

## Le Intersezioni Stradali: Controllo e Capacità

## CONCETTI GENERALI

Nei nodi stradali si intersecano le traiettorie dei flussi veicolari provenienti dalle strade in essi confluenti; fra le traiettorie si creano pertanto dei **punti di conflitto**.

Le intersezioni costituiscono sempre dei punti critici nella rete stradale in quanto presentano capacità generalmente inferiore rispetto alle strade di accesso ad esse. Ciò è imputabile essenzialmente alla:

- **riduzione delle velocità dei flussi in transito**, necessaria ai conducenti dei veicoli per assicurarsi che la traiettoria che intendono percorrere sia momentaneamente sgombra;
- **ripartizione del tempo di via libera** fra le diverse correnti, con la conseguente impossibilità, per ciascuna corrente, di poter eseguire la manovra desiderata e quindi defluire in maniera continua, come avviene lungo una comune sezione stradale.

## La regolazione di una intersezione stradale

Obiettivo: ridurre i punti di conflitto fra le correnti onde permetterne un deflusso più rapido e sicuro. Questo è perseguibile con due differenti categorie di interventi:

1. la distribuzione delle manovre nel **tempo**, attuabile mediante:

- la semplice **regolazione a precedenza**; consente di dare priorità ad alcune correnti di maggiore portata o che, per motivi diversi, presentano un deflusso più difficile o pericoloso.
- la **regolazione semaforica**, installando il tipo di impianto che più si adatta al caso specifico in relazione al rapporto tra i flussi interessati.

2. la distribuzione delle manovre nello **spazio**, realizzabile con sistemazioni infrastrutturali che vanno dalla creazione di corsie specializzate per la svolta, alla costruzione di rotatorie o svincoli a più livelli.

## Terminologia adottata

**Strada (o via o ramo)** di accesso ad una intersezione: indica ciascuna delle strade in essa confluenti.

**Accesso:** parte, della strada di accesso sopra definita, individuata da una o più corsie percorribili nel verso confluyente nel nodo, sulla quale i veicoli, in presenza di una regolazione semaforica, hanno il via libera contemporaneamente.

**Manovra:** traiettoria percorsa da un veicolo o da un flusso che impegna un'intersezione per attraversarla.

## Semafori attuati dal traffico (1)

Il primo semaforo a tempo fisso, con lampade a gas, fu installato a Londra nel 1868.

La prima sperimentazione di un semaforo attuato dal traffico fu eseguita negli USA nel 1930.

Il semaforo era attivato dal suono dei clacson, rilevato da microfoni posti al lato strada.

Lo sviluppo dei microprocessori dagli anni '60 ad oggi ha aperto nuove opportunità di realizzare sistemi di controllo ad intelligenza distribuita.

## DISTRIBUZIONE TEMPORALE DELLE MANOVRE: INTERSEZIONI A PRECEDENZA

Il deflusso delle correnti veicolari in conflitto è regolato dalla precedenza assegnata ad alcune di queste sulla base: della posizione relativa delle strade da cui provengono (precedenza a destra) ovvero, più spesso, da segnali di “dare la precedenza” o di “stop”.

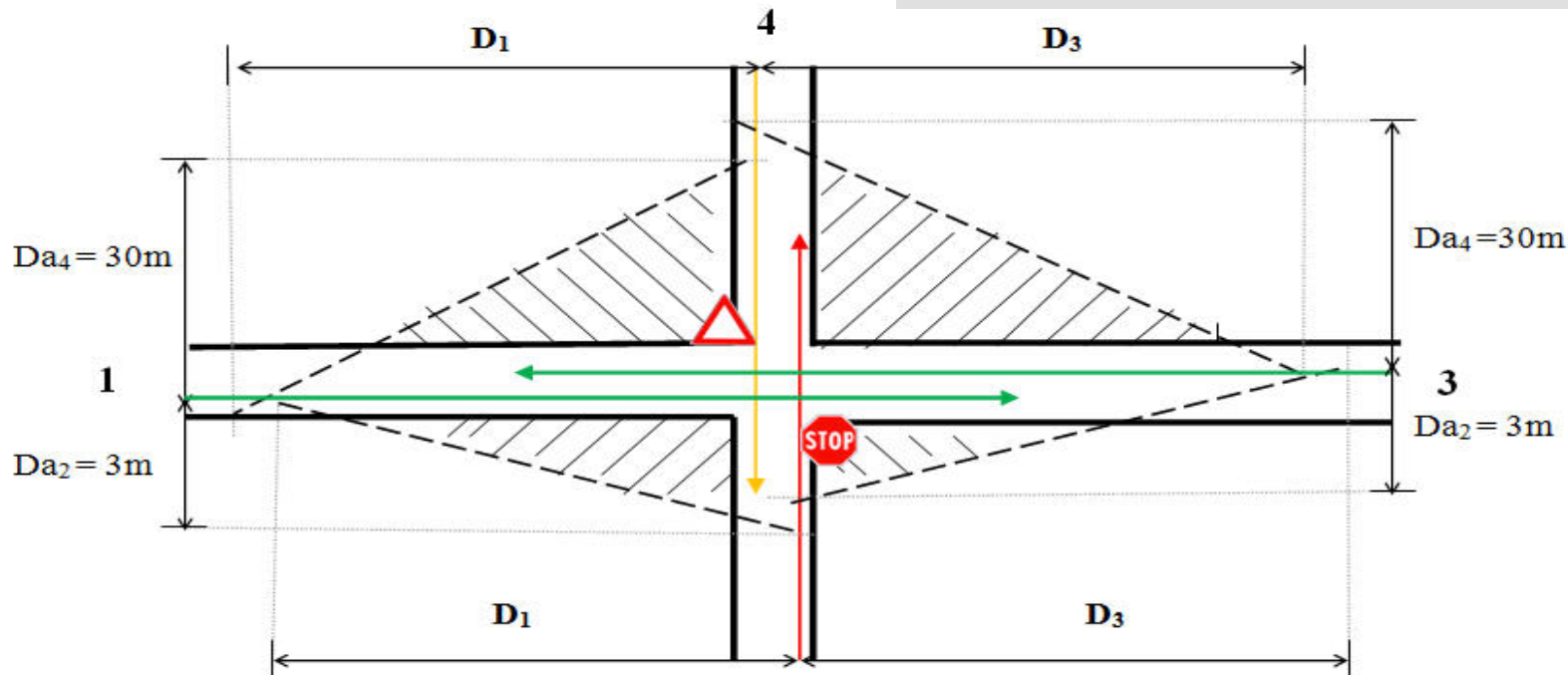
La scelta fra i due tipi di segnali e dell'eventuale limite di velocità da imporre in prossimità dell'intersezione va fatta tenendo conto della necessità di contenere la velocità dei veicoli in arrivo entro valori tali che la loro **distanza di arresto**  $D_a$  rispetto al punto di conflitto sia minore della **distanza di visibilità**  $D$  in direzione della manovra interferente, in modo tale che essi possano arrestarsi in tempo qualora la traiettoria da percorrere sia impegnata.

