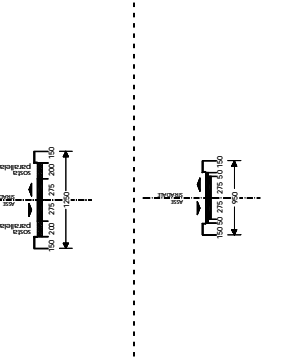
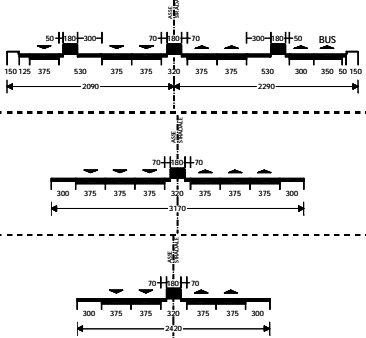
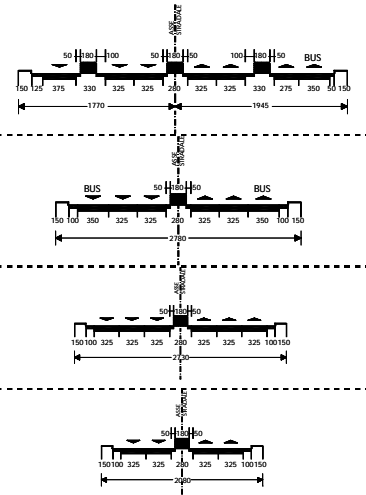
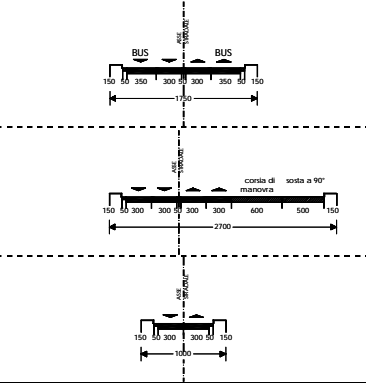
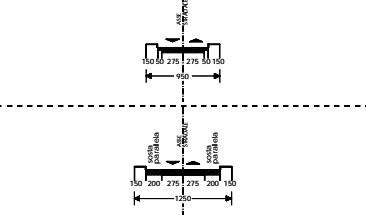
aa tabellaA3_cap_253.doc

aa tabellaA3_cap_254.doc

2.5.2 - Matrice della classificazione funzionale per le intersezioni urbane

LIVELLI MINIMI DA RISPETTARE

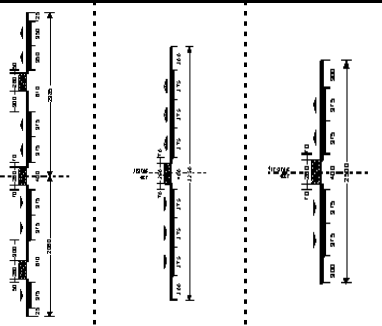
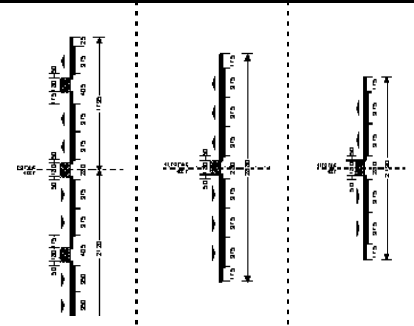
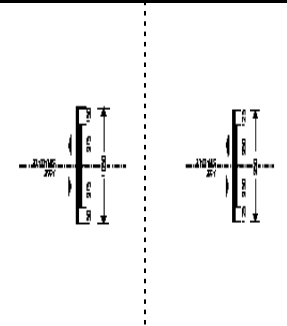
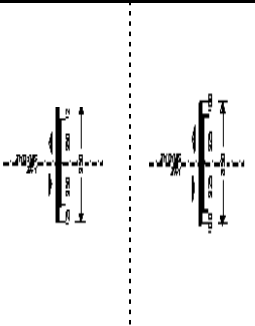
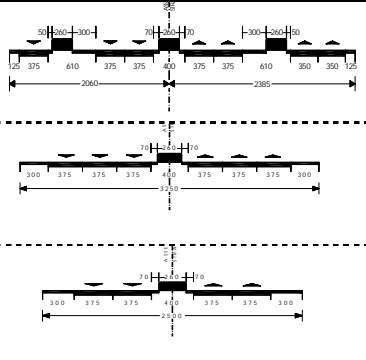
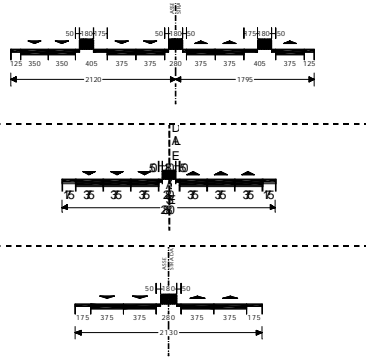
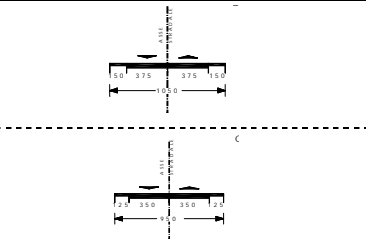
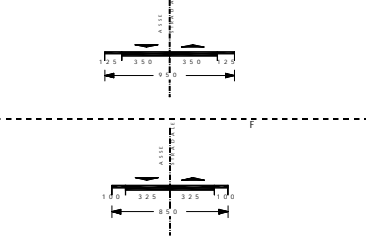
* Nelle intersezioni a tre braccia il simbolo X/Y intende che la strada X s'innesta sulla Y. In queste intersezioni non sono consentite le Aurb/Furb e le D/Furb

SEZIONI TIPO PREVISTE DALLE NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE		Aurb – AUTOSTRADE URBANE	D – URBANE DI SCORRIMENTO	E – URBANE DI QUARTIERE	Furb – LOCALI URBANE
					
Aurb – AUTOSTRADE URBANE		Aurb/Aurb A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio Schede 1,2,3,4			
		Aurb/D-D/Aurb A due livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio Schede 1,2,3,4	D/D A due livelli, anche con manovre di scambio lungo una rotatoria Schede 2,4,5,6		
		*Aurb/E-E/Au A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C Schede 4,7,8,9	D/E-E/D A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo "E" Schede 6,7,8,9	E/E A due livelli o a raso, con rotatorie o incroci canalizzati Schede 8,9,10	
		Intersezione non consentita Scheda 11	Intersezione non consentita Scheda 11	D/Furb-Furb/D A raso con rotatorie e canalizzazioni Scheda 10	Furb/Furb A raso con rotatorie e canalizzazioni Scheda 10

2.5.3 - Matrice della classificazione funzionale per le intersezioni extraurbane

LIVELLI MINIMI DA RISPETTARE

*
Nelle intersezioni a tre braccia il simbolo X/Y intende che la strada X s'innesta sulla Y.
In queste intersezioni non sono consentite le Aex/C e le B/Fex.

SEZIONI TIPO PREVISTE DALLE NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE		Aex-AUTOSTRADE EXTRAURBANE	B-EXTRAURBANE PRINCIPALI	C-EXTRAURBANE SECONDARIE	Fex-LOCALI EXTRAURBANE
					
Aex-AUTOSTRADE EXTRAURBANE		Aex/Aex A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari, per manovre di scambio Schede 1,2,3,4			
		Aex/B-B/Aex A due livelli, con o senza carreggiate supplementari, per manovre di scambio Schede 1,2,3,4	B/B A due livelli, anche con manovre di scambio lungo una rotatoria Schede 2,4,5,6		
		*Aex/C-C/Aex A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C Schede 4,7,8,9	B/C-C/B A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C Schede 6,7,8,9	C/C Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10	
		Intersezione non consentita Scheda 11	*B/Fex-Fex/B A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo Fex Schede 6,7,8,9	C/Fex-Fex/C Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10	Fex/Fex Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10

2.5.4 - Matrice della classificazione funzionale per le intersezioni extraurbane con quelle urbane

LIVELLI MINIMI DA RISPETTARE

* Nelle intersezioni a tre braccia il simbolo X/Y intende che la strada X s'innesta sulla Y. In queste intersezioni non sono consentite le Aurb/C e le Aex/E.

SEZIONI TIPO PREVISTE DALLE NORME FUNZIONALI E GEOMETRICHE		Aex-AUTOSTRADE EXTRAURBANE	B-EXTRAURBANE PRINCIPALI	C-EXTRAURBANE SECONDARIE	Fex-LOCALI EXTRAURBANE
Aurb-AUTOSTRADE URBANE		Aex/Aurb-Aurb/Aex A due o più livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio Schede 1,2,3,4	B/Aurb-Aurb/B A due livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio Schede 1,2,3,4	*C/Aurb-Aurb/C A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C Schede 4,7,8,9	Intersezione non consentita Scheda 11
D-URBANE DI SCORRIMENTO		Aex/D-D/Aex A due livelli, con o senza carreggiate supplementari per manovre di scambio Schede 1,2,3,4	B/D-D/B A due livelli, anche con manovre di scambio lungo una rotatoria Schede 2,4,5,6	C/D-D/C A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo C Schede 6,7,8,9	Intersezione non consentita Scheda 11
E-URBANE DI QUARTIERE		*Aex/E-E/Aex A due livelli, anche con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo E Schede 4,7,8,9	B/E-E/B A due livelli, con incroci a raso o manovre di scambio sulla strada tipo E Schede 6,7,8,9	C/E-E/C Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10	Fex/E-E/Fex Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10
Furb-LOCALI URBANE		Intersezione non consentita Scheda 11	Intersezione non consentita Scheda 11	C/Furb-Furb/C Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10	Fex/Furb-Furb/Fex Rotatorie o intersezioni a raso Scheda 10

3 – SCHEMI ORGANIZZATIVI DELLE INTERSEZIONI

All'interno di una intersezione due o più traiettorie veicolari possono incontrarsi, discostarsi e/o risultare sovrapposte; si ha quindi un'area di collisione comprendente vari punti di conflitto tra coppie di traiettorie.

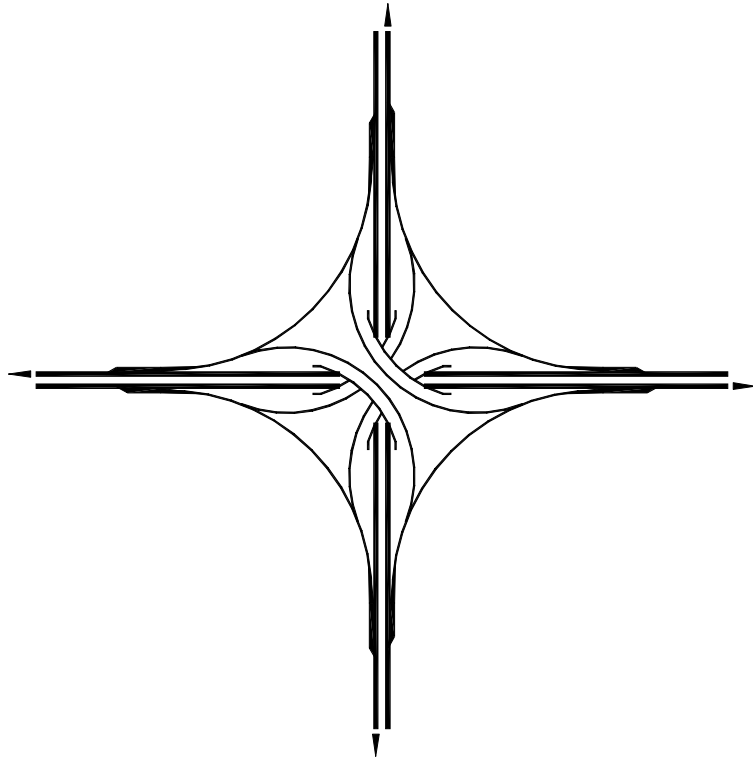
I punti di conflitto di intersezione (pdi) devono essere eliminati; si adottano in pratica le seguenti soluzioni progettuali:

- 1° sfalsamento altimetrico delle traiettorie;
- 2° tronchi di scambio, trasformazione del pdi in punti di diversione e/o immissione; l'intersezione avviene quindi sotto angoli molto modesti (qualche grado);
- 3° sfalsamento temporale di tipo imposto (semaforo) o di tipo imposto all'utente (precedenza o stop).

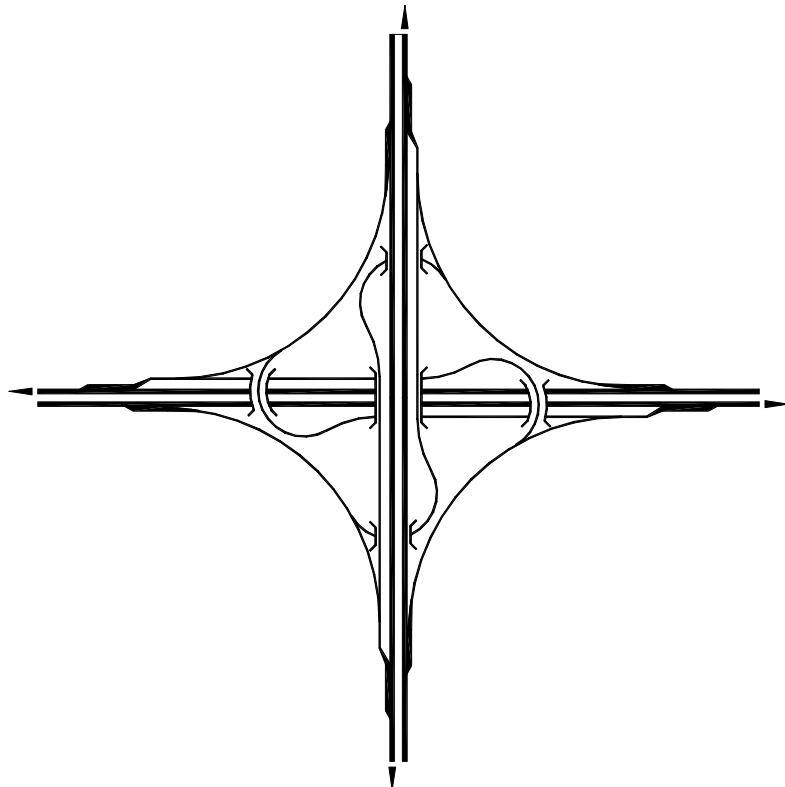
SCHEDA N. 1

Svincoli a quattro braccia, a due o più livelli, senza tronchi di scambio (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

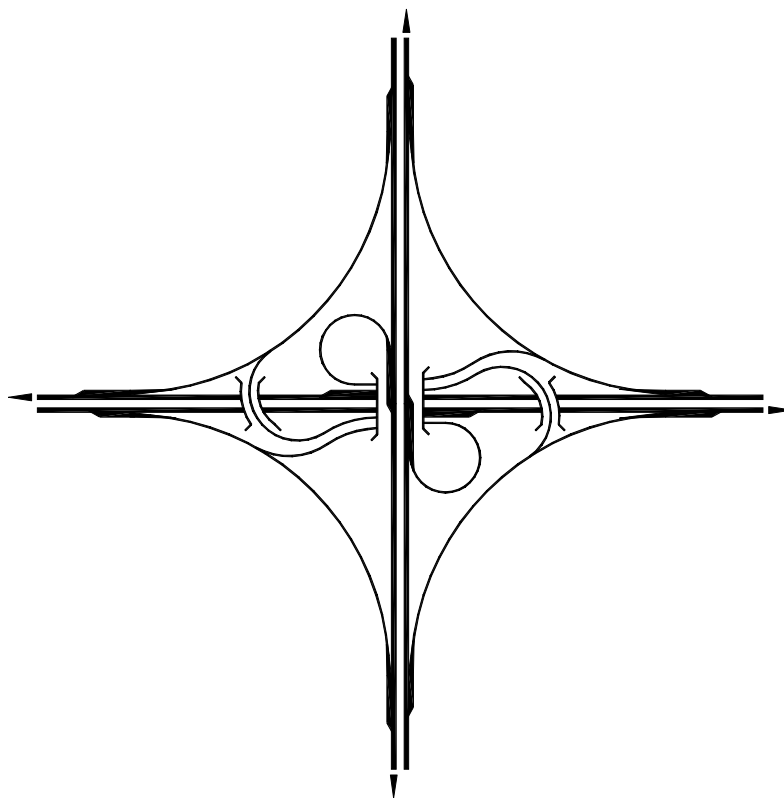
Con rampe dirette e semidirette, uscite ed entrate in destra, a 4 livelli.
(Croce di Malta)



Con rampe dirette e semidirette, uscite ed entrate in destra, a 2 livelli.
(Mulino a vento)



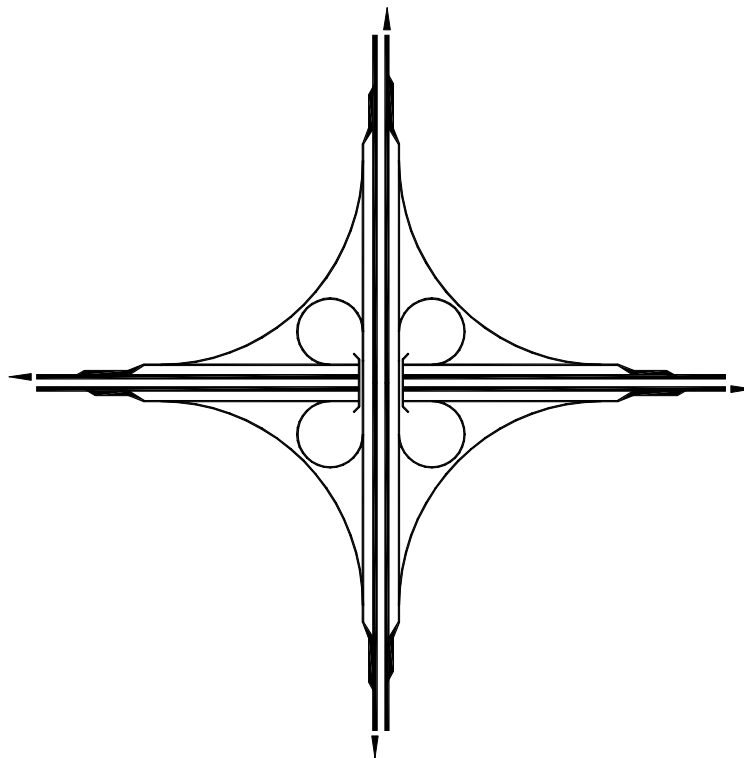
Con rampe dirette,
semindirette e indirette,
uscite ed entrate in destra,
a 2 livelli
(Variazione al mulino a
vento)



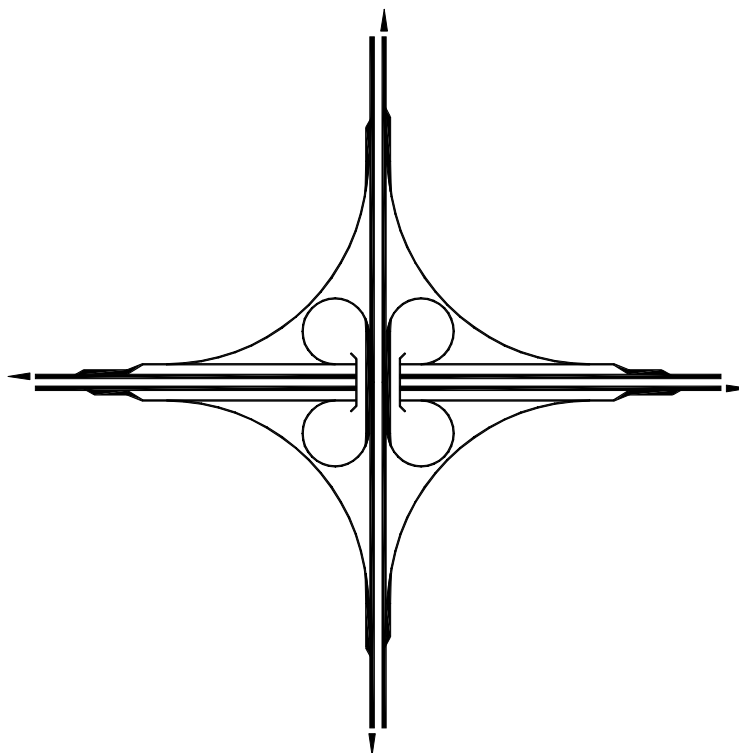
SCHEDA N. 2

Intersezioni a quattro braccia, a due livelli, con o senza carreggiate supplementari per lo scambio (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

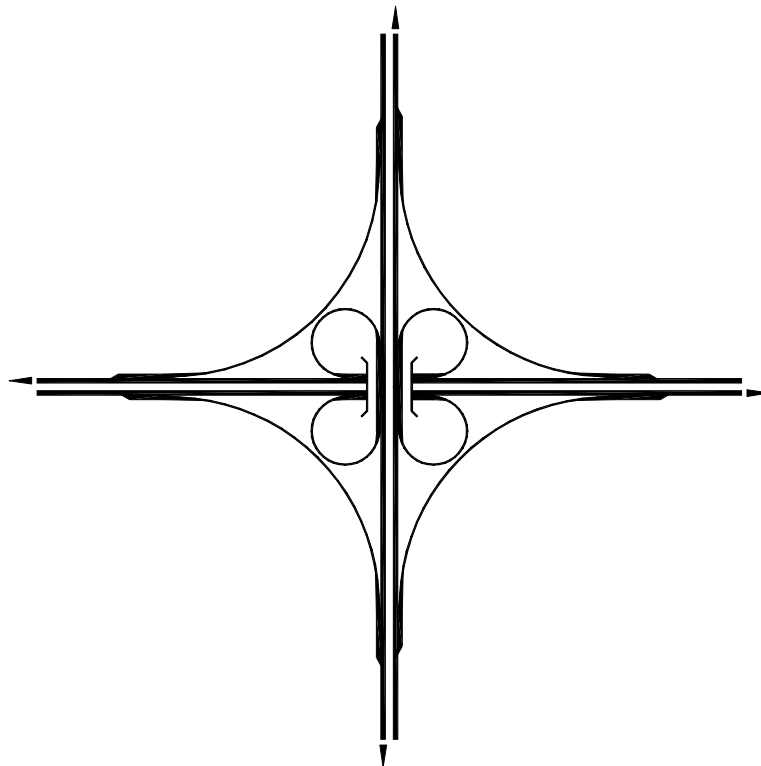
Con rampe dirette e indirette, uscite ed entrate in destra, e carreggiate supplementari su ambedue le vie.
(Quadrifoglio potenziato)



Con rampe dirette e indirette, uscite ed entrate in destra, e carreggiate supplementari su una sola via.
(Quadrifoglio parzialmente potenziato)



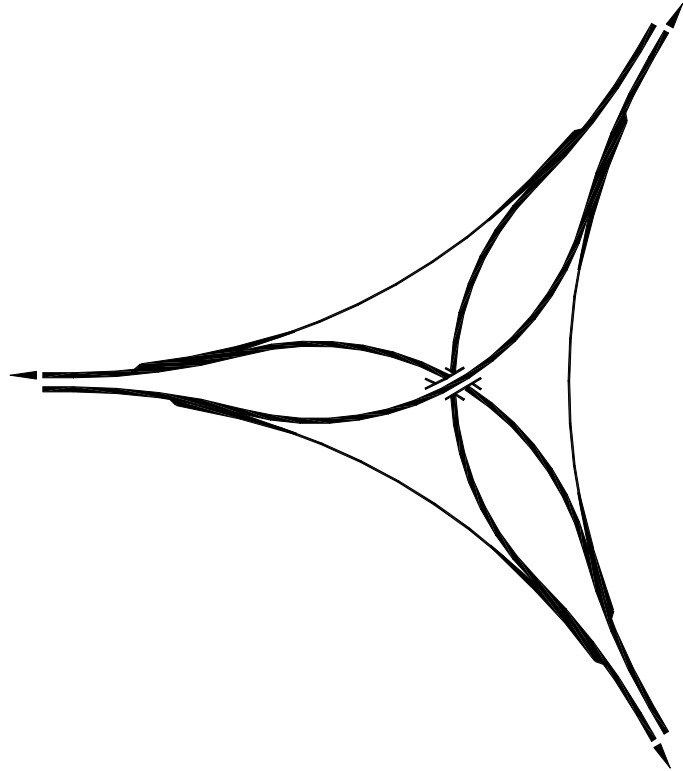
Con rampe dirette e
indirette, uscite ed entrate in
destra, senza carreggiate
supplementari
(Quadrifoglio semplice)



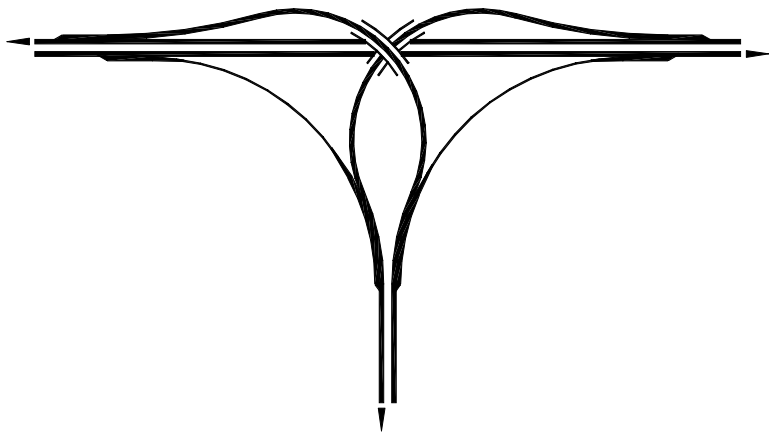
SCHEDA N. 3

Svincoli a tre braccia, a tre livelli, senza manovre di scambio (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

Con rampe dirette, uscite ed entrate in destra.



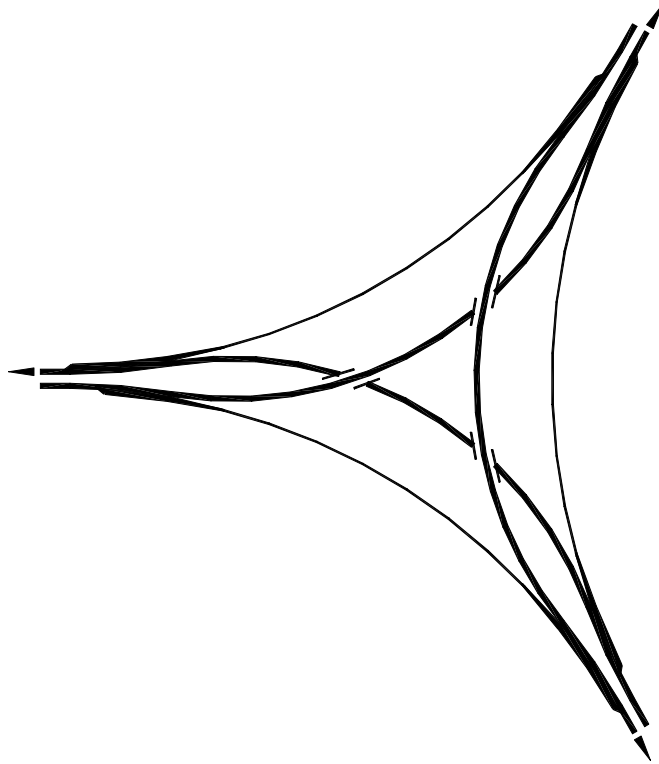
Con rampe dirette e semidirette, uscite ed entrate in destra.



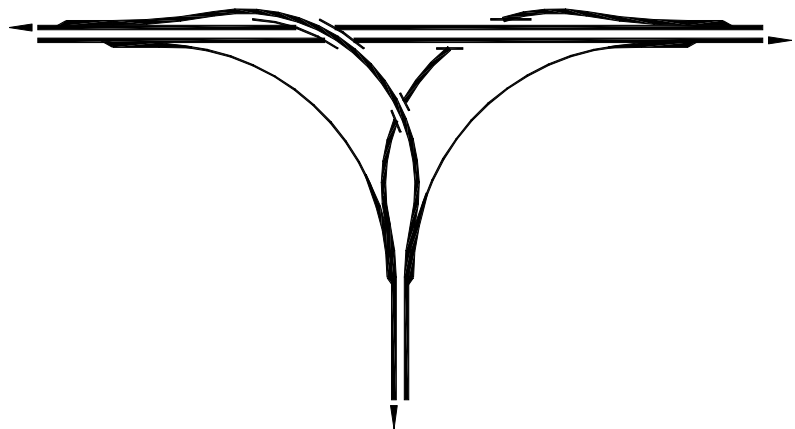
SCHEDA N. 4

Svincoli a tre braccia, a due livelli, senza manovre di scambio (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

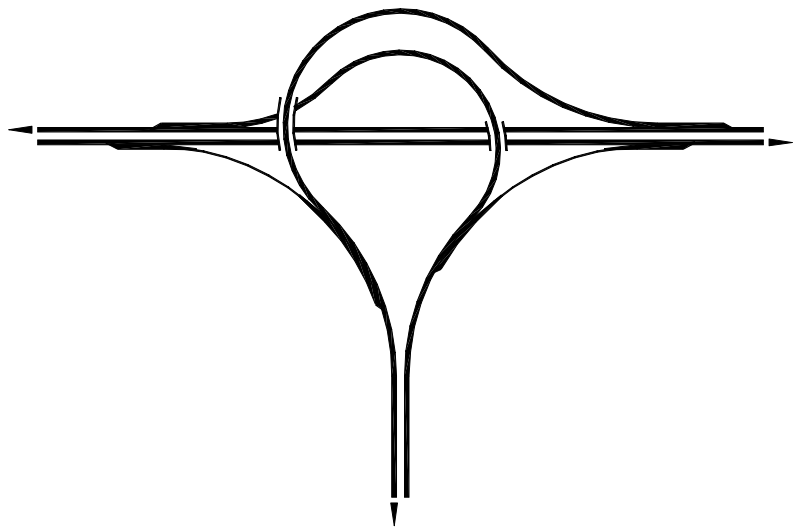
Con rampe dirette, uscite ed entrate in destra.



Con rampe dirette e semidirette, uscite ed entrate in destra.

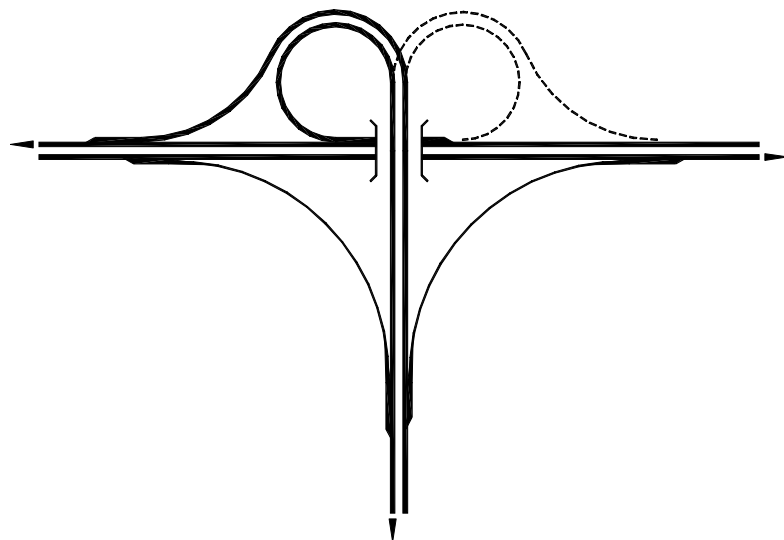


Con rampe dirette e semidirette, uscite ed entrate in destra.
(Racchetta)



Con rampe dirette, semidirette ed indirette, uscite ed entrate in destra.

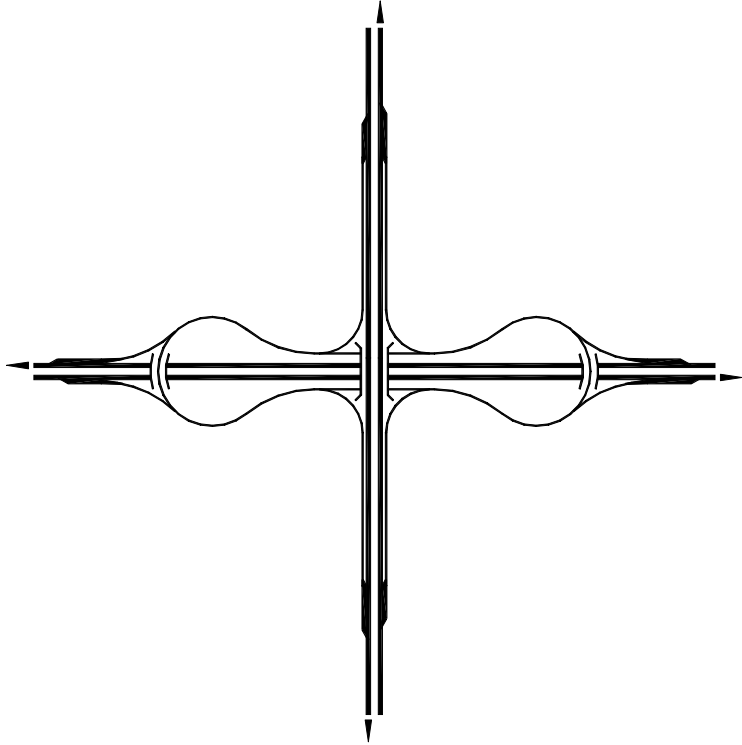
(Trombetta)



SCHEDA N. 5

Intersezioni a quattro braccia, a due livelli, con tronchi di scambio (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

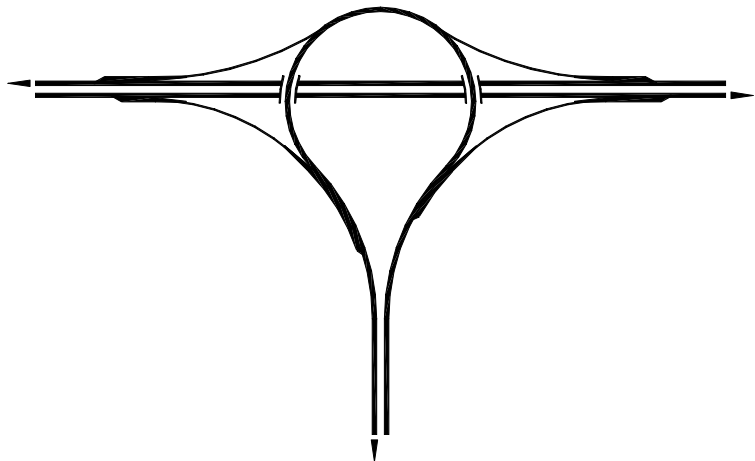
Con uscite ed entrate in
destra.
(Clessidra)



SCHEDA N. 6

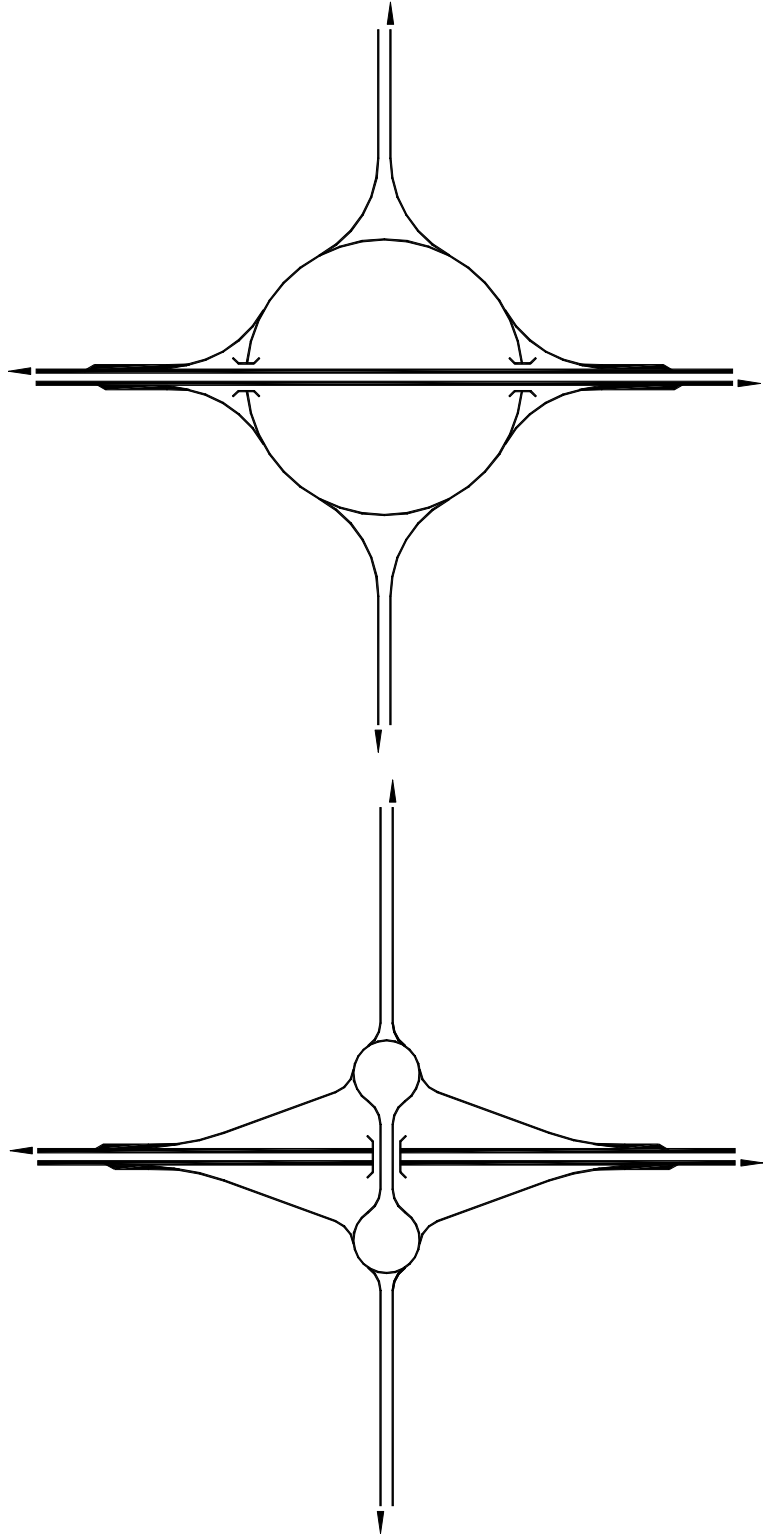
Intersezioni a tre braccia, a due livelli, con tronchi di scambio (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

Con uscite ed entrate in
destra.
(Racchetta simmetrica)



SCHEDA N.7

Intersezioni a quattro braccia, a due livelli, con tronchi di scambio a formare rotatoria sulla strada di gerarchia inferiore (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)



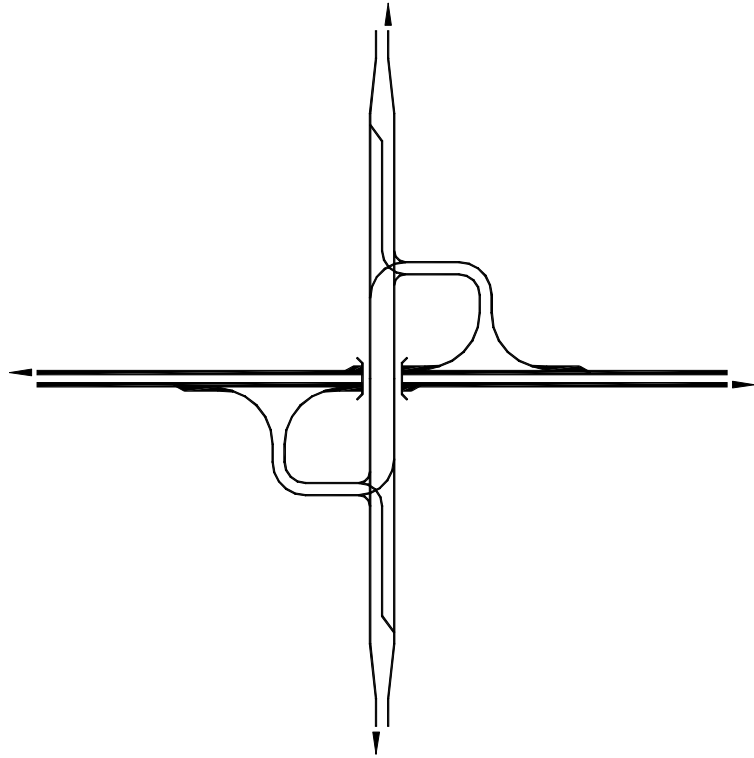
Con uscite ed entrate in destra sulla via di gerarchia superiore, ed in destra ed in sinistra sulla via di gerarchia inferiore.



SCHEDA N.8

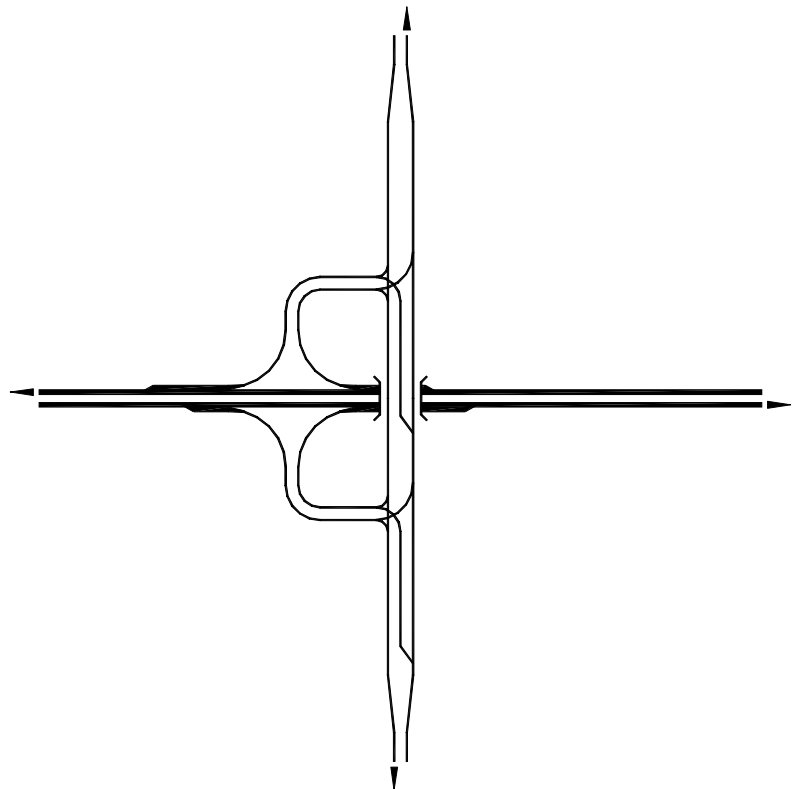
Intersezioni a quattro braccia, a due livelli, con incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore e con rampe su due soli quadranti (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

Rampe con collocazione dissimmetrica rispetto la via di gerarchia superiore



Con uscite ed entrate in destra sulla via di gerarchia superiore, ed in destra ed in sinistra sulla via di gerarchia inferiore

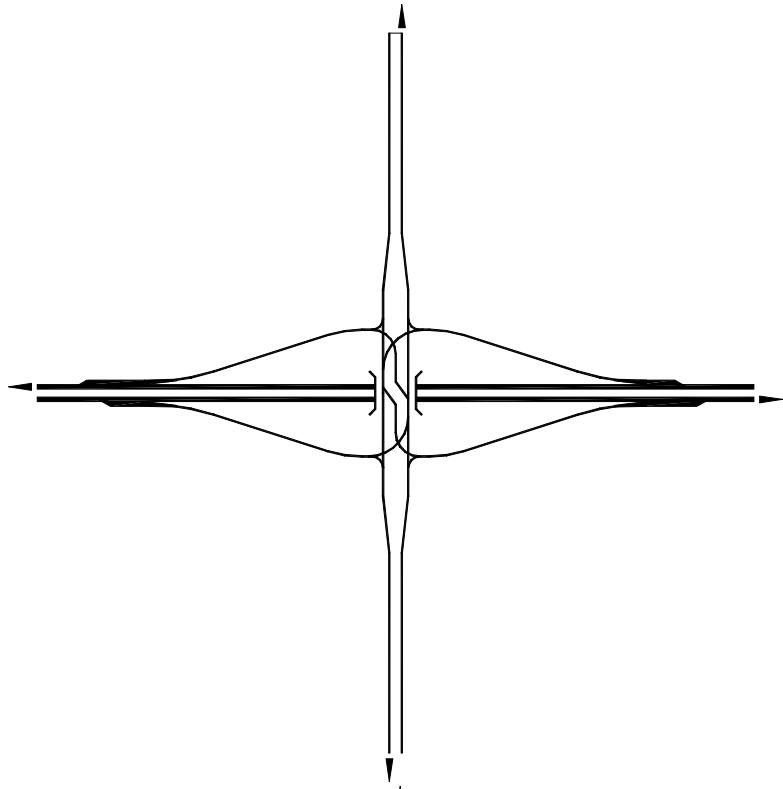
Rampe con collocazione simmetrica rispetto la via di gerarchia superiore



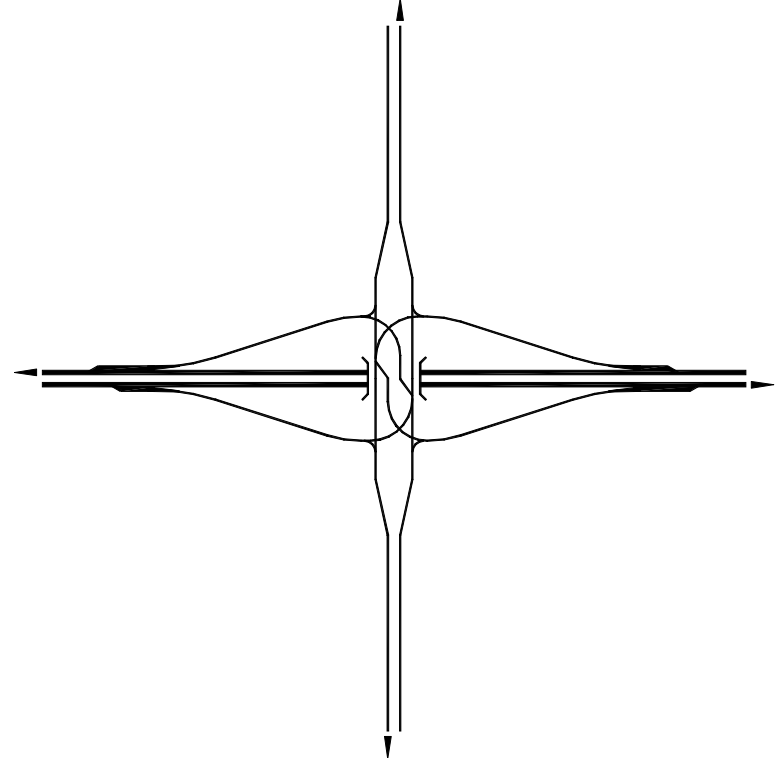
SCHEDA N.9

Intersezioni a quattro braccia, a due livelli, con rampe monodirezionali su ciascun quadrante e con incroci a raso sulla strada di gerarchia inferiore (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)

Con corsie di accumulo per la svolta a sinistra in linea.



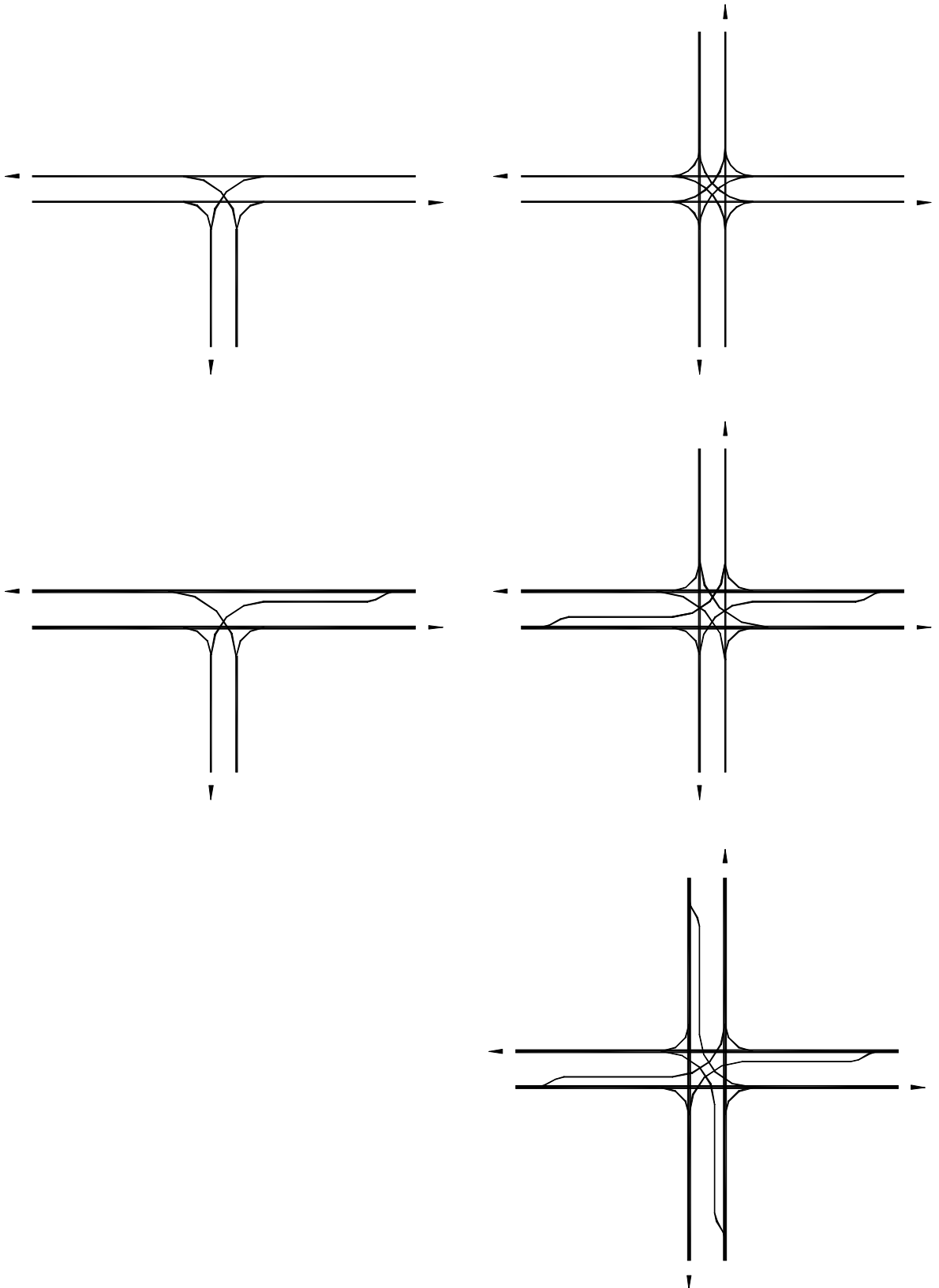
Con uscite ed entrate in destra sulla via di gerarchia superiore ed incroci a raso su quella di gerarchia inferiore (Rombo)

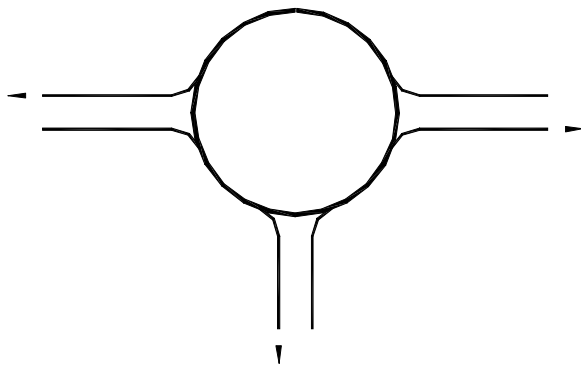
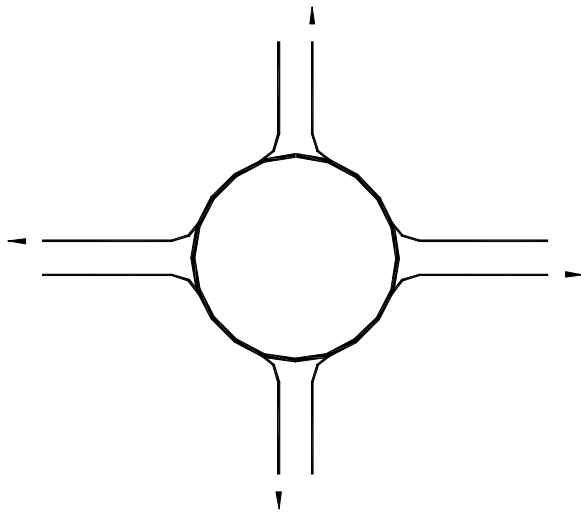


Con corsie di accumulo per la svolta a sinistra affiancate.

SCHEDA N.10

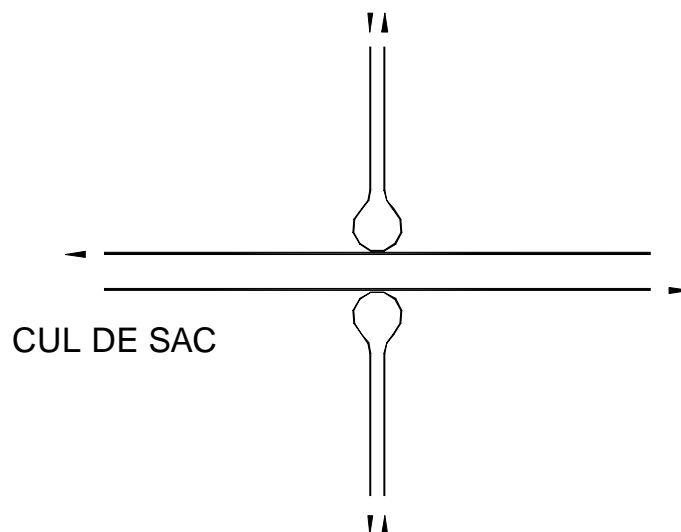
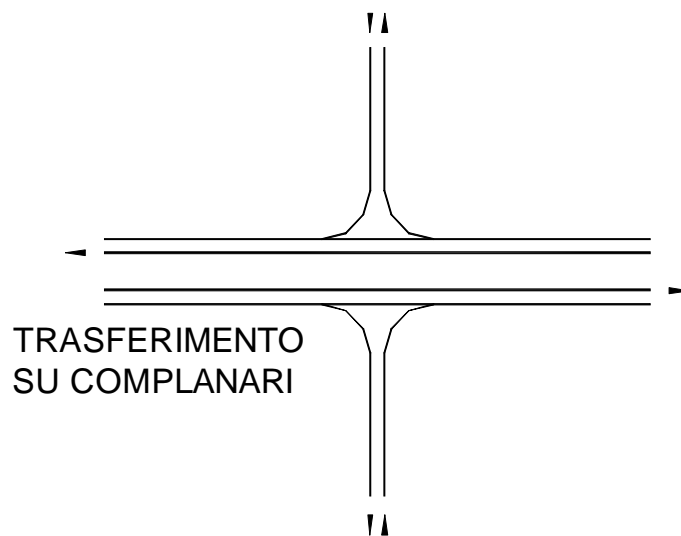
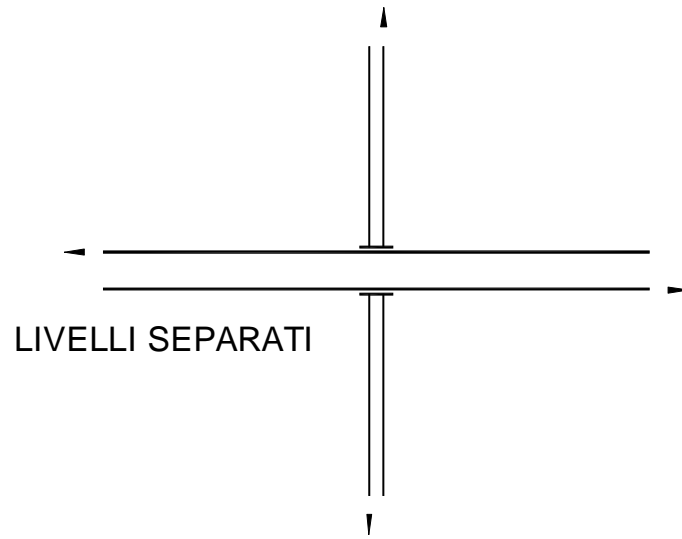
Intersezioni a tre o quattro braccia, a raso, lineari o a rotatoria (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)





SCHEDA N.11

Casi particolari di intersezione con connessioni non consentite (tra tipi di strade di cui alle matrici 3.3, 3.4 e 3.5)



4 – DIMENSIONAMENTO FUNZIONALE DELLE INTERSEZIONI

4.1 – INTRODUZIONE

Obiettivo di questo capitolo dello studio è la messa a punto e la presentazione delle metodologie di progetto degli elementi geometrici delle intersezioni stradali extraurbane in funzione delle caratteristiche della domanda di traffico.

I dati del problema sono:

- il tipo di intersezione, individuato in base alle **categorie di strade** che si intersecano, al numero delle **corsie**, alle **manovre di svolta** ed ai **volumi di traffico** prevedibili, seguendo i criteri risultanti dal Cap. 3 dello studio.
- la matrice dei flussi relativi alle diverse manovre che si svolgono alla intersezione.

Le intersezioni vengono suddivise in tre classi:

- a) intersezioni **a raso lineari**;
- b) intersezioni a raso **a rotatoria**;
- c) intersezioni **a più livelli**.

Per ciascuna di queste classi vengono proposte le metodologie di calcolo degli elementi geometrici. In particolare:

- per la classe a) vengono presentati i metodi di calcolo della lunghezza delle **corsie** di **accumulo e di immissione**;
- per la classe b) viene presentato un metodo di verifica delle **dimensioni dell'anello** e della larghezza dei bracci di ingresso;
- per la classe c) vengono presentati i metodi di calcolo della lunghezza **delle corsie** di immissione e delle zone di scambio.

I metodi di calcolo proposti assumono come dato di input il volume di traffico dell'ora di punta espresso in auto/ora. Spesso questo valore non è noto, mentre si conosce il volume giornaliero medio. In questo caso il volume dell'ora di punta può essere valutato moltiplicando quello giornaliero medio per un coefficiente compreso fra 0.12 e 0.18.

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

Le corsie di accumulo vengono inserite nelle intersezioni a raso per raccogliere i veicoli che debbono eseguire una manovra di svolta a sinistra, in modo che essi possano sostare in attesa di eseguire la loro manovra senza ostacolare i veicoli della loro stessa corrente che invece debbono proseguire senza svoltare.

Una corsia di accumulo si compone di tre parti (fig. 1): un tratto di invito L_c , un tratto di decelerazione L_d , ed un tratto di accumulo L_n . Le lunghezze dei primi due tratti sono le stesse di una analoga corsia di decelerazione (v. 6...). La lunghezza della zona di accumulo deve invece essere calcolata studiando il fenomeno di attesa dei veicoli che debbono effettuare la svolta a sinistra.

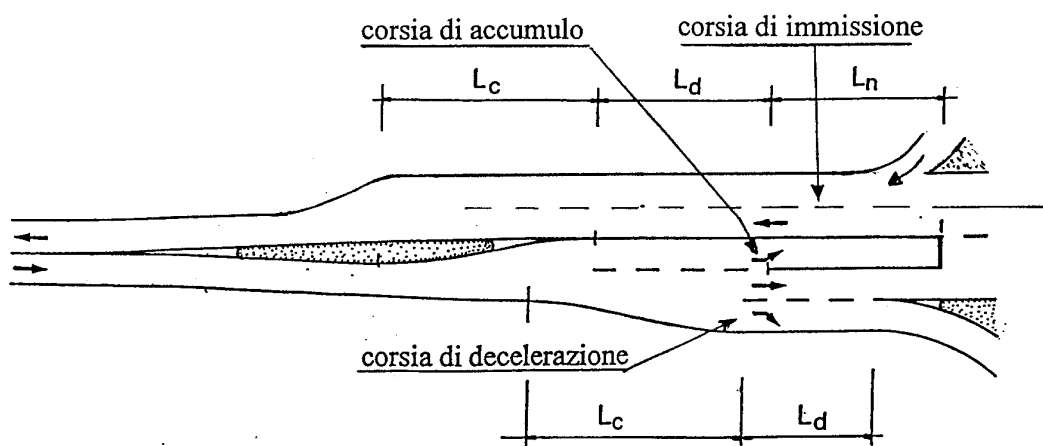


Fig. 1- Elementi delle corsie di decelerazione e di accumulo

Si consideri il comportamento dell'autista di un veicolo il quale, giunto alla linea di STOP ubicata alla estremità di una corsia di accumulo, è in attesa di attraversare la

corrente di senso opposto per eseguire la sua manovra di svolta a sinistra. Egli osserva gli intervalli fra i veicoli della corrente da attraversare e, non appena giudica uno di questi sufficientemente ampio, esegue la sua manovra. L'ampiezza dell'intervallo accettato varia da un autista all'altro in funzione delle sue caratteristiche: età, sesso, condizioni psicologiche. Alcuni autisti accettano un intervallo solo quando è tanto ampio da garantire una manovra sicura, altri accettano intervalli alquanto più piccoli, eventualmente costringendo al rallentamento il veicolo che sopraggiunge nella corrente da attraversare.

Si può definire per ogni automobilista un *intervallo critico* T , tale che tutti gli intervalli ad esso inferiori vengono rifiutati, mentre quelli più grandi sono accettati. L'intervallo critico è distribuito in maniera aleatoria nella popolazione dei conducenti, ed esistono tecniche sperimentali che consentono di calcolarne la legge di probabilità. Nello studio dei fenomeni di attesa riguardanti la geometria stradale si suppone per semplicità che l'intervallo critico sia lo stesso per tutti i conducenti, uguale alla mediana della effettiva distribuzione di probabilità. I risultati di numerose misure sperimentali concordano nell'assegnare ad esso un valore compreso fra 7 e 8 sec.

Nella progettazione delle corsie di accumulo due sono i parametri che debbono essere calcolati: il numero medio di veicoli in attesa, e il tempo medio di attesa. Il primo parametro è necessario per calcolare la lunghezza della zona di accumulo, il secondo per conoscere il livello di servizio della soluzione progettuale adottata, ed in particolare le sue caratteristiche di sicurezza: se infatti il tempo di attesa risultasse eccessivamente elevato, potrebbe accadere che i veicoli in testa alla coda, stanchi di aspettare, decidessero di forzare la corrente di verso opposto con il pericolo di incidenti.

In un fenomeno di attesa gli elementi che ne determinano le caratteristiche sono la portata che alimenta la coda ed il *tempo di servizio*, cioè il tempo che un utente giunto alla testa della coda deve aspettare prima di potersi allontanare. Nel caso delle zone di accumulo alle intersezioni la portata che alimenta la coda è quella che svolta a sinistra, mentre si dimostra che nella generalità dei casi il tempo di servizio s è dato dalla somma dell'intervallo critico più gli intervalli della corrente da attraversare che vengono rifiutati. Il tempo di servizio è quindi una variabile aleatoria, i cui parametri della legge di probabilità sono funzioni dell'intervallo critico T e della portata Q_1 della corrente da attraversare. Indicando con Q_2 la portata della corrente di svolta a sinistra, nell'ipotesi che

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

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

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

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

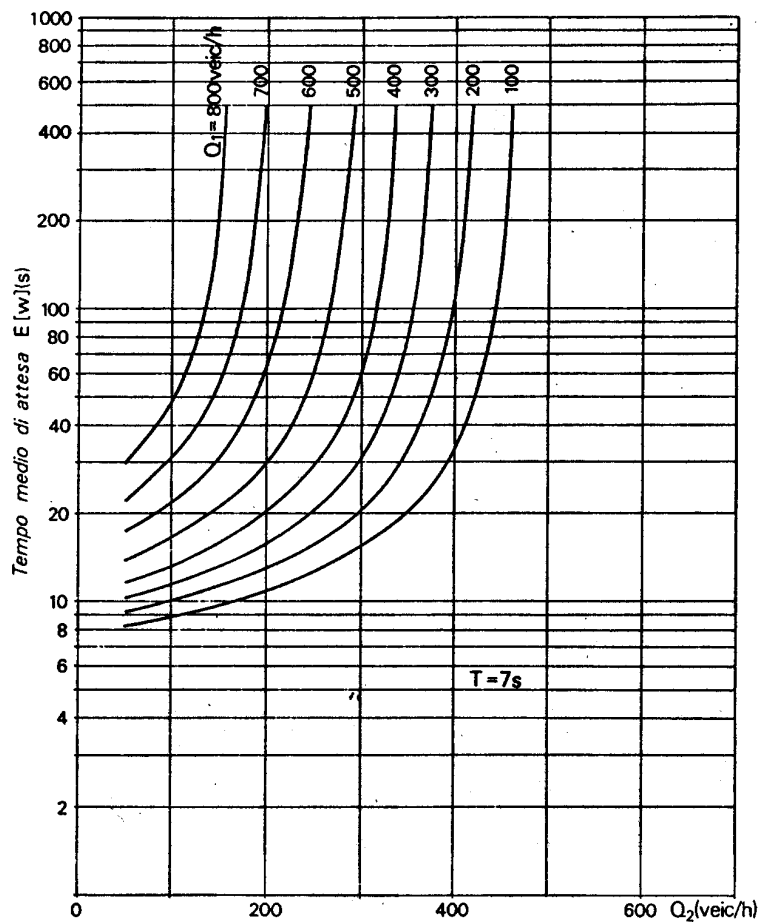


Fig. 2- Tempo medio di attesa in una corsia di accumulo

Nelle figure 2 e 3 è riportato l'andamento del tempo medio di attesa e del numero medio di veicoli in attesa in funzione della portata Q_2 della corrente che svolta a sinistra, per un intervallo critico $T = 7$ sec e per diversi valori della portata Q_1 della corrente da attraversare.

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

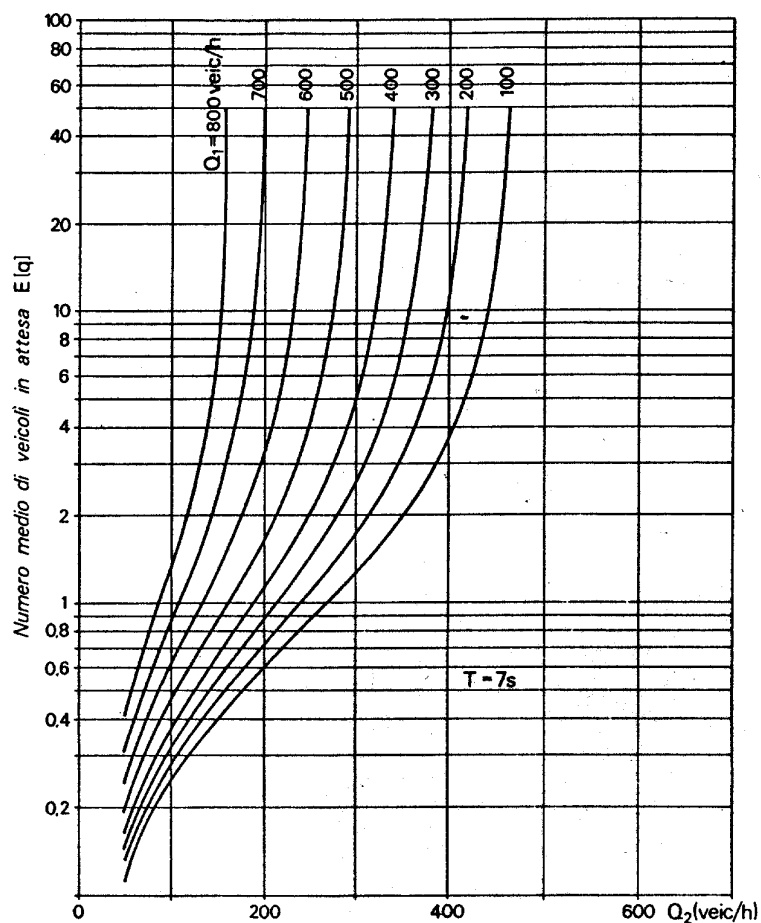


Fig. 3- Numero medio di veicoli in attesa in una corsia di accumulo

4.3 – CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE ROTATORIE

4.3.1 - Caratteristiche generali delle rotatorie

La rotatoria è un tipo di sistemazione delle intersezioni a raso fra più strade, costituita da un anello stradale nel quale confluiscono i bracci della intersezione, il quale viene percorso dal flusso proveniente da ciascun braccio nel tratto compreso fra la sezione di immissione di quest'ultimo e quella del braccio di uscita. Caratteristica distintiva delle rotatorie rispetto ad altri tipi di intersezioni a raso è quella di non attribuire priorità ad alcuna delle strade che si intersecano: essa è pertanto particolarmente idonea in quelle situazioni in cui tali strade sono dello stesso livello gerarchico.



Si distinguono quelle oggi denominate **rotatorie convenzionali** nelle quali l'anello ha un grande diametro ed i bracci mantengono costante la sezione trasversale fino al punto di immissione nella rotatoria, da quelle nelle quali il diametro è molto più ridotto, e pertanto vengono denominate **rotatorie compatte** ed i bracci presentano un allargamento, anche notevole, in corrispondenza delle immissioni. In questo modo si fornisce ai veicoli in attesa di immettersi nell'anello la possibilità di disporsi in più file, e quindi di sfruttare in modo più efficace i gap che si presentano nella corrente che percorre l'anello.

Vengono inoltre utilizzate, essenzialmente in ambito urbano, rotatorie caratterizzate da un diametro dell'isola centrale molto piccolo, inferiore ai 4 m, e con un diametro esterno dell'anello compreso fra **14 e 20 m**. Queste, dette **minirotorie**, vengono utilizzate quando, in uno spazio molto ridotto, si vuole trasformare lo schema circolatorio tipico di un incrocio stradale urbano in quello proprio di una rotatoria. Nelle minirotorie l'isola centrale **non è più invalicabile**, e spesso viene semplicemente dipinta sulla pavimentazione dell'incrocio; in altri casi viene resa evidente **differenziandone la pavimentazione** da quella dell'anello. In questo modo la rotatoria è percorribile anche da veicoli di ingombro superiore a quello delle autovetture.

I modelli utilizzati per il progetto delle rotatorie regolate con la disciplina della priorità all'anello, siano essa convenzionali (cioè con grandi diametri) ovvero compatte o minirotorie, sono di origine sperimentale. Il metodo generalmente utilizzato consiste nell'assegnare alla rotatoria le caratteristiche geometriche che si ritengono idonee a soddisfare la domanda di traffico, e calcolarne quindi le caratteristiche di livello di servizio. Il punto di partenza di tale procedura è il calcolo della capacità.

4.3.2 - La capacità delle rotatorie

Si definisce *capacità* del braccio di una rotatoria il più piccolo valore del flusso sul braccio che determina la presenza permanente di veicoli in attesa di immettersi. Questo valore del flusso dipende evidentemente dal flusso che percorre l'anello, e quindi dall'insieme dei flussi in ingresso e in uscita da tutti i bracci della rotatoria. Non è pertanto possibile calcolare la capacità di un braccio se non è nota l'intera matrice M origine-destinazione della rotatoria, il cui generico elemento (i,j) rappresenta il flusso in ingresso

dal braccio i che esce al braccio j , dalla quale si ricava la matrice di distribuzione N , il cui generico elemento (i,j) fornisce la frazione del flusso entrante da i che esce in j .

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

Data una matrice M origine-destinazione, sia 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.

4.3.3 - Il calcolo della capacità

Il metodo di calcolo della capacità di una rotatoria è stato oggetto di studio in molti Paesi negli ultimi decenni, seguendo le linee indicate da Kimber nel 1980, il quale ricavò la relazione che lega la capacità di un braccio al flusso che percorre l'anello ed alle caratteristiche geometriche della rotatoria attraverso l'analisi statistica, condotta con tecniche di regressione, di un gran numero di dati raccolti su rotatorie in Gran Bretagna, sia di tipo convenzionale che compatto, tutte con priorità sull'anello. Egli dimostrò l'esistenza di una relazione lineare fra la capacità di un braccio e il flusso sull'anello, e pose in evidenza che, fra le caratteristiche geometriche della rotatoria, quelle che hanno influenza di gran lunga maggiore sulla capacità di un braccio sono la larghezza della sua sezione trasversale corrente e quella della sua sezione allargata in corrispondenza della immissione.

I metodi di calcolo della capacità messi a punto nei diversi Paesi, pur essendo riconducibili tutti ad uno stesso schema fondamentale, differiscono in qualche misura fra loro, in parte perché diverse sono le tipologie di rotatoria su cui sono stati misurati i dati sperimentali, ma in misura prevalente per la diversità dei comportamenti degli automobilisti, i quali giocano un ruolo fondamentale nel determinare il modo di funzionare di una rotatoria.

Si riporta qui di seguito il metodo messo a punto in Francia nel 1987 dal SETRA, il quale ha il pregio di fornire, oltre al valore della capacità, anche altri elementi utili per la conoscenza del livello di servizio di una rotatoria. Sia la capacità che i flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora (eph). Per la trasformazione dei flussi di veicoli diversi dalle autovetture in eph si possono adottare i seguenti coefficienti di conversione proposti dalle Norme Svizzere:

- 1 ciclo o motociclo sull'anello = 0.8 autovetture
- 1 ciclo o motociclo in ingresso = 0.2 autovetture
- 1 veicolo pesante = 2.0 autovetture
- 1 autobus = 2.0 autovetture

A differenza del metodo messo a punto da Kimber, il metodo del SETRA fa intervenire nel calcolo della capacità, oltre al traffico che percorre l'anello in corrispondenza di una immissione, anche il traffico che si allontana all'uscita immediatamente precedente; per cui definisce una relazione lineare, invece che fra capacità e flusso che percorre l'anello come nel metodo di Kimber, fra capacità e un traffico complessivo di disturbo, nel quale intervengono sia il flusso che percorre l'anello sia quello in uscita precedentemente definito.

Si consideri la fig. 1 dove è rappresentato il particolare di una rotatoria in corrispondenza di un braccio. Sia Q_c il flusso che percorre l'anello all'altezza della immissione, Q_e il flusso entrante, Q_u il flusso uscente. Tutti i flussi sono espressi in autovetture equivalenti per ora (eph). Siano ancora: SEP la larghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio, ANN la larghezza dell'anello, ENT quella della semicarreggiata del braccio misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del 'dare precedenza'. Tutte le lunghezze sono misurate in metri.

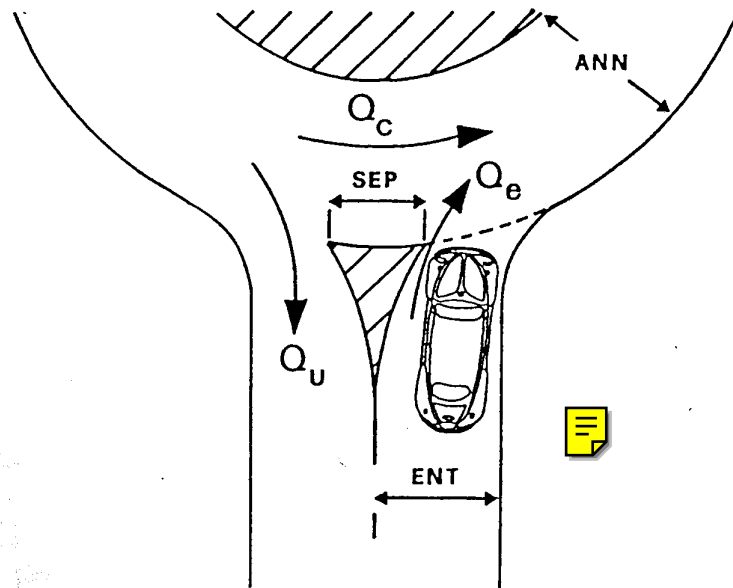


Fig. 1 – Caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria

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

$$K = f(Q_c, Q_u, SEP, ANN, ENT) \quad (1)$$

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

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

$$Q_u' = Q_u \frac{15 - SEP}{15} \quad (\text{eph}) \quad (2)$$

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

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

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

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

$$K = (1330 - 0.7Q_d)[1 + 0.1(ENT - 3.5)] \quad (\text{eph}) \quad (4)$$

Dalla (4) si vede che, come già posto in evidenza da Kimber, il parametro geometrico fondamentale per il calcolo della capacità è la larghezza ENT all'altezza della immissione, ed in particolare lo scarto di ENT rispetto ad una larghezza standard di 3.5 m. Tenendo conto di ciò, si usa definire un flusso entrante equivalente Q_e' , il quale eguaglia la capacità di un braccio largo 3.5 m quando questa viene raggiunta dal flusso Q_e su un braccio della rotatoria avente la larghezza effettiva ENT :

$$Q_e' = \frac{Q_e}{1 + 0.1(ENT - 3.5)} \quad (5)$$

Il traffico equivalente Q_e' viene utilizzato nel calcolo di alcune caratteristiche di livello di servizio di una rotatoria, come si vedrà più avanti.

Dalle (2) e (3) si rileva che la larghezza ANN dell'anello influisce sul valore della capacità attraverso la relazione che esso ha con l'azione di disturbo prodotta dal traffico che percorre l'anello. L'influenza del traffico in uscita sull'azione di disturbo è invece determinata dalla larghezza SEP dell'isola spartitraffico: tale influenza è nulla quando $SEP \geq 15$ m. E' infine da rilevare che la larghezza delle isole spartitraffico e quelle dei bracci all'altezza delle immissioni determinano lo sviluppo della rotatoria e quindi il diametro dell'anello.

Si consideri una rotatoria ad m bracci di cui sono state definite le caratteristiche geometriche, e sia M la sua matrice origine-destinazione, tale che $\rho_{i,j}$ è la frazione del flusso $Q_{e,i}$ entrante dal braccio i che esce al braccio j . I valori dei flussi $Q_{c,i}$ sull'anello che transitano dinanzi ai vari bracci $i \in [1, m]$ sono (i bracci sono numerati in sequenza antioraria):

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

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

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

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

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

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

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

Sia δ_i quello scalare tale che, moltiplicato per la matrice M e quindi per il vettore dei flussi entranti nella rotatoria, dà luogo ad un flusso $\delta_i Q_{e,i}$ entrante dal braccio i uguale alla capacità K_i del braccio quale si ricava dalla (4). Il valore di δ_i si ricava facilmente dalla (4) se in essa si pone $K = \delta_i Q_{e,i}$ e $Q_d = \delta_i Q_{d,i}$, dove $Q_{d,i}$ si ottiene dalle (2) e (3) ponendo $Q_u = Q_{u,i}$ e $Q_c = Q_{c,i}$, mentre $Q_{u,i}$ e $Q_{c,i}$ si ricavano dalle (6) e (7) in funzione dei flussi entranti e uscenti dagli altri bracci.

Il calcolo di δ_i viene ripetuto per tutti i bracci della rotatoria, e sia δ_j il più piccolo dei valori così ottenuti, relativo al braccio j . Risulta $K_j = \delta_j Q_{e,j}$ la capacità semplice della rotatoria, la quale viene raggiunta sul solo braccio j quando la matrice M , e quindi i flussi

in ingresso, sono moltiplicati per δ_j , mentre i flussi in ingresso dagli altri bracci della rotatoria si mantengono al disotto della capacità.

La **capacità totale della rotatoria** si calcola determinando i valori dei flussi in ingresso che, distribuendosi fra le varie uscite secondo i coefficienti $\rho_{i,j}$ che si ricavano dalla matrice M , determinano il contemporaneo raggiungimento della capacità su tutti i bracci. Questi flussi in ingresso si ricavano risolvendo il sistema di m equazioni lineari nelle m incognite $Q_{e,i}$ ottenuto scrivendo la (4) per i singoli bracci, e ponendo in essa $K = Q_{e,i}$ $\forall i \in [1, m]$, mentre Q_d viene espressa in funzione di $Q_{e,j}$ $\forall j \neq i$ utilizzando le (2), (3), (6), (7). La capacità totale Q della rotatoria è quindi data da $Q = \sum_{i=1}^m Q_{e,i}$.

I valori $Q_{e,i}$ di capacità dei singoli bracci che concorrono a formare la capacità totale vengono posti a base della progettazione di una rotatoria. Poiché però flussi in ingresso di entità uguale ai valori di capacità così definiti determinerebbero la presenza permanente di veicoli in attesa ai bracci, e quindi code di notevole lunghezza, si fa di solito riferimento ad una *capacità pratica* dei singoli bracci data da $K_i = Q_{e,i} - 150$, ovvero $K_i = 0.8Q_{e,i}$.

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

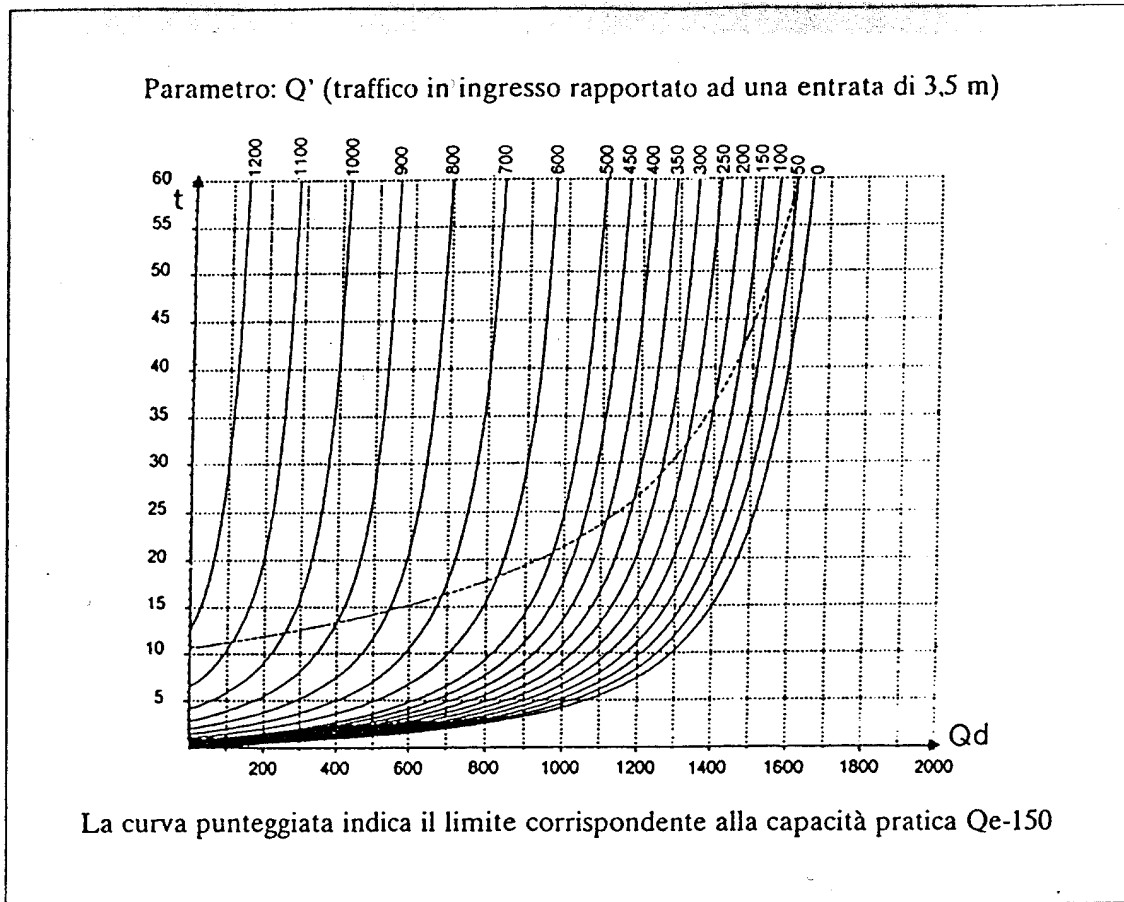


Fig. 2 – Tempi medi di attesa su un braccio di rotatoria (in sec)

Con un modello di questo tipo sono stati ricavati dal SETRA i diagrammi delle figure 2 e 3, nei quali sono riportati rispettivamente i **tempi medi di attesa** ed il 99° percentile della lunghezza di coda su un braccio di rotatoria in funzione del traffico di disturbo Q_d sull'anello e per diversi valori del flusso entrante equivalente Q_e' . Questi diagrammi rendono il calcolo delle caratteristiche di livello di servizio di una rotatoria estremamente facile.

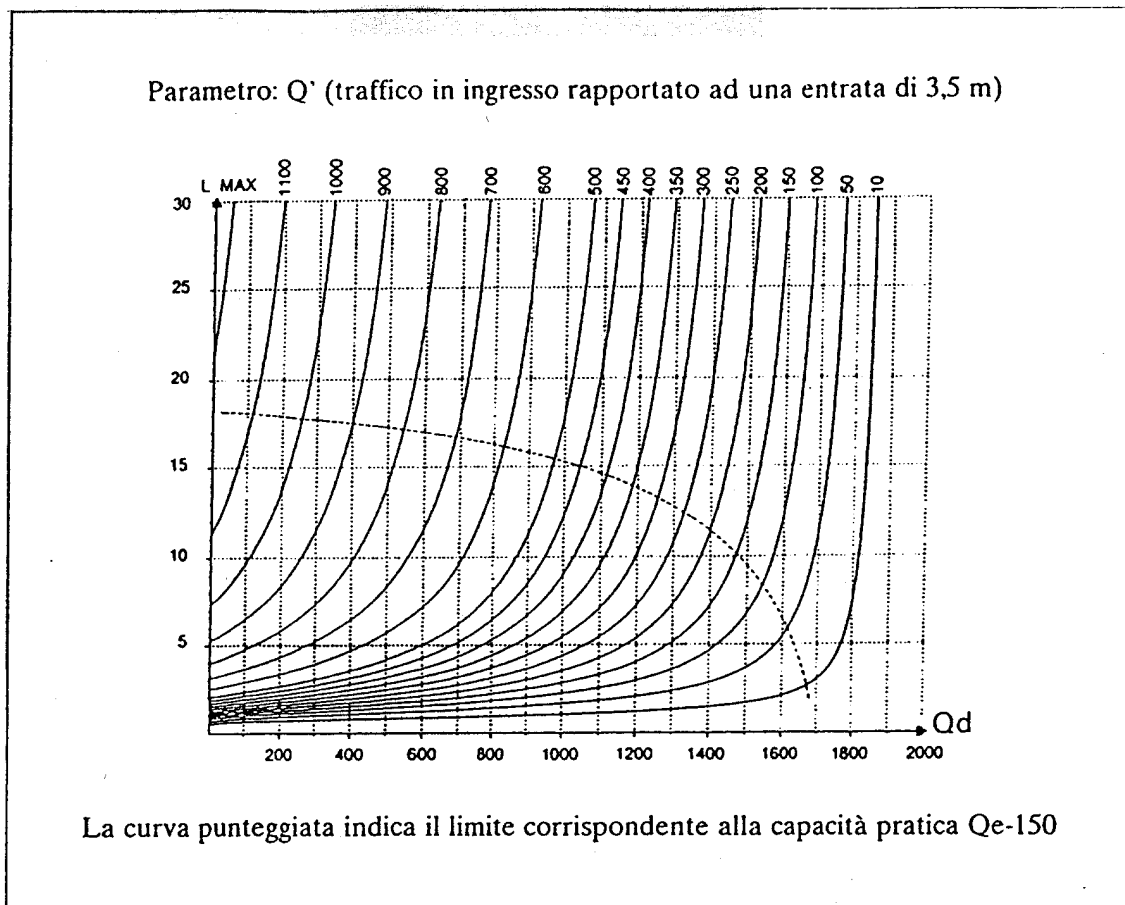


Fig. 3 – 99° percentile del numero di veicoli in attesa su un braccio di rotatoria

4.3.4 – La capacità delle rotatorie urbane

Il metodo di calcolo della capacità esposto nei precedenti paragrafi è stato messo a punto utilizzando i dati raccolti in una estesa campagna di indagini eseguite su rotatorie sia urbane che extraurbane. Per questo motivo si può ritenere che il metodo esposto sia valido per entrambi i tipi di rotatorie. Tuttavia per completezza si segnala la formula seguente, messa a punto in Francia dal SETUR per il calcolo della capacità semplice delle rotatorie urbane:

$$Q_e = \gamma(1500 - 0.83Q_d) \text{ eph} \quad (22)$$

dove $\gamma = 1$ per ingressi a una corsia, e $\gamma = 1.5$ per ingressi a due e a più corsie. L'espressione di Q_d nella (22) è la seguente:

$$Q_d = bQ_c + 0.2 \quad (23)$$

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

4.4 – CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE CORSIE DI IMMISSIONE E DELLE ZONE DI SCAMBIO NELLE INTERSEZIONI A PIU' LIVELLI

4.4.1 – Criteri di progettazione delle corsie di immissione

I criteri di progettazione delle corsie di immissione nelle intersezioni a più livelli sono identici a quelli già illustrati per le intersezioni a raso lineari.

4.4.2 – Criteri di progettazione delle zone di scambio

Si definisce *scambio* su una carreggiata stradale l'attraversamento reciproco, lungo una significativa lunghezza della carreggiata, di due correnti di traffico che procedono nella stessa direzione. Nelle intersezioni stradali fenomeni di scambio si verificano quando una rampa di immissione precede una rampa di uscita, e le due rampe sono collegate da una corsia ausiliaria formata dalla unione delle due corsie di immissione e di decelerazione, in modo da dar luogo ad un allargamento della carreggiata rispetto alla sua sezione corrente. In questo caso lo scambio avviene fra il flusso di immissione che percorre la corsia ausiliaria e intende trasferirsi nella carreggiata corrente e il flusso di uscita che percorre la carreggiata corrente e vuole trasferirsi sulla corsia ausiliaria (fig. 1).

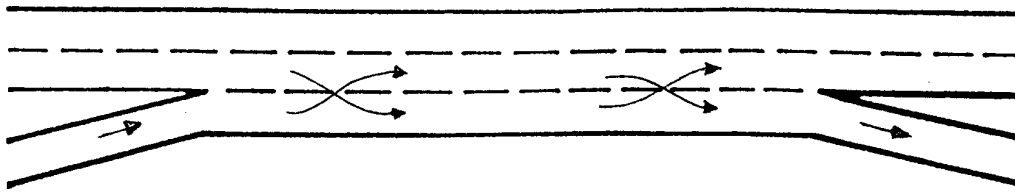


Fig. 1 – Zona di scambio in una intersezione stradale

La *zona di scambio* è formata dal tratto di carreggiata in cui è stato eseguito l'allargamento. Essa è percorsa dall'insieme dei flussi di immissione e di uscita (*flusso di scambio*) e di quello lungo la carreggiata corrente che non è interessato alle manovre di immissione e di uscita (*flusso non di scambio*). La lunghezza della zona di scambio è convenzionalmente definita come la distanza fra il punto ubicato nel triangolo di immissione dove la distanza fra il margine destro della carreggiata corrente dista 0.60 m dal margine sinistro della rampa di immissione, ed il punto del triangolo di uscita dove i due margini distano m 3.60 (fig. 2).

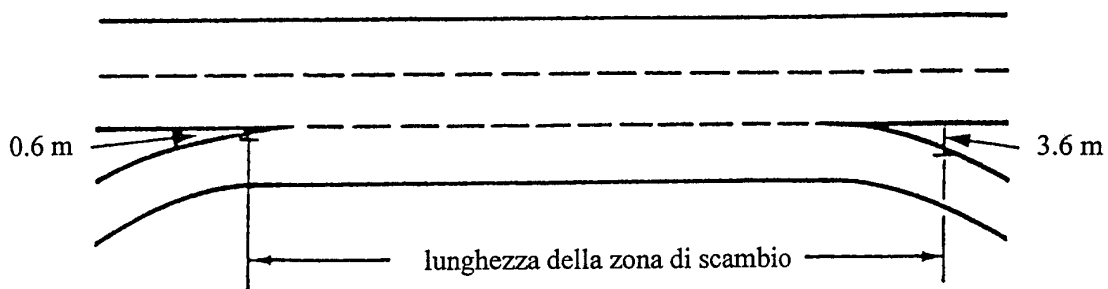


Fig. 2 – Lunghezza di una zona di scambio

Il metodo di progetto delle zone di scambio qui riportato è quello proposto dall'Highway Capacity Manual. Si tratta di un metodo di verifica: assegnate le caratteristiche geometriche della zona di scambio (lunghezza e numero di corsie a

disposizione del flusso totale, di scambio e non di scambio), se ne calcola il livello di servizio.

In generale la geometria delle zone di scambio è tale che entrambi i flussi, di scambio e non di scambio, riescono a mantenere la stessa velocità media. Nel caso in cui la larghezza di carreggiata a disposizione del flusso di scambio risultasse insufficiente, la velocità di quest'ultimo potrebbe risultare alquanto inferiore a quella del flusso non di scambio: in questo caso si dice che il funzionamento della zona di scambio è *vincolato*.

Il punto di partenza del calcolo del livello di servizio di una zona di scambio è il calcolo della velocità media dei due flussi, di scambio e non di scambio, mediante la relazione:

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

dove:

v_i = velocità (km/h) del flusso di scambio ($i = s$) o non di scambio ($i = ns$)

v = velocità di circolazione libera nel tratto di carreggiata che attraversa la zona di scambio

w = *fattore di intensità di scambio*, il quale è una misura dell'attività di scambio.

Il fattore w viene calcolato mediante la seguente relazione:

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

dove:

V = rapporto fra il flusso di scambio f_s e il flusso totale f nella zona di scambio. I flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora.

N = numero complessivo di corsie della zona di scambio.

L = lunghezza in metri della zona di scambio.

Tab. 1 – Coefficienti della formula (2)

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

I coefficienti a, b, c, d sono forniti dalla Tab. 1 per la velocità di scambio v_s e non di scambio v_{ns} , nei due casi di funzionamento vincolato e non vincolato della zona di scambio. Si ritiene che in una zona di scambio avente la configurazione della fig. 1 la larghezza di carreggiata a disposizione del flusso di scambio sia uguale a 1.4 corsie. Il numero di corsie necessario per un funzionamento non vincolato è dato dalla relazione:

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

Se risulta $N_s > 1.4$ il funzionamento è vincolato.

Il calcolo ha inizio assumendo che il funzionamento sia non vincolato. Si leggono nella Tab. 1 i coefficienti a, b, c, d relativi a questa ipotesi, e si calcolano mediante la (1) le velocità v_s e v_{ns} dei flussi di scambio e non di scambio. Si calcola quindi mediante la (3) il numero N_s di corsie necessario per un funzionamento non vincolato. Se risulta $N_s > 1.4$ si ripete il calcolo di v_s e v_{ns} introducendo nella (1) i valori dei coefficienti a, b, c, d relativi al funzionamento vincolato.

Si calcola infine la velocità media nello spazio v_m (km/h) nella zona di scambio mediante la relazione:

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

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

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

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

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

La trattazione svolta considera la situazione più diffusa nelle ordinarie zone di scambio, in cui le correnti vengono ad intrecciarsi all'interno di un'unica corsia dedicata, cui si può anche destinare una sezione trasversale allargata, ma sempre unica, al fine di favorire la trasversalità delle traiettorie conflittuali.

In linea generale non si ritiene consigliabile l'adozione di schemi di intersezione dove i flussi di scambio siano così elevati o cinematicamente importanti da richiedere una duplicazione in senso trasversale delle corsie destinate all'intreccio delle traiettorie, in quanto la disponibilità di un doppio canale di scorrimento appare antitetica ad una precisa costrizione della manovra in termini ristretti e con velocità moderate. In tali casi il modello comportamentale di riferimento per il calcolo dei tratti necessari si modifica rispetto alla

trattazione illustrata, riportandosi sostanzialmente ad una casistica intermedia tra l'intreccio veicolare ed una marcia per file parallele.

Pur venendo esaminata tale situazione nell'Highway Capacity Manual, non si ritiene conveniente introdurre la trattazione di altri schemi di tratti di scambio, che dovrebbero limitarsi a casi del tutto particolari e quindi non generalizzabili quali soluzioni tecniche di corrente riferimento per una futura normativa. Ciò anche in considerazione delle notevoli lunghezze (comunque superiori a 400-500 m complessivi) che richiederebbero tali tratti di scambio "morbido" e pluricorsia, senza considerare le difficoltà di una corretta interpretazione da parte dell'utenza del comportamento ottimale.

5. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEGLI ELEMENTI DELLE INTERSEZIONI

Si ritiene utile, per contenere l'estensione del dispositivo normativo, articularlo in base ai seguenti ambiti principali di riferimento:

- elementi comuni a tutte le tipologie di intersezioni (A)
- elementi specifici per le sole tipologie di intersezioni a raso lineari (B)
- elementi specifici per le sole tipologie di intersezioni a raso a rotatoria (C)
- elementi specifici per le sole tipologie di intersezioni a livelli sfalsati (D)

Nel prosieguo si analizzeranno pertanto le diverse componenti da normare, usando quale riferimento significativo la lettera maiuscola dell'elenco sopra indicato, in modo da focalizzare l'ambito prevalente di riferimento.

5.1 - LARGHEZZA DELLE CORSIE

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

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

In situazioni di elevata curvatura, caratterizzate da raggi di traiettoria in mezzeria inferiori a 15,00 m, si deve assumere il valore maggiore dell'intervallo di larghezza indicato per i singoli elementi compositivi. Per raggi planimetrici superiori la scelta all'interno dell'intervallo deve giustificarsi in funzione dell'incidenza del traffico pensante.

L'allargamento delle corsie specializzate si verifica soltanto nella transizione da corsie adiacenti e complanari alla carreggiata verso corsie lateralmente delimitate dove la maggiore dimensione, come indicata in prosieguo, è destinata a consentire in via eccezionale il superamento da parte dei flussi di traffico dei veicoli eventualmente in panne lungo le rampe.

Soltanto per le rotonde si devono adottare valori differenziati di ampiezza della corona giratoria in funzione del raggio della traiettoria, distinguendosi i due casi di minirotonde o rotonde tradizionali, anche per tener conto che nelle prime viene assunto il criterio di inserire una banchina transitabile al fine di favorire il moto dei veicoli più ingombranti.

Le larghezze dei singoli elementi modulari sono le seguenti:

- corsie destinate alle traiettorie passanti (A); si mantiene il calibro corrente con una larghezza minima di 3,00 m
- corsie specializzate per funzioni cinematiche laterali (dec. ed acc.) (A); si adotta un valore minimo di 3,25 m e massimo di 3,75 m
- corsie specializzate per funzioni cinematiche e di accumulo in mezzeraia (B); si adotta un valore minimo di 3,50 m e massimo di 4,00 m
- corsie virtuali di scambio nelle intersezioni rotonde (C): si adotta un valore di 7,00 m per la corona giratoria di rotonde con diametro esterno superiore a 25,00 m e un valore di 8,00 m per minirotonde con diametro esterno inferiore a 25,00 m. Nel caso eccezionale di 3 corsie virtuali l'ampiezza della corona rotonda va assunta in 10,00 m per qualsiasi raggio di curvatura;
- bracci di accesso e uscita nelle intersezioni rotonde (C); si adotta un valore di 4,00 m per una corsia e 6,50 m per due corsie in entrata, mentre in uscita dalla rotonda si adotta un valore di 4,50-5,00 m onde facilitare la cinematica della manovra;
- rampe monosenso lateralmente confinate (D); si adotta il valore di 6,50 m $(1+4,00+1,5)$
- rampe bisenso lateralmente confinate (D); si adotta il valore di 9,00 m $(1+7+1)$

5.2 - LUNGHEZZE DEI TRATTI SPECIALIZZATI

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

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

Nella definizione delle lunghezze vengono acquisiti sia **input** di carattere cinematico (velocità di progetto, dell'85° percentile, **modale**, ecc...) sia elementi della teoria dei flussi di traffico (distribuzione degli **intervalli veicolari**, livelli di **probabilità di inserimento**, ecc..).

Nel precedente cap. 4 si sono sviluppati i criteri e gli algoritmi da ricavare dalla teoria dei flussi di traffico per il completo dimensionamento funzionale sia di singole componenti degli incroci sia del loro complesso. Non tutti gli elementi dimensionali presenti nelle intersezioni possono però riferirsi a tali criteri, richiedendo un approccio di tipo eminentemente cinematico che viene invece sviluppato nel presente capitolo.

5.2.1 – Elementi da dimensionare longitudinalmente in base ai flussi di traffico

La formula base di dimensionamento è data dalla espressione

$$L = v \times T_{att}$$

dove:

L [m] è la lunghezza del tratto funzionale

v [ms⁻¹] è la velocità costante caratteristica della manovra

T_{att} [s] è il tempo necessario per avere un intervallo veicolare sulla corrente principale, di ampiezza superiore a quello accettato per la manovra in questione

I nomogrammi applicativi del precedente cap. 4 consentono di semplificare, rispetto alla formula, la determinazione delle lunghezze da adottare per le seguenti componenti elementari delle intersezioni:

- corsie di immissione per incroci a raso (B); vengono impostate ipotizzandone la percorrenza a velocità costante verificando il raffronto tra intervalli accettati per la manovra di inserimento e intervalli disponibili dai flussi veicolari
- corsie di accumulo e svolta a sinistra (B); si compongono di un tratto di manovra, di un tratto di decelerazione e uno di accumulo veicolare; il tratto di accumulo deriva dalla previsione di veicoli accodati in base alla impossibilità di attraversare il flusso opposto, mentre gli altri due tratti richiedono dimensionamenti di tipo geometrico o cinematico;
- corsie di immissione per incroci a livelli sfalsati (D); come le corrispondenti a raso con obbligo di intero sviluppo complanare e parallelo rispetto alla corsia di inserimento finale, nonché un eventuale tratto aggiuntivo da destinarsi all'incremento della velocità di percorrenza rispetto ai valori di uscita dalle rampe curvilinee, qualora inadeguati ai limiti cinematici imposti dall'inserimento nel flusso;
- zone di intreccio e scambio veicolare (A); derivano dalla valutazione dei livelli di probabilità connessi alla distribuzione degli intervalli delle correnti veicolari di riferimento, con estensione determinata esclusivamente da considerazioni sui flussi;
- tratti di scambio in incroci a rotatoria (C); sono stati oggetto di specifica trattazione nel cap. 4, correlandosi direttamente per vincolo geometrico ai valori di raggio da adottarsi per la corona giratoria centrale;

5.2.2 – Elementi da dimensionare longitudinalmente con criteri cinematici

La formula generale da adottare per i tratti di variazione cinematica, in accelerazione o in decelerazione, viene assunta nella seguente espressione:

$$L = (v_1^2 - v_2^2) : 2 a$$

dove:

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

v_1 (m/s) è la velocità maggiore nella corsia considerata

v_2 (m/s) è la velocità minore nella variazione cinematica

a (m/s²) è l'accelerazione, positiva o negativa, assunta per la manovra

L'ipotesi di base riguarda pertanto un moto uniformemente variato in accelerazione o in decelerazione.

Le componenti progettuali modulari da dimensionare in via cinematica sono le seguenti:

- corsie di decelerazione per **incroci a raso (B)**, per v_1 si assume la velocità dell'ottantacinquesimo percentile (v_{85}) del flusso da cui provengono i veicoli in uscita, per v_2 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio R_2 della curva di deviazione verso l'altra strada, per a si assume il valore di 2 m/s². Per garantire maggiore agio alle manovre di uscita dalla corrente principale va precisato che almeno metà della lunghezza L di decelerazione deve venir realizzata in complanarità e parallelismo con la corsia di provenienza, accettandosi per la fase terminale di decelerazione anche un tratto curvilineo purché di curvatura compatibile con la velocità istantanea ipotizzata nella fase di decelerazione.
- tratto di decelerazione nelle corsie di accumulo e svolte a sinistra (B), per v_1 si assume v_{85} del flusso di provenienza mentre per v_2 si assume un valore nullo in quanto il tratto successivo, destinato all'accumulo dei veicoli in svolta, potrebbe essere occupato da una coda in attesa con conseguente necessità di ultimare la riduzione cinematica prima del tratto terminale. La decelerazione è $a = 2$ m/s². Il tratto di decelerazione viene preceduto da quello di raccordo la cui definizione di lunghezza si basa su criteri di tipo geometrico.
- corsie di decelerazione per incroci a livelli sfalsati (D), si adottano i medesimi criteri sopra illustrati per gli analoghi elementi degli incroci a raso. In caso di rampa curvilinea a raggio decrescente, con tratti di spirale o con curva continua, si conferma la necessità di sviluppare almeno metà della lunghezza L di decelerazione in complanarità e parallelismo con la corsia di provenienza della manovra.

- tratti di accelerazione in corsie di immissione (D), sono presenti quando la velocità di uscita dalle rampe curvilinee di interconnessione risulta sostanzialmente inferiore al campo cinematico di immissione nella corrente veicolare di destinazione; nella manovra ipotizzata sono seguite dalle corsie di immissione. Per v_1 si assume la velocità di immissione nel flusso veicolare, per v_2 la velocità compatibile con l'ultima curvatura R_2 della rampa di provenienza, per a un valore di 1 m/s^2 .

5.2.3 - Elementi da dimensionare longitudinalmente con criteri geometrici

La traiettoria veicolare nei tratti di raccordo deve realizzarsi mediante angolazione di 1/15 rispetto all'andamento del ciglio. Ne deriva che la lunghezza L dei raccordi viene espressa dalla formula

$$L = c \times 15$$

dove:

L è la lunghezza in metri del tratto di raccordo

c è la larghezza in metri della corsia o dell'elemento trasversale aggiuntivo

Ferma restando la necessità di una deviazione in ragione di 1/15 la lunghezza L può venire ridotta in caso di inserimento simmetrico dalle corsie aggiuntive rispetto al ciglio o all'asse di riferimento; ciò in quanto l'allargamento non comprende l'intera larghezza ma soltanto una quota parte.

I raccordi più frequenti nelle intersezioni sono i seguenti:

- tratto iniziale della corsia di decelerazione (A), dove si realizza l'allargamento laterale della piattaforma fino alle dimensioni comprensive del calibro aggiuntivo di corsia.
- tratto terminale della corsia di immissione (A), dove si induce l'utente al rientro forzato nel flusso di traffico in destinazione della manovra.

- tratto iniziale della corsia di accumulo (B), dove avviene la transizione della sezione allargata comprendente l'isola divisionale al calibro equivalente conglobante i tratti di decelerazione e accumulo.

In linea generale, in base ai valori correnti delle larghezze delle varie corsie sopra illustrati, la lunghezza dei tratti di raccordo varia pertanto ordinariamente da 30 a 60 m.

Un quadro riassuntivo degli elementi componenti le corsie specializzate e dei rispettivi criteri di dimensionamento è presentato in fig. 1.

COMPONENTI CORSIE SPECIALIZZATE E SINOSI DEI CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

LEGENDA:	GEOM	=	elementi da dimensionare con metodi geometrici
	CINEM	=	elementi da dimensionare con metodi cinematici
	TRAF	=	elementi da dimensionare in base ai flussi di traffico

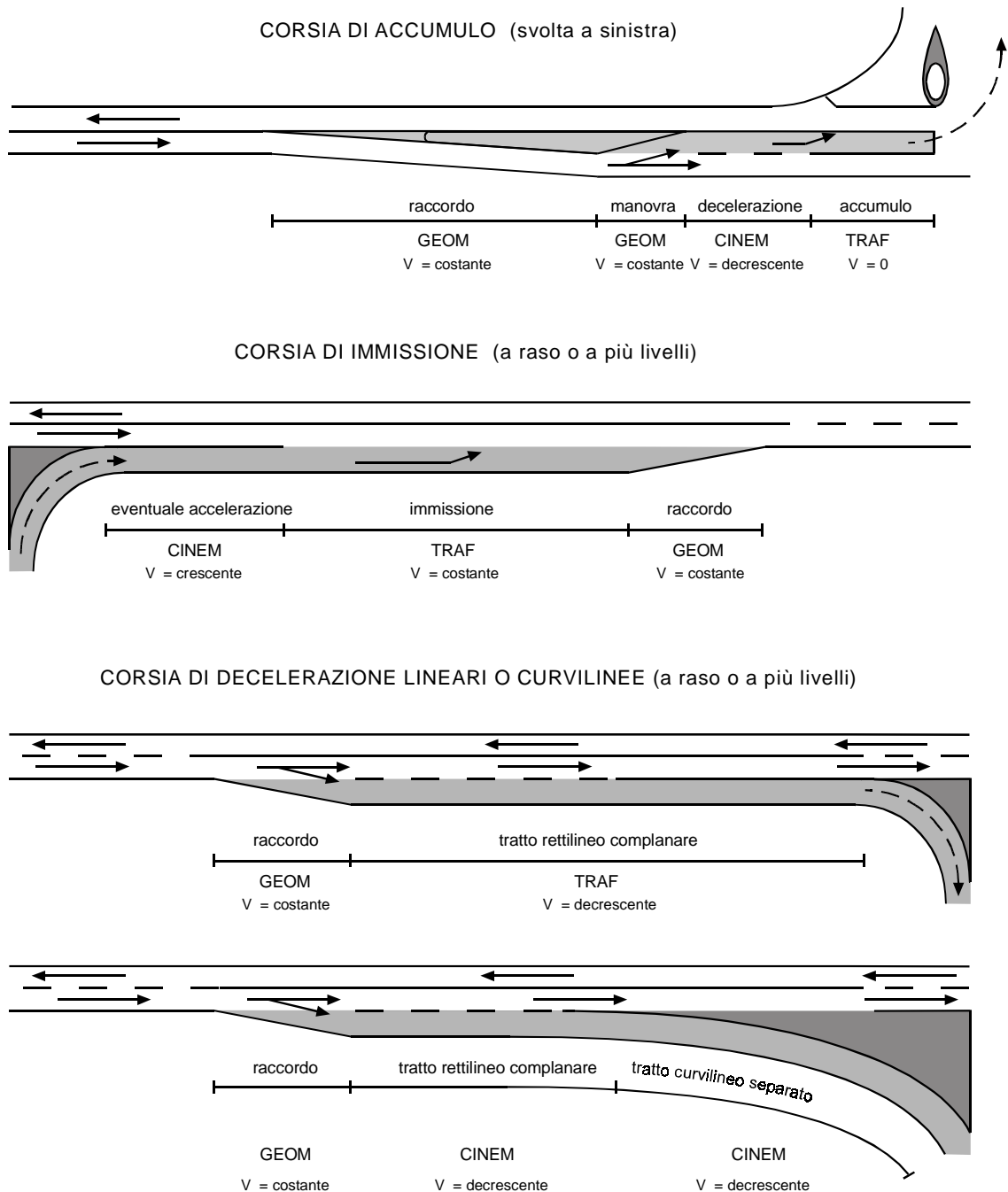


Fig. 1

5.3 –COMPONENTI FUNZIONALI PER INTERSEZIONI LINEARI

Si tratta di definire **se e quando vanno inseriti** nelle intersezioni a raso gli elementi cinematici aggiuntivi rappresentati da **corsie specializzate** per le svolte a destra e a sinistra.

L'articolazione dei criteri di scelta può distinguere i seguenti casi elementari:

- elementi geometrici destinati ad agevolare le svolte a sinistra dalla principale, consistono nell'allargamento trasversale della carreggiata in modo da consentire la **fermata dei veicoli in attesa di svolta** senza interrompere il flusso passante lungo la medesima direzione di provenienza. Si tratta o della creazione di corsie virtuali o di corsie complete di accumulo sulla mezzera stradale.
- elementi geometrici destinati ad agevolare le svolte a destra dalla principale, consistono nell'allargamento laterale della carreggiata in modo da consentire che la manovra di uscita dei veicoli a bassa velocità dalla corrente passante non ne ostacoli in misura significativa le condizioni di deflusso portando i veicoli al di fuori delle traiettorie passanti. Si tratta o della creazione di **raccordi laterali** o di corsie complete di **decelerazione**.
- elementi geometrici destinati ad agevolare le svolte a destra dalla strada secondaria, consistono nell'allargamento laterale della carreggiata principale in modo da consentire la manovra di uscita dei veicoli in inserimento sulla corrente passante senza significativo condizionamento del flusso passante. Si tratta o della creazione di **raccordi laterali** o di corsie complete di **immissione**.

Gli elementi che indirizzano l'opzione progettuale sono rappresentati sia dal traffico giornaliero medio della strada principale sia dalla entità giornaliera dei flussi di svolta a sinistra. La correlazione tra i due valori e l'opzione progettuale viene indicata in tab. 5.3.1 nel caso di incrocio a T.

5.3.1 – Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra negli incroci lineari a T

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
	mantenimento	corsia	corsia

meno di 8000 veicoli/g	della sezione corrente	specializzata di accumulo e svolta a sinistra	specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria
più di 8000 veicoli/g	allargamento della banchina pavimentata	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria

Per gli incroci a T di cui alla tab. 5.3.1 il **livello minimo di intervento** è rappresentato dall'**allargamento della banchina pavimentata** in modo da garantire una larghezza utile di almeno 5.00 m (cfr fig. 2).

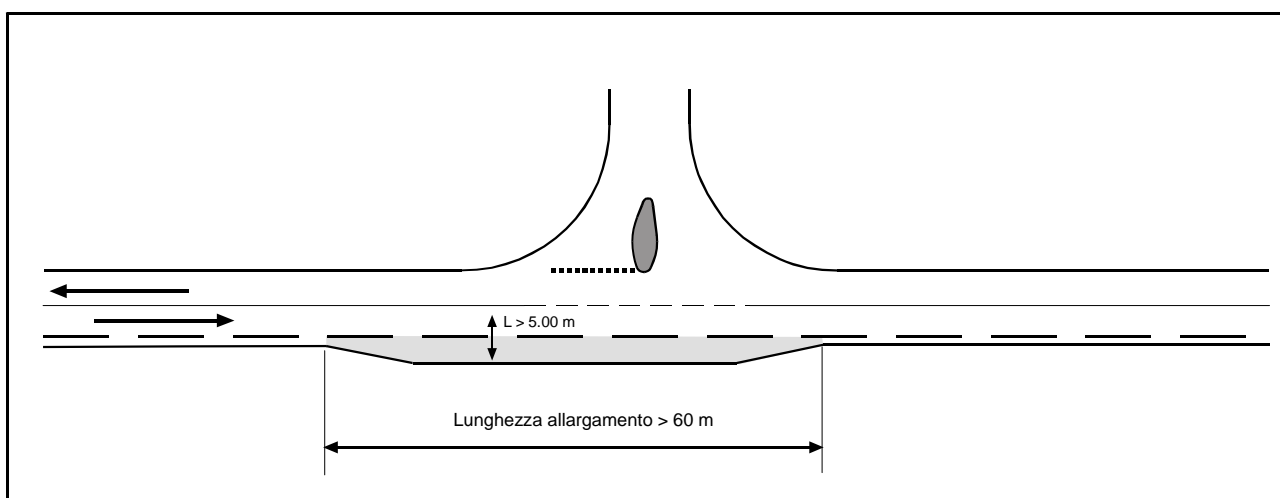


Fig. 2 – Banchina pavimentata

Nel caso di **incroci a raso a 4 bracci** non si ritiene ammissibile l'allargamento laterale della banchina pavimentata che verrebbe a creare uno spazio eccessivo non ben regolamentato all'interno dell'area di transito. L'elemento principale di sicurezza e fluidità della circolazione è rappresentato esclusivamente dalla **corsia di accumulo** le cui condizioni di inserimento in base ai valori di traffico potrebbero venir previste secondo le specifiche di tab. 5.3.2.

5.3.2 - Criteri di inserimento di elementi per svolte a sinistra negli incroci lineari a X

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	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra	corsia specializzata di accumulo e svolta a sinistra oppure rotatoria

Per le attrezzature di svolta a destra, sia in uscita dalla principale sia in entrata dalla secondaria, la normativa prevede sostanzialmente tre possibilità operative:

- l'allargamento progressivo della sezione stradale principale mediante la creazione di un tratto di raccordo di larghezza crescente fino al calibro di corsia; si tratta di inserire una corsia virtuale o pseudocorsia;
- l'inserimento di una corsia completa di decelerazione;
- l'inserimento di una corsia completa di immissione.

Le condizioni normative di inserimento di tali elementi aggiuntivi vengono riportate nella tab. 5.3.3, relativa indifferentemente sia agli incroci a T sia agli incroci a X.

5.3.3 - Criteri di inserimento di elementi per svolte a destra negli incroci lineari a X e a T

Traffico Giornaliero medio sulla principale (veicoli/g)	Veicoli impegnati in svolta a destra		
	meno di 100 veicoli/g	tra 200 e 400 veicoli/g	più di 400 veicoli/g

meno di 10000 veicoli/g	mantenimento della sezione corrente	pseudo corsia con raccordo di uscita	corsia di decelerazione
più di 10000 veicoli/g	pseudo corsia con raccordo di uscita	corsia di decelerazione	corsia di immissione

Le indicazioni dei flussi critici di traffico riportati in tabella derivano dalle analisi generali sviluppate nel precedente cap. 4.

5.4 – IL DIMENSIONAMENTO DELLE ISOLE DI CANALIZZAZIONE

Il disegno funzionale delle isole di canalizzazione risulta impostato su vincoli ed esigenze geometriche del tutto particolari anche ai fini di un miglioramento della sicurezza della circolazione in riguardo alla leggibilità e guida visiva delle traiettorie di approccio e all'interno delle zone di incrocio.

La verifica progettuale del disegno complessivo delle isole utilizza le fasce veicolari di ingombro dinamico, di una serie di veicoli pesanti da assumere a riferimento per la percorrenza delle principali traiettorie di svolta presenti nella intersezione. Ciò consente di verificare il corretto assemblamento degli elementi modulari dei canali di traffico e scorrimento nonché eventuali condizionamenti connessi alla presenza delle isole di canalizzazione materializzate e non. Le fasce di ingombro dei veicoli tipo sono riportati nelle fig. 3 e fig. 4.

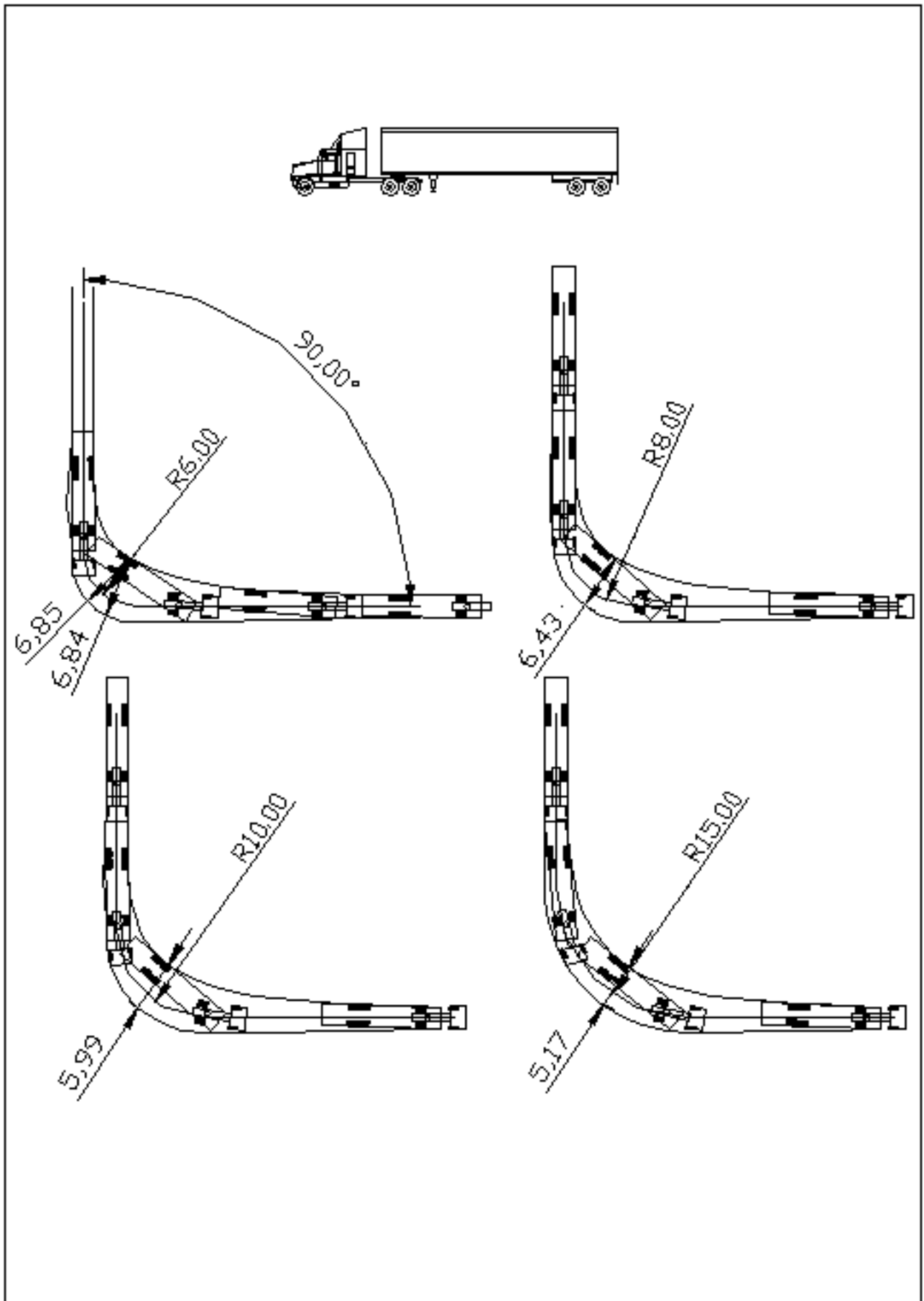


Fig. 3

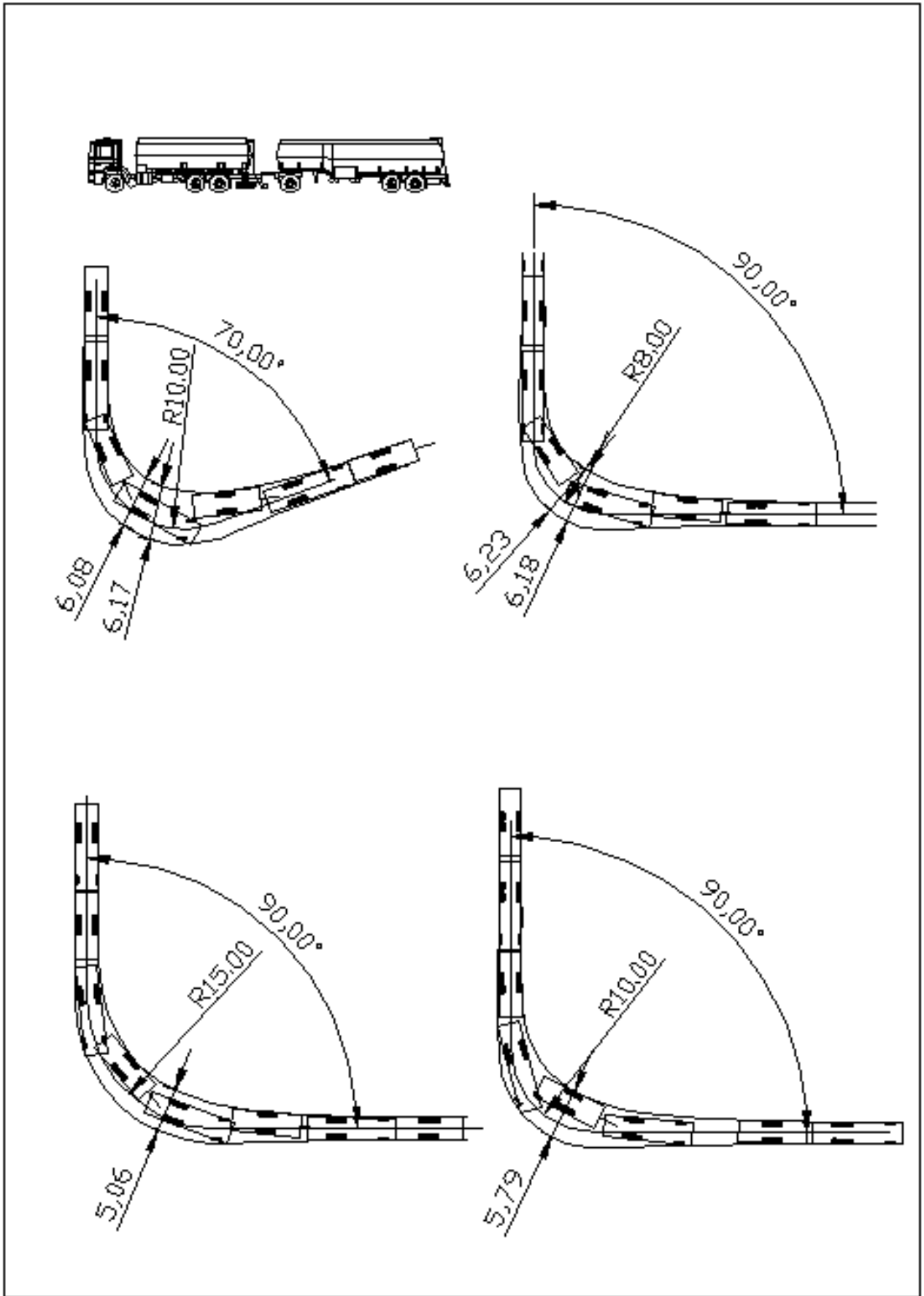


Fig. 4

5.4.1 – Isole di separazione sulle arterie principali

Hanno la funzione di proteggere da tamponamenti i veicoli impegnati nelle svolte a sinistra, materializzandone la corsia. Costituiscono inoltre, insieme ai tratti zebraati di presegnalazione, gli elementi salienti di percezione dell'incrocio da parte dell'utenza.

Le isole materializzate vanno previste in tutti i casi di inserimento di una corsia specializzata di svolta a sinistra al centro della carreggiata, e rappresentano anche la separazione fisica tra gli opposti sensi di marcia.

E' da preferirsi una collocazione trasversale di massima simmetria rispetto all'asse dell'arteria, in modo da limitare corrispondentemente le deviazioni delle traiettorie dei flussi passanti.

La zona iniziale di zebraatura di presegnalamento deve essere impostata su deflessioni rispetto all'asse di 1/15, preferendosi comunque uno stacco visivo netto in senso trasversale piuttosto di una gradualità curvilinea di potenziale minore percettività da parte dell'utenza. La lunghezza del tratto zebraato deve assumersi per una estensione **minima di 50-70 m**, variabile a seconda delle velocità di progetto della strada considerata (fig. 5); la **zebratura** di approccio si deve estendere per **almeno la metà dell'intero tratto** necessario per la transizione dalla sezione corrente alla sezione allargata, comprensiva del calibro di corsia di accumulo e svolta a sinistra.

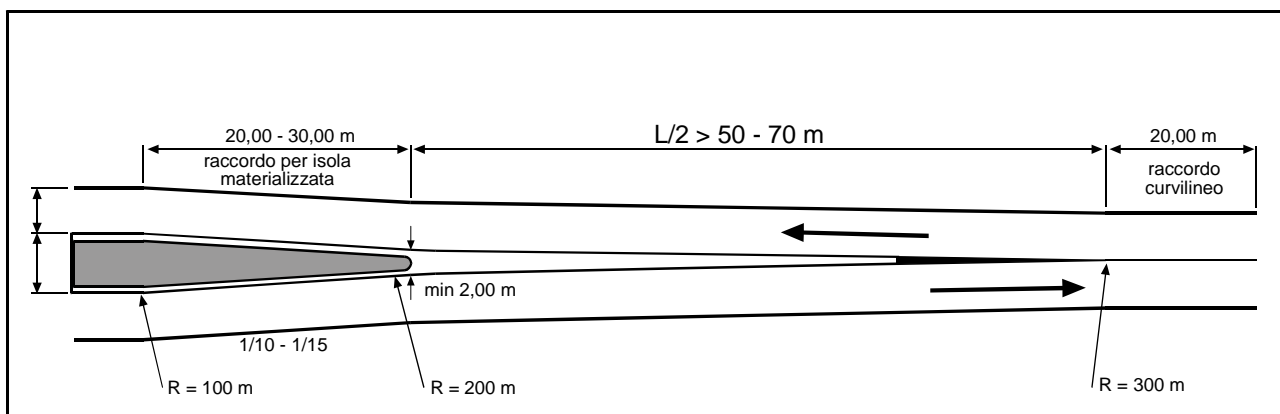


Fig. 5 – Tratto iniziale di isola di mezzeria

La larghezza dell'isola centrale deve essere di 5.00 m; si tratta di un valore di riferimento che non conviene né incrementare (si accresce la diversione delle traiettorie passanti e si aumenta lo spazio di attraversamento) né diminuire (si determinerebbe il permanere di traiettorie sulle corsie passanti).

Il disegno generale dell'isola si completa con la parte materializzata in risalto sul piano viabile che deve considerarsi costituita dall'insieme dei seguenti elementi successivi (fig. 6):

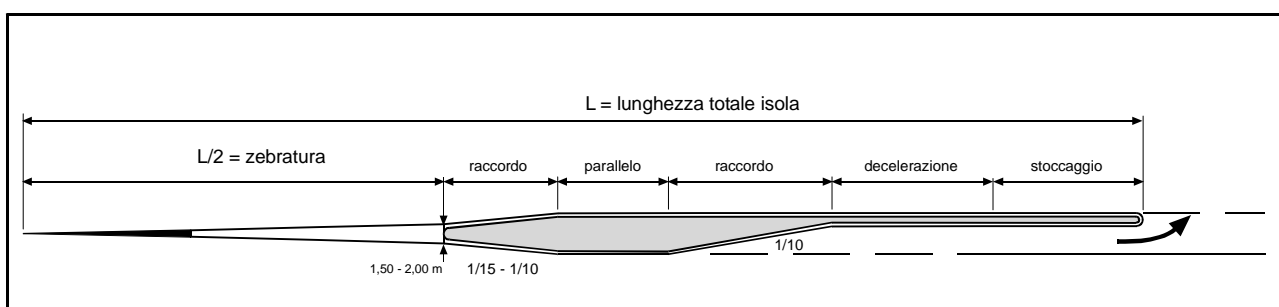


Fig. 6 – Isola materializzata

- un primo tratto di deviazione e raccordo, la lunghezza dipende dalla simmetria o meno della deviazione e determina il passaggio dalla zebra alla sezione allargata di massimo calibro. Può variare da **10,00 a 30,00 m**
- un secondo tratto parallelo, con lo scopo di marcare il nuovo allineamento delle traiettorie passanti nonché di preparare il distacco per le svolte a sinistra. La lunghezza minima è fissata in **15,00 m** onde consentirne la chiara percezione
- un terzo tratto di deviazione e raccordo, l'inclinazione deve essere netta (tra **1/5** e $1/10$) in modo da rendere immediato lo stacco delle traiettorie di svolta. La lunghezza minima risulta di **15-20 m** e dipende dal calibro della corsia di accumulo e svolta
- un quarto tratto di decelerazione, da trattare secondo le indicazioni del punto 5.2.2
- un quinto tratto di accumulo, da trattare secondo le indicazioni del punto 5.2.1.

5.4.2 – Isole materializzate sulle arterie secondarie

La progettazione ottimale degli incroci lineari si attua garantendo la **ortogonalità** (a quanto meno angoli **superiori a 70°**) tra gli assi afferenti alla zona di incrocio. Si può procedere a tale fine o correggendo il tracciato della secondaria o creando uno schema a **baionetta**, preferibile all'incrocio a X purché sia possibile **distanziare gli assi di almeno 100 m** (fig. 7).

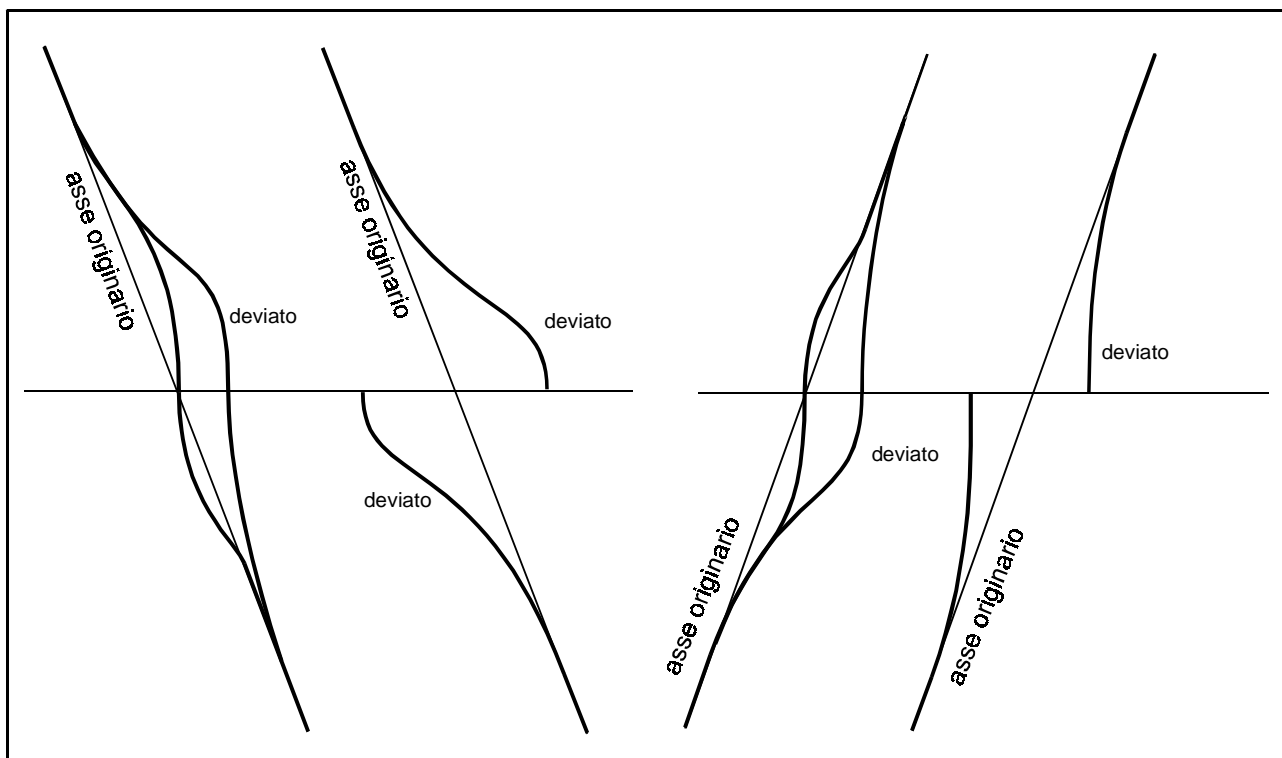


Fig. 7 – Rettifica d'asse della secondaria

L'isola materializzata sulla secondaria ha precise ed importanti funzioni progettuali:

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

- governa le traiettorie in uscita dalla principale.

La costruzione geometrica dell'isola a goccia sulla secondaria si basa su un triangolo definito di costruzione rispetto al quale si iscrivono i raggi di svolta a sinistra in entrata e in uscita rispetto alla principale. Il triangolo si adatta indifferentemente anche ad angolazioni non ortogonali degli assi viari confluenti (cfr. fig. 8).

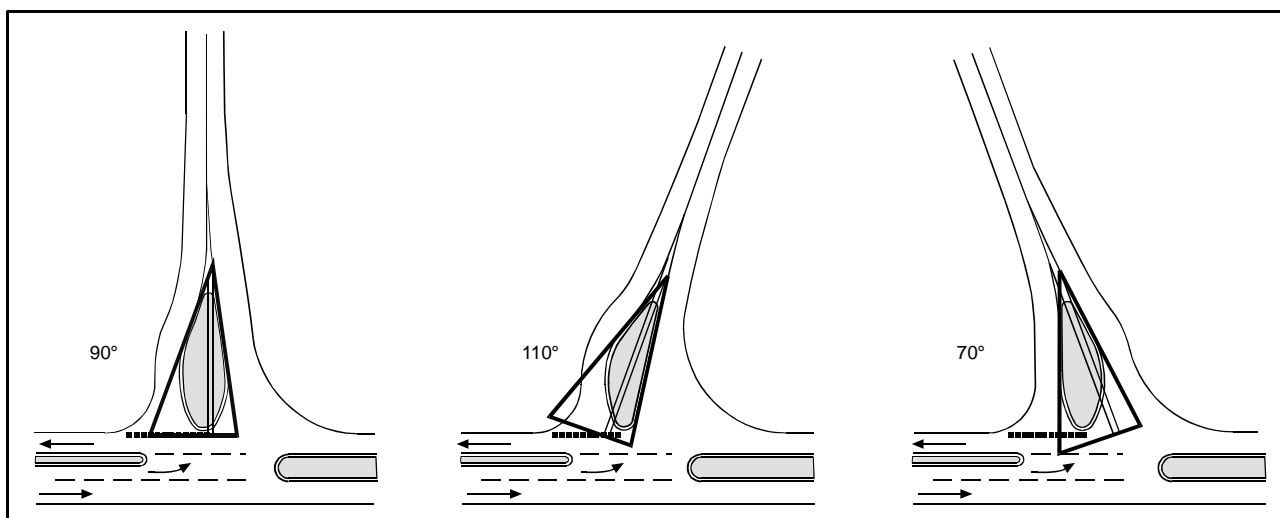


Fig. 8 – Angolazioni del triangolo di costruzione

Le dimensioni del triangolo dipendono dalla larghezza della strada secondaria, nonché da una collocazione disassata di 0,5 m rispetto alla mezzzeria della secondaria favorendo le svolte a sinistra in uscita dalla stessa (cfr. fig. 9). Ciò comporta una marcata asimmetria dell'isola a goccia i cui schemi di successiva costruzione sono indicati nella fig. 10, relativamente ai due casi distinti di presenza o meno di isole sulla strada principale.

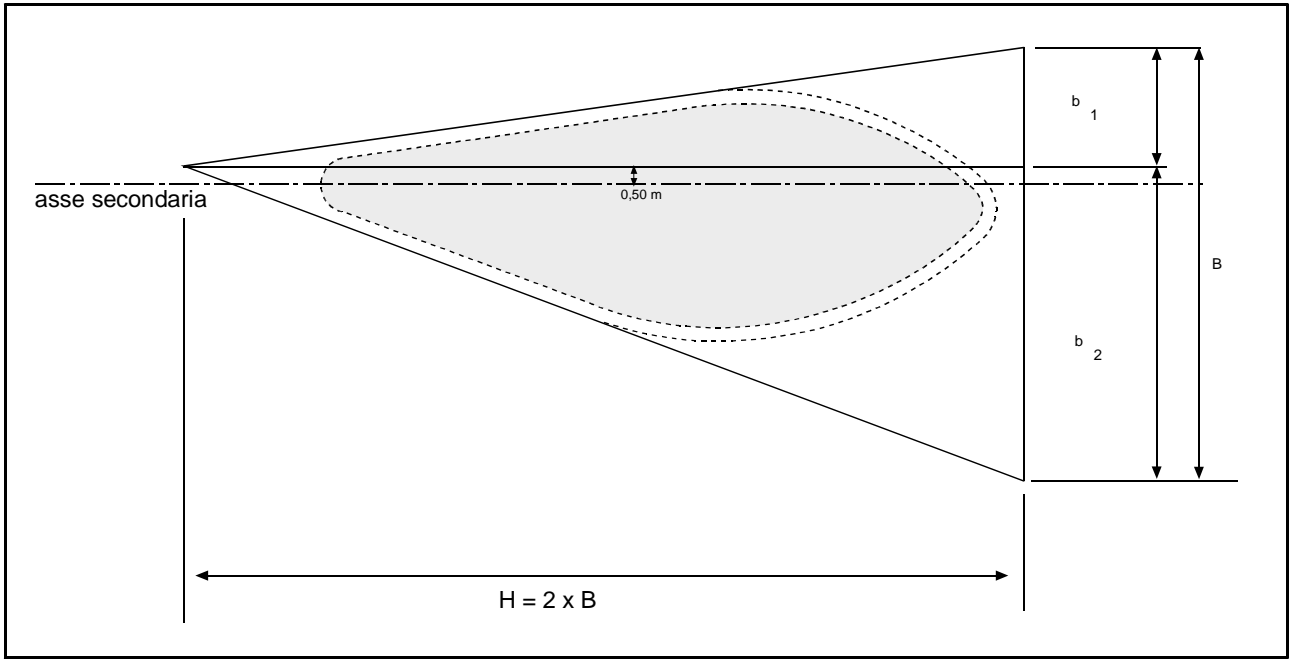


Fig. 9 – Triangolo di costruzione

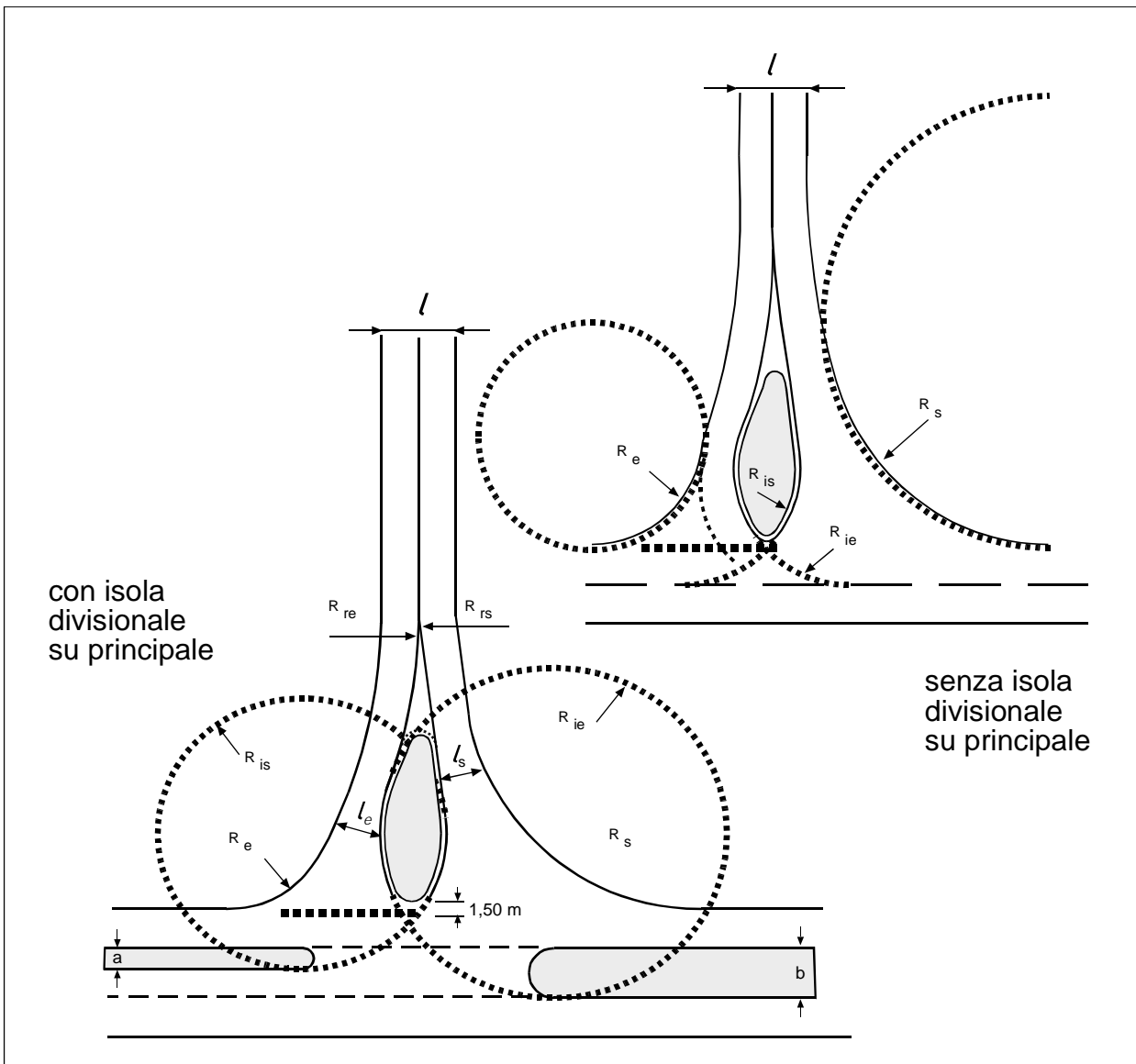


Fig. 10 – Tracciamento isola a goccia

Gli elementi geometrici principali da definire sono i seguenti, con riferimento alle figure sopra illustrate:

- 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 triangolo ($b_1 = 0,55 l$)

- lato maggiore triangolo ($b_2 = 1,45 l$)
- raggio uscita in sinistra ($R_{is} = 2 l + a$)
- raggio entrata in sinistra ($R_{ie} = 2 l + b$)
- raggio raccordo isola in entrata ($R_{re} = 8 l$)
- raggio raccordo isola in uscita ($R_{rs} = 16 l$)

, Il progetto della intersezione parte dalla definizione geometrica rigorosa dell'isola a goccia sulla base di tali indicazioni. Poi vengono inseriti gli elementi relativi ai calibri di corsia nonché alle isole accessorie direzionali, il cui inserimento va previsto preferibilmente in presenza di corsie specializzate per la decelerazione o l'immissione.

Anche per l'isola a goccia della secondaria è richiesta la realizzazione di un manufatto materializzato e non transitabile, pur suggerendo la adozione di cordoli di tipo sormontabile per non ostacolare le eventuali traiettorie anomale ed eccezionali di veicoli pesanti. Va comunque escluso in ogni caso una realizzazione mediante semplice approntamento segnaletico orizzontale.

5.5 – ELEMENTI GEOMETRICI DELLE ROTATORIE

Si considerano due tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna:

- rotatorie compatte con diametro esterno compreso tra 26 e 40 m;
- mini rotatorie con diametro esterno compreso tra 14 e 26 m.

Un ulteriore elemento distintivo tra le due tipologie fondamentali di attrezzatura rotatoria è rappresentato dalla sistemazione dell'isola circolare centrale che può essere resa in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti nel caso di mini rotatorie; le rotatorie compatte sono invece caratterizzate da bordure non sormontabili dell'isola centrale (cfr. figg. 11 e 12).

In linea generale si ribadisce la convenienza di generalizzare, per tutte le rotatorie, la priorità di circolazione nell'anello rispetto ai bracci, e pertanto i veicoli che transitano sulla

corona giratoria devono avere la precedenza sugli altri in entrata. E' quindi importante prevedere una attrezzatura segnaletica sia orizzontale sia verticale che elimini ogni possibile dubbio sul diritto di precedenza dei veicoli all'interno della corona.

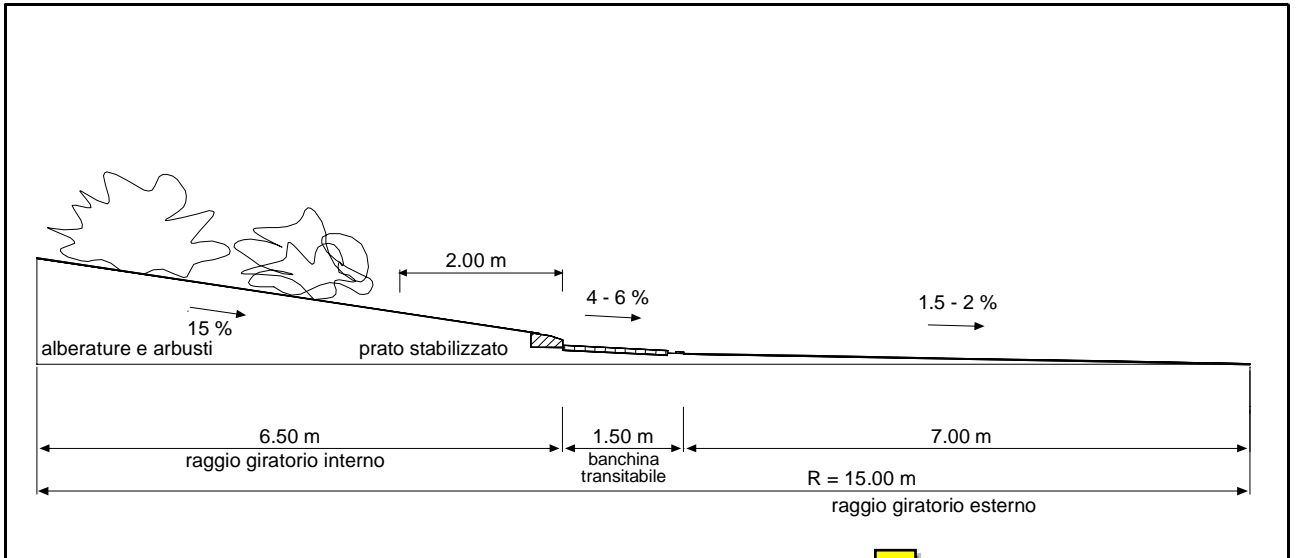


Fig. 11 – Isola centrale di rotondina compatta

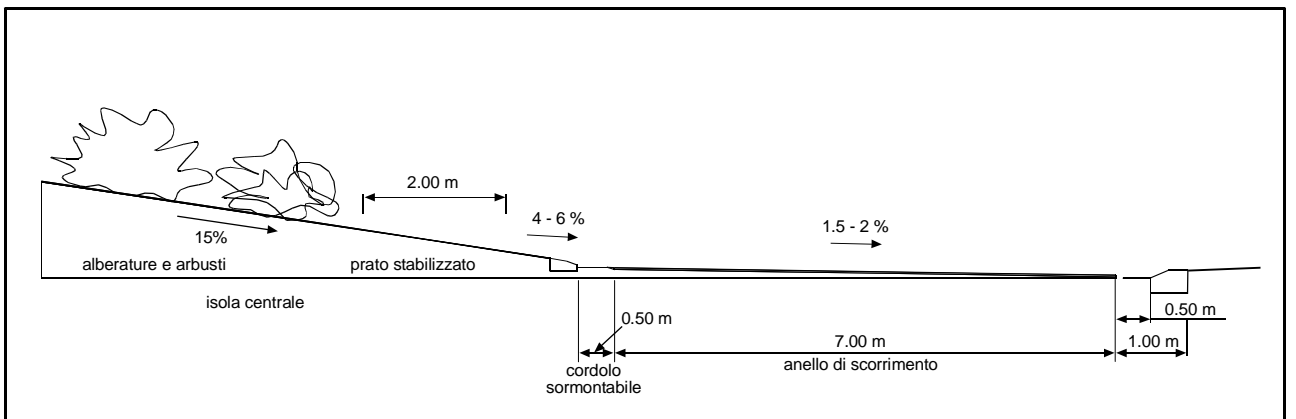


Fig. 12 – Isola centrale per minirotatoria

In base alla classificazione delle intersezioni riportata al cap. 3 la previsione di adozione di **mini rotonde** viene limitata agli incroci tipo **F/F delle strade locali extra-urbane**, mentre le rotonde compatte sono consentite per gli incroci tipo C/C, C/F, F/C.

La regola principale per il disegno progettuale delle rotonde riguarda il controllo della deflessione delle traiettorie in attraversamento del nodo, ed in particolare le traiettorie

che interessano due rami opposti o adiacenti rispetto all'isola centrale. Essendo scopo primario delle rotatorie un assoluto controllo delle velocità all'interno dell'incrocio risulta essenziale che la geometria complessiva **impedisca valori cinematici superiori** ai limiti usualmente assunti a base di progetto, e cioè con velocità massime di **40-50 km/h** per le manovre più dirette.

Si definisce in particolare **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 uscita (cfr. fig. 13). Tale raggio non deve superare i valori di **80-100 m**, cui corrispondono le usuali velocità di sicurezza nella gestione di una circolazione rotatoria.

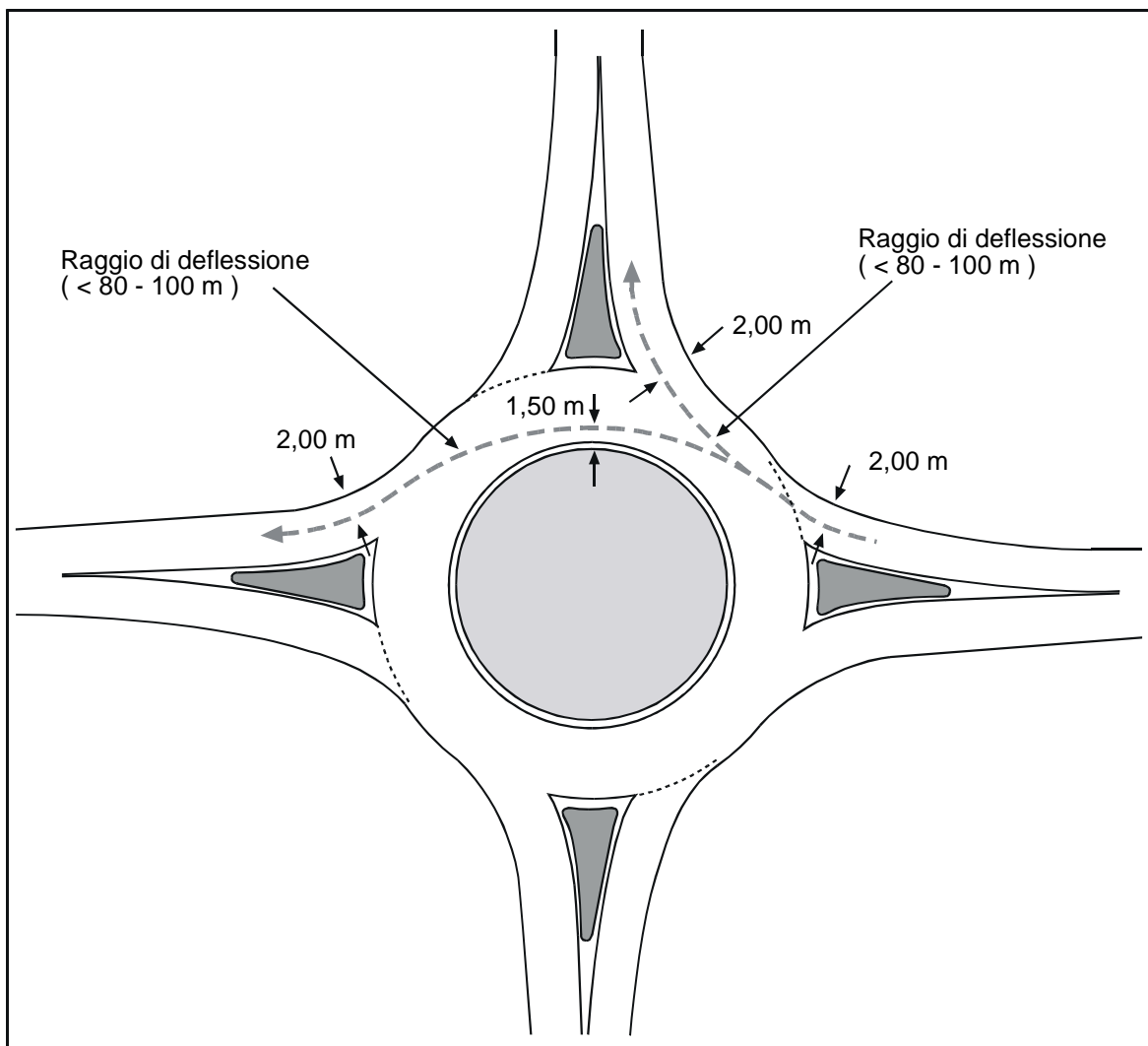


Fig. 13 – Deflessione della rotatoria



La regola della deflessione va adottata sia per le minirotatorie sia per quelle compatte, adattando ovviamente i valori di velocità ottimale in relazione sia alle caratteristiche cinematiche delle strade confluenti sia ai valori di raggio adottati per l'isola giratoria centrale.

Gli elementi principali di disegno progettuale delle rotatorie sono rappresentati dalle isole curvilinee triangolari site in corrispondenza delle corsie di entrata e uscita nella corona giratoria. Si è già trattato in precedenza della loro larghezza mentre per quanto riguarda le curvature vanno adottati i seguenti criteri:

- il raggio della traiettoria d'entrata deve essere inferiore al raggio della circonferenza esterna della rotatoria, garantendo comunque un valore minimo non inferiore a 10-15 m;
- il raggio della traiettoria di uscita deve essere superiore al raggio della circonferenza dell'isola giratoria interna, garantendo comunque un valore minimo non inferiore a 15-20 m.

Per quanto concerne la massima pendenza tra due punti diametrali esterni della corona giratoria il valore non deve superare il 5%.

I valori dei principali elementi di una rotatoria (cfr. fig. 14) da adottare a seconda del raggio della corona giratoria esterna che rappresenta l'elemento distintivo sono riportati in tabella (*inserire tabella*).

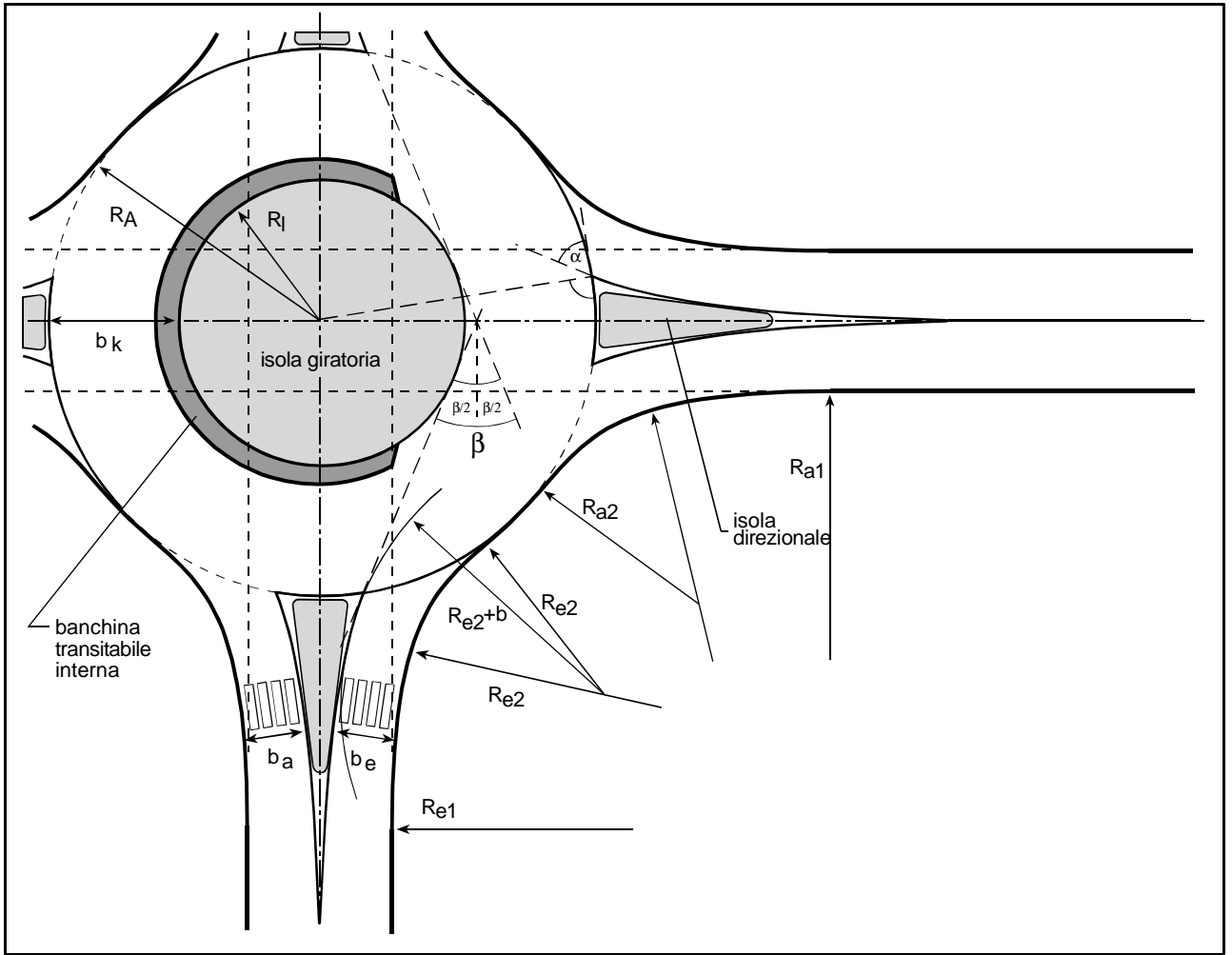


Fig. 14 – Elementi di progetto e tipizzazione delle rotatorie

b_e larghezza della corsia in entrata

b_a larghezza della corsia in uscita

b_k larghezza dell'anello di circolazione

$R_{e\ 1,2}$ raggio di entrata

$R_{a\ 1,2}$ raggio di uscita

R_A raggio esterno

R_I raggio interno

α angolo d'entrata

β angolo di deviazione

b arretramento di $R_{e\ 2}$



5.6 – CASI PARTICOLARI DI ROTATORIE

Si può inserire tra gli schemi di possibili rotatorie anche il caso di potenziamento della capacità di deflusso mediante l'inserimento di una corsia con traiettoria diretta di svolta a destra al di fuori della circolazione giratoria del nodo (cfr. fig. 15).

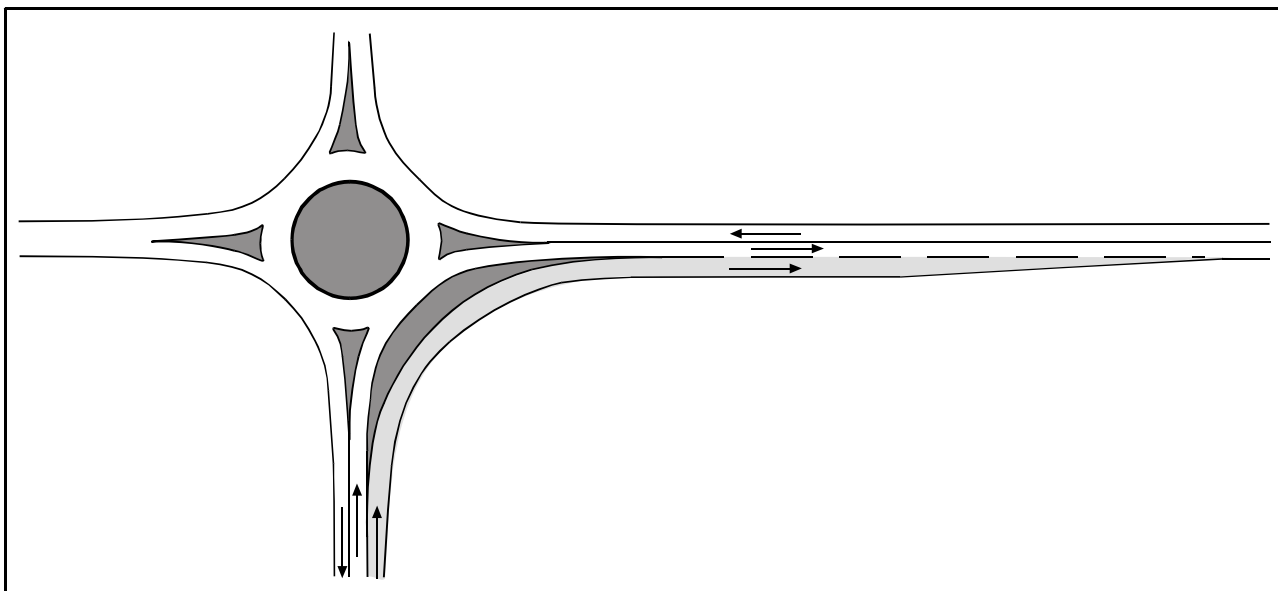


Fig. 15 – Rotatoria potenziata con svolta diretta

Tale schema può essere interpretato quale caso particolare di aggiunta al disegno base della rotatoria di un elemento specifico per correnti specifiche di svolta, con inquadramento conseguentemente analogo sul piano concettuale alle corsie aggiuntive degli incroci di tipo lineare.

Le condizioni di traffico da considerare determinanti per l'inserimento della rampa diretta esterna si assumono in un volume veicolare di svolta a destra di almeno 300 veic/h nei periodi di punta. L'inserimento esterno delle svolte dirette può interessare, in caso di intenso traffico, uno o più quadranti del nodo considerato.

5.7 - GEOMETRIA DEGLI ASSI E DEI MARGINI STRADALI

In linea generale la normativa finora sviluppata ha definito gli elementi geometrici dei canali di traffico secondo criteri di impostazione basati sui seguenti principi:

- mantenimento della connotazione planimetrica delle arterie confluenti nel nodo, senza modifiche dei raggi di curvatura passanti lungo il nodo;
- limitazione delle pendenze delle livellette per tutta la zona di intersezione a valori compatibili con la minimizzazione dei tempi di manovra in svolta;
- introduzione di criteri per l'inserimento di deflessioni angolari progressive in concomitanza di allargamenti della piattaforma stradale;
- impostazione di adeguati rapporti tra le velocità di progetto delle arterie confluenti e la cinematica caratteristica della intersezione;
- controllo planimetrico degli angoli di deviazione delle corsie, in modo da ottimizzare l'attenuazione dei punti di immissione e deviazione delle correnti.

Per l'andamento dei cigli della carreggiata principale, in corrispondenza di allargamenti o restringimenti della stessa si adotta lo schema compositivo di fig. 16 che suddivide l'intero percorso di passaggio in tre tratti uguali. Tale soluzione rappresenta un punto di equilibrio tra opposte esigenze; infatti nel caso generale, sia in allargamento sia in restringimento, la traiettoria teorica è costituita da una successione di curva e controcurva, che determinano un flesso di riallineamento all'asse dalla posizione trasversale iniziale a quella finale. Il flesso teorico richiederebbe però l'abbandono dell'elemento rettilineo che è di semplice materializzazione in favore di curve a raggio variabile non facilmente traducibile a livello di segnaletica.

I tre tratti hanno le seguenti caratteristiche:

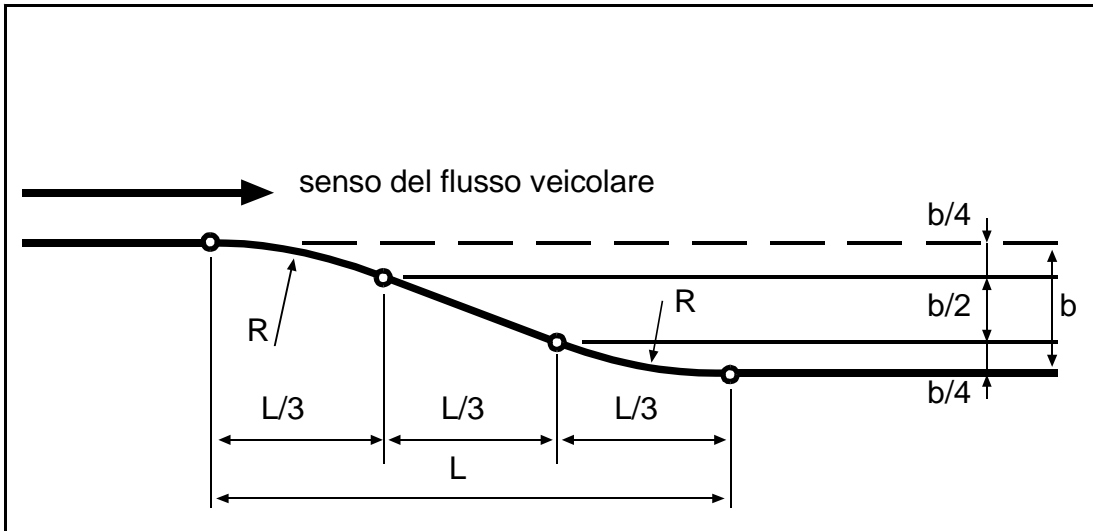


Fig. 16 – Elementi della linea di ciglio

- un primo tratto curvilineo, cui corrisponde una deviazione (misurata in senso trasversale) pari ad $\frac{1}{4}$ dello spostamento totale;
- un secondo tratto rettilineo, in tangenza al precedente, cui corrisponde una deviazione pari a $\frac{1}{2}$ dello spostamento trasversale totale;
- un terzo tratto curvilineo, di curvatura opposta al primo, cui corrisponde una deviazione pari a $\frac{1}{4}$ dello spostamento totale.

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

$$R = L^2 / 4,5 \times d$$

dove:

L = lunghezza complessiva del tratto di raccordo (maggiore di 30-40 m)

d = spostamento del ciglio in senso trasversale tra gli estremi del raccordo

Per quanto riguarda la geometria dei bordi di connessione tra la strada secondaria e la principale va adottata una curva **tricentrica, asimmetrica** tra i bordi di entrata ed uscita, caratterizzata dalla successione di tre circonferenze di raggio R_1 R_2 R_3 i cui valori sono intercorrelati dalla seguente relazione:

$$R_1 : R_2 : R_3 = (2 \cdot 5) : 1 : (5 \cdot 5)$$

suggerendo per R_2 valori minimi variabili tra 8,00 e 12,00 m (fig. 17).

inoltre:

$$\alpha + \beta + \delta = \gamma \quad \alpha = \delta \quad \beta = 5,5 \alpha$$

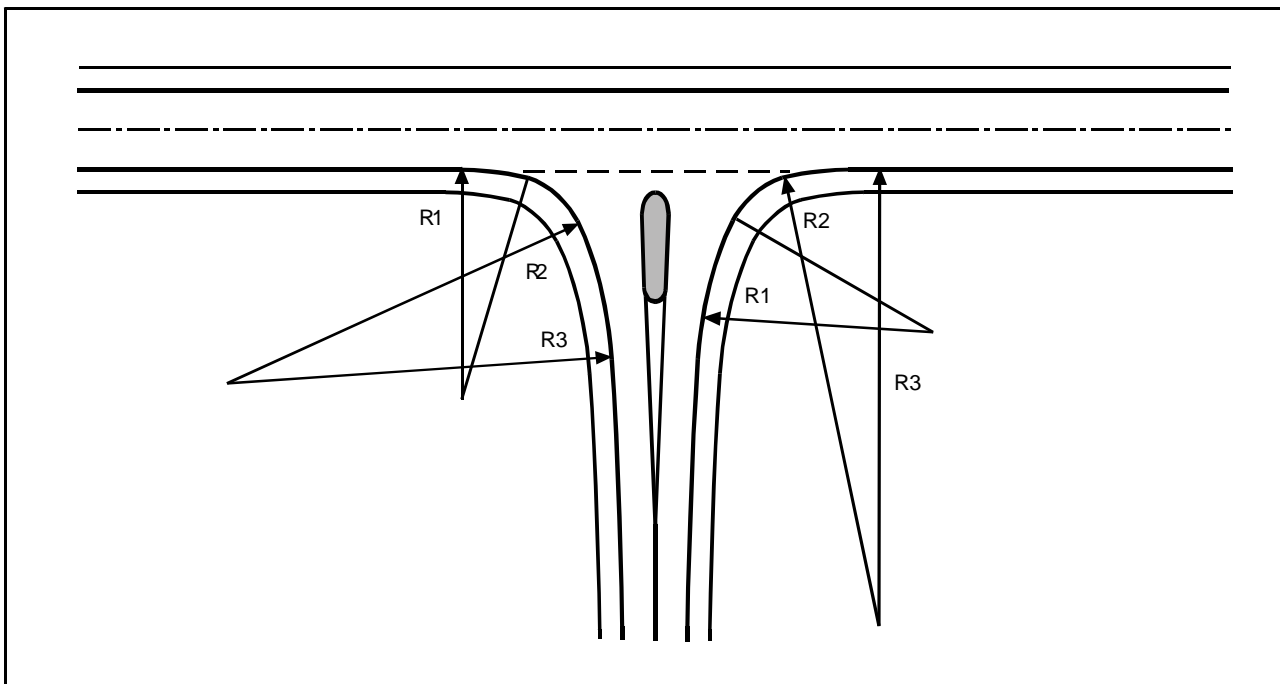


Fig. 17 – Tricentrica di ciglio

5.8 – CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE RAMPE DI INTERSEZIONI A LIVELLI SFALSATI

Per definire le caratteristiche planoaltimetriche delle rampe occorre preliminarmente individuare degli intervalli di velocità di progetto da adottarsi per le tipologie di intersezione già definite a livello generale e compositivo nei capitoli precedenti.

Le indicazioni per le loro individuazioni viene tradotta nella tab. 5.8.1 dove si abbinano le tipologie fondamentali di rampe con la classificazione già operata per le intersezioni, attribuendo gli intervalli cinematici di progetto. In linea generale si suggerisce di adottare per il disegno delle rampe valori cinematici dell'ordine del 60-70% rispetto alle velocità di progetto delle arterie confluenti nel nodo.

Le migliori prestazioni cinematiche sono espresse dalle rampe curvilinee dirette, mentre per le rampe indirette vengono ammessi riferimenti cinematici ridotti, con ulteriori specificazioni per differenziare le traiettorie di uscita dalle correnti principali rispetto a quelle di immissione, da ritenersi suscettibili di valori prestazionali più ridotti in termini di velocità ammissibile.

Tra le tipologie di rampa si è ritenuto opportuno introdurre anche quelle rettilinee dirette dove cioè le limitazioni alla velocità di progetto non derivano da vincoli di traiettorie curvilinee ma richiedono provvedimenti segnaletici ed indicazioni di carattere prescrittivo.

Tab. 5.8.1 – Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

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

I parametri fondamentali per il disegno geometrico delle rampe sono indicati nella tab. 5.8.2. I raggi planimetrici da adottare variano tra un minimo di 25 e un massimo di 250 m.

Per quanto riguarda inoltre la pendenza massima delle livellette, oltre alla differenziazione tra percorsi in salita anziché in discesa, si sono ammessi valori fino all'8% per gli incroci meno importanti e fino al 6% per quelli caratterizzati dai migliori indici prestazionali.

La sagoma trasversale conferma il valore minimo del 2,5% per il deflusso dell'acqua meteorica, mentre si ritiene di limitare la pendenza massima al 6% sia per motivi di comfort sia per la relazione sottesa con la velocità di progetto indicata.

Tab. 5.8.2 – Caratteristiche planoaltimetriche delle rampe

Velocità di progetto (km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo (m)	25	45	75	120	180	250
Pendenza max salita (%)	7,0		5,0			
Pendenza max discesa (%)	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
Pendenza trasversale minima (%)	2,5					
Pendenza trasversale max. (%)	6,0					
Visibilità longitudinale minima (m)	25	35	50	70	90	115

Per quanto concerne inoltre gli elementi accessori delle carreggiate per le intersezioni a livelli sfalsati il disposto normativo prevede la necessità del costante inserimento, lungo le arterie di tipologia A, B, delle corsie laterali di immissione e decelerazione, già illustrate nel precedente 5.2; per i tratti afferenti alle tipologie stradali C l’inserimento delle corsie aggiuntive viene regolato dalla tab. 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

5.9 – PERCORSI PEDONALI E CICLABILI

La normativa finora considerata ha dedicato la propria attenzione al traffico motorizzato ordinario costituito in prevalenza da autovetture con una presenza comunque significativa di veicoli pesanti; sia le condizioni geometriche sia i parametri di deflusso delle correnti di traffico hanno congiuntamente considerato le esigenze generali di tali categorie di utenti.

Nell’ambito della carreggiata stradale sono previsti dalla normativa spazi specializzati destinati al traffico minore; infatti viene riservata a percorsi pedonali e piste ciclabili una presenza progettuale non occasionale tra le sezioni tipo caratterizzanti le varie arterie classificate. In particolare per le categorie stradali più elevate (A, B) la previsione di piste ciclabili rientra nelle attrezzature della viabilità laterale di servizio, mentre per le altre categorie tali spazi afferiscono a complementi dell’arteria principale.

Poiché risulta indispensabile che nei nodi viari venga mantenuta sicurezza e continuità di circolazione a tutte le categorie veicolari coinvolte nell’interscambio è

necessario che la normativa sulle intersezioni affronti, anche i temi specifici degli approntamenti dedicati agli utenti più esposti quali appunto pedoni e ciclisti.

5.9.1 – Le utenze deboli in fase di progettazione e di esercizio

Il tema delle utenze deboli, rappresentate dal complesso di pedoni e due ruote, deve costituire uno specifico argomento di verifica e approfondimento tecnico fin dalle prime fasi di ideazione progettuale, conferendo alla relativa trattazione la dignità e l'importanza di un "progetto nel progetto". Non è difatti possibile confinare i percorsi pedonali e ciclabili tra gli argomenti complementari risolvibili con provvedimenti localizzati dopo aver definito lo schema generale di risoluzione del nodo viario.

Fin dalla fase del progetto preliminare le aree destinate ai flussi delle utenze deboli vanno verificate in base a tre principali elementi di valutazione:

- la **diffusione e l'idoneità dei percorsi pedonali e ciclabili** in relazione sia all'entità dei singoli attraversamenti sia in rapporto alla congruenza delle attrezzature per le utenze deboli, in relazione alle **traiettorie spontanee** di presenza e mobilità minore all'interno del nodo viario;
- la **visibilità diurna e notturna** degli attraversamenti per le utenze deboli, da valutarsi nella duplice ottica sia dei conducenti in arrivo nella zona di incrocio sia dei pedoni e ciclisti per il tempestivo avvistamento dei veicoli sopraggiungenti dalle varie direzioni;
- l'estensione dei tratti in attraversamento al fine di valutare la opportunità di frazionare i percorsi all'interno del nodo viario, favorendo la creazione di zone protette mediante realizzazione di **isole di traffico** sopraelevate.

In linea più generale, dal progetto preliminare deve emergere una specifica valutazione sul funzionamento pedonale e ciclabile dell'intera zona di intersezione, in modo da escludere la possibilità di determinare presenze sistematiche o occasionali di utenze deboli al di fuori dei tratti specifici destinati progettualmente all'attraversamento. Come pure deve emergere una **precisa valutazione sulla necessità di dotare il nodo di piste**



ciclabili, anche in assenza di analoghe attrezzature nei rami di approccio, con interventi finalizzati per pavimentazioni differenziate.

In sede di progetto definitivo, nonché esecutivo, le opzioni per le utenze deboli assunte in sede di progettazione preliminare devono trovare ulteriore approfondimento di risoluzione tecnica per le seguenti problematiche specifiche, la cui rilevanza emerge soprattutto in aree urbanizzate:

- l'introduzione di isole spartitraffico, con funzione di rifugio pedonale o di protezione di itinerari ciclabili, deve venir valutata per ogni attraversamento previsto in relazione alla larghezza della carreggiata ed ai tempi impegnati dalle utenze deboli sulla piattaforma viaria;
- le dimensioni delle isole di rifugio o di protezione vanno adeguate alle previsioni di flusso dell'utenza pedonale e alle proiezioni di ingombro trasversale e longitudinale dei mezzi a due ruote in modo da contenere nelle zone riservate l'accumulo globale delle utenze deboli;
- diversamente dalle regole esposte in ordine alla geometria delle correnti veicolari può essere conveniente collocare gli attraversamenti delle utenze deboli in posizione anche obliqua rispetto alla direzione dei flussi, in modo da costringere i pedoni e i ciclisti ad osservare con prospettiva quasi frontale la corrente da attraversare prima di immettersi in carreggiata;
- la velocità ordinaria di approccio dei flussi veicolari agli attraversamenti per le utenze deboli deve essere controllata e moderata con vari provvedimenti (geometrici, di imbutitura, di pavimentazione, di dissuasori, ecc..) in modo da rendere compatibili i tempi di attraversamento pedonali con le distanze di reciproco avvistamento;
- l'interno ed il contorno delle aree di svincolo vanno generalmente attrezzati con la creazione di idonei itinerari pedonali, anche in assenza di marciapiedi sui rami di accesso, in modo da escludere la convenienza e la possibilità di invasioni delle corsie di scorrimento da parte dei pedoni;
- la segnaletica orizzontale e verticale espressamente destinata ai percorsi minori deve essere concepita e localizzata non soltanto per una efficace percezione da

parte dei flussi veicolari, ma anche per indirizzare le utenze deboli al rispetto delle regole principali di funzionamento del nodo individuate nella progettazione.

- la **visibilità di reciproco avvistamento tra i veicoli e le utenze deboli** deve essere verificata in relazione a tutte le possibili schermature presenti all'interno dello svincolo in esercizio; la verifica va condotta sia in condizioni diurne sia in relazione ai valori di luminanza connessi alla illuminazione globale notturna dell'incrocio, quale derivante dall'impianto stradale e da eventuali pertinenze edilizie con valenza luminosa;
- le **distanze di arresto** per tutti i flussi veicolari in approccio ai punti di attraversamento vanno espressamente verificate per il campo superiore di velocità rappresentative dei flussi di traffico; ciò anche per valutare l'efficacia di eventuali interventi di limitazione cinematica.

Quanto sopra costituisce l'insieme di **regole generali per tutte le intersezioni**, sia in zone urbanizzate sia in aree extraurbane; uno specifico approfondimento per le attrezzature di semaforizzazione con tempi pedonali viene rinviato nel cap. 6 relativo alla regolazione semaforica. Per quanto concerne in particolare le tipologie di intersezione dichiaratamente extraurbane, e quindi con assenza di rilevanti flussi pedonali, si possono adottare soluzioni semplificate di progettazione, che vengono presentate nei paragrafi successivi.

5.9.2 – Percorsi pedonali in intersezioni a raso di tipo lineare

La ricerca della massima sicurezza va impostata sul frazionamento e sulla separazione dei tratti di attraversamento, portando gli itinerari dei pedoni ad intercettare una sola corrente di flusso per volta; mediante un appropriato disegno ed una idonea distribuzione delle isole di traffico vanno creati all'interno dell'area di svincolo appositi spazi protetti di rifugio dove il pedone può attendere, senza pericolo alcuno, di affrontare il successivo tratto.

La creazione di isole di rifugio impone precise indicazioni progettuali in ordine alla loro materializzazione con cordoli insormontabili nonché a protezioni aggiuntive di massima sicurezza e percettibilità per l'utenza veicolare. In linea generale i percorsi pedonali protetti vengono concentrati in modo da non avere più di un attraversamento

completo per singola arteria considerata, da localizzare in corrispondenza delle correnti veicolari, tra quelle afferenti al nodo, meno importanti per volume di traffico e velocità di percorrenza.

Nei casi in cui i flussi pedonali siano rilevanti e continuativi durante la giornata non è più possibile impostare la sicurezza sui soli itinerari protetti, dovendo invece optare per regolazioni semaforiche in cui anche il rilievo dei movimenti di pedoni costituisca elemento per la fasatura.

5.9.3 - Percorsi pedonali in intersezioni a raso di tipo rotatorio

Nella scelta progettuale di un nodo di tipo rotatorio non si può prescindere dalla valutazione preliminare dei flussi pedonali in modo da verificare specificamente se i flussi più importanti dei pedoni si sovrappongano o meno alle punte del traffico veicolare. Come pure vanno analizzate anche le previsioni di evoluzione a medio e lungo termine attraverso l'identificazione dei punti di origine e destinazione dei flussi pedonali nell'area al contorno del nodo.

Poiché la rotatoria viene caratterizzata, nei rami di adduzione, dall'inserimento di isole divisionali tra i due sensi opposti di marcia risulta generalmente ottenibile la separazione dell'attraversamento dei due sensi della corrente veicolare, utilizzando l'isola quale spazio di rifugio e di frazionamento dell'itinerario. Le dimensioni dei percorsi pedonali, in larghezza e lunghezza, devono essere compatibili con l'arresto negli spazi protetti di un pedone con una carrozzina.

Va realizzato un arretramento di 4-5 m del passaggio pedonale rispetto al bordo esterno dell'anello rotatorio, in modo che i pedoni possano passare dietro la prima vettura ferma in attesa di inserirsi nella corona giratoria. In tale posizione risulta inoltre più semplice migliorare la visibilità reciproca pedone – automobilista evidenziando il momento pedonale rispetto a quello veicolare.

In caso di elevato traffico pedonale si può prevedere anche per le rotatorie la adozione di una regolazione semaforica specifica per i soli pedoni, ma a condizione che l'attraversamento venga arretrato di qualche decina di metri rispetto all'anello e che i tempi

di attraversamento siano contenuti ad evitare un riflusso sulla corona giratoria che deve rimanere assolutamente libera.

Tra i provvedimenti necessari a regolare il movimento pedonale risulta essenziale che i pedoni siano dissuasi da attraversare o impegnare comunque l'anello mediante due diverse linee di intervento:

- un'elevata qualità dei percorsi pedonali lungo la corona esterna in modo da indurre i pedoni a preferire i percorsi a loro dedicati e studiati per la loro sicurezza;
- ostacoli appropriati lungo i bordi (piantagioni, vasi da fiori, paracarri, catene, ecc..) in modo da dissuadere da percorsi scomodi e avventurosi che comunque non dovrebbero essere cintati al punto da impedire comunque una via di fuga al pedone indisciplinato.

Il ricorso a sottopassi pedonali, anche in senso diametrale per facilitare l'eventuale fruibilità dello spazio verde dell'isola centrale, va considerato un intervento di natura eccezionale, per casi particolari dove le misure viabilistiche ordinarie non risultino sufficienti.

5.9.4 - Percorsi ciclabili in intersezioni a raso di tipo lineare

I criteri ispiratori per la sicurezza del traffico a due ruote si basano sui seguenti presupposti:

- limitazione delle aree di collisione con il traffico veicolare mediante la concentrazione degli attraversamenti pedonali e veicolari in un numero minimo di punti adeguatamente attrezzati;
- separazione fisica e funzionale delle vie ciclabili dalle corsie destinate al transito veicolare, anche mediante l'introduzione di un dislivello;
- realizzazione tendenziale di attraversamenti a livelli sfalsati delle piste ciclabili rispetto alle corsie di circolazione veicolare;

- **eliminazione** tendenziale di qualsiasi **promiscuità di percorso fra i percorsi ciclabili e quelli pedonali**, da tenersi materialmente separati per la sicurezza degli utenti più esposti;
- introduzione di accorgimenti planimetrici e di attrezzatura del piano viabile per la limitazione e il **controllo della velocità ciclabile** nei residui punti di attraversamento a raso.

Ai fini di un approccio sistematico al disimpegno del traffico a due ruote è opportuno distinguere gli approntamenti progettuali per le diverse manovre possibili:

- **traiettorie ciclabili passanti** rispetto al nodo; i percorsi delle due ruote debbono continuare e venir segnalati nella zona di incrocio se con diritto di precedenza, devono venir interrotti se con obbligo di precedenza. Negli attraversamenti di flussi veicolari significativi è opportuno creare zone mediane protette o adottare regolazione semaforica dedicata; in tal caso la linea di arresto dei percorsi ciclabili dovrebbe essere avanzata rispetto alle corsie veicolari
- traiettorie ciclabili con **svolte a sinistra**; vanno previste e privilegiate corsie di preselezione evitando comunque la commistione con svolte veicolari similari. Possono prevedersi in casi particolari anche percorsi di tipo indiretto, con attraversamenti concentrati, in presenza di arterie a carreggiate con due o più corsie passanti per senso di marcia
- traiettorie ciclabili con svolte a destra; provenendo dal parallelismo o dalla contiguità con la strada principale anche la pista ciclabile deve godere dei diritti di precedenza, arretrando la linea di arresto al di fuori della pista stessa. Può essere utile anche arretrare verso la secondaria il punto di svolta a destra ottenendo un attraversamento indipendente e protetto.

Gli schemi applicativi da adottarsi per le varie tipologie possibili, nei diversi casi elementari, sono indicati di seguito nelle figg. 18, 19, 20 e costituiscono un vero e proprio catalogo di soluzioni di massima sicurezza.

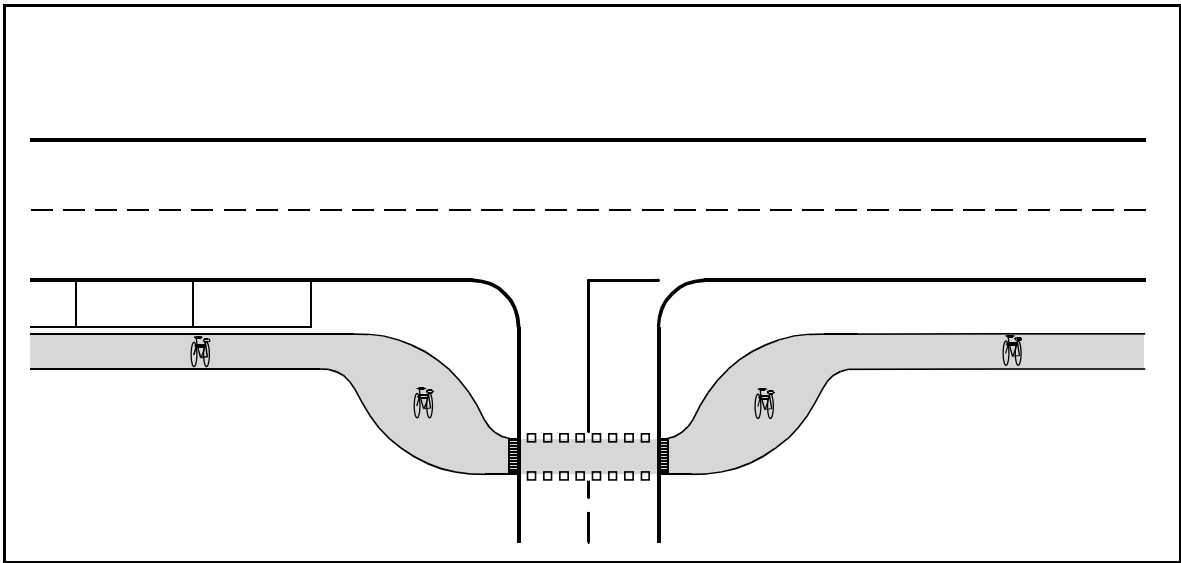


Fig. 18 – Arretramento protetto di pista ciclabile

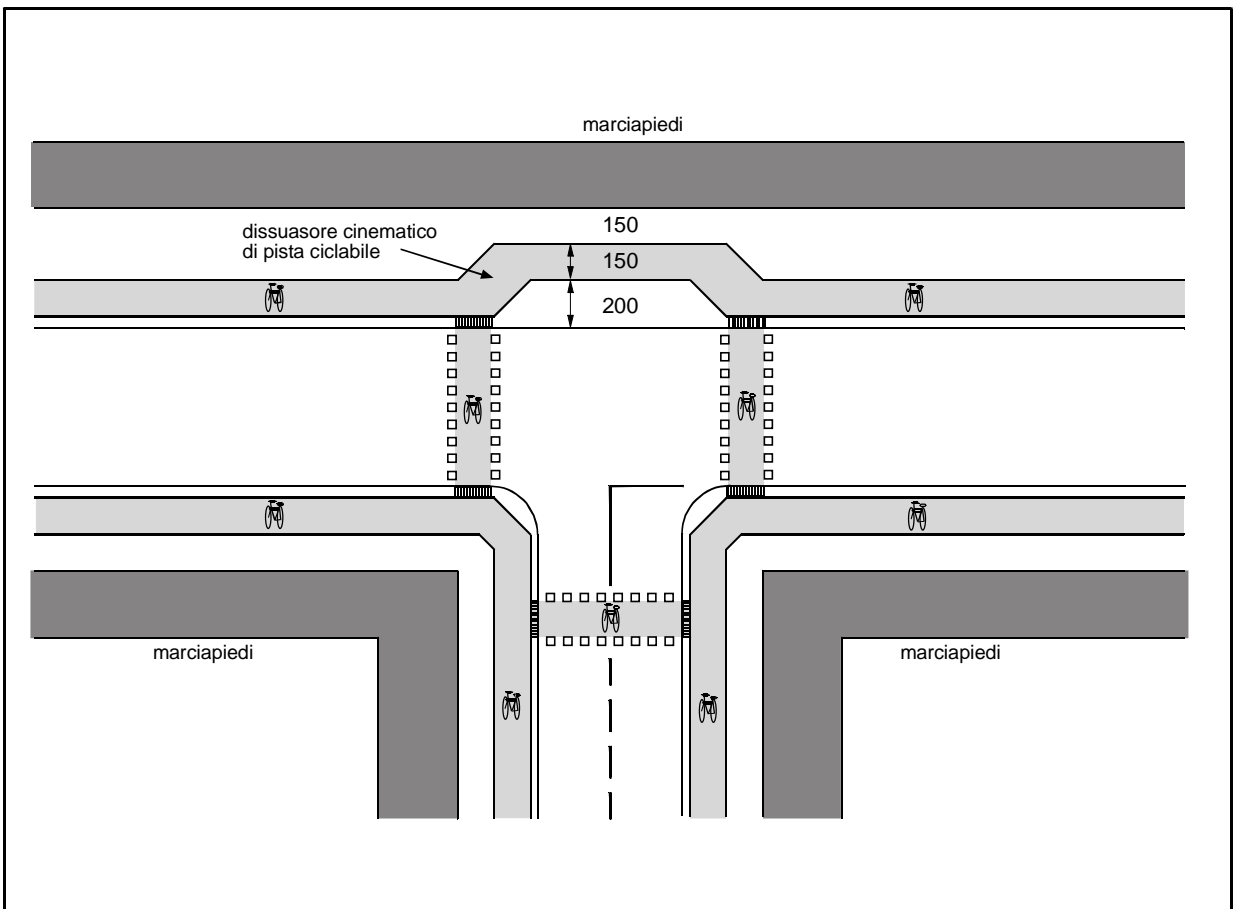


Fig. 19 – Attraversamento promiscuo pedonale e ciclabile

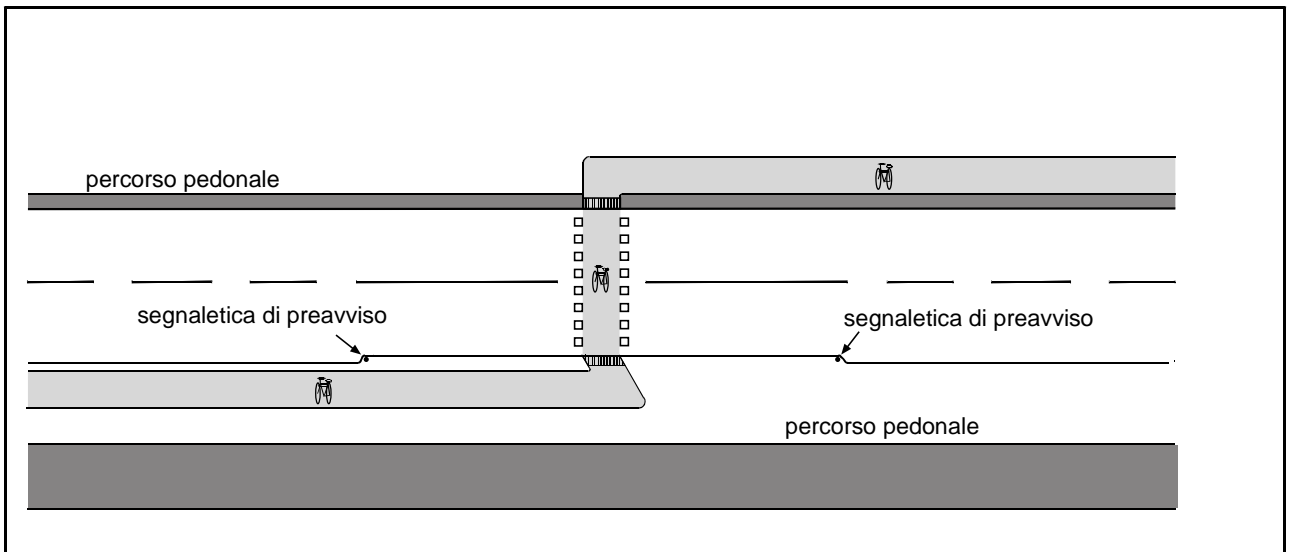


Fig. 20 – Attraversamento specializzato per pista ciclabile in arretramento da incrocio

5.9.5 - Percorsi ciclabili in intersezioni a raso di tipo rotatorio

Quale criterio generale specifico per le rotatorie non si dovrebbero adottare approntamenti specifici per le due ruote a meno che sulle arterie confluenti non siano presenti una o più piste ciclabili; in caso contrario la ridotta velocità di esercizio della rotatoria costituisce un fattore di sufficiente sicurezza anche per il traffico a due ruote.

Tale principio generale può venire derogato in caso di elevata presenza ciclabile oppure di velocità di esercizio della rotatoria particolarmente alta. I valori di riferimento per un traffico ciclabile critico si collocano al di sopra di 800 ciclisti/ora nei periodi di punta, mentre per la velocità si ritiene pericolosa per le due ruote una percorrenza veicolare al di sopra di 50 km/h.

Al di sopra di 800 ciclisti/h si impone la creazione di un reticolo di piste ciclabili praticamente indipendente dalle rotatorie veicolari, in modo da evitare qualsiasi commistione di traffico, prevedendo attraversamenti arretrati di qualche decina di metri rispetto al nodo. Oppure si potrebbe disegnare un anello ciclabile dedicato, esterno alla corona giratoria veicolare, che intercetti le arterie confluenti proteggendo gli attraversamenti collocati nelle isole divisionali triangolari (vedi Fig. 21).

Un provvedimento simile di anello dedicato, anche complanare ma fisicamente separato rispetto a quello veicolare, va adottato per velocità di esercizio superiori a 50 km/h; in tal caso risulta opportuno attrezzare in perpendicolare gli attraversamenti ciclabili rispetto ai veicolari, mantenendo comunque la precedenza ai veicoli motorizzati e sacrificando la continuità di deflusso delle due ruote.

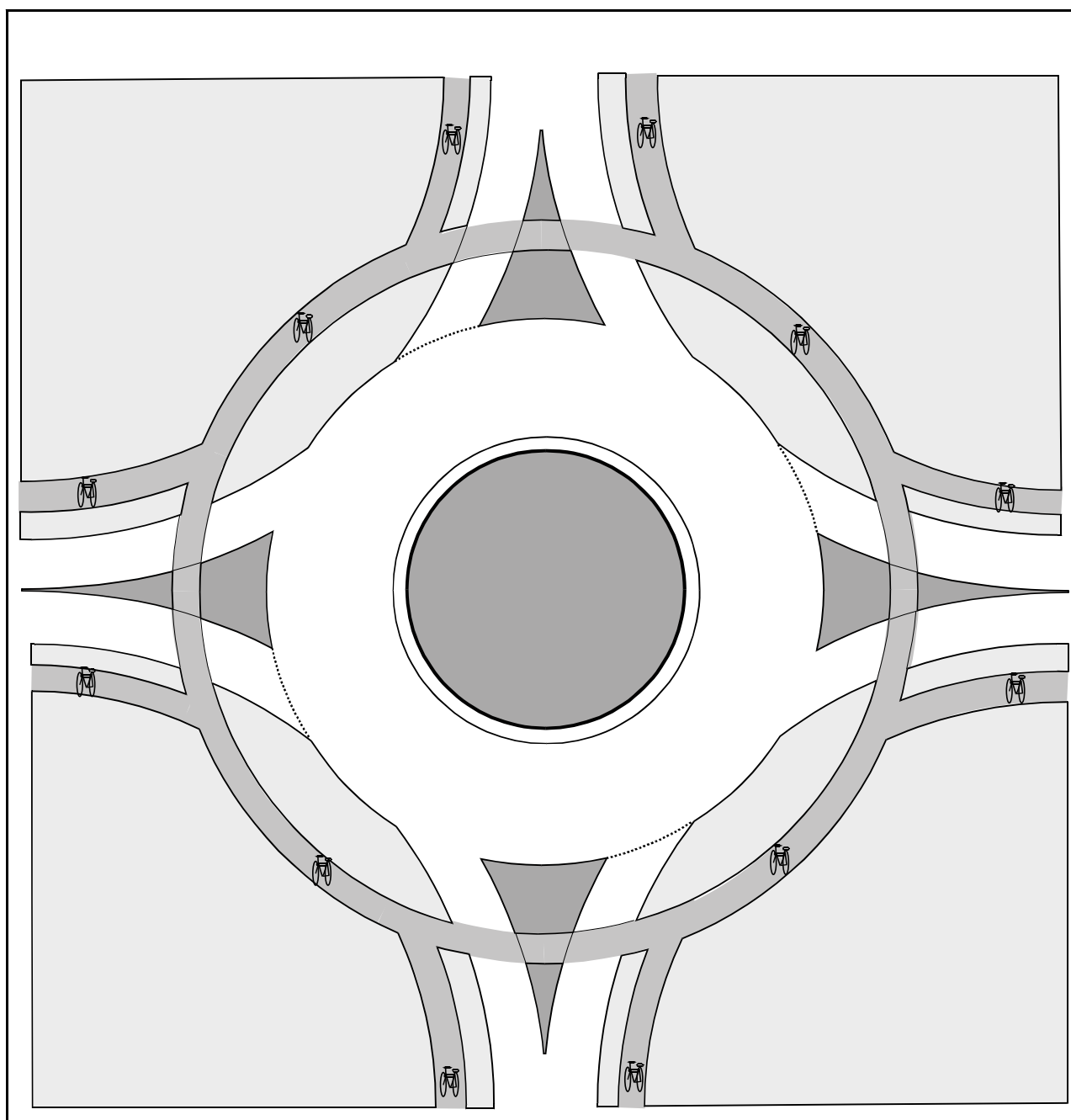


Fig. 21 – Rotatoria ciclabile esterna

5.10 – DISTANZE DI VISUALE LIBERA NEGLI INCROCI A RASO

La trattazione delle condizioni di visibilità negli incroci a raso impone la verifica differenziata tra le manovre di svolta, aventi la precedenza e le traiettorie veicolari non prioritarie e quindi destinate a condizioni di flusso interrotto a favore del passaggio di altri veicoli.

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

Per le manovre non prioritarie le verifiche vengono sviluppate secondo il criterio dei triangoli di visibilità relativi ai punti di conflitto di intersezione generati dalle correnti veicolari: all'interno del triangolo non devono esistere ostacoli alla continua e diretta visione reciproca dei veicoli afferenti al punto di intersezione considerato.

La verifica globale circa le condizioni di visibilità dell'intersezione richiede pertanto di considerare tutti i triangoli relativi ai punti di collisione; i vincoli esterni all'area di svincolo saranno quindi determinati dall'involuppo dei segmenti relativi ai singoli triangoli.

Al fine di garantire il regolare funzionamento delle intersezioni a raso risulta essenziale procedere sempre ad una gerarchizzazione viaria delle manovre in modo da articolare le varie correnti veicolari in principali e secondarie; ne consegue la necessità di introdurre segnali di precedenza o di stop per ogni punto di collisione, evitando di porre in essere situazioni di semplice precedenza a destra senza regolazione segnaletica.

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

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

5.10.1 – Il tempo di manovra

La sicurezza dell'intersezione impone che l'utente impegnato nelle traiettorie prive di diritto di precedenza possa disporre del tempo necessario per verificare la presenza di veicoli in arrivo sulla strada principale, per decidere sulla manovra da compiere, per eseguire e completare l'attraversamento e lo sgombero dell'area di incrocio.

Si definisce pertanto tempo di manovra il periodo intercorrente tra l'approccio del veicolo nell'area di visibilità dell'incrocio e l'ultimazione della manovra di sgombero relativa al punto di collisione considerato. Il tempo di manovra si compone pertanto di fasi psico-tecniche e di fasi cinematiche ed il suo valore dipende dai seguenti elementi:

- larghezza trasversale dell'arteria principale;
- tipo di regolazione segnaletica, il valore minimo è relativo alla indicazione di stop va aumentata in caso di solo obbligo di precedenza.

I valori da adottare per il tempo di manovra sono di 6 secondi per le manovre regolate da stop e di 12 secondi nelle manovre regolate da precedenza.

Una ulteriore implementazione dei tempi di manovra deve prevedersi nei casi, per quanto possibile da evitarsi, in cui le traiettorie siano soggette a pendenze longitudinali superiori al 2%. In questi casi si incrementa il tempo di 1 secondo per ogni punto percentuale di pendenza eccedente il 2%.

5.10.2 – La velocità di riferimento

Il lato maggiore del triangolo di visibilità corrisponde al prodotto della velocità di riferimento per il tempo di manovra. Si definisce velocità di riferimento il valore cinematico cui corrispondono le condizioni ordinarie di circolazione da considerarsi più impegnative ai fini della sicurezza dell'intersezione.

La determinazione della velocità di riferimento può articolarsi secondo tre criteri alternativi:

- in presenza di limiti impositivi di velocità, si adotta il valore prescritto dalla segnaletica di codice;

- in assenza di limiti impositivi, si adotta per le arterie di nuova realizzazione il valore della velocità di progetto caratteristica del tratto considerato.

Nel caso di strade esistenti in cui non sia definibile la velocità di progetto si adotta il valore dell'85° percentile possibilmente in condizioni di flusso ininterrotto ed in corrispondenza dei migliori livelli di servizio in modo da cogliere i livelli cinematici superiori.

Per garantire comunque il rispetto di condizioni standard di soglia si fissa un valore minimo non derogabile di velocità di riferimento di 50 km/h.

5.10.3 – Collocazione planimetrica dei punti di osservazione

I punti caratteristici per le verifiche di visibilità vanno assunti sulla mezzzeria delle traiettorie veicolari cui si riferiscono; la distanza minima dal bordo laterale della carreggiata deve assumersi pari almeno ad 1,50 m in caso di sezioni trasversali allargate per il contenimento di più canali di scorrimento.

In caso di regolazione mediante segnale di precedenza, il vertice del triangolo di visibilità relativo alla direzione secondaria si pone ad una distanza di 20 m dal ciglio della strada principale.

In caso di regolazione mediante segnale di stop il vertice del triangolo di visibilità relativo alla direzione secondaria si pone ad una distanza di 3 m dalla linea di arresto.

5.10.4 - Collocazione altimetrica dei riferimenti visivi

Il punto di osservazione convenzionale per le verifiche di visibilità viene posto altimetricamente ad una quota di 1,00 m al di sopra del piano viabile, in corrispondenza delle posizioni planimetriche indicate nel paragrafo precedente.

Nessun ostacolo alla visione diretta e continua dei veicoli confluenti può perforare il piano virtuale individuato dalla superficie congiungente i tre vertici del triangolo di visibilità come sopra definito. Non si considerano ostacoli visivi elementi discontinui (pali di illuminazione, segnaletica, ecc..) aventi larghezze in orizzontale inferiori a 0,80 m.

5.10.5 – La distanza di visibilità principale

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

$$D [m] = v [m/s] \times t [s]$$

dove:

v = velocità di riferimento

t = tempo di manovra

5.10.6 – Indicazioni generali di visibilità delle intersezioni

Su strade di nuova realizzazione sono da escludere le intersezioni site in corrispondenza di una curva; come pure vanno attentamente verificate le condizioni di eventuali raccordi almetrici che potrebbero determinare sia effetti negativi sulla visibilità sia disagi per le percezioni delle velocità dei veicoli in approccio (ad esempio quando la secondaria si raccorda in una concavità della principale).

In prossimità di una intersezione ogni oggetto situato al contorno stradale è suscettibile di mascherare la visibilità. Si considerano ostacoli per la visibilità oggetti isolati aventi una delle dimensioni planimetriche superiori ad 0.8 m.

Quale zona soggetta alla disciplina di vincolo si considera per la strada principale quella corrispondente ai lati maggiori dei triangoli di visibilità, mentre per la strada secondaria si considerano gli ultimi 50 m prima dell'incrocio.

Nel caso di incroci esistenti dove non sia possibile assicurare le distanze di visibilità si dovrà adottare una delle seguenti misure alternative:

- modifica di tracciato delle strade secondarie;
- traslazione delle manovre di scambio su incrocio vicino attrezzato;
- trasformazione in rotatorie;
- eccezionalmente modifica di tracciato della principale.

In ogni caso, nei casi di insufficiente visibilità in uno o più rami dell'incrocio, è necessario procedere ad interventi atti a potenziare la leggibilità del nodo nel senso di

facilitare all'utente la rapida comprensione del funzionamento delle intersezioni e del comportamento da tenere.

5.10.7 – La visibilità negli incroci rotatori

Gli utenti che si avvicinano ad una rotatoria devono percepire i veicoli con precedenza all'interno della corona in tempo per modificare la propria velocità per cedere il passaggio o eventualmente fermarsi.

Per i casi specifici delle rotatorie si adottano le seguenti prescrizioni:

- il punto di osservazione si pone ad una distanza di 20 m dalla linea di arresto coincidente con il bordo della circonferenza esterna;
- la posizione planimetrica si pone sulla mezziera della corsia di entrata in rotatoria e l'altezza di osservazione si colloca ad 1,00 m sul piano viabile;
- nel caso di 4 o più bracci, la zona di cui è necessaria la visibilità completa corrisponde al quarto di corona giratoria posta alla sinistra del canale di accesso considerato;
- nel caso di 3 bracci, la zona si deve estendere fino all'innesto viario più prossimo in sinistra.

5.11 - DRENAGGI DELLE ACQUE

Si ritiene particolarmente opportuno affrontare tale problematica in quanto la definizione delle intersezioni a raso, e per le parti di attacco anche di quelle a livelli sfalsati, comporta l'adozione di una dimensione trasversale rilevante che costituisce una modifica sostanziale di impostazione rispetto alla sezione stradale corrente dove il riferimento all'asse longitudinale, con il meccanismo pressoché automatico della rotazione della falda trasversale, non porta a considerare la specificità areale del deflusso meteorico.

In linea generale, nella impostazione progettuale del problema, vanno eseguiti i seguenti criteri:

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

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

5.12 - PIANO DI SEGNALAMENTO

Il recente regolamento del Codice della Strada risulta particolarmente esaustivo sull'argomento, con indicazioni di dettaglio e di principio assolutamente condivisibili.

L'elemento di modernità del disposto di regolamento consiste nella adozione del criterio di visibilità remota dei segnali, superando le precedenti impostazioni che si limitavano alla positura del segnale in punti prefissati senza ulteriori verifiche.

Non sembrerebbe quindi opportuno innovare a livello di normativa tecnica una questione già adeguatamente sviluppata in termini di vigenza legislativa.

Si potrebbero tutt'al più indicare dei criteri generali lasciando però le parti applicative ed esemplificative al cogente disposto di Codice.

Tale impostazione è peraltro presente anche nelle principali normative internazionali dove il richiamo alle norme legislative in essere per la segnaletica stradale risulta preponderante rispetto ad approfondimenti di natura tecnica. Ciò anche in dipendenza della armonizzazione tendenziale dei provvedimenti segnaletici a livello di Unione Europea.

5.13 – CRITERI PER L'INSERIMENTO DELLE INTERSEZIONI

La corretta collocazione delle intersezioni rappresenta un elemento fondamentale di progettazione che va verificato in base a tre condizioni:

- eventuali interferenze funzionali con intersezioni adiacenti;
- compatibilità con le condizioni planimetriche degli assi viari;
- congruenza con le condizioni altimetriche dei tracciati afferenti.

Per quanto concerne l'interferenza con i nodi viari adiacenti, la distanza minima da prescrivere dipende dalla tipologia della intersezione, dovendosi considerare interferente anche una parziale sovrapposizione della segnaletica di preavviso. In linea generale si deve adottare in campo extraurbano un distanziamento minimo ottimale di 500 m tra intersezioni contigue; in campo urbano non è invece definibile una distanza minima.

Per quanto concerne le condizioni planimetriche si individuano i seguenti vincoli:

- le intersezioni non vanno realizzate in tratti di strada curvilinei con raggi inferiori a 300 m;
- gli assi delle strade intersecantesi devono formare angoli prossimi, nella zona di intersezione, a valori di 100° ;
- per le intersezioni a raso l'angolazione reciproca delle strade non deve risultare inferiore comunque ad un angolo di valore pari a 70° ;
- sulle rampe e lungo gli apprestamenti per le manovre di entrata ed uscita non è consentita la realizzazione di accessi, passi carrabili o aree di sosta e fermata veicolare.

Per quanto concerne le condizioni altimetriche si individuano i seguenti vincoli:

- le intersezioni non devono essere realizzate in prossimità di dossi o cunette;
- nel caso di raccordi concavi si deve garantire una distanza di visibilità superiore a quella necessaria per l'arresto;

- nel caso di raccordi convessi si deve garantire una distanza di visibilità superiore a quella per l'arresto;
- per le intersezioni a raso i rami di interconnessione devono avere pendenze longitudinali non superiori del 2% rispetto alle livellette delle strade confluenti.

Per le intersezioni a raso l'elemento fondamentale di verifica funzionale è rappresentato dalla visibilità, la cui trattazione viene esplicitamente proposta al punto successivo.

6 - SISTEMI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA

6.1 - INTRODUZIONE

La regolazione semaforica delle intersezioni costituisce un aspetto operativo di notevole importanza in ambito extra-urbano mentre in ambito urbano assume un ruolo fondamentale nel quadro globale dell'assetto del sistema della mobilità.

Una corretta progettazione del sistema di regolazione semaforica consente di realizzare una circolazione di livello di servizio accettabile, compatibilmente con la capacità delle infrastrutture esistenti, anche in presenza di elevati livelli di domanda.

Infine è opportuno sottolineare che il sistema semaforico costituisce solo uno dei sotto-sistemi che concorrono alla gestione della mobilità nelle aree urbane: ad esso si affiancano altri sotto-sistemi, quali quelli di gestione centralizzata dei mezzi di trasporto pubblico, di guida al parcheggio, di informazione all'utenza, sia prima dell'effettuazione del tragitto sia nel corso dello spostamento (messaggi variabili, route guidance, ecc.), di controllo di accesso alle zone di maggiore attrattività (road pricing), di rilevamento dell'inquinamento, ecc.

Si rende inoltre evidente che, per la parte inerente agli impianti di semaforizzazione, il taglio di questo lavoro è rivolto alle problematiche specifiche dello studio, ma, per completezza espositiva, sono stati trattati anche alcuni argomenti che si intersecano con quelli del Rapporto relativo alle "Linee guida per la progettazione dei sistemi di rilevazione del traffico, di informazione all'utenza e di regolazione del traffico" citato nella Bibliografia al cap. 1.

6.2 - CRITERI PER L'INTRODUZIONE DELLA SEMAFORIZZAZIONE

La semaforizzazione non implica necessariamente un miglioramento nell'efficienza di un'intersezione pertanto la valutazione in merito all'introduzione o meno del sistema di controllo deve essere condotta con specifico riferimento ad ogni situazione particolare.

I criteri guida in tale decisione possono essere legati fundamentalmente a:

- problemi di sicurezza;
- problemi di capacità.

Una valutazione in merito alla pericolosità dell'intersezione in assenza di regolazione può essere condotta sulla base di opportune analisi delle rilevazioni di incidenti avvenuti nell'area dell'intersezione in esame.

Per quanto concerne il problema della capacità dell'intersezione, è necessario valutare congiuntamente l'entità dei flussi delle differenti correnti in conflitto e la possibilità di smaltimento in presenza o meno di un sistema di regolazione. Una delle grandezze, che si prestano per la valutazione della maggiore o minore efficienza del sistema, è rappresentata dal ritardo medio per veicolo, calcolato considerando il numero totale di veicoli in ingresso nel nodo o nella rete. Numerosi studi sono stati condotti per la quantificazione del ritardo medio per veicolo in presenza e in assenza della regolazione.

Per valori sufficientemente ridotti di flusso in ingresso nell'intersezione, la disciplina a priorità comporta un ritardo inferiore rispetto al caso caratterizzato dalla presenza di regolazione, mentre all'aumentare del flusso, superata una soglia di sostanziale equivalenza dei ritardi sia in presenza che in assenza di controllo, si verifica una condizione inversa: quando cioè il ritardo medio nelle intersezioni a priorità raggiunge valori molto elevati, la presenza della regolazione consente di ottenere valori ancora relativamente accettabili di tempo perso ovvero di sopportare un flusso maggiore a parità di ritardo medio per veicolo.

In accordo con quanto appena esposto, l'introduzione della semaforizzazione in una determinata intersezione deve essere il risultato di uno studio e di una valutazione che richiedono un approccio metodologico rigoroso.

A conclusione di questo paragrafo si osserva che la realizzazione di un sistema semaforico può rivelarsi utile per il raggiungimento di altri obiettivi importanti, non strettamente connessi con la configurazione specifica del nodo da semaforizzare. In particolare, la Direttiva per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico, emanata dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 1995, indica tra gli altri obiettivi fondamentali del PUT anche:

- il miglioramento delle condizioni della circolazione;

- la riduzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico.

In prima approssimazione si può ragionevolmente affermare che la realizzazione di interventi volti al miglioramento delle condizioni della circolazione (cfr. il primo degli obiettivi citati dalla direttiva) determina parallelamente anche una riduzione dell'inquinamento in ambito urbano, a seguito della riduzione del numero di veicoli costretti a fermarsi ovvero a procedere con marcia lenta ed episodica. Più in generale risulta necessario invece valutare l'incrocio da regolare anche in quanto inserito come nodo in un sistema più ampio, costituito dalla rete della viabilità cittadina.

6.3 - CLASSIFICAZIONE DELLE INTERSEZIONI

Le intersezioni possono essere classificate secondo due punti di vista, il primo legato alle caratteristiche dei flussi che le interessano, il secondo alle caratteristiche fisiche e geometriche.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei flussi le intersezioni possono essere classificate in:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{isolate} \\ \text{interdipendenti} \end{array} \right.$$

Le intersezioni isolate sono caratterizzate da flussi in arrivo distribuiti in modo casuale (per lo più si assume che la distribuzione probabilistica degli arrivi sia di tipo Poissoniano). Quelle interdipendenti presentano invece arrivi la cui distribuzione è correlata alle caratteristiche dei semafori che regolano le intersezioni a monte (formazione di plotoni) . In pratica ciò si verifica per distanze fra intersezioni inferiori ai 500÷700 metri circa.

Per quanto riguarda invece la struttura delle intersezioni si può, sempre schematicamente effettuare una suddivisione in intersezioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{semplici} \\ \text{complesse} \end{array} \right.$$

Nella prima categoria si possono far rientrare tutte le intersezioni a due o più fasi che non presentano particolari problemi per quanto riguarda le possibilità di accumulo delle code. Nel caso invece in cui l'interferenza delle code sia sensibile o problematica si può parlare di un insieme di nodi che, nel loro insieme formano una intersezione complessa. Tale situazione si verifica ad esempio in piazze di dimensioni anche ragguardevoli in cui si hanno conflitti fra correnti di traffico in diversi punti dell'area di incrocio, con la necessità di semaforizzare anche l'area interna, nella quale comunque le distanze fra segnali sono contenute e quindi lo spazio di accumulo per le code è ridotto o addirittura nullo.

6.4 - MODALITA' DI CONTROLLO

Le tecniche di controllo applicabili alle intersezioni semaforizzate possono essere fatte rientrare nelle seguenti categorie.

➤ **Controllo di intersezioni isolate**

Le modalità di controllo per le intersezioni isolate possono essere catalogate nel modo seguente.

◆ Controllo manuale.

Nel *controllo manuale* la durata del ciclo ed i tempi di verde vengono determinati manualmente sulla base di osservazioni locali del comportamento del traffico.

◆ Controllo a tempi fissi

Nel *controllo a tempi fissi* viene eseguito un piano semaforico in cui la durata del ciclo ed i tempi di verde sono prefissati e costanti nel tempo.

◆ Controllo attuato

E' un controllo in catena chiusa in cui la successione delle fasi, la durata del ciclo ed i tempi di verde sono determinati in funzione dei flussi veicolari e pedonali.

In questo tipo di controllo è presente un sistema di acquisizione dati in tempo reale sulle condizioni del traffico che prevede l'uso di rilevatori opportunamente installati sugli accessi dell'intersezione.

◆ Controllo semi-attuato

Nel controllo semi-attuato la successione delle fasi è prefissata ma può essere variata per effetto di segnali prodotti da dispositivi attivati da veicoli o pedoni (pulsanti pedonali, rivelatori di traffico, contatti tranviari, ecc.). Normalmente nel controllo semi-attuato è presente una fase principale, dalla quale si passa alle altre fasi soltanto se richieste.

◆ Controllo a selezione di piano

E' un controllo a tempi fissi che prevede l'utilizzo di più piani semaforici aventi parametri diversi (durata del ciclo e tempi di verde). La selezione dei piani può essere effettuata manualmente, ad orario o in funzione del traffico.

◆ Controllo a formazione di piano

Nel controllo a formazione di piano le caratteristiche del piano (fasatura, durata del ciclo e tempi di verde) vengono determinate in modo completamente automatico sulla base delle caratteristiche del traffico.

➤ **Controllo di intersezioni interdipendenti**

Nel caso di intersezioni interdipendenti, il controllo deve tener conto delle mutue interazioni fra le intersezioni dovute ai fenomeni di implotonamento dei veicoli. In generale è richiesto che la durata del ciclo sia unica (ovvero multipla di un ciclo base) per tutte le intersezioni, il che richiede la presenza di un sistema atto a coordinare le attività dei singoli regolatori semaforici. Tale sistema deve consentire di mantenere il sincronismo dei cicli nelle intersezioni e di definire la posizione di inizio di ogni ciclo (sfasamento) rispetto ad un'origine comune dei tempi.

Per quanto riguarda la tipologia del controllo si possono distinguere i seguenti casi.

◆ Controllo coordinato a selezione di piano

E' un controllo a tempi fissi che prevede la selezione fra più piani di coordinamento semaforico. Ciascun piano di coordinamento è caratterizzato dall'insieme dei piani semaforici con ciclo comune (o multiplo) e sfasamenti, relativi a tutte le intersezioni considerate.

La selezione dei piani di coordinamento può essere effettuata manualmente, ad orario o in funzione del traffico.

◆ Controllo coordinato a formazione di piano

Nel controllo coordinato a formazione di piano le caratteristiche dei piani di coordinamento (durata del ciclo comune, tempi di verde e sfasamenti) vengono determinate in modo completamente automatico sulla base delle caratteristiche del traffico.

6.5 - MODALITA' DI GESTIONE DEI PIANI SEMAFORICI

Un'ulteriore classificazione riguarda il modo con cui i dati dei piani semaforici vengono gestiti al fine di produrre la regolazione voluta. Si può operare una distinzione schematica fra:

- { controllo sequenziale
- { controllo a moduli di fase
- { controllo a gruppi di segnale

Nel caso di controllo sequenziale viene predisposta una struttura costituita da una successione di stati che vengono eseguiti in sequenza. Ciascuno stato può essere di durata fissa, f , (tipicamente tempi di sicurezza) o di durata variabile, v . Agendo sugli stati di lunghezza variabile si ottengono cicli e tempi di verde di durata diversa (Figura 1). Nel caso di funzionamento attuato alcuni stati possono essere saltati (in assenza di veicoli) ovvero prolungati dalla presenza dei veicoli.

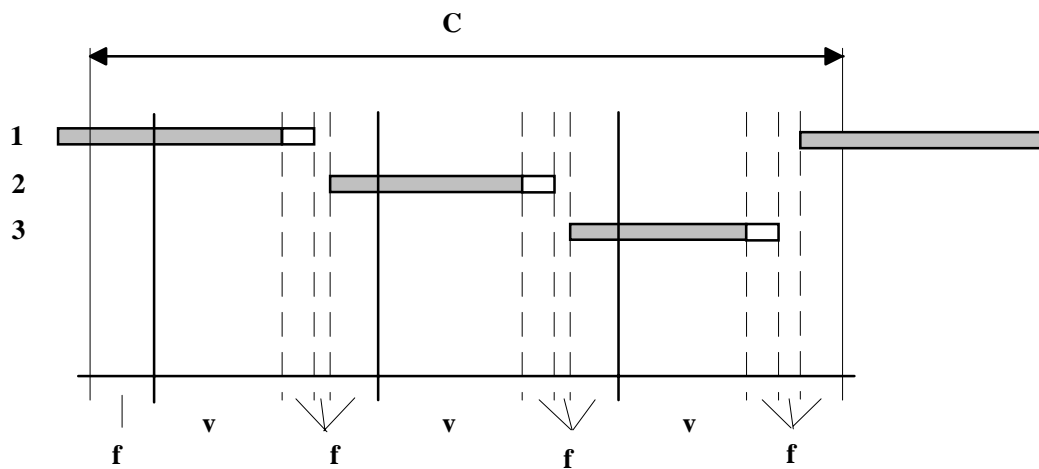


Figura 1

Il controllo a moduli di fase è attualmente meno usato e deriva da vincoli di carattere tecnologico, che non si pongono oggi con l'uso di microcalcolatori o PC. In sostanza ciascun modulo controlla una o più correnti di traffico in parallelo e si passa da un modulo al successivo o in modo sequenziale o sulla base delle attuazioni prodotte dai veicoli.

Il controllo a gruppi di segnale infine prevede di assegnare a ciascun segnale, indipendentemente dagli altri, la sua posizione all'interno del ciclo (ad esempio istante di inizio e di fine del verde). Si tratta ovviamente del sistema di controllo più flessibile, ma richiede una progettazione accurata al fine di rispettare i conflitti fra le correnti veicolari.

Nei regolatori provvisti di unità di controllo programmabile la distinzione tra le modalità di controllo descritte è sostanzialmente superata dalla possibilità di implementarle a scelta dell'utente.

6.6 - DEFINIZIONI

6.6.1 - Attestamenti e Accessi

Con riferimento ai veicoli in arrivo su un tratto di strada che confluisce in un'area di intersezione, si definisce *attestamento* l'insieme di corsie che permettono a detti veicoli di uscire dal tratto di strada effettuando tutte le manovre consentite. In un'intersezione semaforizzata gli attestamenti possono essere suddivisi in esterni ed interni: quelli esterni, detti anche *accessi*, sono costituiti dai tratti di strada che provengono da altre intersezioni mentre quelli interni sono alimentati da veicoli provenienti da altri attestamenti (esterni o interni) appartenenti all'intersezione in esame.

6.6.2 - Manovre

Le *manovre* corrispondono alle possibili direzioni che l'utente può seguire nell'attraversamento dell'intersezione nel rispetto della disciplina di circolazione vigente.

6.6.3 - Corrente

Un attestamento può essere suddiviso in uno o più *gruppi di corsie*, ciascuno dei quali consente di effettuare un sottoinsieme delle manovre ammissibili. Per ogni gruppo di corsie, l'insieme di tutti i veicoli che effettuano le relative manovre è detto *corrente*.

6.6.4 - Segnali semaforici

Ciascuna corrente è controllata da un unico *segnale semaforico*, il quale può essere realizzato con una o più *lanterne semaforiche* fra loro in parallelo.

Le correnti ed i segnali costituiscono le entità di base per la progettazione del controllo del traffico e per la valutazione degli effetti di tale controllo.

Con riferimento alla figura XX l'attestamento del tratto di strada entrante dal basso (S) è costituito da tre corsie. Le manovre in uscita dall'attestamento sono quelle di svolta a

destra, a sinistra e di attraversamento diretto. Supponendo che la svolta a sinistra sia segnalata separatamente da quelle dritto/destra si possono definire due gruppi di corsie, il primo costituito dalla corsia di sinistra, percorsa dalla corrente i ed il secondo costituito dalle altre due corsie, percorse dalla corrente j .

La corrente i è costituita dai veicoli che effettuano la manovra di svolta a sinistra mentre la corrente j da quelli che procedono dritti o in svolta a destra.

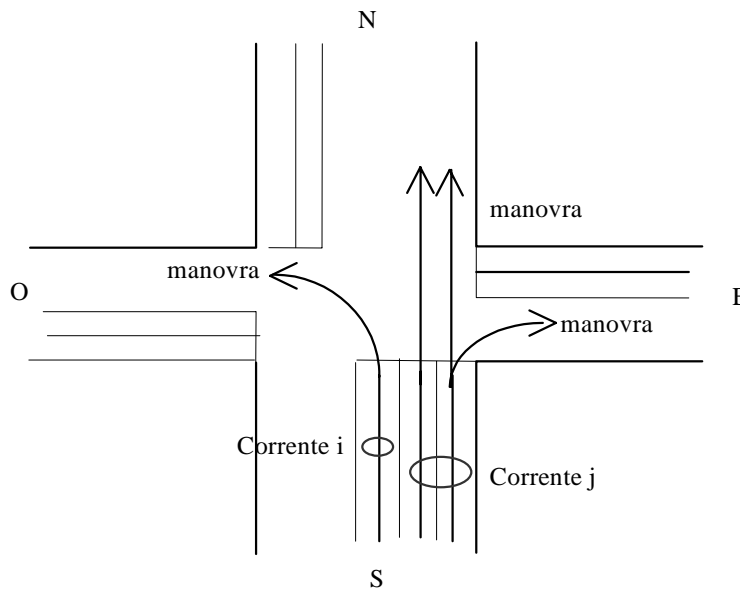


Fig. Xx

Attestamenti, correnti e manovre

6.6.5 - Ciclo semaforico

Si definisce *ciclo semaforico* una qualunque sequenza completa di indicazioni semaforiche, alla fine della quale si ripresenta la medesima configurazione di luci esistente all'inizio della sequenza stessa. Una sequenza si dice completa se garantisce la via libera almeno una volta a tutte le correnti che impegnano l'intersezione.

La *durata del ciclo* (C) è l'intervallo di tempo necessario per completare un ciclo semaforico.

6.6.6 - Sequenze di accensione delle luci

I segnali semaforici sono segnali luminosi conformi a quanto prescritto dall'art. 41 del Nuovo Codice della Strada e dagli artt. 158,159,160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167 del relativo Regolamento.

La regolazione semaforica si basa, nel caso di segnali veicolari normali sulla successione ordinata di accensione delle luci: *verde* (V) intervallo di tempo durante il quale i veicoli hanno via libera, *giallo* (G) intervallo di tempo durante il quale i conducenti devono decidere se il veicolo può decelerare ed arrestarsi in sicurezza o se deve procedere, attraversando l'intersezione, *rosso* (R) intervallo di tempo durante il quale i veicoli devono attendere nell'attestamento prima della linea di arresto.

6.6.7 - Flusso

Si definisce *flusso* (f) di una corrente il numero medio di veicoli che transitano attraverso una sezione nell'unità di tempo.

6.6.8 - Flusso di saturazione

Il *flusso di saturazione* (s) di una corrente è il numero massimo di veicoli che possono attraversare a regime la linea d'arresto del gruppo di corsie nell'unità di tempo in presenza di coda continua. Il flusso di saturazione dipende dalle caratteristiche geometriche dell'intersezione, dalla composizione del flusso e dalle modalità di regolazione.

6.6.9 - Giallo

La durata del giallo è determinata da considerazioni di sicurezza, tenendo conto della tipologia dei veicoli che impegnano l'attestamento e delle loro velocità. Quindi i parametri di regolazione di una corrente sono definiti dalle durate del verde e del giallo del segnale che la controlla e dalla durata del ciclo.

6.6.10 - Verde efficace.

Nel periodo di verde e di giallo ed in presenza di coda continua si osserva che il distanziamento temporale tra veicoli successivi non è costante: in particolare, gli intervalli maggiori si hanno per i primi veicoli mentre per i successivi gli intervalli tendono a raggiungere un valore minimo (di solito dell'ordine di 2 secondi per corsia). Il flusso in uscita tende quindi a zero durante il periodo di giallo.

Ai fini della progettazione è conveniente considerare, al posto della durata reale del verde (V), la durata del *verde efficace* (v) per la quale si assume che i veicoli possano defluire ai valori del flusso di saturazione (s) e quindi con un intervallo costante e pari a $1/s$.

L'introduzione del concetto di verde efficace consente di determinare in modo semplice la portata massima sulla base del flusso di saturazione e della durata del verde efficace:

$$q = s \cdot v \quad \text{veq}$$

6.6.11 - Tempi persi.

Il ciclo semaforico non può essere utilizzato completamente per far defluire i veicoli ai valori del flusso di saturazione di ciascuna corrente. E' quindi necessario individuare il valore dei *tempi persi*, che giocano un ruolo determinante nella progettazione del ciclo semaforico. I tempi persi sono dovuti sostanzialmente a tre contributi:

- il transitorio di avviamento della coda all'inizio del verde;
- il transitorio di uscita alla fine del verde e durante il giallo
- il tempo di tutto rosso fra la fine del giallo e l'inizio del verde della fase successiva

Il tempo perso (l_1) all'avviamento è dovuto all'inerzia di avviamento dei veicoli all'inizio del verde, mentre quello di uscita (l_2) è dovuto all'arresto graduale che avviene

sfruttando anche la durata del giallo. Il tempo di tutto rosso si ricava semplicemente sulla base della durata dell'intertempo di verde (t_t), che deve essere non inferiore al tempo di sicurezza, e di quella del tempo di giallo (G) (figura XX).

I tempi persi all'inizio ed alla fine del verde consentono di determinare la durata del verde efficace:

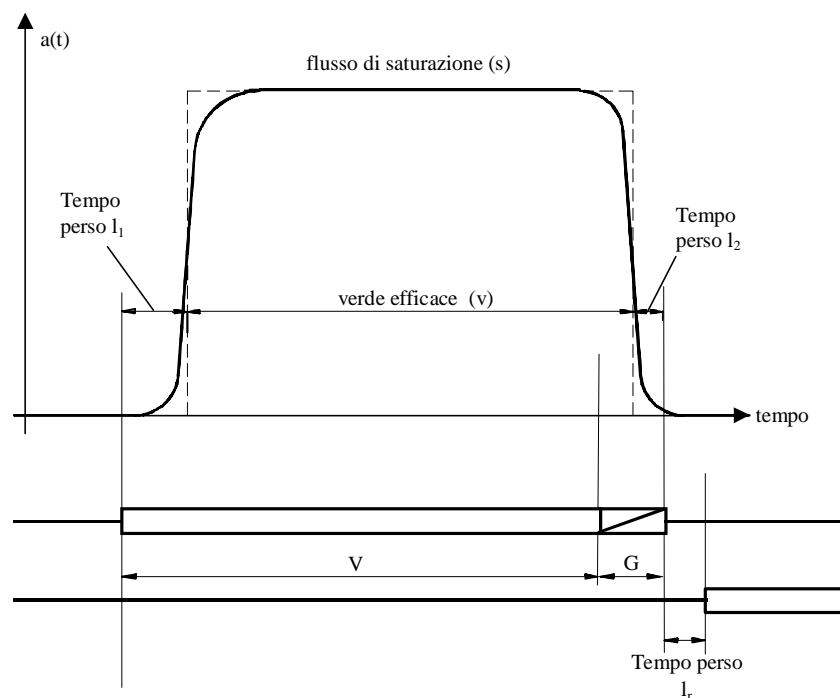
$$v = V + G - (l_1 + l_2) = V + G - l$$

Il valore di l dipende principalmente dalle caratteristiche dei veicoli e degli utenti ed è solitamente compreso tra 2 e 3 secondi:

Il tempo perso a causa del periodo di tutto rosso si può esprimere nella forma:

$$l_r = t_t - G$$

Essendo t_t il tempo di transizione dalla fase in corso verso la fase successiva.



6.6.12 - Fase

Per *fase* si intende la parte del piano semaforico durante la quale una determinata configurazione dei segnali rimane inalterata. I singoli segnali appartenenti a tale configurazione possono non iniziare o finire simultaneamente per effetto di intertempi di sicurezza di diversa durata.

6.6.13 - Struttura del piano semaforico

Si definisce *struttura* del piano semaforico una successione ordinata di fasi e delle relative transizioni di fase, tale che ogni corrente abbia verde in almeno in una fase.

6.6.14 - Piano semaforico

Un *piano semaforico* per una singola intersezione è definito dalla durata del ciclo semaforico e dalle temporizzazioni dei segnali. Esso può essere descritto fondamentalmente in due modi.

1. *Sulla base della struttura*: in tal caso è necessario specificare, per ogni segnale, lo stato (ad esempio verde o rosso) che esso assume in ciascuna delle fasi che formano la struttura, la durata di tali fasi, e la durata di tutti i passi che caratterizzano le transizioni di fase. La durata del ciclo deve essere pari alla somma delle varie durate.

2. *Sulla base degli istanti di commutazione*: in tal caso, oltre alla durata del ciclo devono essere specificati, per ogni segnale, l'istante di inizio, di fine del verde e di fine del giallo con riferimento all'intervallo temporale $[0 \div C-1]$ o $[1 \div C]$.

6.7 - ELEMENTI PER LA PROGETTAZIONE DEI PIANI SEMAFORICI

Il progetto di un piano semaforico comprende una successione di fasi fra loro interdipendenti. In primo luogo è necessario acquisire i dati relativi alla geometria dell'intersezione, ai volumi di traffico che la interessano ed infine alle statistiche

sull'incidentalità. I dati necessari per il progetto devono essere completi ed aggiornati. Nel seguito si suppone che la geometria dell'intersezione sia definita.

Indipendentemente dalla tipologia del controllo, il progetto inizia in generale con lo studio della struttura del piano semaforico. Tale studio deve essere condotto con l'obiettivo della sicurezza per le correnti (veicolari, pedonali, ecc.) che attraversano l'intersezione, tenendo conto delle norme del codice della strada e di altre condizioni al contorno.

Per la definizione della struttura del piano semaforico è necessario in primo luogo individuare i tempi di giallo da assegnare a ciascun segnale.

Di importanza fondamentale risulta quindi il calcolo dei tempi di sicurezza, ovvero degli intertempi che devono essere assicurati tra la fine del verde di un segnale e l'inizio del verde del segnale di una corrente antagonista.

Il risultato del calcolo degli intertempi è rappresentato dalla *Matrice dei tempi di sicurezza*.

La struttura del piano si ricava infine individuando il numero e la composizione delle fasi, tenendo conto delle esigenze di capacità dell'intersezione e di tutte le necessità delle singole correnti veicolari, con particolare attenzione per pedoni, ciclisti e mezzi pubblici.

Il calcolo dei tempi del ciclo e del verde dei vari segnali richiede infine la conoscenza dei flussi, la valutazione del flusso di saturazione di ciascun attestamento e la verifica della capacità dell'intersezione.

Il risultato del progetto è rappresentato dal *diagramma di temporizzazione*.

Nel caso di controllo di tipo attuato dal traffico è necessario allegare al progetto anche la descrizione del funzionamento della logica di controllo.

6.7.1 - Acquisizione degli elementi geometrici

Per l'esecuzione del progetto di semaforizzazione è necessario acquisire gli elementi geometrici che consentono di definire il comportamento dell'intersezione nella

rete, di definire le caratteristiche geometriche degli attestamenti dell'intersezione e tutti gli altri elementi utili alla collocazione degli arredi semaforici necessari.

In generale è necessario far riferimento a due planimetrie:

- planimetria d'insieme: deve consentire di inquadrare la posizione dell'intersezione nella rete stradale e riportare la posizione degli impianti semaforici adiacenti;
- planimetria dell'intersezione (scala 1:200 – 1:500): deve contenere tutte le informazioni dettagliate necessarie per il progetto, quali: delimitazioni delle carreggiate, percorsi pedonali e ciclabili, edifici, passi carrai, alberi, pali, idranti, pozzetti, armadi, pendenze, segnaletica orizzontale e verticale ed altri arredi.

6.7.2 - Indagini sull'incidentalità

La serie storica degli incidenti verificatisi in corrispondenza dell'intersezione deve costituire il punto di partenza per analizzare la tipologia degli interventi da adottare, che possono riguardare sia la geometria dell'intersezione, sia la verifica della convenienza di installare un impianto semaforico ovvero di modificare le caratteristiche di un impianto semaforico esistente.

6.7.3 - Acquisizione dei volumi di traffico

I dati di traffico necessari per la progettazione devono essere acquisiti attraverso conteggi effettuati per ciascuna corrente di traffico e suddivisi per tipologia dei mezzi.

Nel caso di più corsie disponibili per una corrente di traffico è raccomandabile individuare il carico di ciascuna corsia, per poter individuare il coefficiente di utilizzo delle singole corsie.

I conteggi dovrebbero essere effettuati in modo da ottenere l'andamento del traffico nei diversi periodi della giornata. Si raccomanda di effettuare i conteggi su un arco minimo di 16 ore per giornata e di campionare i dati ad intervalli non superiori ai 15 minuti. Nel

caso di intersezioni già semaforizzate si raccomanda di utilizzare il ciclo semaforico come intervallo di campionamento. Qualora si preveda l'uso di un controllo attuato dal traffico, l'intervallo di campionamento suggerito è il minuto.

E' necessario acquisire anche i dati di traffico relativi a giorni della settimana che presentano comportamenti particolari.

Per la determinazione dei veicoli equivalenti i valori di riferimento da considerare sono:

- motocicli 0,5 veq
- veicoli privati 1,0 veq
- veicoli pesanti 2,0 veq

Qualora si utilizzino valori diversi, gli stessi devono essere chiaramente evidenziati nel progetto.

6.7.4 - Determinazione dei tempi di giallo

Per le correnti veicolari il tempo di transizione di giallo tra il verde ed il rosso viene determinato sulla base della dinamica dei veicoli. Il tempo di giallo dipende dalla massima velocità consentita per i veicoli in arrivo ad un determinato accesso.

I tempi di giallo t_g suggeriti sono riportati nella seguente tabella.

v (km/h)	t_g (sec)
50	3
60	4
70	5

In un'intersezione i tempi di giallo possono essere diversi se i limiti di velocità sono diversi per le correnti in ingresso

In presenza di traffico pesante conviene utilizzare lo sgombero di 4 secondi anche con velocità limite di 50 Km/h. Per particolari movimenti che vengono effettuati a velocità inferiore a quella limite (ad esempio svolte a destra), possono essere utilizzati i tempi corrispondenti alla velocità effettiva dei veicoli.

Nel caso di piste ciclabili semaforizzate il tempo di giallo dovrebbe essere di norma pari a 2 secondi.

Nel caso di attraversamenti pedonali il tempo di giallo deve essere di durata pari al tempo necessario per il pedone per effettuare l'attraversamento completo. Il tempo va calcolato sulla base della lunghezza della mezzeria dell'attraversamento, considerando di norma una velocità media per i pedoni compresa fra 1 e 1,5 m/s. La velocità superiore è da utilizzarsi nei casi di attraversamenti che non presentino particolari problemi per quanto riguarda l'entità degli attraversamenti e la velocità dei veicoli.

6.7.5 - Tempi di sicurezza

Il tempo di sicurezza è l'intervallo minimo ammissibile tra la fine del verde di una corrente e l'inizio del verde di una corrente antagonista, per evitare rischi di collisione fra i veicoli che devono sgomberare l'area di conflitto alla fine del verde prima del sopraggiungere dei veicoli della corrente antagonista, che partono all'inizio del verde.

I tempi di sicurezza devono essere calcolati sulla base della geometria dell'intersezione e sulla base di ipotesi cautelative sulle velocità con cui i veicoli escono dall'intersezione alla fine del verde e rispettivamente entrano nell'intersezione all'inizio del verde.

Il tempo di sicurezza viene dunque calcolato sulla base dell'intersezione tra le due traiettorie, di uscita e di ingresso, facilmente determinabili sulla base della planimetria dell'intersezione. Nella figura YY è riportato l'esempio di un'intersezione semplice, in cui sono evidenziate le traiettorie utilizzate per il calcolo dell'intertempo necessario fra la fine del verde per la corrente D e l'inizio del verde per la corrente A.

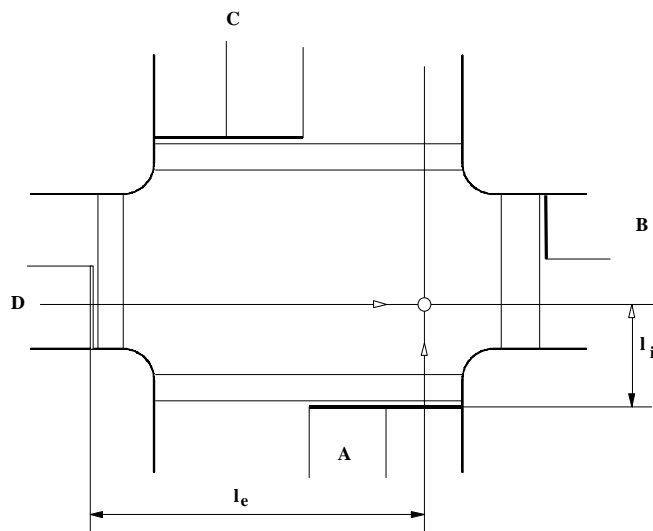


fig. YY

Il tempo di sicurezza t_s viene determinato come somma algebrica di tre tempi:

t_u tempo di uscita

t_e tempo di sgombero

t_i tempo di ingresso

secondo l'espressione:

$$t_s = t_u + t_e - t_i$$

Il tempo di uscita corrisponde al tempo dopo la fine del verde, durante il quale i veicoli possono ancora uscire, per effetto del segnale giallo. Il tempo di sgombero è quello necessario perché il veicolo in uscita superi completamente il punto di conflitto. Il tempo di ingresso è quello impiegato da un veicolo che sopraggiunge sulla direzione antagonista per percorrere lo spazio fra la linea d'arresto e il punto di conflitto. I tempi di sgombero e di ingresso vanno calcolati sulla base delle relative distanze e delle velocità medie necessarie per percorrerle.

I tempi di sicurezza devono essere calcolati per tutte le coppie di correnti in conflitto (pedoni, ciclisti, mezzi pubblici, veicoli, ecc.).

L'insieme di tali tempi viene rappresentato dalla matrice dei tempi di sicurezza $T_s=[t_{sij}]$ il cui generico elemento t_{sij} è il massimo tempo di sicurezza fra la fine del verde del segnale i e l'inizio del verde del segnale j .

6.7.5.1 - Determinazione delle distanze di sgombero e di ingresso

Per la determinazione delle lunghezze dei percorsi di sgombero e di ingresso si fa di norma riferimento all'asse delle corsie o degli attraversamenti pedonali.

La distanza di sgombero è costituita da due elementi:

1. la lunghezza fra la linea di arresto e il punto di conflitto più sfavorevole (più distante) l_e ;
2. la lunghezza fittizia l_v del veicolo in fase di sgombero. Tale lunghezza non corrisponde all'effettiva lunghezza del veicolo, in quanto si suppone che i veicoli di elevate dimensioni vengano percepiti più chiaramente da chi impegna l'intersezione. Generalmente si possono considerare le seguenti lunghezze fittizie:

Tipi di veicolo	l_v (m)
Cicli	0
Veicoli sia leggeri che pesanti	6
Tram	15

La distanza di ingresso l_i va determinata per i veicoli fra la linea di arresto e il punto di conflitto più sfavorevole (più vicino), sull'asse della traiettoria veicolare in conflitto ovvero all'inizio della zona pedonale. Per gli attraversamenti pedonali la distanza è quella fra l'inizio dell'attraversamento e l'inizio dell'area di conflitto: nella maggioranza dei casi tale distanza è da considerarsi nulla.

6.7.5.2 - Tempi di uscita e di sgombero

Il tempo di uscita t_u è quello fra la fine del verde di un segnale e l'inizio del tempo di sgombero: esso dipende fundamentalmente dalla velocità dei veicoli in arrivo e dalle loro caratteristiche di decelerazione.

Il tempo di sgombero t_e viene calcolato sulla base della distanza da percorrere e delle velocità media di percorrenza:

$$t_e = (l_e + l_v)/v_m$$

I valori suggeriti per la valutazione di t_u e per le velocità da considerare nello sgombero sono riportati nella seguente tabella

Corrente in uscita	Velocità (m/s)	t u
Veicoli che procedono diritto	10	3
Veicoli in svolta (raggio ≥ 10 m)	7	2
Veicoli in svolta (raggio < 10 m)	5	2
Tram o Bus senza fermata prima dell'intersezione	≤ 30	3
	≤ 50	5
	≤ 70	7
Tram o Bus con fermata prima dell'intersezione (*)	V_{max}	0
Biciclette	4	1
Pedoni	$1 \div 1,5$	0

(*) nel caso in cui i mezzi pubblici effettuino la fermata in

corrispondenza all'intersezione il tempo di sgombero viene calcolato sulla base dell'accelerazione e della massima velocità raggiungibile dal mezzo.

L'accelerazione può variare da $0,7$ a $1,2 \text{ m/s}^2$ per i tram e da $1,0$ a $1,5 \text{ m/s}^2$ per i bus

6.7.5.3 - Tempi di ingresso

Il tempo di ingresso t_i è quello necessario per percorrere il tratto l_i .

Per veicoli leggeri si suppone che il primo veicolo percorra tale tratto ad una velocità media di 40 km/h per cui:

$$t_i = l_i / 11,11$$

Nel caso di mezzi pubblici si considerano due casi: se la fermata non si trova prima dell'intersezione si suppone che i veicoli arrivino con una velocità di $v_o=20$ km/h ed accelerino fino alla velocità massima, in caso di fermata si suppone invece che i veicoli partano da velocità nulla ($v_o=0$). Il tempo di ingresso si determina quindi con le espressioni:

$$t_i = \frac{-v_o/3,6 + \sqrt{(v_o/3,6)^2 + 2 \cdot l_i/a}}{a} \quad \text{per } l_i \leq \frac{v_{\max}^2 - v_o^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot a}$$

$$t_i = \frac{l_i - \frac{v_{\max}^2 - v_o^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot a}}{v_{\max} \cdot 3,6} \quad \text{per } l_i > \frac{v_{\max}^2 - v_o^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot a}$$

Le biciclette che utilizzano il segnale veicolare non modificano il tempo valido per i veicoli, data la bassa accelerazione e velocità. Nel caso in cui sia prevista una pista ciclabile controllata da uno specifico segnale si suppone che la velocità media sia pari a 5 m/s per cui:

$$t_i = l_i / 5$$

Per i pedoni il tempo viene posto a zero se i veicoli possono passare nell'immediata vicinanza del marciapiede, altrimenti si può utilizzare un tempo di ingresso calcolato sulla base di 1,5 m/s:

$$t_i = l_i / 1,5$$

6.7.6 - Verifica dei tempi di sicurezza

Dopo la messa in servizio dell'impianto semaforico i tempi di sicurezza devono essere verificati attentamente osservando il funzionamento dell'impianto. In particolare

devono essere analizzate con cura le svolte a sinistra ostacolate dal traffico opposto e i tempi effettivi di sgombero e di ingresso dei mezzi di trasporto pubblico.

6.7.7 - Definizione delle fasi

Per la definizione delle fasi devono essere individuate le correnti veicolari compatibili, che possono defluire simultaneamente, e quelle che sono fra di loro antagoniste.

Le correnti veicolari compatibili non presentano aree di conflitto in comune e possono essere raggruppate in una fase.

Le correnti antagoniste devono appartenere a fasi separate ad eccezione del caso di correnti in svolta prive di apposito segnale, che possono essere considerate come correnti compatibili condizionate.

La definizione delle fasi avviene sulla base di una suddivisione degli attestamenti dell'intersezione (esterni ed interni) in correnti. Per ciascuna corrente devono essere specificate le modalità d'uso delle rispettive corsie, che comportano in generale dei vincoli per la saturazione.

Ciascuna corrente è controllata da un segnale ed i segnali che controllano correnti non in conflitto possono essere raggruppati in modo da formare una fase. Il numero di fasi viene quindi determinato sulla base della composizione delle singole fasi e della necessità di far defluire tutte le correnti di traffico.

Nel caso di più di due fasi si presenta il problema della determinazione della sequenza di attivazione delle singole fasi. Nota la sequenza delle fasi si possono quindi progettare le transizioni di fase.

Un problema particolare è rappresentato infine dalle manovre di svolta sia a sinistra che a destra che possono influire in modo significativo sulla saturazione dell'intersezione.

Nel seguito vengono trattati brevemente i diversi problemi, al fine di evidenziare gli elementi che devono essere considerati nella loro soluzione.

6.7.7.1 - Vincoli derivanti dall'uso delle corsie

Dalle modalità di utilizzo delle corsie per l'effettuazione delle diverse manovre discendono alcuni vincoli che devono essere rispettati nella definizione della fasatura di un'intersezione:

- *Vincolo di simultaneità*: il verde deve essere simultaneo per manovre veicolari distinte che utilizzano in modo promiscuo le stesse corsie (ad es. corsie utilizzate per più manovre quali dritto/destra o dritto/sinistra);
- *Vincolo di sequenzialità*: manovre veicolari distinte possono defluire in fasi diverse solo se utilizzano corsie specializzate;
- *Vincolo di ritardato inizio del verde*: il verde di una corrente con diritto di precedenza non può iniziare dopo quello di una corrente compatibile condizionata. Ad esempio un attraversamento pedonale non può iniziare dopo il verde assegnato alla manovra dritto/destra, a meno che non si faccia uso di apposita segnalazione per avvisare i veicoli in svolta a destra della presenza di pedoni in attraversamento.

6.7.8 - Numero di fasi

Il numero di fasi dipende dal modo con cui vengono raggruppate nelle singole fasi le correnti veicolari, tenuto conto della sicurezza, delle intensità dei flussi e di altri problemi legati ad esempio al coordinamento con impianti adiacenti.

Al fine di massimizzare la capacità dell'intersezione è conveniente:

- determinare il numero di fasi minimo che garantisca comunque il deflusso delle varie manovre, evitando che queste producano interferenze con altre correnti di traffico;
- accoppiare in una stessa fase correnti di traffico che richiedono tempi di verde di durata non troppo diversa;

-definire le fasi in modo da ridurre la somma dei tempi non utilizzati dalle correnti veicolari a causa degli intertempi di sicurezza o di altre necessità legate alle transizioni di fase.

-

6.7.9 - Successione delle fasi

La successione delle fasi può essere determinata in modo da massimizzare la capacità dell'intersezione o in base ad altre considerazioni:

- una sequenza di fasi può essere determinata dall'esigenza di far attraversare l'intersezione da pedoni o cicli che devono impegnare due attraversamenti in successione;
- nel caso di intersezioni complesse la successione di fasi può essere determinata dalla necessità di far defluire alcune correnti in modo da smaltire le code, evitando che queste costituiscano ostacolo per altre correnti di traffico;
- una sequenza di fasi può essere determinata dalla possibilità di far defluire una corrente di traffico in più fasi, che devono pertanto essere consecutive;
- la presenza di un coordinamento con impianti adiacenti può condizionare in modo sensibile la scelta di una particolare sequenza di fasi;
- la sequenza delle fasi può essere condizionata dalla convenienza di assegnare più volte il verde ad una corrente di traffico all'interno dello stesso ciclo;
- nel caso non si presenti alcuno dei condizionamenti precedentemente elencati, la sequenza delle fasi più conveniente è quella che consente di ottenere il ciclo minimo, considerando la sommatoria dei tempi persi.

Nel caso di piani a ciclo fisso, la successione delle fasi viene rappresentata chiaramente dal *diagramma di temporizzazione*.

Nel caso di controllo attuato dal traffico le fasi e la successione delle fasi vengono rappresentate da un diagramma di stato in cui a ciascuno stato corrisponde una fase ed a ciascuna transizione fra stati corrisponde una commutazione tra fasi. A ciascuno stato può essere associata la condizione logica di permanenza nella fase mentre a ciascuna transizione può essere associata la condizione logica che determina il passaggio da una fase all'altra.

6.7.10 - Transizioni di fase

Il passaggio da una fase ad un'altra avviene attraverso una transizione di fase. La transizione di fase è caratterizzata dal tempo fra l'istante in cui commuta al rosso il primo segnale della fase uscente e quello in cui commuta al verde l'ultimo segnale della fase entrante.

La transizione di fase contiene almeno i tempi di sgombero necessari per la sicurezza, ma può contenere anche tempi necessari per soddisfare particolari condizioni (ad esempio prolungare la durata di un segnale per sgomberare i veicoli che provengono da un altro segnale della stessa fase, nel caso di due segnali consecutivi a breve distanza).

In generale è opportuno evitare di inserire attuazioni che modifichino la transizione di fase: qualora ciò sia previsto, l'attuazione deve essere effettuata in modo da garantire comunque il rispetto dei tempi di sicurezza.

6.7.11 - Svolte a sinistra

Nella definizione delle fasi le svolte a sinistra costituiscono un problema particolare, in quanto presentano in generale un elevato numero di conflitti con altre correnti veicolari, e vanno pertanto studiate con particolare attenzione. Nel seguito vengono riportate le possibili soluzioni, con alcuni suggerimenti in merito alla loro adozione.

6.7.11.1 - Svolte a sinistra protette

Una svolta a sinistra si dice protetta se durante il proprio tempo di verde i segnali che controllano tutte le correnti in conflitto sono al rosso.

La realizzazione di una svolta a sinistra protetta risulta di particolare importanza qualora:

- il traffico sulla direzione opposta sia particolarmente veloce;
- il traffico sulla manovra di svolta debba essere fatto evacuare rapidamente
- il traffico di svolta o quello antagonista siano particolarmente intensi;
- vi sia scarsa visibilità nell'effettuare la manovra;
- il traffico in svolta debba fare attenzione ad una molteplicità di conflitti (tram, svolte a destra, pedoni, biciclette).

Nel caso in cui la svolta si effettui su più corsie di norma la svolta deve essere protetta.

6.7.11.2 - Svolte a sinistra parzialmente protette

Una svolta a sinistra si dice parzialmente protetta se soltanto durante una parte del proprio tempo di verde i segnali che controllano le correnti in conflitto sono al rosso. In tale situazione i veicoli in manovra possono passare liberamente nel periodo in cui sono protette e devono rispettare le precedenza quando le correnti antagoniste sono in movimento.

La parte del verde protetta può essere ottenuta prolungando e/o anticipando il verde rispetto a quello delle correnti antagoniste.

L'utilizzo di un verde prolungato è sempre ammissibile.

Il verde anticipato deve essere invece valutato attentamente per quanto riguarda la sicurezza dei veicoli in svolta. In tal caso è preferibile adottare una fase apposita di svolta,

a meno che i veicoli in svolta non arrivino tutti in corrispondenza del periodo di rosso per le correnti antagoniste (ad esempio per effetto di un particolare tipo di coordinamento).

Nel caso in cui si utilizzi il verde anticipato, si propone di consentire l'uso di una freccia verde di consenso, la cui durata non deve essere inferiore al tempo minimo di verde come definito nel seguito. Per tale freccia devono essere calcolati i tempi di sicurezza analogamente agli altri segnali veicolari. Nel tempo in cui la svolta non è protetta i veicoli in svolta dovrebbero essere avvertiti dell'esistenza di conflitti da una freccia gialla lampeggiante.

6.7.11.3 - Svolte a sinistra non protette

Le svolte a sinistra non protette sono da utilizzarsi soltanto nel caso di flussi antagonisti di modesta entità. Per lo smaltimento delle code di veicoli in svolta che si possono formare all'interno dell'intersezione è possibile prevedere un ritardato inizio della fase successiva.

Nel caso di scarsa visibilità delle correnti antagoniste si ritiene opportuno consentire l'uso di un segnale giallo lampeggiante inserito per tutto il tempo in cui sono al verde le correnti antagoniste e per il relativo tempo di sgombero.

6.7.12 - Svolte a destra

Le svolte a destra non presentano problemi particolari, in quanto in generale tali manovre non richiedono la presenza di un segnale direzionale apposito. Nel seguito vengono comunque riportate le possibili situazioni ed alcuni suggerimenti in merito alla loro soluzione.

6.7.12.1 - Svolte a destra protette

La presenza di un segnale direzionale apposito può essere prevista soltanto nel caso in cui i flussi delle correnti in conflitto siano particolarmente elevati o nel caso in cui la svolta a destra possa essere effettuata a velocità tali da costituire pericolo per le correnti antagoniste.

In presenza di corsie delimitate da isole spartitraffico triangolari, è da prevedere l'uso delle lanterne veicolari di corsia per le correnti in svolta a destra se la manovra viene effettuata su più corsie, se le correnti antagoniste sono particolarmente intense o infine se la velocità con cui viene effettuata la manovra può determinare situazioni di pericolo.

6.7.12.2 - Svolte a destra parzialmente protette

In presenza di corsie specializzate per la svolta a destra si presenta la possibilità di far defluire i veicoli in svolta anche in intervalli di tempo nei quali le correnti antagoniste vengono fermate. In tal caso risulta opportuno prevedere lanterne semaforiche veicolari di corsia, utilizzando la lanterna gialla lampeggiante di indicazione del passaggio pedonale per il tempo in cui quest'ultimo si trova al verde, considerando anche i relativi tempi di sgombero.

6.7.12.3 - Svolte a destra non protette

Nel caso di svolte a destra non protette, il conflitto con la corrente pedonale può essere segnalato con l'apposita lanterna gialla lampeggiante prevista dal codice. Sembra opportuno suggerire l'adozione di altre mascherine, oltre a quella pedonale, per avvisare i veicoli in svolta di possibili conflitti con mezzi pubblici (nel caso di corsie riservate sul lato destro), ovvero con biciclette. Il segnale di avviso deve lampeggiare anche durante i periodi di sgombero delle correnti in conflitto.

Il conflitto con veicoli in svolta a sinistra provenienti dalla direzione opposta non è generalmente critica nei casi in cui non vi siano isole spartitraffico triangolari che delimitano la svolta a destra. In presenza di tali isole e con segnale verde pieno per la svolta a destra, il conflitto con le svolte a sinistra della direzione opposta deve essere

evitato in quanto può generare situazioni di pericolo. Si può fare eccezione soltanto nel caso di una corsia sufficientemente lunga dopo il segnale semaforico, e dopo l'attraversamento pedonale in conflitto, in modo da poter installare un segnale di dare precedenza, eventualmente in presenza anche di un segnale giallo lampeggiante in modo da far riconoscere chiaramente ai veicoli in svolta l'esistenza di un conflitto con veicoli che possono sorraggiungere da sinistra.

6.7.12.4 - Svolte a destra non segnalate

Le svolte a destra non segnalate possono essere effettuate soltanto nel caso in cui vi sia una corsia apposita protetta da un'isola spartitraffico triangolare. L'utilizzo di questa soluzione deve essere valutato attentamente per quanto attiene la sicurezza, soprattutto nei casi in cui il flusso in svolta sia elevato o possa effettuare la manovra in velocità.

6.7.13 - Vincoli per i tempi di verde e di rosso

6.7.13.1 - Durata minima del verde

La durata minima del verde per correnti veicolari non dovrebbe di norma essere inferiore ai 10". Per le correnti principali si raccomanda di utilizzare tempi non inferiori ai 15". Nel caso di flussi veicolari particolarmente bassi ovvero nel caso di impianti attuati dal traffico, la durata minima può essere ridotta fino ad un minimo di 5".

Per i mezzi pubblici, biciclette e pedoni la durata di verde minima non dovrebbe essere inferiore ai 5".

6.7.13.2 - Durata del verde per svolte a sinistra

La durata minima del verde per le svolte a sinistra non dovrebbe di norma essere inferiore ai 10". Nel caso di utilizzo di frecce direzionali per indicare la parte di svolta a sinistra protetta, tale freccia non dovrebbe durare meno di 5"

6.7.13.3 - Durata massima del rosso

La durata massima del rosso dipende da molteplici fattori, quali:

- accettazione da parte di pedoni e di ciclisti;
- disponibilità di spazi di accumulo per i veicoli in coda;
- disponibilità di spazi per l'accumulo di pedoni e ciclisti;
- ritardi per i mezzi pubblici.

Per pedoni e ciclisti non si dovrebbe superare una durata massima di 60" mentre si può accettare una durata anche doppia per il traffico veicolare.

6.7.13.4 - Anticipo del verde in casi di conflitto

L'inizio del verde per movimenti di pedoni o biciclette dovrebbe avvenire 1 o 2 secondi prima dell'arrivo di veicoli provenienti da manovre in conflitto. Il calcolo va effettuato sulla base dei tempi necessari ad impegnare l'area di conflitto.

6.7.13.5 - Ritardo dell'inizio del verde

I veicoli in svolta a sinistra non protetta che hanno superato la linea di arresto e non possono eseguire la manovra per la presenza del traffico opposto devono poter liberare l'area d'incrocio senza rischi. Qualora per i veicoli della fase successiva vi siano delle difficoltà nel riconoscere la presenza dei veicoli in svolta, tale fase va ritardata di un intervallo di tempo di 2-4 secondi in modo da garantire lo svuotamento della manovra di svolta.

6.7.13.6 - Rientro nella stessa fase

Nel caso di impianti attuati dal traffico qualora la logica d'attuazione determini l'inserzione di una fase appena terminata, la sequenza della transizione in atto deve essere completata prima di riposizionarsi sulla fase stessa.

6.7.13.7 - Durata minima del rosso

Sempre nel caso di impianti attuati dal traffico, nel caso di rientro nella fase uscente deve essere garantita una durata minima di 1" di tutto rosso.

6.7.14 - Ciclo semaforico

Indicativamente le durate del ciclo semaforico sono:

durata minima: 30"

durata normale: 50" - 75"

durata massima: 90" - 120"

6.8 - CONTENUTI DEL PROGETTO

Il progetto deve contenere come minimo la seguente documentazione.

1. Tavola di inquadramento dell'intersezione o delle intersezioni nella rete. Da tale tavola devono essere desumibili le caratteristiche geometriche relative alle distanze fra intersezioni. In particolare, nel caso di reti semaforizzate, la tavola di riferimento dovrebbe essere in scala non superiore a 1:2000.
2. Planimetria di ciascuna intersezione facente parte del progetto in scala (1:200) ÷ (1:500) riportante lo stato di fatto;
3. Planimetrie di ciascuna intersezione, anche schematizzate, riportanti i dati relativi ai volumi di traffico per le situazioni per le quali si progettano i piani semaforici;
4. Planimetria di ciascuna intersezione, nella stessa scala di cui al punto 2, riportante la situazione di progetto relativa alla geometria dell'intersezione (se variata), con l'indicazione degli attestamenti, delle corsie, della segnaletica orizzontale e verticale, della posizione dei segnali e della relativa numerazione.

Ciascuna lanterna va indicata con il numero di segnale di riferimento, seguito dal numero d'ordine della lanterna (ad esempio: segnale 5, lanterne 5.1, 5.2,...). I segnali che controllano correnti diverse vanno indicati con numeri diversi. Le correnti di traffico vanno indicate con lo stesso numero utilizzato per il segnale che le controlla.

5. Planimetria di ciascuna intersezione, nella stessa scala di cui al punto 2, riportante la posizione dei pali di sostegno delle lanterne. I tracciati degli scavi dei cavidotti, la posizione dei pozzetti e la posizione degli altri manufatti accessori (spire di rilevamento del traffico, colonnine luminose, ecc.). In corrispondenza al tracciato dei cavidotti deve essere riportato il numero ed il diametro delle tubazioni utilizzate, nonché il numero e la composizione dei cavi da collocare nelle tubazioni stesse.

6. Matrici dei tempi di sicurezza per ciascuna intersezione con relative indicazioni sui parametri adottati nella loro definizione;

7. Piani semaforici per tutte le intersezioni e per tutte le situazioni considerate, rappresentati dai diagrammi di temporizzazione;

8. Piani di coordinamento, nel caso di rete semaforizzata, per tutte le situazioni di traffico considerate;

9. Nel caso di controllo attuato dal traffico le fasature previste, le transizioni ammesse tra le fasi, il diagramma di temporizzazione relativo al caso di richieste sempre presenti per tutte le correnti, la logica di controllo con l'indicazione delle condizioni di permanenza nella singola fase e di transizione fra fasi, ivi compresi i tempi necessari alla regolazione (tempi minimi, massimi, parametri di prolungamento o di accorciamento del verde, ecc.) ;

10. Caratteristiche dei regolatori da installare;

11. Tempi di giallo per ciascun segnale, con relative motivazioni della loro scelta, se difforni da quelli consigliati;

12. Indicazione dei collegamenti dei segnali alle uscite di potenza dei regolatori semaforici;

13. Relazione tecnica illustrativa contenente la descrizione dei lavori da eseguire e delle relative modalità di esecuzione
14. Lista dei lavori e delle forniture
15. Computo metrico estimativo
16. Valutazione del funzionamento di ciascuna intersezione (stima del livello di saturazione e stima del livello di servizio)
17. Valutazione del funzionamento della rete (tempo perso per veicolo, stima dei consumi) con riferimento alla situazione esistente e ad eventuali altre soluzioni.

6.9 - INTERAZIONI FRA CONTROLLO SEMAFORICO E GEOMETRIA DELL'INTERSEZIONE

6.9.1 - Generalità

Il comportamento del traffico che si vuole realizzare attraverso il controllo semaforico pone dei vincoli alla progettazione geometrica dell'intersezione e, inversamente, le caratteristiche di progetto delle intersezioni e dei relativi accessi pongono vincoli determinanti per il controllo semaforico. Il progetto dell'intersezione e quello del controllo semaforico devono quindi essere effettuati congiuntamente.

Si devono dunque soppesare le esigenze delle diverse componenti di traffico ed utilizzare le molteplici possibilità offerte dal controllo semaforico, soprattutto nel caso di limitate disponibilità di spazio.

Nel caso di costruzione di nuove intersezioni, in assenza di vincoli particolari, è opportuno adottare forme di intersezione standardizzate. Lo standard di progetto può in tal caso essere orientato alle esigenze del controllo semaforico. Fondamentalmente si deve tendere a ridurre gli intertempi di sicurezza per le varie correnti agendo sui parametri che li determinano.

Nel caso di intersezioni esistenti i vincoli per l'adeguamento geometrico sono in genere preponderanti, per cui si possono prevedere solamente interventi limitati che tendano comunque a raggiungere forme di tipo standardizzato. Soprattutto in questo caso è necessaria una stretta coerenza fra gli interventi strutturali di tipo geometrico e quelli di controllo semaforico.

Nel seguito vengono trattate alcune delle principali interazioni fra progettazione geometrica e progettazione del controllo semaforico.

6.9.2 - Corsie

Il numero delle corsie è legato alle intensità dei flussi e al livello di servizio che si desidera conseguire per le varie correnti di traffico, tenendo conto dei vincoli derivanti dallo spazio disponibile.

Nel caso di intersezioni extra-urbane per la definizione delle corsie e del loro utilizzo risultano prevalenti le considerazioni legate alla sicurezza mentre nel caso di intersezioni urbane sono determinanti gli aspetti legati alle prestazioni.

6.9.2.1 - Corsie per manovre diritte

Per quanto possibile il numero delle corsie per la manovra di uscita diretta deve essere uguale prima e dopo l'intersezione. Soprattutto in ambito urbano può essere peraltro necessario aumentare il numero di corsie disponibili in corrispondenza all'attestamento, al fine di ottenere valori di capacità maggiori.

Se una corsia diretta si affianca ad una corsia di svolta è necessario prevedere una segnaletica orizzontale e verticale chiara che consenta agli utenti di scegliere la propria corsia in modo univoco. La presenza delle corsie di svolta deve comunque essere compatibile con adeguati livelli di capacità per le corsie dirette.

Nel caso di corsie riservate per mezzi pubblici può essere necessario, per ragioni di capacità, interrompere le corsie creando una corsia utilizzabile anche dagli altri veicoli. In tal caso la lunghezza del tratto misto va determinata in modo che, sulla base dei parametri

di regolazione, il mezzo pubblico in arrivo sulla corsia possa oltrepassare l'intersezione dopo l'evacuazione dei veicoli che occupano la corsia stessa.

Il tratto in uscita dall'intersezione per il quale si dovrebbe mantenere inalterato il numero delle corsie presenti in ingresso dipende essenzialmente dal tempo di verde (V) dato alla corrente e dal livello di saturazione della corrente stessa, oltre che da particolari situazioni locali.

Orientativamente si può considerare una lunghezza pari a tre volte il tempo di verde ($l=3V$) e comunque non inferiore ai 40 metri. Il tratto di raccordo verso un numero inferiore di corsie deve essere per quanto possibile simmetrico e sufficientemente lungo (40÷60 metri). Con tali valori si può ottenere un andamento sufficientemente fluido per la corrente uscente.

6.9.2.2 - Corsie per manovre di svolta a sinistra

Nel caso in cui la svolta a sinistra sia ammessa si dovrebbe prevedere la presenza di corsie di svolta o di spazi di accumulo per la svolta a meno che i veicoli in svolta non debbano dare precedenza (manovra di svolta a sinistra protetta e contemporanea alla manovra diretta) o siano in numero limitato per cui possono essere contenuti negli spazi di accumulo o infine nei casi critici nei quali la coda dei veicoli ostacolati da quelli in attesa per la svolta possa essere gestita con sistemi di controllo della coda.

Nel caso di segnali specifici per la manovra di svolta a sinistra deve essere prevista almeno una corsia dedicata a tale manovra.

Le corsie di svolta a sinistra possono essere realizzate su binari tranviari soltanto nel caso in cui la via libera per il tram sia simultanea con quella per la svolta a sinistra e sia garantita l'evacuazione dei veicoli in svolta in modo da assicurare il passaggio del tram.

Nel caso di assi coordinati le corsie di svolta o adeguati spazi di accumulo per la svolta dovrebbero essere previsti nel caso in cui la svolta non sia protetta o non vi sia spazio sufficiente all'interno dell'area di conflitto per contenere i veicoli in svolta.

Per accessi secondari conviene spesso prevedere divisioni fisiche delle corsie al posto di corsie realizzate con segnaletica orizzontale. In particolare questa soluzione è preferibile nel caso in cui l'impianto semaforico non sia sempre in funzione.

Qualora non sia possibile la realizzazione di una corsia o di uno spazio per l'accumulo dei veicoli in svolta e non si possa rinunciare a tale manovra, il traffico dell'attestamento dovrebbe essere controllato separatamente da una propria fase.

Le corsie di svolta a sinistra controllate da apposito segnale dovrebbero avere una lunghezza tale da contenere un numero di veicoli superiore del 20% a quello medio in arrivo in un ciclo (si consideri un ingombro di 6 m/veq). Nel caso in cui la svolta non abbia un proprio segnale ed in assenza di un controllo attuato della coda è necessario prevedere una lunghezza superiore per poter contenere i veicoli che non sempre possono defluire nell'ambito del ciclo.

La lunghezza delle corsie di svolta dovrebbe essere in genere superiore a quella delle corsie dirette, in modo da garantire comunque il loro impegno da parte dei veicoli che devono effettuare tale manovra. Se ciò non è possibile si deve verificare se è possibile ridurre la durata del ciclo oppure se sia praticabile un doppia accensione del verde nel ciclo. In casi critici si raccomanda di utilizzare un sistema di controllo di coda.

6.9.2.3 - Corsie per manovre di svolta a destra

Corsie specializzate per la svolta a destra possono incrementare la sicurezza e la capacità di un'intersezione.

Nel caso di segnali direzionali di svolta a destra devono essere presenti apposite corsie.

Deve essere prevista almeno una corsia di svolta a destra nel caso in cui ci sia un'isola spartitraffico triangolare che consenta la svolta su due corsie.

Spesso il traffico diretto deve defluire insieme a quello in svolta a destra su di una corsia: per tali corsie dovrebbero essere minimizzati gli ostacoli dovuti alla presenza di altre correnti (ad esempio corsie ciclabili o attraversamenti pedonali) in conflitto con la svolta a destra. Queste correnti possono essere allontanate in modo da creare lo spazio per

un veicolo in svolta (non più di 6 metri) purché non si creino problemi di sicurezza dovuti ad esempio a scarsa visibilità.

6.9.2 - Isole spartitraffico

Le isole spartitraffico sono utilizzate per incanalare le correnti di traffico, per la protezione di pedoni o ciclisti e per il posizionamento di arredi semaforici o di segnaletica verticale.

6.9.2.1 - Suddivisione fisica delle corsie

In relazione al controllo semaforico sono da considerare i seguenti punti.

- La segnaletica verticale ed i segnali semaforici possono essere ripetuti sulle isole di separazione delle corsie, in modo da essere percepiti più chiaramente dagli utenti.
- In accessi secondari la suddivisione fisica delle corsie consente, nei periodi in cui l'impianto semaforico non è in servizio, di far percepire meglio agli utenti la necessità di dare la precedenza e consente di rendere più sicuro l'attraversamento dei pedoni.
- La suddivisione fisica delle corsie può essere utile per la semaforizzazione degli attraversamenti pedonali in quanto la suddivisione dell'attraversamento consente di utilizzare tempi di sicurezza inferiori. Le suddivisioni devono essere in tal caso in grado di contenere i pedoni, in condizioni di sicurezza, se l'attraversamento viene realizzato in più fasi.
- Nel caso di svolte a sinistra non protette, le suddivisioni fisiche possono ridurre lo spazio a disposizione, soprattutto in presenza di traffico pesante, per il quale possono essere necessari raggi di raccordo elevati.

- Se le corsie contrapposte dedicate alle svolte a sinistra non sono in asse in generale si presentano problemi di visibilità che possono dar luogo a situazioni di pericolo. In tal caso è necessario vietare una manovra o introdurre fasi semaforiche separate.

-

6.9.2.2 - Isole spartitraffico triangolari

Generalmente le isole spartitraffico triangolari sono utilizzate per facilitare il deflusso delle manovre di svolta a destra.

Per il controllo semaforico tali isole possono essere utili in quanto riducono le lunghezze degli attraversamenti pedonali e consentono di ridurre lo spazio di conflitto dell'intersezione con conseguente riduzione dei tempi di sicurezza. Infine su queste isole sono facilmente posizionabili segnali verticali e lanterne semaforiche.

Per pedoni e ciclisti le isole possono presentare anche svantaggi. Nel caso di isole di dimensione elevate i pedoni sono costretti ad effettuare tragitti più lunghi e talvolta si presentano problemi di visibilità o di sicurezza sia per i pedoni sia per i cicli, se la manovra di svolta non è controllata.

Isole di piccole dimensioni sono da utilizzare soltanto per il posizionamento di segnali o nel caso di svolte a destra molto intense. Isole di dimensioni elevate sono adatte soprattutto nel caso di svolte limitate non controllate e come zona di attesa per pedoni e ciclisti.

Una corsia di svolta a destra può essere non segnalata nei seguenti casi:

- Traffico limitato di attraversamento di pedoni e cicli;
- Traffico limitato in svolta sulla corsia;
- Il raggio di curvatura della corsia è inferiore ai 40 metri per cui la velocità dei veicoli in svolta è limitata.

Nel caso di svolta non segnalata si devono mettere chiaramente in evidenza le condizioni di conflitto attraverso l'uso di segnaletica orizzontale e verticale: in particolare

deve essere tracciato l'attraversamento pedonale, utilizzando anche l'apposito segnale verticale.

Nel caso di costruzione di nuove intersezioni o di revisione di intersezioni esistenti sarebbe opportuno esaminare la possibilità di rinunciare all'utilizzo delle isole nell'interesse del traffico non motorizzato.

6.9.2.3 - Linee di attestamento

La linea di attestamento per il traffico veicolare dovrebbe trovarsi ad una distanza di 3,50 metri dal segnale (e comunque non inferiore ai 2,50 metri). Nel caso di attraversamenti pedonali la linea va posta ad una distanza non inferiore al metro dall'attraversamento stesso.

Nel caso di corsia ciclabile affiancata con attestamento differenziato la linea di tale attestamento dovrebbe essere collocata a non meno di 1 metro prima dell'attestamento veicolare in modo da consentire ai conducenti dei veicoli di vedere la presenza di ciclisti e da ridurre per questi i tempi di sicurezza.

Nel caso in cui i veicoli in svolta invadono parte delle corsie del traffico antagonista, a causa di spazi di manovra ristretti, la linea di attestamento del traffico antagonista può essere arretrata. L'arretramento deve essere limitato allo stretto necessario. Nel caso di più corsie a disposizione per il traffico antagonista le linee di attestamento di tali corsie possono essere scalettate in modo da creare lo spazio per la manovra di svolta.

6.9.2.4 - Segnaletica orizzontale

La segnaletica orizzontale deve essere effettuata nel rispetto delle norme del Codice della Strada e del relativo Regolamento.

Nel caso di intersezioni semaforizzate la chiarezza della demarcazione delle correnti non deve essere penalizzata da un eccesso di segnaletica.

7 – ACCESSI E DIRAMAZIONI

7.1 - PREMESSA

Tra i diversi fattori che possono influire sulle prestazioni, in termini di sicurezza e di funzionalità, di una strada, occupano certamente un posto di rilievo, oltre alle intersezioni stradali, i collegamenti con le aree e gli edifici destinati ad accogliere i veicoli (aree per la sosta, parcheggi, autorimesse, autosili, stazioni di servizio, aree al servizio di insediamenti produttivi o commerciali, etc.): ciò specialmente nella situazione di uso del territorio, frequente in Italia, in cui gli insediamenti sono distribuiti in maniera diffusa, anche all'esterno dei centri abitati, costituendo in alcuni casi un fronte continuo a lato della strada. In tali condizioni, le interferenze tra i veicoli che transitano sulla strada ed i veicoli che entrano nelle aree laterali o ne escono possono provocare una diminuzione del livello di servizio e diventare una causa non trascurabile di incidenti.

7.2 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI

La letteratura tecnica e scientifica sembra considerare l'argomento "minore" e "marginale": esso viene trattato in pratica solamente nei testi normativi (in Italia il Nuovo codice della strada e relativo Regolamento). La bibliografia essenziale è costituita quindi da norme di legge italiane e da norme tecniche italiane e straniere.

La normativa proposta nei paragrafi che seguono fa riferimento innanzitutto alle disposizioni del Nuovo codice della strada e del relativo Regolamento, introducendo le opportune modificazioni ed integrazioni sulla base della bibliografia esaminata.

La normativa riguarda gli accessi e le diramazioni che si innestano sia sulle strade extraurbane che sulle strade urbane.

7.3 - ACCESSI E DIRAMAZIONI. DEFINIZIONI E TIPOLOGIA

1. Ai fini della presente norma, si definiscono:
 - a) accessi: le immissioni per veicoli da un'area o da un edificio privato alla strada di uso pubblico;
 - b) diramazioni: le immissioni di una strada privata su una strada ad uso pubblico.
2. Gli accessi e le diramazioni si distinguono in accessi e diramazioni a raso ed a livelli sfalsati. Per gli accessi e le diramazioni a raso ed a livelli sfalsati valgono le corrispondenti definizioni di intersezione di cui all'articolo 3 del N.c.d.s. [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. INTERSEZIONE A LIVELLI SFALSATI: insieme di infrastrutture (sovrappassi, sottopassi e rampe) che consente lo smistamento delle correnti veicolari fra rami di strade poste a diversi livelli].
3. L'impiego di soluzioni a rotatoria per la realizzazione di accessi e diramazioni è escluso.

7.4 - DISPOSIZIONI GENERALI

1. Senza la preventiva autorizzazione dell'ente proprietario della strada non possono essere stabiliti nuovi accessi e nuove diramazioni dalla strada ai fondi o fabbricati laterali, né nuovi innesti di strade soggette ad uso pubblico o privato.
2. Gli accessi e le diramazioni già esistenti, ove provvisti di autorizzazione, debbono essere regolarizzati in conformità alle prescrizioni di cui alla presente normativa.
3. Sono vietate trasformazioni di accessi o di diramazioni già esistenti e variazioni nell'uso di questi, salvo preventiva autorizzazione dell'ente proprietario della strada.
4. Gli accessi e le diramazioni debbono essere costruiti con materiali di adeguate caratteristiche e sempre mantenuti in modo da evitare apporto di materie di qualsiasi natura e lo scolo delle acque sulla sede stradale; devono essere inoltre pavimentati per l'intero tratto, se di lunghezza inferiore a 30 m, ovvero per una lunghezza non inferiore a 30 m a partire dal margine della carreggiata della strada da cui si diramano.

5. Gli accessi e le diramazioni sono realizzati e mantenuti sia per la zona insistente sulla strada sia per la parte ricadente sulla proprietà privata, a cura e spese dei titolari dell'autorizzazione, i quali sono tenuti a rispettare le prescrizioni e le modalità fissate dall'ente proprietario della strada e ad operare sotto la sorveglianza dello stesso.
6. Chiunque ha ottenuto l'autorizzazione deve realizzare e mantenere, ove occorre, le opere sui fossi laterali senza alterare la sezione dei medesimi, né le caratteristiche plano-altimetriche della sede stradale.
7. Il rilascio dell'autorizzazione di accessi o diramazioni al servizio di insediamenti di qualsiasi tipo è subordinato alla realizzazione di parcheggi nel rispetto delle normative vigenti in materia.
8. Le infrastrutture destinate specificamente allo stazionamento delle autovetture (parcheggi, autorimesse e autosili) debbono essere realizzate nel rispetto delle norme di sicurezza antincendio.
9. Nel caso di proprietà naturalmente incluse o risultanti tali a seguito di costruzioni o modifiche di opere di pubblica utilità, nei casi di impossibilità di regolarizzare in linea tecnica gli accessi esistenti, nonché in caso di forte densità degli accessi stessi e ogni qualvolta le caratteristiche plano-altimetriche nel tratto stradale interessato dagli accessi o diramazioni non garantiscano requisiti di sicurezza e fluidità per la circolazione, l'ente proprietario della strada rilascia l'autorizzazione per l'accesso o la diramazione subordinatamente alla realizzazione di particolari opere quali innesti attrezzati, intersezioni a livelli sfalsati e strade di servizio, anche se le stesse, interessando più proprietà, comportino la costituzione di consorzi obbligatori per la costruzione e la manutenzione delle opere stesse.
10. E' in ogni caso vietata l'apertura di accessi o diramazioni lungo le rampe di intersezioni sia a raso che a livelli sfalsati, nonché lungo le corsie di accelerazione e di decelerazione e le canalizzazioni. In corrispondenza di questi elementi stradali, ma in accordo con le norme urbanistiche e con la disciplina delle attività commerciali di ogni singola località, non sono consentite attività di vendita al dettaglio tali da implicare la possibilità di fermata o sosta breve di veicoli (chiosco per vendita giornali, fiori, souvenirs e simili).

7.5 - ACCESSI ALLE STRADE EXTRAURBANE

1. Nelle autostrade extraurbane non sono consentiti accessi privati. Sono consentiti esclusivamente gli accessi alle pertinenze di servizio (aree di sosta, aree di parcheggio, aree di servizio).
2. Nelle strade extraurbane principali sono consentiti accessi privati nel rispetto delle prescrizioni di cui al presente paragrafo nonché ai paragrafi 7.5.1. e 7.5.2. Gli accessi debbono essere coordinati.
3. Le strade extraurbane principali 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.
4. Nelle strade extraurbane secondarie sono consentiti accessi privati nel rispetto delle prescrizioni di cui al presente paragrafo nonché ai paragrafi 7.5.1. e 7.5.2. Gli accessi debbono essere coordinati.
5. Gli accessi privati alle strade locali extraurbane possono essere diretti.
6. La localizzazione e la configurazione degli accessi debbono essere tali da rispettare le distanze di visuale libera stabilite per le intersezioni.
7. Gli accessi debbono essere localizzati dove l'orografia dei luoghi e l'andamento della strada consentono la più ampia visibilità della zona di svincolo e possibilmente nei tratti di strada in rettilineo e debbono essere realizzati in modo da consentire un'agevole e sicura manovra di immissione o di uscita dalla sede stradale, senza che tale manovra comporti la sosta del veicolo sulla carreggiata.
8. L'ente proprietario della strada può negare l'autorizzazione per nuovi accessi, diramazioni e innesti, o per la trasformazione di quelli esistenti o per la variazione d'uso degli stessi quando ritenga che da essi possa derivare pregiudizio alla sicurezza e fluidità della circolazione e particolarmente quando trattasi di accessi o diramazioni esistenti o da istituire in corrispondenza di tratti di strada in curva o in forte pendenza, nonché ogni qualvolta non sia possibile rispettare le norme fissate ai fini della visibilità per le intersezioni.

9. L'ente medesimo può negare l'autorizzazione di accessi in zone orograficamente difficili che non garantiscono sufficienti condizioni di sicurezza.
10. E' consentita l'apertura di accessi provvisori per motivi temporanei quali l'apertura di cantieri o simili. In tali casi deve essere disposta idonea segnalazione di pericolo ed eventualmente di divieto.
11. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 10 si applicano sia agli accessi che alle diramazioni; per le diramazioni valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.
12. I lati degli accessi possono essere delimitati con i delineatori di accesso di cui all'art. 174 del Reg. (figura II 469).

7.5.1 - Ubicazione degli accessi alle strade extraurbane

1. Gli accessi alle strade extraurbane principali sono consentiti qualora siano ubicati a distanza non inferiore a 1000 m tra loro, misurata tra gli assi degli accessi consecutivi. Nei confronti delle intersezioni deve essere rispettata la stessa distanza, misurata tra l'asse dell'accesso e l'asse dell'intersezione.
2. Accessi alle strade extraurbane principali situati a distanza inferiore debbono essere collegati da apposita strada di servizio, con innesti posti a distanza (misurata come al comma 1) non minore di 1000 m tra loro e dalle intersezioni.
3. Gli accessi alle strade extraurbane secondarie sono consentiti qualora siano ubicati a distanza non inferiore, di norma, a 300 m tra loro, misurata tra gli assi degli accessi consecutivi per ogni senso di marcia. Nei confronti delle intersezioni deve essere rispettata la stessa distanza, misurata tra l'asse dell'accesso e l'asse dell'intersezione.
4. Accessi alle strade extraurbane secondarie situati a distanza inferiore debbono essere collegati da apposita strada di servizio, con innesti posti a distanza (misurata come al comma 3) non minore di 300 m tra loro e dalle intersezioni.
5. Per le strade extraurbane secondarie, l'ente proprietario della strada può derogare alle distanze di cui ai commi 3 e 4, 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.

6. Gli accessi alle strade locali extraurbane debbono essere ubicati a distanza non inferiore a 30 m dalle intersezioni, misurata tra l'asse dell'accesso e l'asse dell'intersezione.
7. L'ente proprietario della strada ha la facoltà di autorizzare una distanza inferiore a quella fissata al comma 6, per gli accessi già esistenti, nel caso in cui sia tecnicamente impossibile procedere all'adeguamento di cui al paragrafo 4, comma 2.
8. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 7 si applicano sia agli accessi che alle diramazioni; per le diramazioni valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.

7.5.2 - Caratteristiche geometriche e funzionali degli accessi alle strade extraurbane

1. Gli accessi o le strade di servizio debbono collegarsi alla strada extraurbana principale mediante corsie di accelerazione (più propriamente: di immissione) e di decelerazione dimensionate secondo i criteri stabiliti per la progettazione delle intersezioni. 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.
2. Gli accessi o le strade di servizio debbono collegarsi alla strada extraurbana secondaria con intersezioni a "T" dimensionate secondo i criteri stabiliti per la progettazione delle intersezioni.
3. Gli accessi diretti alle strade locali extraurbane debbono avere una larghezza minima di 2,50 m ed una larghezza massima di 6,00 m con idonei raccordi circolari al margine della strada; la larghezza può essere aumentata fino a 10,00 m nel caso in cui l'accesso sia aperto anche al transito di veicoli pesanti (autocarri, autotreni, etc.).
4. Gli accessi alle strade extraurbane principali e secondarie (accessi coordinati) e gli accessi alle strade locali extraurbane (accessi diretti) per il transito di veicoli pesanti debbono

avere caratteristiche geometriche appropriate, da determinarsi in funzione delle specifiche esigenze.

5. Nel caso di transito sistematico e frequente di veicoli pesanti, si debbono adottare una larghezza dell'accesso di 6,00 - 10,00 m ed innesti sulla carreggiata con raccordo circolare di raggio pari a 6,00 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; in alternativa, è possibile separare l'ingresso e l'uscita con percorso interno a senso unico.
6. Non è consentita l'apertura di accessi aventi dimensioni maggiori di quelle indicate ai commi 3 e 5; è vietata inoltre la realizzazione, a lato della strada, di piazzali aperti aventi lunghezza superiore a 10,00 m privi di accessi definiti.
7. Qualora l'accesso dei veicoli alla proprietà laterale avvenga direttamente dalla strada, l'accesso deve essere realizzato in modo da favorire la rapida immissione dei veicoli nella proprietà laterale. L'eventuale cancello a protezione della proprietà laterale dovrà essere arretrato di almeno 5,00 m allo scopo di consentire la sosta, fuori della carreggiata, di un veicolo in attesa di ingresso. Nel caso in cui, per obiettive impossibilità costruttive o per evitare gravi limitazioni della fruibilità della proprietà privata, non sia possibile arretrare gli accessi, possono essere autorizzati sistemi di apertura automatica dei cancelli o delle serrande che delimitano gli accessi. E' consentito derogare dall'arretramento degli accessi e dall'utilizzo dei sistemi alternativi nel caso in cui le immissioni laterali avvengano su strade senza uscita o comunque con traffico estremamente limitato, per cui le immissioni stesse non possono determinare condizioni di intralcio alla fluidità della circolazione.
8. Gli accessi ad insediamenti residenziali, produttivi, commerciali, turistici e ricreativi di grandi dimensioni debbono essere progettati secondo i criteri stabiliti per la progettazione delle intersezioni in funzione delle caratteristiche geometriche e funzionali della strada, dell'entità e della composizione del traffico che la percorre, del tipo di insediamento e della sua capienza e dei flussi di traffico veicolare previsti in ingresso ed in uscita.
9. Le infrastrutture destinate specificamente allo stazionamento delle autovetture (parcheggi, autorimesse e autosili) devono rispettare le prescrizioni di cui al paragrafo 6.2, comma 8.

10. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 9 si applicano sia agli accessi che alle diramazioni; per le diramazioni valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.

7.6 - ACCESSI ALLE STRADE URBANE. PASSI CARRABILI

1. Nelle autostrade urbane non sono consentiti accessi privati. Sono consentiti esclusivamente gli accessi alle pertinenze di servizio (aree di sosta, aree di parcheggio, aree di servizio).
2. Nelle strade urbane di scorrimento sono consentiti accessi privati nel rispetto delle prescrizioni di cui al presente paragrafo nonché ai paragrafi 7.6.1. e 7.6.2. Gli accessi debbono essere coordinati.
3. Le strade urbane di scorrimento 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.
4. Nelle strade urbane di quartiere sono consentiti accessi privati nel rispetto delle prescrizioni di cui al presente paragrafo nonché ai paragrafi 7.6.1. e 7.6.2. Gli accessi debbono essere coordinati.
5. Gli accessi alle strade locali urbane possono essere diretti. In ambito urbano, l'accesso diretto ad un'area o ad un edificio idoneo allo stazionamento di uno o più veicoli è denominato "passo carrabile". I passi carrabili non sono pertanto consentiti sulle autostrade urbane; debbono essere coordinati sulle strade urbane di scorrimento e di quartiere; possono innestarsi direttamente sulle strade locali urbane.
6. La localizzazione e la configurazione degli accessi e dei passi carrabili debbono essere tali da rispettare le distanze di visuale libera stabilite per le intersezioni.
7. 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.

8. Nel caso in cui i passi carrabili, come definiti dall'art. 3, comma 1, punto 37), del N.c.d.s., rientrino nella definizione dell'art. 44, comma 4, del decreto legislativo 15 novembre 1993, n. 507, nella zona antistante gli stessi vige il divieto di sosta, segnalato con l'apposito segnale di cui all'art. 120 del Reg. (figura II 78). In caso contrario, il divieto di sosta nella zona antistante il passo medesimo e l'installazione del relativo segnale, sono subordinati alla richiesta di occupazione del suolo pubblico che, altrimenti, sarebbe destinato alla sosta dei veicoli, in conformità a quanto previsto dall'art. 44, comma 8, del citato decreto legislativo 507/93.
9. E' consentita l'apertura di accessi e di passi carrabili provvisori per motivi temporanei quali l'apertura di cantieri o simili. In tali casi debbono essere osservate, per quanto possibile, le condizioni di cui al presente paragrafo nonché ai paragrafi 6.1. e 6.2. Deve in ogni caso disporsi idonea segnalazione di pericolo allorquando non possono essere osservate le distanze dall'intersezione.
10. La costruzione di accessi e passi carrabili è autorizzata dall'ente proprietario della strada nel rispetto della normativa edilizia e urbanistica vigente.
11. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 10 si applicano sia agli accessi e ai passi carrabili che alle diramazioni; per le diramazioni valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.
12. I passi carrabili debbono essere individuati con l'apposito segnale di cui all'art. 120 del Reg. (figura II 78), previa autorizzazione dell'ente proprietario della strada. Allo sbocco dei passi carrabili la sosta è vietata; il divieto si estende per tutta la larghezza dell'innesto ed eventualmente oltre, qualora motivi di visibilità lo richiedano.

7.6.1 - Ubicazione degli accessi alle strade urbane

1. Gli accessi alle strade urbane di scorrimento debbono essere collegati da apposita strada di servizio, così che l'immissione dei veicoli sulla carreggiata (o l'uscita dalla carreggiata) avvenga tramite idonei varchi posti a distanza non inferiore a 100 m tra loro, misurata tra gli assi dei varchi consecutivi. Nei confronti delle intersezioni deve essere rispettata la stessa distanza, misurata tra l'asse del varco e il limite dell'area d'intersezione.

2. Gli accessi alle strade urbane di quartiere debbono essere collegati da apposita strada di servizio, così che l'immissione dei veicoli sulla carreggiata (o l'uscita dalla carreggiata) avvenga tramite idonei varchi posti a distanza non inferiore a 30 m tra loro, misurata tra gli assi dei varchi consecutivi. Nei confronti delle intersezioni deve essere rispettata la stessa distanza, misurata tra l'asse del varco e il limite dell'area d'intersezione.
3. Gli accessi alle strade locali urbane (passi carrabili) debbono essere ubicati a distanza non inferiore a 12 m dalle intersezioni, misurata dal limite dell'accesso al limite dell'area d'intersezione.
4. Tali distanze minime debbono essere adottate anche nei confronti dei 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).
5. I comuni hanno la facoltà di autorizzare distanze inferiori a quelle fissate ai commi 2 e 3, per i passi carrabili già esistenti, nel caso in cui sia tecnicamente impossibile procedere all'adeguamento di cui al paragrafo 4, comma 2.
6. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 5 si applicano sia agli accessi e ai passi carrabili che alle diramazioni; per le diramazioni valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.

7.6.2 - Caratteristiche geometriche e funzionali degli accessi alle strade urbane

7. Le strade di servizio debbono collegarsi alla strada urbana di scorrimento mediante varchi a senso unico aventi una larghezza di 4,50 m e formanti un angolo di deviazione non superiore a 30° con l'asse stradale. Sulle strade di scorrimento non sono consentite le manovre di svolta a sinistra, per le quali dev'essere previsto lo sfalsamento altimetrico o il rinvio ad un'intersezione successiva.
8. Le strade di servizio debbono collegarsi alla strada urbana di quartiere mediante varchi a senso unico aventi una larghezza di 4,50 m e formanti un angolo di deviazione non superiore a 30° con l'asse stradale: in questo caso, non sono consentite le manovre di svolta a sinistra, per le quali dev'essere previsto lo sfalsamento altimetrico o il rinvio ad un'intersezione successiva. Nelle strade di quartiere aventi non più di due corsie, gli

accessi o le strade di servizio possono collegarsi con intersezioni a “T” dimensionate secondo i criteri stabiliti per la progettazione delle intersezioni.

9. 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 debbono avere una larghezza minima di 2,50 m. Diversamente, si applicano le prescrizioni di cui al comma 8.a.
10. In corrispondenza del passo carrabile, i bordi del marciapiede debbono essere raccordati con curve circolari di raggio pari a 5,00 m oppure pari alla larghezza del marciapiede, ove quest'ultima sia minore di 5,00 m.
11. La pavimentazione del marciapiede nel tratto attraversato dal passo carrabile dev'essere eseguita con l'impiego di materiale diverso per tipo e per colore; la continuità del piano del marciapiede in corrispondenza del passo carrabile dev'essere preferibilmente mantenuta.
12. Qualora l'accesso alle proprietà laterali sia destinato anche a notevole traffico pedonale, dev'essere prevista una separazione dell'entrata carrabile da quella pedonale.
13. Qualora l'accesso dei veicoli alla proprietà laterale avvenga direttamente dalla strada, il passo carrabile dev'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 5,00 m allo scopo di consentire la sosta, fuori della carreggiata e del marciapiede, di un veicolo in attesa di ingresso. Nel caso in cui, per obiettive impossibilità costruttive o per evitare gravi limitazioni della fruibilità della proprietà privata, non sia possibile arretrare gli accessi, possono essere autorizzati sistemi di apertura automatica dei cancelli o delle serrande che delimitano gli accessi. E' consentito derogare dall'arretramento degli accessi e dall'utilizzo dei sistemi alternativi nel caso in cui le immissioni laterali avvengano su strade senza uscita o comunque con traffico estremamente limitato, per cui le immissioni stesse non possono determinare condizioni di intralcio alla fluidità della circolazione.
14. Le infrastrutture destinate specificamente allo stazionamento delle autovetture (parcheggi, autorimesse e autosili) debbono rispettare le seguenti prescrizioni:
 - 8.a. I passi carrabili delle aree e degli edifici per la sosta aventi capacità non superiore a 15 posti auto debbono avere una larghezza minima di 3,50 m; quelli aventi capacità

uguale o superiore a 15 posti auto debbono avere una larghezza minima di 5,00 m, tale da consentire l'incrocio dei veicoli.

- 8.b. 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 3,50 m. In questo caso, la distanza tra i passi carrabili e le intersezioni dev'essere non inferiore a 30,00 m (dal limite del passo carrabile al limite dell'area d'intersezione); il passo carrabile deve essere adeguatamente illuminato.
- 8.c. Inoltre, nel caso di aree o di edifici per la sosta aventi notevole capacità, si debbono realizzare adeguate zone di accumulo, così da evitare la sosta dei veicoli in ingresso sulla carreggiata o sul marciapiede.
- 8.d. I percorsi interni debbono avere una larghezza non inferiore a quella stabilita per il passo carrabile e debbono avere una pendenza longitudinale non superiore al 15% se scoperti ed al 20% se coperti, con idonei raccordi verticali; nei tratti in curva il raggio interno non dev'essere inferiore a 5,00 m. In ogni caso dev'essere previsto un tratto piano e rettilineo della lunghezza minima di 5,00 m prima del marciapiede.
9. Le disposizioni di cui al comma 8 si applicano anche alle infrastrutture per lo stazionamento delle autovetture situate lungo le strade extraurbane.
10. I passi carrabili per il transito di veicoli pesanti (autocarri, autotreni, etc.) debbono avere caratteristiche geometriche appropriate, da determinarsi in funzione delle specifiche esigenze.
11. Nel caso di transito sistematico e frequente di veicoli pesanti, si debbono adottare una larghezza del passo carrabile di 6,00 - 10,00 m ed innesti sulla carreggiata con raccordo circolare di raggio pari a 6,00 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; in alternativa, è possibile separare l'ingresso e l'uscita con percorso interno a senso unico. In questo caso, la distanza tra i passi carrabili e le intersezioni dev'essere non inferiore a 30,00 m (dal limite del passo carrabile al limite dell'area d'intersezione); il passo carrabile dev'essere adeguatamente illuminato.

12. Gli accessi ad insediamenti residenziali, produttivi, commerciali, turistici e ricreativi di grandi dimensioni debbono essere progettati secondo i criteri stabiliti per la progettazione delle intersezioni in funzione delle caratteristiche geometriche e funzionali della strada, dell'entità e della composizione del traffico che la percorre, del tipo di insediamento e della sua capienza e dei flussi di traffico veicolare previsti in ingresso ed in uscita.
13. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 12 si applicano sia agli accessi e ai passi carrabili che alle diramazioni; per le diramazioni valgono altresì le norme sulle intersezioni stradali.

Accessi e diramazioni - Strade extraurbane

Tipo di strada	A	B	C	F
	Autostrada extraurbana	Extraurbana principale	Extraurbana secondaria	Locale extraurbana
Ammessi	No	Sì	Sì	Sì
Organizzazione accessi	...	Coordinati	Coordinati	Diretti
Distanza minima tra innesti successivi	...	1000	300*	-
Distanza minima tra accesso ed intersezione	...	1000	300*	30

* L'ente proprietario della strada può derogare a tale distanza fino ad un minimo di 100 m.

Accessi e diramazioni - Strade urbane

Tipo di strada	A	D	E	F
	Autostrada urbana	Urbana di scorrimento	Urbana di quartiere	Locale urbana
Ammessi	No	Sì	Sì	Sì
Organizzazione accessi	...	Coordinati	Coordinati	Diretti
Distanza minima tra innesti successivi	...	100	30	-
Distanza minima tra accesso ed intersezione	...	100	30	12

APPENDICE 1

A1

A1 - CONTROLLO DELL'EFFICIENZA GLOBALE (SAFETY AUDIT)

A1.1 - Introduzione

Il Road Safety Audit è l'esame di un progetto stradale o delle caratteristiche di funzionamento di una strada esistente, durante il quale un esaminatore qualificato identifica i potenziali pericoli per ogni categoria di utente. In questa sede ci si limiterà a fornire indicazioni specifiche per l'analisi di sicurezza durante la progettazione ed il collaudo di nuove intersezioni.

Le analisi di sicurezza si svolgono applicando i principi della sicurezza stradale in un'ottica multidisciplinare, considerando ogni tipo di utente: automobilista, motociclista, ciclista, pedone, anziano, bambino, portatore di handicap, ecc.

Le analisi di sicurezza hanno principalmente i seguenti scopi:

- identificare i pericoli che possono insorgere da nuovi progetti;
- identificare i potenziali pericoli nelle strade esistenti;
- assicurare che ci siano tutti gli elementi per ridurre il numero e la gravità degli incidenti;
- garantire che la sicurezza degli utenti sia considerata nelle varie fasi di pianificazione, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione dell'infrastruttura stradale;
- evitare che il nuovo progetto aumenti il pericolo di incidente nelle strade adiacenti e concorrenti;
- sensibilizzare tutti i soggetti coinvolti sul tema della sicurezza.

Con le analisi di sicurezza, i progettisti sono incentivati a valutare i vari aspetti della sicurezza in tutte le fasi del progetto; il controllo del gruppo di esperti (con competenze nel campo della progettazione, della pianificazione del traffico, della segnaletica, dei dispositivi di sicurezza, della protezione delle utenze deboli) consente di migliorare il progetto relativamente ad aspetti molte volte trascurati.

Le analisi di sicurezza devono analizzare il comportamento di tutte le categorie di utenti e metterlo in relazione ai diversi luoghi. L'utente della strada può commettere degli

errori: bisogna, allora, diminuire le opportunità in cui questi si possono verificare e le loro conseguenze.

Per individuare le problematiche occorre porsi le seguenti domande:

- Può essere il progetto/strada male interpretato dagli utenti?
- Può essere il progetto/strada poco leggibile di notte e in condizioni atmosferiche avverse?
- Può il progetto/strada creare confusione?
- Presenta il progetto/strada delle ambiguità?
- Fornisce il progetto/strada poche informazioni agli utenti?
- Fornisce il progetto/strada troppe informazioni agli utenti?
- Presenta il progetto/strada zone in cui c'è insufficiente visibilità?
- Può creare il progetto/strada perdite di tracciato?
- Il progetto/strada non corrisponde alle aspettative degli utenti?
- Trascura il progetto/strada aspetti riguardanti alcune categorie di utenti?

Se nel porsi le precedenti domande una di queste risulta affermativa, occorre svolgere una approfondita analisi per individuare l'origine del problema.

Un ambiente stradale sicuro deve:

- *avvisare* l'utente delle situazioni diverse dalle usuali o comunque non corrispondenti alle norme;
- *informare* l'utente sulle condizioni che incontrerà;
- *guidare* l'utente attraverso soluzioni inusuali;
- *controllare* l'utente nel passaggio attraverso punti di conflitto;
- *perdonare* il comportamento errato dell'utente.

A1.2 - Modalità operative delle analisi di sicurezza

Per migliorare l'integrazione con la progettazione di nuove infrastrutture stradali e con gli interventi sulla viabilità esistente, le analisi di sicurezza vanno affiancate a ciascuno delle seguenti quattro fasi in cui si articola la realizzazione di un'opera:

1. Progetto preliminare
2. Progetto definitivo
3. Progetto esecutivo

4. Fase di collaudo

Le figure che prendono parte alle analisi di sicurezza sono:

- il *committente*: è l'ente o l'organismo che si assume i costi della progettazione, dell'analisi di sicurezza e degli interventi; si identifica con l'Ente Proprietario della strada o con l'Ente Gestore;
- il *progettista*: è il responsabile del progetto e deve giustificare le scelte progettuali effettuate che interagiscono con la sicurezza.
- il *gruppo di analisi*: è costituito da tecnici competenti nel campo dell'ingegneria del traffico, dell'ingegneria stradale, e più in generale della sicurezza stradale; deve identificare le cause di potenziali pericoli connessi con il progetto o con la strada esistente.

Il gruppo di analisi deve valutare attentamente la documentazione che viene fornita dal progettista. Il ricorso alle liste di controllo costituisce un aiuto per individuare i diversi problemi da analizzare e gli aspetti che influiscono maggiormente sulla sicurezza.

A1.3 - Organizzazione delle liste di controllo (check list)

Le liste di controllo consistono nella verifica di diversi fattori che, direttamente o indirettamente, possono essere la causa di eventuali incidenti; essi permettono, al gruppo di analisi, di individuare i potenziali pericoli. Le liste non possono contenere tutti gli elementi da controllare, ma rappresentano, comunque, uno strumento per individuare la maggior parte dei problemi.

Le liste di controllo non devono, e non possono, essere sostituite all'esperienza e alla competenza necessarie per svolgere una verifica.

Le liste di controllo vengono compilate separatamente per ogni stato di definizione dell'opera; contengono la descrizione degli aspetti da esaminare e lo scopo dei controlli stessi.

La lista di controllo di una specifica fase è suddivisa in più liste particolari che contengono temi diversi: all'interno di questi si elencano i principali elementi da esaminare.

Con riferimento alle intersezioni i temi delle liste di controllo principalmente sono:

- aspetti generali;
- geometria;
- pavimentazioni;
- segnaletica e illuminazione;
- margini;
- utenze deboli;
- accessi;
- parcheggi ed aree di sosta.

Gli elementi da analizzare diventano più numerosi e dettagliati in base al livello di attenzione ed approfondimento necessari.

Di seguito si riportano le liste di controllo relative alle fasi di progetto e collaudo specificatamente formulate per l'analisi di sicurezza delle intersezioni.

A1.4 - Check list per l'analisi di sicurezza delle intersezioni

Layout e precedenza

Il disegno di un'intersezione deve essere semplice e comprensibile per tutti gli utenti. Quando si modificano le regole delle precedenza sono necessarie segnalazioni visive aggiuntive per richiamare l'attenzione su questa particolarità.

Le rotatorie sono delle intersezioni con una serie particolare di regole sulle precedenza: è essenziale, quindi, che esse siano riconosciute come tali.

All'interno di intersezioni non regolate (quindi con semplici precedenza), è facile confondere gli automobilisti con complicate disposizioni di isole direzionali e segnali di pericolo: questi elementi devono essere disposti nel modo più semplice e ragionevole possibile.

Visibilità

La visibilità deve essere adeguata al tipo di traffico e si deve evitare che questa sia impedita a causa di edifici ed arredi urbani o simili.

E' necessario che le segnalazioni di controllo siano ben visibili: ad esempio, le linee di demarcazione dei margini stradali, nelle curve o in altre zone, non devono essere nascoste da elementi dell'ambiente circostante. La segnaletica e le linee di demarcazione devono guidare con sicurezza l'automobilista nelle posizioni per svolgere le manovre in modo corretto.

E' meglio evitare congiunzioni a Y, intersezioni con angoli acuti, improvvisi restringimenti, così come intersezioni all'interno di curve.

Infine, è opportuno non ridurre la velocità dei veicoli, che si inseriscono all'interno delle intersezioni, con il ricorso a soli segnali di limitazione della velocità: questa situazione deve essere prevista, quindi analizzata, già durante la fase di progetto.

Accessi alle intersezioni

Nel caso delle rotatorie, è buona regola cominciare le isole direzionali abbastanza prima dell'isola centrale in modo che le corsie di accesso siano ben evidenziate.

Bisogna provvedere a sicuri punti di passaggio per pedoni e ciclisti: ad esempio, le isole spartitraffico permettono alle persone di attraversare le strade affrontando i flussi veicolari separatamente per ogni direzione di marcia, stando in sicurezza sull'isola.

Appropriati raggi delle curve di immissione evitano eccessive velocità, pericolose per i pedoni.

Le liste di controllo proposte indicano gli elementi più importanti da analizzare, nelle diverse fasi di progettazione di un'intersezione e durante il collaudo della stessa. In questo modo, il gruppo di analisi dispone di uno strumento di controllo per realizzare in sicurezza l'infrastruttura.

PROGETTO PRELIMINARE

<u>ASPETTI GENERALI</u>	<ul style="list-style-type: none">- Il luogo di realizzazione dell'intersezione è adeguato allo scopo, alle caratteristiche dell'ambiente circostante ed alla topografia?- L'ubicazione dell'intersezione rispecchia le aspettative degli utenti?- La funzione dell'intersezione è ben delineata all'interno della rete, è stata correttamente definita?- La zona dell'intersezione può disturbare od essere disturbata dai fasci luminosi dei flussi veicolari?
<u>GEOMETRIA</u>	<ul style="list-style-type: none">- Costrizioni fisiche o di visibilità influenzano la scelta oppure l'estensione dell'intersezione?- Il disegno dell'intersezione è leggibile da parte degli utenti?- Il tipo di intersezione scelta è adeguato al volume ed alla composizione del traffico previsti?- L'intersezione permette un regolare deflusso del traffico previsto?- La tipologia dell'intersezione risulta adeguata per tutte le soluzioni intermedie di sviluppo del progetto?- L'andamento altimetrico e planimetrico e le sezioni sono adeguate ai volumi ed alla composizione del traffico previste?- Le norme in vigore circa la geometria dell'intersezione sono state rispettate?
<u>UTENZE DEBOLI</u>	<ul style="list-style-type: none">- I percorsi pedonali e ciclabili sono adeguati?- Gli attraversamenti sono ben visibili da parte dei veicoli?

<u>ACCESSI</u>	– Ci sono accessi posti in prossimità dell'intersezione? La loro localizzazione può causare pericolo per i veicoli che si approssimano allo svincolo?
<u>PARCHEGGI E SOSTA</u>	– Gli ingressi e le uscite dei parcheggi o delle aree di sosta posti in prossimità dell'intersezione sono correttamente localizzati?
	– Le potenziali code dei veicoli ed i flussi pedonali generati dai parcheggi interferiscono con le funzioni dell'intersezione?
	– Le possibili soste dei veicoli in prossimità dell'intersezione consentono un regolare deflusso e le manovre di svolta per tutti i tipi di veicoli?

PROGETTO DEFINITIVO

<u>ASPETTI GENERALI</u>	– Il luogo di realizzazione dell'intersezione è adeguato allo scopo, alle caratteristiche dell'ambiente circostante ed alla topografia?
	– Vi sono altre intersezioni a breve distanza?
	– La funzione dell'intersezione è ben delineata all'interno della rete, è stata correttamente definita?
	– Si possono verificare particolari condizioni ambientali, come ad esempio la nebbia, che impediscono una buona visibilità in prossimità dello svincolo? Può essere opportuno adottare dei dispositivi di ausilio per la guida in presenza di nebbia?
	– In prossimità dello svincolo ci sono cavi aerei dell'alta tensione posti ad una distanza non sufficiente rispetto alla sagoma limite prevista per i vari tipi di strade che si incrociano?
	– La zona dell'intersezione può disturbare od essere disturbata dai fasci luminosi dei flussi veicolari?

<u>GEOMETRIA</u>	- L'ubicazione dello svincolo è corretta dal punto di vista della topografia della zona e della configurazione plano-altimetrica del tracciato?
	- L'intersezione risulta idonea per tutte le soluzioni intermedie di sviluppo del progetto?
	- L'aspetto geometrico dello svincolo tiene conto della classe delle strade interessate e del tipo di traffico previsto?
	- Il disegno dello svincolo è semplice e comprensibile da qualunque direzione si provenga e per tutte le categorie di utenti?
	- La visibilità è assicurata in tutte le direzioni di interesse dello svincolo e per ogni categoria di utente?
	- L'intersezione permette un regolare deflusso del traffico previsto?
	- Le manovre consentite sono chiare e facilmente eseguibili?
	- La velocità di progetto nell'intersezione è appropriata?
	- La geometria è adeguata alla velocità di approccio dell'intersezione?
	- Il passaggio dalla velocità di percorrenza del tracciato alla velocità di progetto in prossimità dell'intersezione avviene in maniera graduale?
	- Controllare gli aspetti che riguardano la lunghezza, la larghezza, il tracciato e la visibilità delle corsie di accelerazione e di decelerazione. Le dimensioni delle corsie sono adeguate alle manovre di tutti i veicoli?
	- Possono essere necessarie corsie di canalizzazione? Il numero delle corsie di canalizzazione è adeguato al tipo di intersezione ed al volume di traffico previsto?
	- Le corsie di canalizzazione sono geometricamente corrette e collocate adeguatamente?
	- Su strade a due o più corsie per ogni senso di marcia sono previste le corsie per la svolta a sinistra? Gli spazi sono adeguati allo scopo?
	- Ci sono restringimenti delle corsie in prossimità dell'intersezione determinati da particolari situazioni? Possono insorgere dei problemi di sicurezza?
	- L'intersezione è interessata dal transito di mezzi pubblici? La geometria delle corsie ne tiene conto?
	- In corrispondenza delle uscite dalle autostrade, o dalle strade extraurbane principali, la potenziale coda dei veicoli va ad interessare la carreggiata?
- Le pendenze trasversali adottate evitano la formazione dei ristagni d'acqua all'interno dell'intersezione?	
- Le norme in vigore circa la geometria dell'intersezione sono state rispettate?	

<u>PAVIMENTAZIONE</u>	- Le caratteristiche superficiali di aderenza e di regolarità garantiscono un buon livello di sicurezza nella zona di interesse dell'intersezione?
	- La pavimentazione prevista nel progetto è idonea per la sicurezza delle diverse componenti di utenza?
	- All'interno dell'intersezione può essere opportuno adottare una pavimentazione di tipo diverso, sia come materiali che come colorazione, rispetto al resto del tracciato?
	- Il tipo di manto scelto garantisce il deflusso dell'acqua nella zona di interesse dello svincolo?
<u>SEGNALETICA E ILLUMINAZIONE</u>	- La segnaletica proposta è appropriata al tipo di intersezione?
	- La segnaletica è posizionata in modo tale che sia leggibile e visibile da una distanza ragionata rispetto all'intersezione (né troppo vicina, né troppo lontana)?
	- I punti luce sono posizionati in modo tale che ci sia una razionale illuminazione della zona dello svincolo?
<u>UTENZE DEBOLI</u>	- I percorsi pedonali e ciclabili esistenti nell'intersezione sono adeguati? Generano pericolo alla circolazione dei veicoli?
	- Gli attraversamenti sono ben visibili da parte dei veicoli?
	- Sono previste isole per la protezione dei pedoni e dei ciclisti?
<u>ACCESSI</u>	- Ci sono accessi posti in prossimità dell'intersezione? La loro localizzazione è corretta rispetto all'intersezione?
	- E' sufficiente la visibilità in corrispondenza degli accessi posti in prossimità dell'intersezione?
<u>PARCHEGGI E SOSTA</u>	- Gli ingressi e le uscite dei parcheggi o delle aree di sosta posti in prossimità dell'intersezione sono correttamente localizzati?
	- Le potenziali code dei veicoli ed i flussi pedonali generati dai parcheggi interferiscono con le funzioni e con la visibilità dell'intersezione?
	- Le possibili soste dei veicoli in prossimità dell'intersezione consentono un regolare deflusso e le manovre di svolta per tutti i tipi di veicoli? Possono ostacolare la visibilità?

PROGETTO ESECUTIVO

<u>ASPETTI GENERALI</u>	<ul style="list-style-type: none">- Il luogo di realizzazione dell'intersezione è adeguato allo scopo, alle caratteristiche dell'ambiente circostante ed alla topografia?- Si possono verificare particolari condizioni ambientali, come ad esempio la nebbia, che impediscono una buona visibilità in prossimità dello svincolo? Può essere opportuno adottare dei dispositivi di ausilio per la guida in presenza di nebbia?- La zona dell'intersezione può essere soggetta a ghiaccio e a neve, oppure può risultare particolarmente scivolosa in caso di pioggia? Questi fenomeni vengono opportunamente segnalati?- In prossimità dello svincolo ci sono cavi aerei dell'alta tensione posti ad una distanza non sufficiente rispetto alla sagoma limite prevista per i vari tipi di strade che si incrociano?- La zona dell'intersezione può disturbare od essere disturbata dai fasci luminosi dei flussi veicolari?- Nel caso di una rotonda, controllare che la velocità di circolazione all'interno dell'anello si mantenga sempre al di sotto dei 50 km/h.
-------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<u>GEOMETRIA</u>	- Gli elementi geometrici dell'intersezione rispondono alle indicazioni delle norme?
	- L'aspetto geometrico dello svincolo tiene conto della classe delle strade interessate e del tipo di traffico previsto?
	- Controllare la capacità del progetto nel trattare senza pericolo inusuali composizioni di traffico o circostanze particolari.
	- La velocità di progetto nell'intersezione è appropriata?
	- La geometria è adeguata alla velocità di approccio dell'intersezione?
	- Il passaggio dalla velocità di percorrenza del tracciato alla velocità di progetto in prossimità dell'intersezione avviene in maniera graduale?
	- La visibilità è assicurata in tutte le direzioni di interesse dello svincolo e per ogni categoria di utente?
	- Il disegno dello svincolo è semplice e comprensibile da qualunque direzione si provenga e per tutte le categorie di utenti?
	- Le manovre consentite sono chiare e facilmente eseguibili?
	- Controllare gli aspetti che riguardano la lunghezza, la larghezza, il tracciato e la visibilità delle corsie di accelerazione e di decelerazione. Le dimensioni delle corsie sono adeguate alle manovre di tutti i veicoli?
	- Possono essere necessarie corsie di canalizzazione? Il numero delle corsie di canalizzazione è adeguato al tipo di intersezione ed al volume di traffico previsto?
	- Le corsie di canalizzazione sono geometricamente corrette e collocate adeguatamente?
	- Sono state prese in considerazione nelle manovre di svolta le aree di ingombro dei veicoli pesanti?
	- E' ben comprensibile dove devono disporsi gli automobilisti che iniziano la manovra di svolta?
	- Ci sono restringimenti delle corsie in prossimità dell'intersezione determinati da particolari situazioni? Possono insorgere dei problemi di sicurezza?
	- Quando il numero di corsie si riduce dopo l'intersezione è previsto un adeguato raccordo? La riduzione del numero di corsie è ben visibile?
	- Le pendenze trasversali adottate possono evitare la formazione dei ristagni d'acqua all'interno dell'intersezione?
- Esaminare il progetto delle opere di drenaggio e la loro interazione con gli elementi dell'intersezione.	
- Nel caso di una rotatoria, il diametro e la conformazione dell'isola centrale permettono ai veicoli di circolare agevolmente?	

<u>PAVIMENTAZIONE</u>	<ul style="list-style-type: none"> - L'intersezione necessita di un manto con valori di aderenza superiori alla media del tracciato? Può essere opportuno adottare un manto ad alta aderenza per i tratti di decelerazione in prossimità dell'intersezione? - Le caratteristiche superficiali di regolarità garantiscono un buon livello di sicurezza nella zona di interesse dell'intersezione? - All'interno dell'intersezione è opportuno adottare una pavimentazione di tipo diverso, sia come materiali che come colorazione, rispetto al resto del tracciato? - Può essere opportuno applicare delle bande rumorose sulla pavimentazione nei tratti di decelerazione in prossimità dell'intersezione? - Si è provveduto allo smaltimento dell'acqua in modo tale da non compromettere l'aderenza?
<u>SEGNALETICA E ILLUMINAZIONE</u>	<ul style="list-style-type: none"> - La segnaletica proposta è appropriata al tipo di intersezione? - La segnaletica è posizionata in modo tale che sia leggibile e visibile da una distanza ragionata rispetto all'intersezione (né troppo vicina, né troppo lontana)? - La segnaletica può impedire la visibilità dello svincolo? - Gli utenti possono essere confusi dalla presenza di altri segnali simili nell'aspetto posti all'interno dell'intersezione o in prossimità della stessa? - I punti luce sono posizionati in modo tale che ci sia una razionale illuminazione della zona dello svincolo? - La segnaletica orizzontale e verticale e l'illuminazione corrispondono alle normative vigenti?
<u>MARGINI</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Si è prevista la protezione di tutti gli ostacoli posti ad una distanza inferiore di quella di sicurezza rispetto ai margini dell'intersezione? - Si è provveduto alla protezione dei punti singolari con adeguati dispositivi di ritenuta? - Le barriere di sicurezza interagendo con altri elementi diminuiscono il livello di sicurezza dell'intersezione?

(PROGETTO ESECUTIVO ...continua)

<u>UTENZE DEBOLI</u>	- Gli attraversamenti pedonali e ciclabili in prossimità dell'intersezione sono coordinati adeguatamente con i rispettivi percorsi in modo che non venga compromessa la sicurezza dello svincolo?
	- Gli attraversamenti sono ben visibili da parte dei veicoli?
	- E' compatibile la velocità di progetto dei veicoli che si approssimano all'intersezione con il tipo di attraversamento presente?
	- Sono previste isole per la protezione dei pedoni e dei ciclisti? Sono sufficientemente ampie da permettere l'attesa?
	- I percorsi pedonali vengono interrotti dallo svincolo generando possibili invasioni delle corsie da parte dei pedoni?
	- I percorsi pedonali e ciclabili esistenti nell'intersezione sono adeguatamente segnalati? Sono adeguati per il tipo di intersezione? Generano pericolo alla circolazione dei veicoli?
<u>ACCESSI</u>	- Gli accessi posti in prossimità dell'intersezione sono ben visibili? La loro localizzazione è corretta rispetto all'intersezione?
	- E' sufficiente la visibilità in corrispondenza degli accessi posti in prossimità dell'intersezione?
	- La presenza degli accessi può creare code in prossimità dell'intersezione?
	- Le code che si possono formare interagiscono in modo negativo con il funzionamento dello svincolo? Possono causare situazioni pericolose?
<u>PARCHEGGI E SOSTA</u>	- Le entrate e le uscite dei parcheggi posti in prossimità dell'intersezione sono ben visibili? Esse sono ben localizzate?
	- Le manovre di ingresso e di uscita dai parcheggi possono impedire il regolare deflusso dei veicoli attraverso lo svincolo?
	- In prossimità dell'intersezione è frequente la sosta di veicoli che può ostacolare la visibilità?
	- Le possibili soste dei veicoli in prossimità dell'intersezione sono compatibili con un regolare deflusso e con le manovre di svolta?
	- Le segnalazioni dei parcheggi e delle aree di sosta possono provocare frenate o svolte improvvise pericolose per i veicoli che si approssimano all'intersezione?
	- Controllare la sicurezza nelle zone dove i veicoli possono sostare, inclusi bus e taxi, quando queste sono situate all'interno dell'area dell'intersezione.

FASE DI COLLAUDO

<u>ASPETTI GENERALI</u>	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="478 741 1302 920">– Quando ci si approssima all’intersezione si è consapevoli della presenza della stessa? L’intersezione è evidenziata dall’ambiente circostante, come ad esempio dall’interruzione delle costruzioni oppure della vegetazione?<li data-bbox="478 920 1302 1099">– Nebbia, possibili allagamenti, elevata scivolosità dopo piogge abbondanti e altre condizioni ambientali potenzialmente pericolose possono compromettere il livello di sicurezza dell’intersezione? Questi fenomeni sono opportunamente segnalati?<li data-bbox="478 1099 1302 1178">– E’ opportuno adottare dei dispositivi di ausilio per la guida in presenza di nebbia?<li data-bbox="478 1178 1302 1247">– La zona dell’intersezione può disturbare od essere disturbata dai fasci luminosi dei flussi veicolari?
-------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<u>GEOMETRIA</u>	- Lo svincolo è stato realizzato correttamente? Si verificano difetti ottici?
	- L'aspetto geometrico dello svincolo tiene conto della classe delle strade interessate e del tipo di traffico previsto?
	- Controllare gli aspetti che riguardano la lunghezza, la larghezza, il tracciato e la visibilità delle corsie di accelerazione e di decelerazione. Le dimensioni delle corsie sono adeguate alle manovre di tutti i veicoli?
	- Le corsie di accelerazione e di decelerazione sono state realizzate correttamente?
	- Le corsie di canalizzazione sono geometricamente corrette e collocate adeguatamente? Sono state realizzate correttamente?
	- Le corsie di svolta a sinistra prevedono un tratto di transizione in ingresso sufficientemente lungo?
	- Quando il numero di corsie si riduce dopo l'intersezione è previsto un adeguato raccordo? La riduzione del numero di corsie è ben visibile?
	- Le manovre consentite sono chiare e facilmente eseguibili?
	- Affrontando lo svincolo, gli utenti possono avere incertezze di comportamento tali da provocare manovre scorrette? E' comprensibile dove devono disporsi gli automobilisti che iniziano la manovra di svolta?
	- Lo svincolo garantisce una regolare circolazione del traffico previsto?
	- La velocità operativa in prossimità dell'intersezione può superare di molto quella prevista nel progetto?
	- La velocità di progetto nell'intersezione è appropriata?
	- Le potenziali code che si possono formare in corrispondenza dello svincolo sono visibili da distanze adeguate per l'arresto dei veicoli che sopraggiungono?
	- E' garantita una buona visibilità alle diverse tipologie di utenti e per i diversi rami di approccio allo svincolo?
	- L'intersezione è ben visibile sia di giorno che di notte?
	- La visibilità in prossimità e all'interno dell'intersezione è ostacolata da elementi di arredo, di ritenuta o simili?
	- Tra l'intersezione in esame e quella eventualmente consecutiva c'è una distanza tale da garantire la visibilità per il sorpasso?
	- Si sono adottate corrette pendenze trasversali e dispositivi di smaltimento tali da facilitare l'evacuazione dell'acqua piovana?

<u>PAVIMENTAZIONE</u>	- In prossimità dell'intersezione si rilevano valori dell'aderenza non idonei a garantire una sufficiente sicurezza nella circolazione? E' opportuno adottare un manto ad alta aderenza per i tratti di decelerazione in prossimità dell'intersezione?
	- All'interno dell'intersezione è opportuno adottare una pavimentazione di tipo diverso, sia come materiali che come colorazione, rispetto al resto del tracciato?
	- Le variazioni delle caratteristiche superficiali della pavimentazione in prossimità dell'intersezione avvengono in modo improvviso? Possono generare quindi rallentamenti bruschi?
	- Può essere opportuno applicare delle bande rumorose sulla pavimentazione nei tratti di decelerazione in prossimità dell'intersezione?
	- La qualità della pavimentazione, con particolare riferimento alle eventuali irregolarità, garantisce un buon livello di sicurezza all'intersezione?
<u>SEGNALETICA E ILLUMINAZIONE</u>	- La segnaletica è appropriata al tipo di intersezione?
	- La segnaletica in prossimità dell'intersezione è ben visibile e leggibile sia durante il giorno che nelle ore notturne?
	- La segnaletica orizzontale è stata tracciata correttamente? La segnaletica verticale è disposta adeguatamente?
	- I potenziali utenti possono essere confusi dalla presenza di altri segnali simili nell'aspetto posti all'interno dell'intersezione o in prossimità della stessa?
	- Gli impianti di illuminazione sono adeguati al tipo di intersezione? Garantiscono un'efficace illuminazione allo svincolo?
<u>MARGINI</u>	- I margini dell'intersezione sono ben evidenti?
	- I margini della pavimentazione sono stabili? Sono esenti da perdite di materiale?
	- Ci sono elementi fissi od ostacoli non protetti ai margini dell'intersezione?
	- Sono presenti scarpate in roccia non protette?
	- Le scarpate presenti nelle vicinanze dell'intersezione possono manifestare problemi di stabilità, pericolo di cadute di materiale, sono poste troppo vicino all'intersezione?
	- Si è provveduto alla protezione dei punti singolari con adeguati dispositivi di ritenuta?
	- L'intersezione è posta in prossimità di canali o corsi d'acqua la cui sistemazione idraulica è dubbia o poco convincente, e quindi può essere interessata da allagamenti?

<u>MARGINI</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Occorre verificare le condizioni di installazione delle barriere di sicurezza eventualmente presenti. Le barriere di sicurezza sono correttamente ancorate al terreno? - Le barriere di sicurezza hanno un adeguato spazio per deformarsi (working width)?
<u>UTENZE DEBOLI</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Gli attraversamenti pedonali e ciclabili in prossimità dell'intersezione sono coordinati adeguatamente con i rispettivi percorsi in modo che non sia compromessa la sicurezza dello svincolo? Ci sono elementi che limitano la visibilità in corrispondenza degli attraversamenti? - E' compatibile la velocità di progetto dei veicoli che si approssimano all'intersezione con il tipo di attraversamento eventualmente presente? - I pedoni ed i ciclisti che si immettono sulla carreggiata sono visibili da una distanza sufficiente? - I percorsi pedonali interrotti dallo svincolo possono generare l'invasione delle corsie da parte dei pedoni? - Le piste presenti nell'intersezione sono efficacemente segnalate? Sono leggibili e visibili da parte dei veicoli che affrontano lo svincolo? - I pedoni ed i ciclisti trovano senza difficoltà la via prevista per loro nell'intersezione?
<u>ACCESSI ED ELEMENTI DI CONTORNO</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Gli accessi in prossimità dell'intersezione sono ben visibili? - La presenza degli accessi può creare code in prossimità dell'intersezione? - Gli elementi di contorno alla strada, come ad esempio l'illuminazione delle strade adiacenti, possono influenzare la percezione visiva dell'intersezione?
<u>PARCHEGGI E SOSTA</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Le entrate e le uscite dei parcheggi in prossimità dell'intersezione sono ben visibili? La segnaletica è congruente? - Le segnalazioni dei parcheggi e delle aree di sosta possono provocare frenate o svolte improvvise pericolose per i veicoli che si approssimano all'intersezione? - La presenza di vegetazione ostacola la visibilità delle entrate e delle uscite dei parcheggi ai veicoli che approcciano lo svincolo? - Il regolare deflusso dei veicoli attraverso lo svincolo può essere compromesso dalle manovre di ingresso e di uscita dai parcheggi? - La sosta dei veicoli ostacola le manovre di svolta?
	<ul style="list-style-type: none"> - La sosta dei veicoli in corrispondenza dell'intersezione costituisce un ostacolo alla visibilità?

APPENDICE 2

A2

A2 – ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI

A2.1 INCIDENTI STRADALI DI NOTTE

Il numero degli incidenti di notte è quasi uguale a quello di giorno, nonostante i chilometri percorsi di notte siano ben minori (meno di un terzo) di quelli di giorno. Inoltre, le loro conseguenze sono generalmente più gravi in termini di morti e feriti. Nei week-end questa differenza si accentua maggiormente. Ciò vale non solo per il traffico urbano ma anche per le strade rurali e per le strade e superstrade extraurbane.

La causa principale di ciò sta nel fatto che l'oscurità fa diminuire la qualità e la quantità delle informazioni visive che servono al conducente per guidare. Diminuiscono, infatti, prestazione visiva, acuità visiva, sensibilità al contrasto, capacità di valutare le distanze, velocità della percezione, distinzione dei colori e tolleranza all'abbagliamento. Il risultato finale è una drastica riduzione della visibilità di notte.

I fari dei veicoli non bastano a fornire al conducente le informazioni visive necessarie a guidare con sicurezza ed efficienza, specialmente quando le strade sono trafficate e a geometria complessa. Inoltre, a elevate velocità di guida, la loro portata non è sufficiente a rilevare in tempo debito oggetti sulla strada o nelle vicinanze.

All'aumento degli incidenti di notte contribuiscono anche fattori non visivi, come il cattivo tempo, che interagiscono negativamente con l'oscurità.

Altre cause dell'aumento degli incidenti di notte sono l'uso di alcool, stanchezza, maggior numero di conducenti giovani.

Studi dei processi di acquisizione delle informazioni visive provenienti da uno scenario stradale hanno mostrato che la visibilità di un oggetto dipende principalmente dal livello di illuminazione, ma anche dall'uniformità e dal grado di abbagliamento.

A2.2 EFFETTI DELL'ILLUMINAZIONE E COSTI / BENEFICI

Per tutto quanto esposto nel paragrafo precedente, appare verosimile che il miglioramento della visibilità dovuta ad un'illuminazione adeguatamente progettata e

manutenuta sia un'efficace contromisura contro gli incidenti. Ciò è confermato dalla stragrande maggioranza (85%) dei numerosi studi condotti in vari paesi sul rapporto tra illuminazione e incidenti, secondo i quali l'illuminazione comporta, in via generale, una riduzione del numero degli incidenti notturni, nonché della loro gravità, compresa tra il 13 e il 75%, a seconda della classe della strada. In particolare, tali studi riportano una riduzione media degli incidenti nelle intersezioni e simili non inferiore al 40%. Questo valore, in assenza di dati locali specifici, può essere utilizzato per analisi costi/benefici, studi di fattibilità e simili.

L'entità della riduzione dipende anche dalla qualità dell'illuminazione, sebbene le relazioni tra i parametri illuminotecnici correntemente utilizzati per descriverla e la riduzione degli incidenti non siano state ancora del tutto individuate.

Una conferma indiretta del beneficio dell'illuminazione viene dall'osservazione che, quando essa viene spenta (ad es., per ragioni di economia), il numero degli incidenti aumenta.

Un altro risultato importante delle ricerche condotte sull'argomento che spesso un'illuminazione adeguata è un investimento economicamente produttivo, poiché la riduzione degli incidenti ad essa dovuta comporta un risparmio economico ben maggiore del suo costo complessivo (installazione + esercizio) valutato nell'arco di tempo della durata di un impianto.

Ciò vale particolarmente per le arterie stradali, specie quelle urbane, nelle quali l'impianto di illuminazione si ripaga velocemente. Ciò senza contare altri benefici, come la riduzione delle sofferenze causate da morte e ferimenti, il possibile aumento dell'efficienza del traffico, la prevenzione del crimine e il miglioramento estetico dei siti. E' ovvio che nella valutazione dei costi e dei benefici vanno considerati anche gli incidenti indotti dai pali dell'illuminazione, che tuttavia è possibile minimizzare con vari accorgimenti, tra cui l'utilizzo di interdistanze tra i centri luminosi le maggiori possibili compatibilmente con le altre specifiche di progetto, e l'impiego di sostegni cedibili.

Secondo alcuni studi, l'illuminazione sulle arterie urbane è economicamente giustificata se gli incidenti di notte ammontano a circa 1 per chilometro per anno o se il traffico medio giornaliero annuale supera i 10.000 veicoli. Per le strade extraurbane e per

le autostrade, queste figure sono un po' più elevate. Comunque, valori locali più precisi possono derivarsi dai costi specifici relativi ad un particolare paese e località.

In bibliografia è riportata una selezione, da [1] a [20], di pubblicazioni a favore dell'illuminazione come misura efficace di prevenzione degli incidenti. Sono anche forniti gli estremi di una delle poche pubblicazioni secondo le quali l'illuminazione in alcuni casi è controproducente[21].

A2.3 SITUAZIONE NORMATIVA

In Italia, vi è una unica norma tecnica in materia di pubblica illuminazione, cioè la UNI 10439/95 [22], la quale tuttavia tratta solo dei requisiti per strade rettilinee in genere, trascurando aree critiche come le intersezioni.

La letteratura tecnica specializzata, inclusa quella americana [23], affronta il problema, limitandosi, però, a indicazioni spesso generiche.

Indicazioni più precise, invece, sono fornite nella pubblicazione 115/1995 della Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) [24], delle quali si è tenuto conto in qualche misura nell'elaborare le ipotesi di requisiti illuminotecnici per le intersezioni indicate nel seguito.

A2.4 PRINCIPALI PARAMETRI DI QUALITÀ DELL'ILLUMINAZIONE STRADALE

I più importanti parametri di qualità dell'illuminazione stradale secondo le attuali normative nazionali e internazionali, qui adattate al caso di aree come le intersezioni, sono:

- livello di luminanza;
- uniformità di distribuzione delle luminanze;
- grado di limitazione dell'abbagliamento debilitante;
- spettro di emissione delle lampade;

- guida ottica.

Livello di luminanza. Dal livello di luminanza dipende il potere di rivelazione, inteso come percentuale di un insieme definito di oggetti percepibile dal conducente in ogni punto della strada. Il potere di rivelazione aumenta all'aumentare della luminanza media del manto stradale, con andamento dipendente dall'uniformità e dal grado di abbagliamento debilitante prodotto dall'impianto. Per strade rettilinee, con manto asciutto, la citata norma UNI 10439/95 prevede vari livelli di luminanza a seconda del tipo di strada.

Uniformità di luminanza. Generalmente, il parametro utilizzato per descrivere la distribuzione delle luminanze sulla superficie stradale il rapporto $U_o = L_{\min}/L_m$, dove L_{\min} è la luminanza puntuale minima e L_m è quella media sull'intera superficie stradale. Il potere di rivelazione cresce con U_o , con andamento dipendente anche dal grado di abbagliamento debilitante. La UNI 10439 prevede un valore per U_o non inferiore a 0.4 per tutti i tipi di strade.

Abbagliamento debilitante. L'effetto dell'abbagliamento debilitante è quello di ridurre notevolmente il potere di rivelazione. Il parametro generalmente utilizzato per quantificare l'abbagliamento debilitante è l'indice TI. La UNI 10439 raccomanda, sempre per tronchi di strade rettilinei, un valore non superiore a 10 per le autostrade e strade extraurbane, non superiore a 20 per gli altri tipi di strade urbane.

Spettro di emissione delle lampade. I tipi di sorgenti luminose ritenuti idonei per l'illuminazione stradale sono numerosi e differiscono considerevolmente tra di loro per la composizione spettrale della luce emessa. La "distanza di visibilità" dipende sensibilmente dallo spettro di emissione.

Dallo spettro di emissione inoltre dipendono:

- l'acuità visiva;
- l'impressione di luminosità a parità di luminanza della superficie stradale;
- la velocità di percezione;
- il tempo di recupero visivo dopo essere stati soggetti ad abbagliamento.

Secondo recenti ricerche, è infondato il criterio secondo cui le lampade a vapori di sodio, assai largamente utilizzate per illuminazione pubblica, sono le più efficienti in termini di rapporto visibilità degli oggetti/costo totale annuo.

Guida ottica. Per guida ottica s'intende la capacità di un impianto di illuminazione di dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire fino ad una distanza che dipende dalla massima velocità permessa su quel tronco di strada. La guida ottica contribuisce alla sicurezza e alla facilità della guida. Perciò, essa è particolarmente importante per le intersezioni.

Tra i fattori che influiscono sulla guida ottica nelle intersezioni vi sono il colore della luce, l'altezza dei pali, il livello di luminanza, la disposizione dei centri luminosi.

Di notte, su una strada non illuminata, la guida ottica è limitata all'area coperta dai fari del veicolo.

Come già detto, non è ancora completa la conoscenza delle relazioni tra riduzione degli incidenti e i suddetti parametri. Tuttavia, è ormai acquisito che gli incidenti diminuiscono all'aumentare della luminanza, e che ciò avviene fino ad un certo livello, parecchie volte maggiore di quello indicato dalle normative attuali nazionali e internazionali, oltre il quale non si verificano ulteriori riduzioni. Un altro parametro di qualità è l'uniformità di illuminazione sulla superficie dell'area che si considera. Tuttavia, quando l'uniformità è elevata, il beneficio associato ad un dato livello di illuminazione è minore.

Allo stato, sono disponibili scarse informazioni sull'influenza di altri parametri di qualità, come l'abbagliamento.

A2.5 REQUISITI DELL'ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI E ASPETTI PROGETTUALI

Le intersezioni sono punti cruciali di una rete stradale. Esse perciò, più ancora dei tronchi stradali rettilinei, possono avvantaggiarsi dei benefici indotti da una corretta illuminazione. Qui i requisiti per una "corretta illuminazione" sono ancora più stringenti che nel caso delle strade normali.

L'illuminazione dovrebbe rivelare l'esistenza della intersezione, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione dei marciapiedi, la presenza di pedoni e altri utenti, le ostruzioni, il movimento di veicoli nelle vicinanze dell'area della intersezione.

Il criterio attualmente più diffuso posto a base del dimensionamento degli impianti di illuminazione stradale è quello della luminanza.

Secondo la pubblicazione CIE 115/95, il livello di luminanza dovrebbe essere di un grado più elevato di quello previsto per la strada più importante dell'intersezione.

Tenendo conto di ciò, in tabella 1 è formulata un'ipotesi di requisiti illuminotecnici per le intersezioni (manti stradali asciutti), elaborata sulla base della norma UNI 10439/1995 e del relativo progetto di aggiornamento (settembre 2000) relativi alle strade con traffico motorizzato.

Tab. 1 Requisiti illuminotecnici per le intersezioni in funzione della strada più importante dell'intersezione (indicata nella 1^a colonna)

	L_m (cd/m ²)	U_o	TI%
Autostrade extraurbane e urbane; strade principali extraurbane; strade secondarie extraurbane; strade urbane di scorrimento veloce; strade urbane interquartiere	2	0.4	10
Strade urbane di scorrimento e di quartiere; strade extraurbane locali	1.5	0.4	10
Strade urbane locali interzonali	1	0.4	10
Strade urbane locali	0.75	0.4	15

- L_m : luminanza minima media mantenuta sulla superficie dell'intersezione;
- U_o : minimo rapporto di uniformità L_{min}/L_m sulla superficie dell'intersezione;
- TI: massimo incremento di soglia (da valutare a impianto nuovo).

Si noti che in tabella è stato omesso l'indice di abbagliamento molesto G considerato in UNI 10439, perché tale parametro oggi è ritenuto superato ed impreciso.

Spesso, il criterio della luminanza non è applicabile alle intersezioni, perché, ad es., le distanze di osservazione sono piccole o per la difficoltà di calcolo. In tali casi, può essere utilizzato un criterio, più semplice, basato sull'illuminamento.

Una base da cui partire per stabilire i requisiti in termini di illuminamento è quella proposta dalla CIE (pubb. 115/95) e riportata in tabella 2. Tali requisiti sono dati per cinque classi di intersezioni.

Tab. 2 Requisiti illuminotecnici in termini di illuminamento per le classi di intersezioni stradali previsti da CIE 115/95

Classe dell'intersezione	\bar{E} (lx)	U_0
C ₀	50	0.40
C ₁	30	0.40
C ₂	20	0.40
C ₃	15	0.40
C ₄	10	0.40
C ₅	7.5	0.40

in cui:

- \bar{E} : Minimo illuminamento medio mantenuto sull'intera superficie dell'intersezione
- U_0 Minimo rapporto di uniformità E_{min} / \bar{E} sull'intera superficie dell'intersezione
- C₀-C₅ Classi dell'illuminazione del tipo di intersezione.

Si tratta allora di stabilire quali classi debbano essere attribuite alle varie tipologie di intersezioni.

Di seguito è riportato un elenco non esaustivo di possibili classi, elaborato sulla base di quelle indicate da CIE 115/95, date in funzione della strada più importante che afferisce all'intersezione.

Strade ad alta velocità a due carreggiate,
controllo del traffico e separazione di differenti tipi di utenti

scarso : C₀

buono : C_1

Strade urbane di scorrimento,
controllo del traffico e separazione di differenti tipi di utenti

scarso : C_1

buono : C_2

Strade locali,
controllo del traffico e separazione di differenti tipi di utenti

scarso : C_3

buono : C_4

Spesso, il parametro TI è di difficile calcolo, ad es., quando i layout delle intersezioni non sono del tipo standard o quando i punti di osservazione del conducente sono più di uno. In tali casi, un criterio alternativo a TI può essere quello di limitare l'intensità luminosa emessa dai centri luminosi posati in opera nelle direzioni, ad es., a 80° e 90° rispetto alla verticale rispettivamente a 30 cd/klm e a 10cd/klm.

A2.6 GUIDA VISIVA

La guida ottica è particolarmente importante per le intersezioni.

Un modo efficace di segnalare l'esistenza di una intersezione e di superarla senza errori consiste nell'impiegare, per le varie strade che s'intersecano, lampade con emissioni luminose di colore diverso. Un'ulteriore tecnica per creare una efficace guida visiva su tali aree, utile anche di giorno, è quella di utilizzare apparecchi d'illuminazione differenti per stile e/o per altezza di montaggio, o cambiare disposizione dei sostegni quando ci si avvicina ad una intersezione; ad es., nel caso di una strada a doppia carreggiata, passare da una disposizione centrale a doppio sbraccio ad una unilaterale.

A2.7 INTERSEZIONI DI STRADE NON ILLUMINATE.

Per le intersezioni di strade non illuminate vanno studiati anche i requisiti di un'illuminazione che si estenda oltre le aree critiche delle intersezioni. Ciò per due ragioni fondamentali:

- mentre il passaggio da zone non illuminate (strade) a zone illuminate non crea problemi perché l'occhio si adatta rapidamente, la situazione contraria richiede, invece, un certo tempo per l'adattamento visivo, durante il quale la visibilità si riduce; solo ad adattamento avvenuto è possibile guidare con sicurezza con l'uso dei soli fari;
- Un'adeguata illuminazione che si estenda oltre il punto di immissione da una strada di accesso in una strada principale facilita la visibilità e, quindi, la manovra di immissione e la velocità della stessa.

Affinché l'adattamento visivo abbia luogo, è necessario prolungare l'impianto di illuminazione oltre l'intersezione per un tratto della strada uscente la cui lunghezza dipende dalla velocità dell'autoveicolo. Da varie ricerche condotte sul problema risulta che, ad es., se un'intersezione è illuminata a 2 cd/m^2 e se il livello di luminanza del tratto uscente è di 0.3 cd/m^2 , il tempo di transizione è di circa 10 s. Ne segue che la lunghezza di tale tratto è almeno pari a 275 m se la velocità è di 100 km/h, o a 200 m se la velocità è di 70 km/h. Una maggiore gradualità nella diminuzione della luminanza non comporta, per una data distanza, un maggiore vantaggio.

A2.8 CONFIGURAZIONI DI IMPIANTI

Le disposizioni degli apparecchi di illuminazione dovrebbero essere studiate in modo da minimizzare l'abbagliamento verso i conducenti e, specialmente, non influire negativamente sulla leggibilità delle segnalazioni o impedirne addirittura la loro visione.

Tra i dati da considerare per la scelta della configurazione di un impianto di illuminazione in corrispondenza di una intersezione vi sono:

- le caratteristiche dei profili delle strade confluenti;
- le proprietà riflettenti dei loro manti;

- i livelli di luminanza media richiesti;
- le uniformità;
- l'abbagliamento;
- il grado di guida ottica che si vuole ottenere.

Altri parametri impiantistici da prendere in considerazione sono: potenza interdistanza e altezza di montaggio dei centri luminosi, tipo di apparecchio illuminante e relative inclinazione e sporgenza. La scelta di tali elementi dipende dai tipi di strade e dalle caratteristiche delle zone circostanti.

Per le intersezioni complesse, viene spesso preferito l'utilizzo di apparecchi di illuminazione (in genere proiettori) montati a grande altezza (> 20 m), raggruppati su uno stesso palo (torre faro).

Questa soluzione presenta il vantaggio di lasciare l'area illuminata libera, o quasi, da sostegni, e consente all'utente una visione migliore dell'intersezione e delle sue uscite. Anche il problema dell'abbagliamento si riduce, giacché gli apparecchi d'illuminazione possono essere virtualmente disposti fuori dalla vista dei conducenti. Inoltre, la manutenzione può essere effettuata senza disturbare il traffico.

Un beneficio addizionale è che un sistema con torri faro o simili di per sé costituisce una guida visiva perché segnala ai conducenti l'avvicinamento a una giunzione.

Tuttavia questi sistemi non sono privi di inconvenienti, come quello di un'illuminazione ineguale su sezioni di strada a quote diverse nel caso di interscambi di autostrade e simili. Un'accurata progettazione può servire a minimizzarli

In genere, si presentano numerose soluzioni ugualmente accettabili. La scelta finale privilegerà le esigenze economiche, energetiche, di semplicità di funzionamento e di esercizio dell'impianto.

A2.9 CONCLUSIONI

Sia che si tratti di intersezioni interessate da solo traffico veicolare o da traffico misto, i problemi di illuminazione sono fondamentalmente gli stessi. I requisiti illuminotecnici per queste aree dovrebbe essere più stringenti di quelli previsti dalla norma UNI 10439/95 che, come già detto, si riferisce a tronchi di strade rettilinee e con manto asciutto. Oltre ad essi, lo studio per la definizione dei requisiti dovrebbe includere:

- tipologie di disposizioni degli apparecchi di illuminazione tali da illuminare veicoli e pedoni nell'area di intersezione e aree adiacenti all'intersezione;
- illuminazione delle superfici verticali degli oggetti, affinché essi possano essere visti sullo sfondo del manto stradale;
- illuminazione delle aree circostanti ricadenti nel campo visivo dei conducenti, in modo da consentire loro di sapere sempre dove si trovano e dove stanno andando. Un'intersezione illuminata in modo inadeguato, ad es., con troppi o troppo pochi apparecchi di illuminazione, può dare segnali forvianti ai conducenti;
- soluzioni alternative all'illuminazione continua dell'intera area su cui si sviluppa un'intersezione, quando questa tecnica non può essere applicata.

APPENDICE 3

A3

A3.1 ESEMPIO SUI CRITERI PER LA UBICAZIONE DELLE INTERSEZIONI IN UNA RETE STRADALE

Si consideri una rete stradale nella quale si vuole inserire una nuova strada per migliorare le caratteristiche della circolazione e ridurre l'impatto ambientale del traffico: in effetti alcune delle strade della rete attraversano centri abitati e sono percorse da elevati flussi veicolari che danno luogo ad alti livelli di inquinamento acustico e atmosferico. Sono state studiate tre soluzioni progettuali, diverse per il tracciato e le caratteristiche geometriche della nuova strada, nonché per il numero e la ubicazione delle intersezioni con le strade esistenti. Le tre soluzioni progettuali vengono poste a confronto fra di loro e con la situazione attuale, cioè quella di non intervento. Si esaminano quindi complessivamente quattro soluzioni, ciascuna caratterizzata dai seguenti quattro attributi:

1. costo di costruzione C_c , il quale è evidentemente nullo per la soluzione di non intervento;
2. costo monetario medio C_m sopportato giornalmente dagli automobilisti per percorrere la rete;
3. tempo di viaggio t_m mediamente speso dagli automobilisti che percorrono la rete durante un giorno;
4. somma f_m dei flussi veicolari che mediamente percorrono durante un giorno i tronchi stradali che attraversano i centri abitati.

Gli attributi delle varie soluzioni sono indicati nella tabella seguente, dove con soluzione 1 si intende la soluzione di non intervento.

Soluzione	C_c (miliardi)	C_m (ore/giorno)	t_m (milioni/giorno)	f_m (veic/giorno)
1	0	315918	328.48	39039
2	215	314190	326.45	15877
3	396	309096	325.76	7742
4	483	308304	325.93	5289

Utilizzando la (1) del paragrafo 2 si calcola quindi la seguente *matrice di valutazione*, nella quale sono riportati i punteggi attribuiti dai criteri alle quattro soluzioni (i criteri sono numerati nello stesso ordine degli attributi corrispondenti).

Soluzione	g_1	g_2	g_3	g_4
1	1	0	0	0
2	0.555	0.227	0.746	0.686
3	0.180	0.896	1	0.927
4	0	1	0.938	1

Si assegnano in un primo momento i seguenti pesi ai quattro criteri:

$$w_1 = 0.200 \quad w_2 = 0.300 \quad w_3 = 0.300 \quad w_4 = 0.200$$

con i quali si intende attribuire maggiore importanza ai criteri relativi agli oneri del trasporto rispetto agli altri due. Si calcolano quindi, utilizzando la (3) e la (4) del paragrafo 3, gli indicatori di concordanza e di discordanza per tutte le coppie di soluzioni, i quali sono riportati qui di seguito:

coppia (i, k)	c_{ik}	d_{ik}
(1,2)	0.200	1.000
(1,3)	0.200	1.000
(1,4)	0.200	1.000
(2,1)	0.800	0.476
(2,3)	0.200	1.000
(2,4)	0.200	1.000
(3,1)	0.800	0.600

(3,2)	0.800	0.444
(3,4)	0.500	1.000
(4,1)	0.800	0.667
(4,2)	0.800	0.417
(4,3)	0.500	0.500

Assumendo i valori di soglia $\lambda = 0.3$ e $\mu = 0.7$, si ottiene che l'insieme E delle soluzioni progettuali di rango superiore alle altre è formato dalla sola soluzione 4:

$$E = (4) \quad A/E = (1,2,3)$$

Assegnando invece lo stesso valore 0.5 alle due soglie, si ricava che l'insieme E è formato dalle soluzioni 1 e 4:

$$E = (1,4) \quad A/E = (2,3)$$

Risulta quindi che, con i pesi attribuiti ai criteri, l'intersezione dei due insiemi E così ottenuti è formata dalla sola soluzione 4, la quale quindi è quella di rango superiore. A questo punto modifichiamo i pesi, attribuendo al criterio relativo all'impatto ambientale importanza alquanto superiore agli altri, allo scopo di verificare se anche in questo caso la soluzione 4 è di rango superiore. Sia pertanto:

$$w_1 = 0.200 \quad w_2 = 0.200 \quad w_3 = 0.200 \quad w_4 = 0.400$$

Si ricavano i seguenti indicatori di concordanza e di discordanza:

coppia (i, k)	c_{ik}	d_{ik}
(1,2)	0.200	1.000
(1,3)	0.200	1.000

(1,4)	0.200	1.000
(2,1)	0.800	0.417
(2,3)	0.200	1.000
(2,4)	0.200	1.000
(3,1)	0.800	0.500
(3,2)	0.800	0.667
(3,4)	0.400	1.000
(4,1)	0.800	0.500
(4,2)	0.800	0.625
(4,3)	0.600	0.500

Ponendo $\lambda = 0.3$ e $\mu = 0.7$ si ottiene che l'insieme E delle soluzioni di rango superiore è formato dalla sola soluzione 4:

$$E = (4) \quad A/E = (1,2,3)$$

Attribuendo invece a λ e μ lo stesso valore 0.5, si ricava che l'insieme E è formato dalle soluzioni 2 e 4:

$$E = (2,4) \quad A/E = (1,3)$$

Anche con i nuovi pesi attribuiti ai criteri l'intersezione dei due insiemi E è formato dalla sola soluzione 4, la quale risulta di rango superiore alle altre ed è pertanto la soluzione da scegliere.

A3.2 ESEMPI DI INTERSEZIONI A LIVELLI TOTALMENTE O PARZIALMENTE SFALSATI

Per esigenze connesse alla sicurezza e all'efficienza delle intersezioni, in base alle previsioni operative espresse in termini di velocità e flussi di traffico, ovvero per effetto delle indicazioni legislative riguardo alla natura e alla classe delle strade interessate, occorre, nei casi indicati nelle Tabelle al paragrafi 3.3, 3.4 e 3.5, realizzare impianti di svincolo costituiti da almeno un manufatto di scavalcamento e da un sistema di rampe di interallacciamento. Si ottengono così intersezioni a diversi livelli, che possono essere realizzate secondo configurazioni molto varie, come riportato nelle schede al paragrafo 4.4.

Le intersezioni a livelli totalmente o parzialmente sfalsati possono, in via teorica, eliminare attese e ritardi, e realizzare una elevata sicurezza di circolazione, laddove siano ben progettate ed opportunamente dimensionate. Infatti, a ciascuna corrente di traffico è riservata una traiettoria priva di punti di conflitto, ovvero che ne presenta in numero molto limitato.

A fronte di tali aspetti vantaggiosi, occorre considerare alcuni elementi negativi, quasi tutti riconducibili all'aspetto tecnico-economico, ma anche correlati ad aspetti estetici e morfologici, in relazione all'ambiente circostante. Ciò è vero sia in ambito urbano, ove le edificazioni preesistenti rendono talvolta impossibile l'inserimento dei manufatti che realizzano lo sfalsamento altimetrico e le rampe, sia in zone poco antropizzate, dove si può determinare un significativo danno paesistico.

In alcuni casi lo svincolo a livelli sfalsati costituisce un'area di smistamento direzionale, cioè il complesso delle infrastrutture è in grado di realizzare la completa connessione e l'interscambio di ingenti correnti di traffico tra più di due strade.

In caso di intersezioni non omogenee, cioè tra strade aventi caratteristiche operative o classificazione funzionale molto differente, spesso si ricorre a soluzioni di sfalsamento parziale, cioè riservando traiettorie protette alle relazioni di traffico principali, e risolvendo le altre con intersezioni a raso o canalizzate.

Data la molteplicità di situazioni, non è possibile fornire una schematizzazione generale per questo tipo di intersezioni. Pertanto, a titolo puramente esemplificativo, si riportano di seguito alcuni esempi di sistemazione di intersezioni a livelli sfalsati, in diversi casi di svincolo direzionale, intersezioni omogenee ed intersezioni non omogenee.

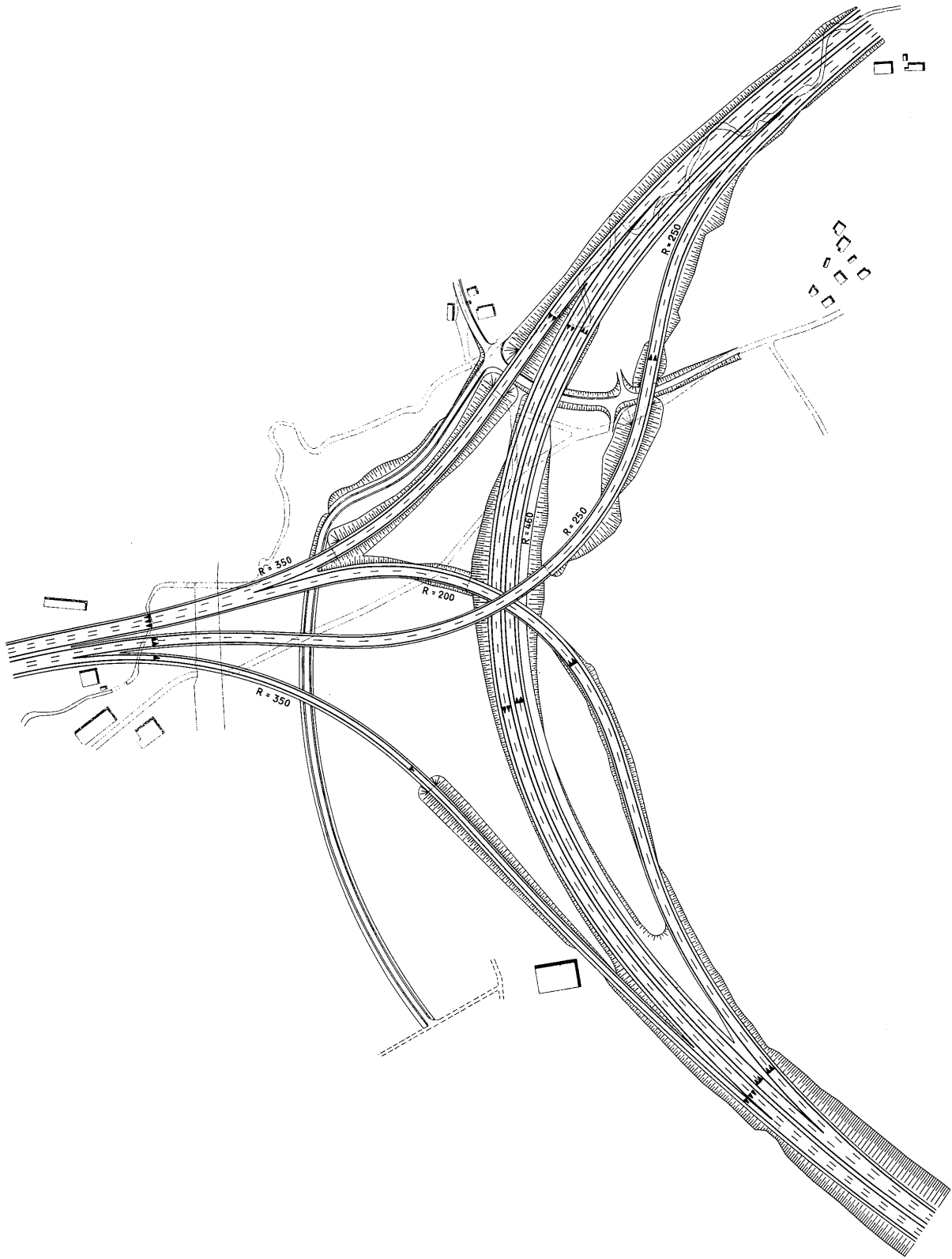


Figura 1: Esempio di svincolo direzionale.

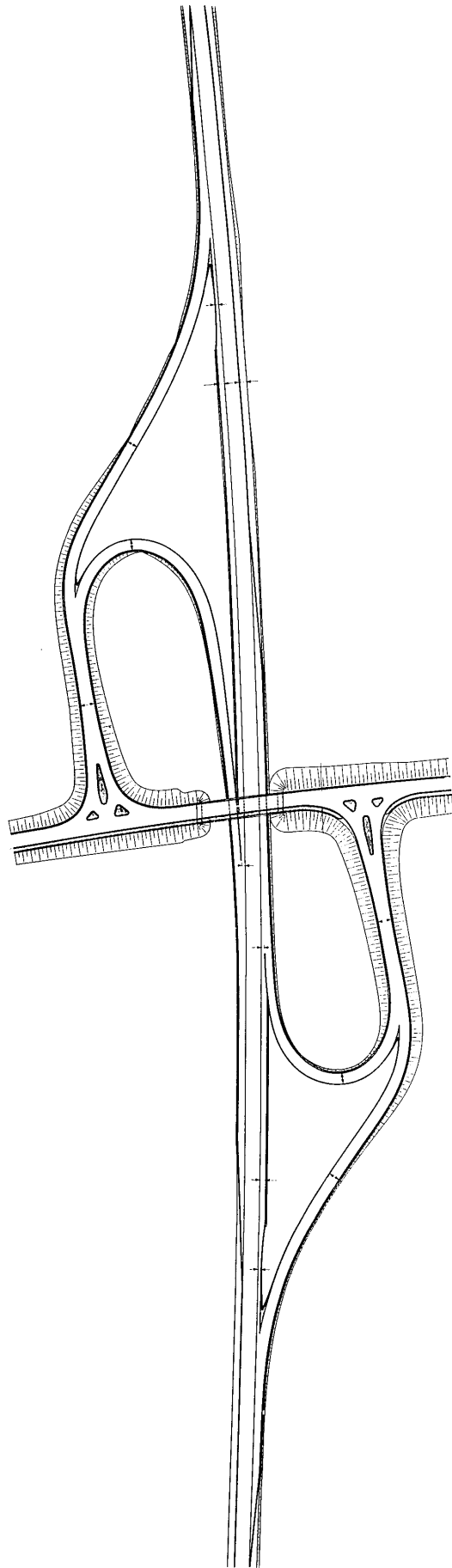


Figura 2: Esempio di intersezione non omogenea (quadrifoglio parziale).

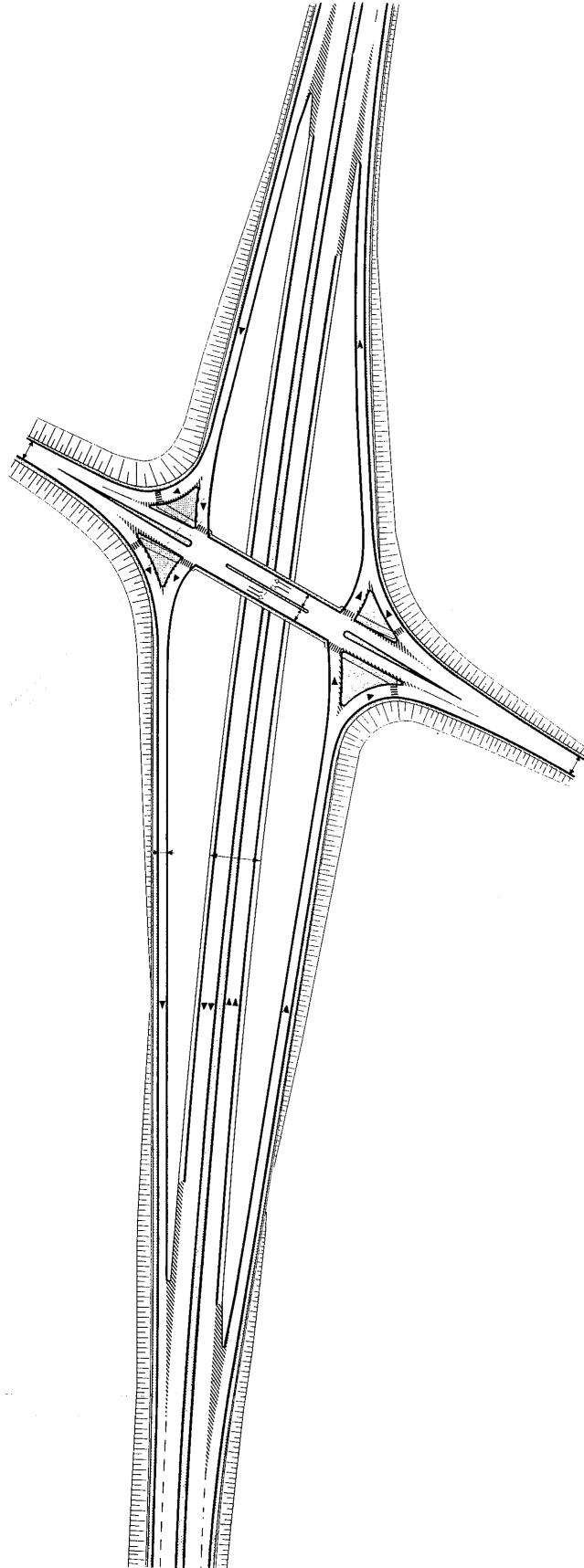


Figura 3: Esempio di intersezione non omogenea (losanga).

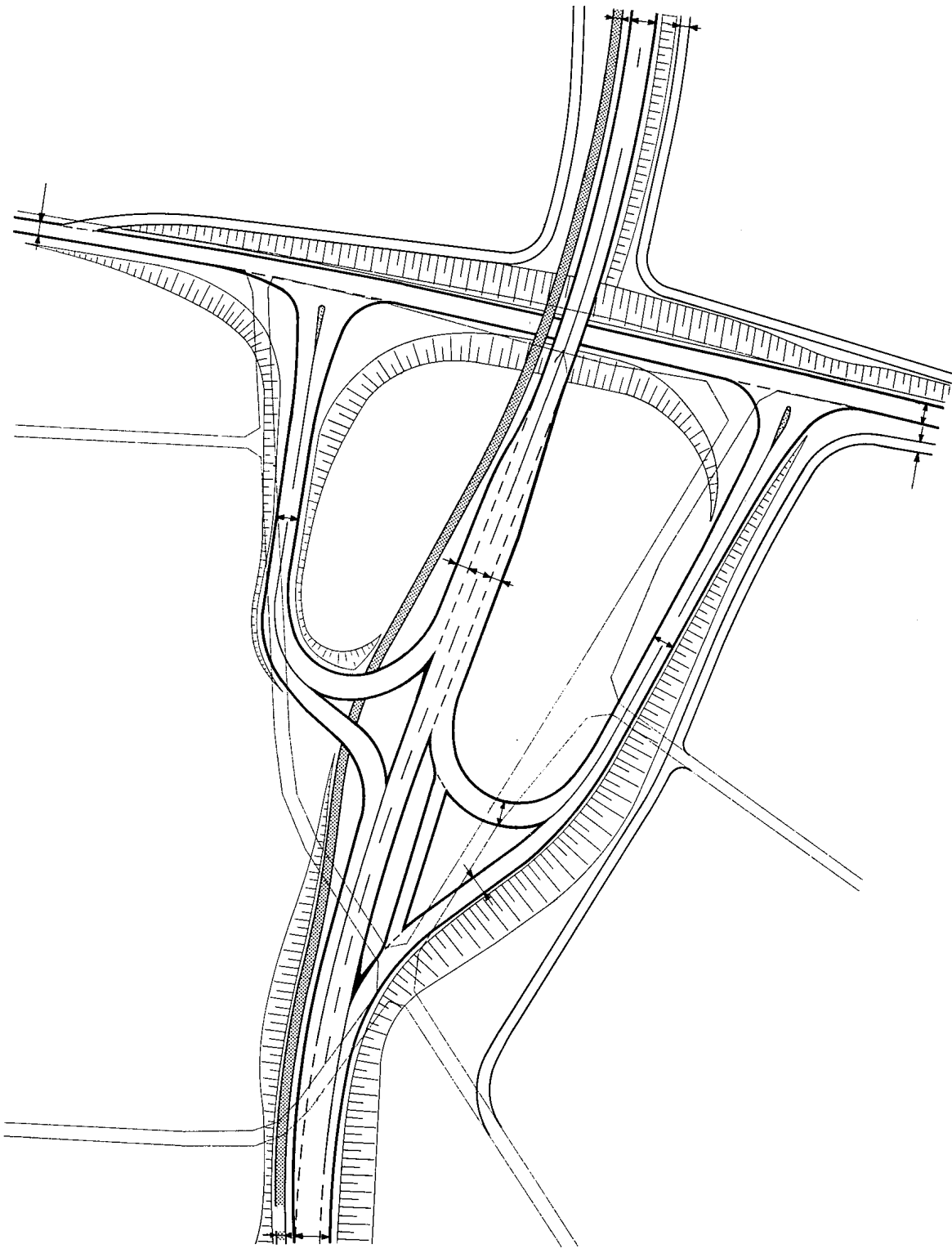


Figura 4: Esempio di intersezione non omogenea (quadrifoglio parziale).

A3.3 ESEMPI DI INTERSEZIONI A ROTATORIA

Le intersezioni a rotatoria sono attualmente in corso di rapida diffusione sia in area extraurbana che in area urbana, poiché le loro caratteristiche consentono alcuni benefici effetti di regolazione nella circolazione stradale.

Infatti, le rotatorie, pur consentendo l'efficace smistamento dei veicoli, svolgono un'azione moderatrice riguardo alle velocità di marcia delle singole correnti di traffico, in conseguenza della modifica di traiettoria imposta a tutti i veicoli dalla presenza del punto singolare costituito dall'intersezione stessa.

Le rotatorie moderne, pertanto, sono generalmente di piccolo diametro (nell'ordine di qualche decina di metri), e richiedono, generalmente, ai veicoli in ingresso di dare precedenza ai veicoli circolanti sull'anello. Questa regolazione prevede l'arresto dei veicoli in corrispondenza della sezione d'ingresso, non consentendo ai veicoli di entrare nell'intersezione finché non si determini un adeguato intervallo nella corrente veicolare circolante.

In questo modo, si ritiene di poter conseguire importanti miglioramenti sia riguardo all'efficienza dell'intersezione a raso, sia per la sicurezza di circolazione, poiché il numero e, soprattutto, la gravità degli incidenti mostrano una sensibile riduzione per effetto della sistemazione a rotatoria.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva per la scelta degli elementi base di progetto, in relazione alle categorie considerate e alle condizioni operative, ed alcuni esempi di possibile sistemazione delle intersezioni a rotatoria, nei diversi contesti possibili.

ROTATORIE DI PICCOLO DIAMETRO

ELEMENTI DI PROGETTO	CATEGORIE					
	Mini Rotatorie	Urbane Compatte	Urbane a singola corsia	Urbane a doppia corsia	Extraurbane a singola corsia	Extraurbane a doppia corsia
<i>Massima velocità di ingresso raccomandata</i>	25 km/h	25 km/h	35 km/h	40 km/h	40 km/h	50 km/h
<i>Massimo numero di corsie in entrata per ciascun ramo</i>	1	1	1	2	1	2
<i>Diametro tipico del cerchio iscritto</i>	13 ÷ 25 m	25 ÷ 30 m	30 ÷ 40 m	45 ÷ 55 m	30 ÷ 40 m	55 ÷ 60 m
<i>Sistemazione delle isole divisionali</i>	<i>Possibilmente in rilievo, con tagli in corrisp. degli attraversamenti pedonali</i>	<i>In rilievo, con tagli agli attraversamenti pedonali</i>	<i>In rilievo, con tagli agli attraversamenti pedonali</i>	<i>In rilievo, con tagli agli attraversamenti pedonali</i>	<i>In rilievo ed estese, con tagli agli attraversamenti pedonali</i>	<i>In rilievo ed estese, con tagli agli attraversamenti pedonali</i>
<i>Volume di traffico tipico sui 4 rami afferenti (veic/g)</i>	10.000	15.000	20.000	<i>E' richiesta una specifica analisi dei flussi di traffico.</i>	20.000	<i>E' richiesta una specifica analisi dei flussi di traffico.</i>

Tabella 1: tabella per la scelta degli elementi-base di progetto.



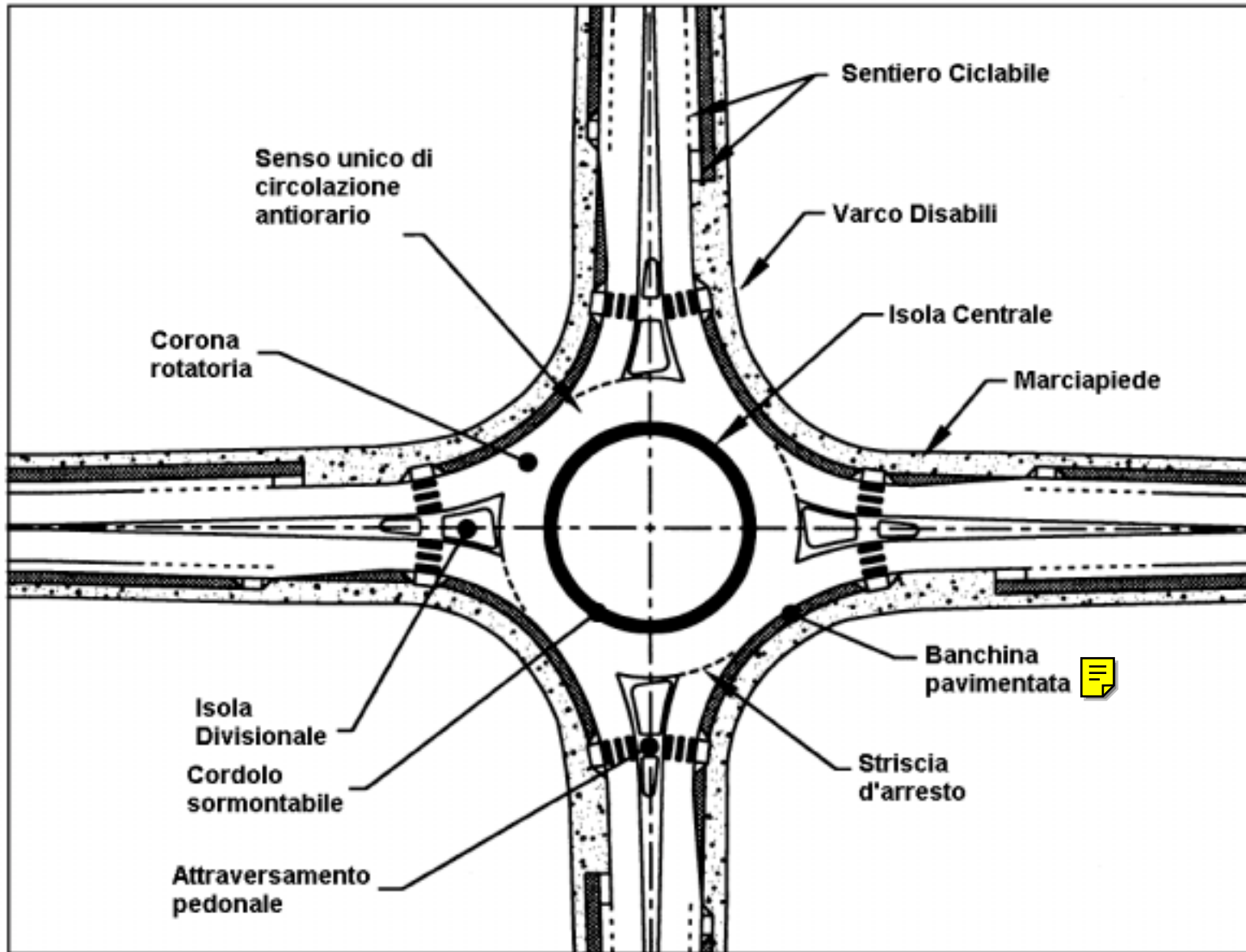


Figura 5: elementi caratteristici delle rotatorie di piccolo diametro.

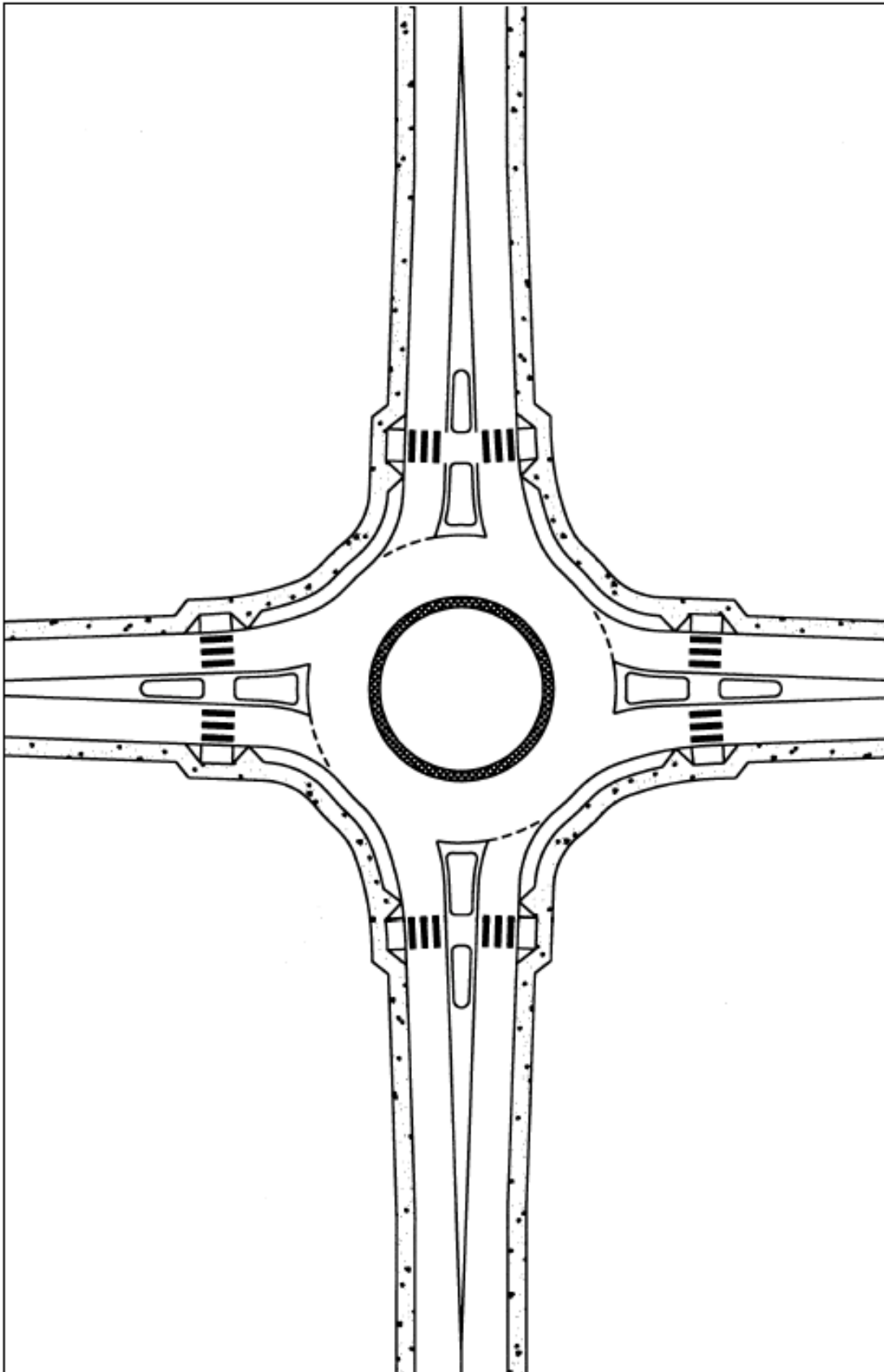


Figura 6: Esempio di rotonda urbana compatta.

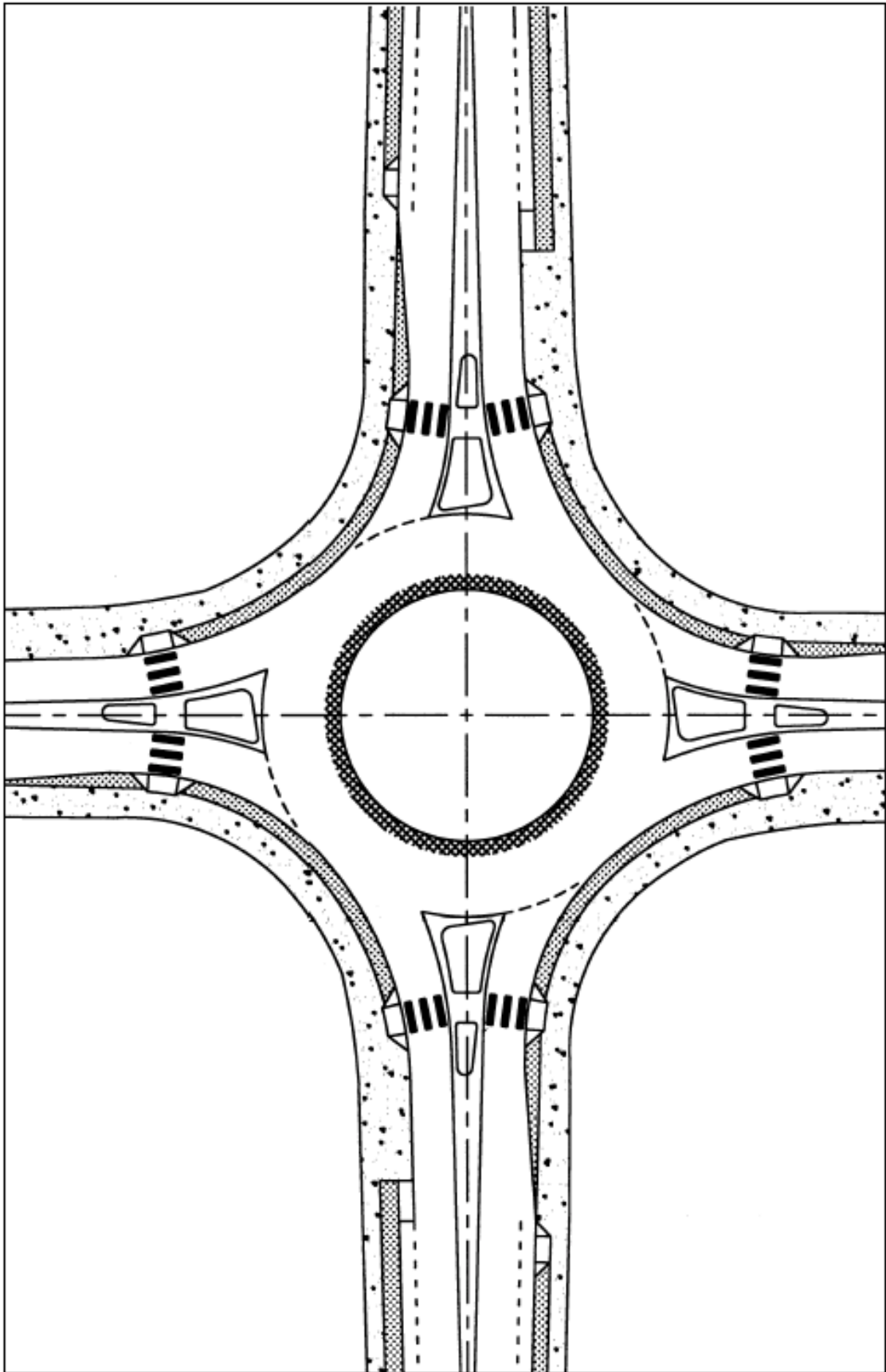


Figura 7: Esempio di rotatoria urbana a singola corsia.

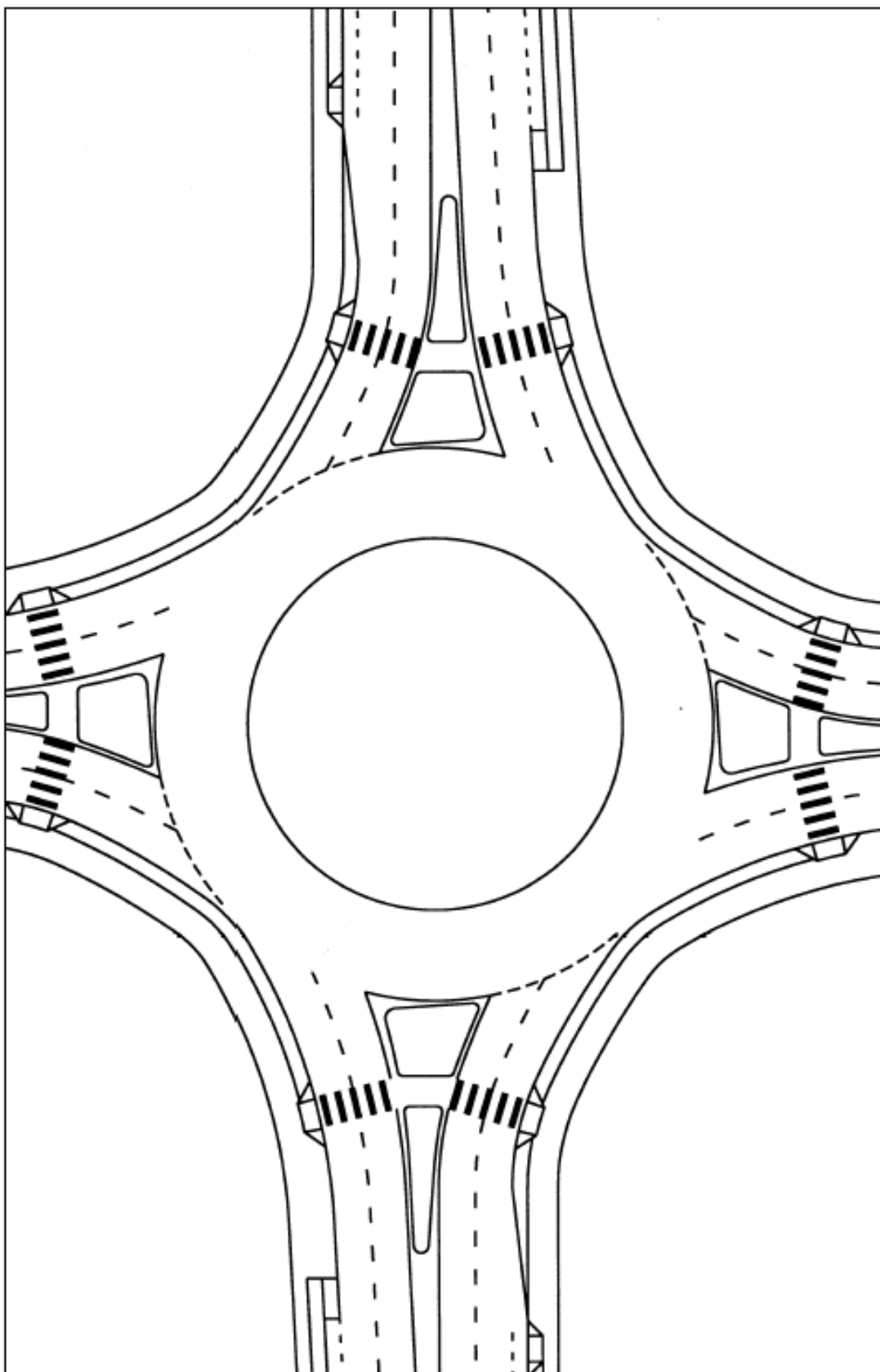


Figura 8: Esempio di rotonda urbana a doppia corsia

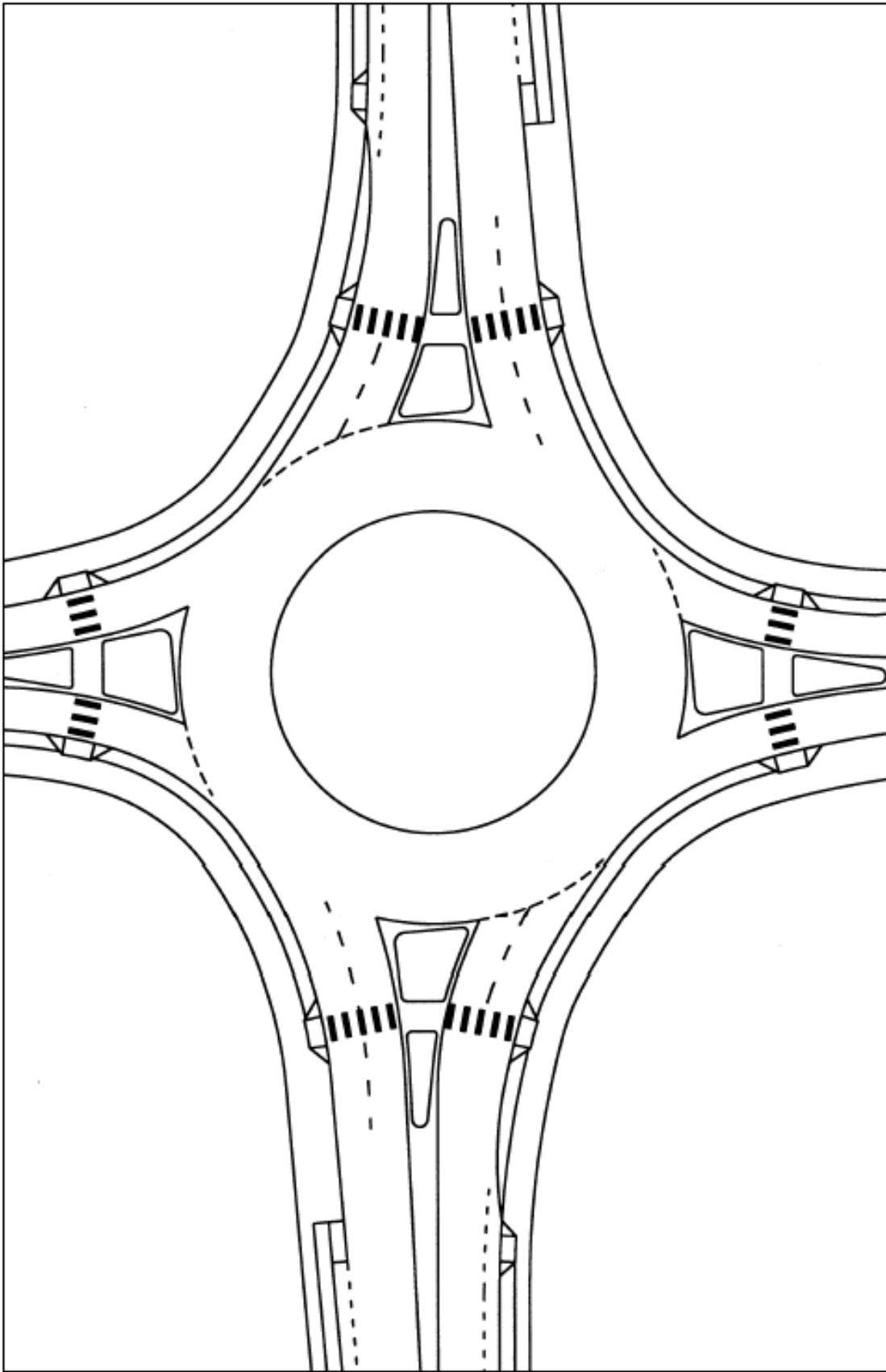


Figura 9: Esempio di rotonda con ingressi allargati (“scampanati”).

A3.4 ESEMPIO SUL DIMENSIONAMENTO DELLA LUNGHEZZA DELLA ZONA DI ACCUMULO IN UNA INTERESZIONE STRADALE

Si debba progettare la lunghezza della zona di accumulo in una intersezione a raso caratterizzata da una portata di svolta a sinistra $Q_2 = 200$ veic/h, mentre la portata della corrente da attraversare è $Q_1 = 500$ veic/h. Nell'ipotesi che l'intervallo critico sia $T = 7$ sec, dall'abaco di fig. 2 si ricava che il tempo medio di attesa è $E[w] = 30$ sec, mentre il numero medio di veicoli in coda risultante dall'abaco di fig. 3 è $E[q] = 1.75$. Si assegna alla zona di accumulo una lunghezza $L_n = 24$ m, sufficiente ad ospitare 4 autovetture.

A3.5 ESEMPIO SUL CALCOLO DELLA CAPACITA' DI UNA ROTATORIA

Si consideri una rotatoria a quattro bracci avente le seguenti caratteristiche geometriche (le caratteristiche sono le stesse per tutti i bracci):

- a) larghezza dell'anello: $ANN = 8$ m
- b) larghezza dei bracci: $ENT = 6$ m
- c) larghezza dell'isola spartitraffico: $SEP = 15$ m.

La matrice N di distribuzione sia la seguente:

$$N = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.18 & 0.65 & 0.17 \\ 0.20 & 0.00 & 0.21 & 0.59 \\ 0.72 & 0.10 & 0.00 & 0.18 \\ 0.20 & 0.70 & 0.10 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (8)$$

La matrice M origine-destinazione si ottiene moltiplicando la matrice N per il vettore Q dei flussi entranti dai quattro bracci:

$$Q = [700 \ 525 \ 310 \ 430] \quad (9)$$

I flussi uscenti dai quattro bracci dovuti alla matrice M si ricavano utilizzando le (7):

$$\begin{aligned}
Q_{u,1} &= 525 \cdot 0.20 + 310 \cdot 0.72 + 430 \cdot 0.20 = 414 \text{ eph} \\
Q_{u,2} &= 700 \cdot 0.18 + 310 \cdot 0.10 + 430 \cdot 0.70 = 458 \text{ eph} \\
Q_{u,3} &= 700 \cdot 0.65 + 525 \cdot 0.21 + 430 \cdot 0.10 = 608 \text{ eph} \\
Q_{u,4} &= 700 \cdot 0.17 + 525 \cdot 0.59 + 310 \cdot 0.18 = 485 \text{ eph}
\end{aligned} \tag{10}$$

mentre quelli che transitano sull'anello si ottengono dalle (6):

$$\begin{aligned}
Q_{c,1} &= 430 \cdot (0.70 + 0.10) + 310 \cdot 0.10 = 375 \text{ eph} \\
Q_{c,2} &= 700 \cdot (0.65 + 0.17) + 430 \cdot 0.10 = 617 \text{ eph} \\
Q_{c,3} &= 525 \cdot (0.59 + 0.20) + 700 \cdot 0.17 = 534 \text{ eph} \\
Q_{c,4} &= 310 \cdot (0.72 + 0.10) + 525 \cdot 0.20 = 359 \text{ eph}
\end{aligned} \tag{11}$$

Sostituendo questi valori nelle (2) e (3) si ottiene il traffico complessivo di disturbo per i quattro bracci:

$$Q_{d,1} = 375 \text{ eph} \quad Q_{d,2} = 617 \text{ eph} \quad Q_{d,3} = 534 \text{ eph} \quad Q_{d,4} = 359 \text{ eph} \tag{12}$$

I valori dei coefficienti δ_i per i quattro bracci si ottengono risolvendo rispetto a ciascuno di essi la (4) scritta ripetutamente per ciascun braccio:

$$\begin{aligned}
700\delta_1 &= (1330 - 0.7 \cdot 3.75\delta_1) \cdot 1.25 \\
525\delta_2 &= (1330 - 0.7 \cdot 617\delta_2) \cdot 1.25 \\
310\delta_3 &= (1330 - 0.7 \cdot 534\delta_3) \cdot 1.25 \\
430\delta_4 &= (1330 - 0.7 \cdot 359\delta_4) \cdot 1.25
\end{aligned} \tag{13}$$

da cui si ricava:

$$\delta_1 = 1.62 \quad \delta_2 = 1.56 \quad \delta_3 = 2.14 \quad \delta_4 = 2.24 \tag{14}$$

Il più piccolo valore di δ_i è $\delta_2 = 1.56$. Amplificando per questo fattore i flussi in ingresso ai quattro bracci, cioè ponendo:

$$\begin{aligned} Q_{e,1} &= 700 \cdot 1.56 = 1092 \text{ eph} & Q_{e,2} &= 525 \cdot 1.56 = 819 \text{ eph} \\ Q_{e,3} &= 310 \cdot 1.56 = 484 \text{ eph} & Q_{e,4} &= 430 \cdot 1.56 = 671 \text{ eph} \end{aligned} \quad (15)$$

si verifica il primo fenomeno di congestione nella rotatoria, con il raggiungimento della capacità sul braccio 2, la quale risulta $K_2 = 819$ eph.

Con questi stessi flussi di ingresso la capacità agli altri bracci si ricava dalla (4):

$$\begin{aligned} K_1 &= (1330 - 0.7 \cdot 375 \cdot 1.56) \cdot 1.25 = 1151 \text{ eph} \\ K_3 &= (1330 - 0.7 \cdot 534 \cdot 1.56) \cdot 1.25 = 934 \text{ eph} \\ K_4 &= (1330 - 0.7 \cdot 359 \cdot 1.56) \cdot 1.25 = 1172 \text{ eph} \end{aligned} \quad (16)$$

Pertanto, se si incrementano di 1.56 i flussi di ingresso (9), viene raggiunta la capacità sul braccio 2, mentre gli altri bracci hanno riserve di capacità date da:

$$\begin{aligned} \Delta K_1 &= 1151 - 1.56 \cdot 700 = 59 \text{ eph} \\ \Delta K_3 &= 934 - 1.56 \cdot 310 = 450 \text{ eph} \\ \Delta K_4 &= 1172 - 1.56 \cdot 430 = 501 \text{ eph} \end{aligned} \quad (17)$$

I flussi entranti equivalenti relativi a quelli del vettore (9) si ricavano dalla (5):

$$\begin{aligned} Q'_{e,1} &= 560 / 1.25 = 448 \text{ eph} & Q'_{e,2} &= 525 / 1.25 = 420 \text{ eph} \\ Q'_{e,3} &= 310 / 1.25 = 248 \text{ eph} & Q'_{e,4} &= 430 / 1.25 = 344 \text{ eph} \end{aligned} \quad (18)$$

Utilizzando questi valori dei flussi entranti equivalenti e quelli dei flussi di disturbo dati dalle (12), dalle figure 2 e 3 si ricava il tempo medio di attesa w_i e il 99° percentile

della lunghezza di coda q_i ai quattro bracci della rotatoria quando la domanda di trasporto è quella data dal vettore dei flussi di ingresso (9) e dalla matrice di distribuzione (8):

$$\begin{aligned}
 w_1 &= 2.5 \text{ sec} & q_1 &= 3 \\
 w_2 &= 4.5 \text{ sec} & q_2 &= 4 \\
 w_3 &= 1.5 \text{ sec} & q_3 &= 2 \\
 w_4 &= 2.0 \text{ sec} & q_4 &= 2
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Per il calcolo della capacità totale si deve risolvere il sistema lineare di 4 equazioni, ciascuna delle quali è la (4) scritta per un singolo braccio i , ponendo in essa $K = Q_{ei}$ ed esprimendo Q_d in funzione dei flussi entranti dagli altri bracci. Si ha:

$$\begin{aligned}
 Q_{d,1} &= 0.80 \cdot Q_{e,4} + 0.10 \cdot Q_{e,3} \\
 Q_{d,2} &= 0.82 \cdot Q_{e,1} + 0.10 \cdot Q_{e,4} \\
 Q_{d,3} &= 0.79 \cdot Q_{e,2} + 0.17 \cdot Q_{e,1} \\
 Q_{d,4} &= 0.82 \cdot Q_{e,3} + 0.20 \cdot Q_{e,2}
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

Quindi il sistema di equazioni da risolvere è:

$$\begin{aligned}
 Q_{e,1} &= 1662 - 0.700 \cdot Q_{e,4} - 0.087 \cdot Q_{e,3} \\
 Q_{e,2} &= 1662 - 0.717 \cdot Q_{e,1} - 0.087 \cdot Q_{e,3} \\
 Q_{e,3} &= 1662 - 0.691 \cdot Q_{e,2} - 0.149 \cdot Q_{e,1} \\
 Q_{e,4} &= 1662 - 0.717 \cdot Q_{e,3} - 0.175 \cdot Q_{e,2}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

La soluzione è:

$$Q_{e,1} = 983 \text{ eph} \quad Q_{e,2} = 878 \text{ eph} \quad Q_{e,3} = 909 \text{ eph} \quad Q_{e,4} = 857 \text{ eph}$$

per cui la capacità totale risulta eguale a $Q = 3627$ eph.

La capacità pratica dei bracci si ottiene moltiplicando i valori precedenti per 0.8:

$$\hat{Q}_{e,1} = 786 \text{ eph} \quad \hat{Q}_{e,2} = 702 \text{ eph} \quad \hat{Q}_{e,3} = 727 \text{ eph} \quad \hat{Q}_{e,4} = 686 \text{ eph}$$

e la capacità pratica totale è $\hat{Q} = 2901$ eph.

A3.6 ESEMPIO SUL CALCOLO DEL LIVELLO DI SERVIZIO DI UNA ZONA DI SCAMBIO

Si consideri una zona di scambio come quella rappresentata in fig. 1, avente una lunghezza di 300 m ed una velocità di circolazione libera della carreggiata corrente che l'attraversa data da $v = 100$ km/h.

Il flusso non di scambio è $f_{ns} = 1600$ auto/h, quello di immissione $f_i = 800$ auto/h, quello di uscita $f_u = 900$ auto/h. Si ha quindi:

$$f_s = 800 + 900 = 1700 \text{ auto/h}$$

$$f = 1600 + 1700 = 3300 \text{ auto/h}$$

$$V = 1700/3300 = 0.52$$

Nell'ipotesi di funzionamento non vincolato, utilizzando i coefficienti della Tab. 1 si ricavano dalla (1) i valori del fattore di intensità di scambio per i due flussi di scambio e non di scambio:

$$w_s = \frac{0.226(1+0.52)^{2.2} (3300/3)^{1.0}}{(300/0.3)^{0.9}} = 1.246$$

$$w_{ns} = \frac{0.02(1+0.52)^{4.0} (3300/3)^{1.3}}{(300/0.3)^{1.0}} = 0.960$$

Introducendo questi valori nella (1) si ottengono le velocità dei flussi di scambio e non di scambio:

$$v_s = 24 + \frac{100 - 16}{1 + 1.246} = 61.4 \text{ km/h}$$

$$v_{ns} = 24 + \frac{100 - 16}{1 + 0.960} = 66.8 \text{ km/h}$$

Nell'ipotesi di funzionamento non vincolato della zona di scambio, il numero di corsie a disposizione del flusso di scambio dovrebbe essere:

$$N_s = \frac{2.19 \cdot 3 \cdot 0.52^{0.571} \cdot 10^{0.234}}{(61.4/1.6)^{0.438}} = 1.57$$

Poiché risulta $N_s > 1.4$, il funzionamento della zona di scambio è vincolato, ed è quindi necessario ripetere il calcolo dei fattori w e delle velocità v_i assumendo questa nuova ipotesi. Risulta:

$$w_s = \frac{0.28(1 + 0.52)^{2.2} (3300/3)^{1.0}}{(300/0.3)^{0.9}} = 1.544$$

$$w_{ns} = \frac{0.02(1 + 0.52)^{4.0} (3300/3)^{0.88}}{(300/0.3)^{0.6}} = 0.803$$

$$v_s = 24 + \frac{100 - 16}{1 + 1.544} = 57.0 \text{ km/h}$$

$$v_{ns} = 24 + \frac{100 - 16}{1 + 0.803} = 70.6 \text{ km/h}$$

La velocità media nello spazio nella zona di scambio si ottiene dalla (4):

$$v_m = \frac{1700 + 1600}{\frac{1700}{57.0} + \frac{1600}{70.6}} = 62.9 \text{ km/h}$$

e la densità veicolare risulta:

$$D = \frac{3300/3}{62.9} = 17.49 \text{ auto/km per corsia.}$$

Nella zona di scambio si realizza quindi il livello di servizio *C*.