## Distanza di visibilità $D$ e distanza di arresto $Da$

I veicoli provenienti da 2 e 4, nel momento in cui si trovano alla distanza di arresto  $Da$  devono poter vedere i veicoli provenienti dalle vie 1 e 3 quando questi ultimi si trovano alla distanza  $D$  dall'area di manovra.

$D$ : spazio che i veicoli da 1 e 3 percorrono (alla max  $v$  ammessa) nel tempo necessario ai veicoli provenienti da 2 (partendo da fermi) e 4 per effettuare l'attraversamento.

$D$  e  $Da$  definiscono i **TRIANGOLI DI VISIBILITÀ**



segnale di “dare precedenza” anziché di “stop” sconta una maggiore visibilità in quanto il raggiungimento dell'intersezione avviene a velocità non nulla

## Distanziamento temporale reciproco o *gap* (Dt)

I veicoli che si susseguono in una corrente transitano attraverso una sezione stradale con **gap** (Dt) il cui valore medio, nell'intervallo di tempo considerato T è per definizione l'inverso del flusso misurato nello stesso intervallo

**L'ampiezza del gap** nel flusso principale sufficiente a consentire l'attraversamento o l'immissione da parte di un veicolo del flusso secondario è funzione:

- del tipo di manovra
- delle velocità relative dei flussi in conflitto
- del tipo di veicolo
- del conducente.



## *Intervallo critico (Dtc)*

Si definisce quindi ***intervallo critico*** (Dtc) il minimo intervallo accettato cioè l'intervallo tale che tutti quelli di ampiezza minore vengano rifiutati. Questo valore temporale caratterizza in sostanza la difficoltà della manovra da eseguire, essendo direttamente proporzionale a tale difficoltà

Da esperienze condotte in vari paesi, **per le manovre di attraversamento della corrente principale Dtc risulta pari a 7 s per la svolta a destra e tendente a 8 s per la svolta a sinistra.**

## Autoregolazione in condizioni di saturazione

Il conducente del veicolo che deve attraversare, dopo aver atteso invano per un certo tempo il manifestarsi di un gap idoneo, tende ad accettare per quest'ultimo valori **insufficienti a consentirgli di effettuare la manovra in sicurezza**, imponendo quindi un **rallentamento** al flusso con diritto di precedenza.

Per flussi elevati o prossimi alla saturazione

la capacità dei diversi accessi è grosso modo proporzionale ai flussi in arrivo.

*Cioè in presenza di flussi elevati, l'intersezione a precedenza distribuisce la propria capacità complessiva fra i diversi accessi in funzione della domanda da essi addotta, autoregolandosi.*

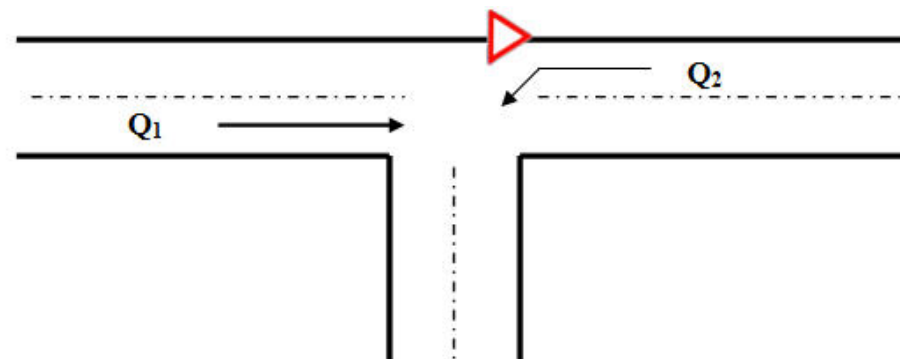
## Metodi di analisi e verifica in condizioni stazionarie

Schematizzazione teorica in presenza di flussi bassi, è trattato in letteratura con due approcci diversi che presentano limiti di applicabilità:

- **analitico**: applica la teoria dei fenomeni di attesa a ciascun punto di conflitto,
- **sperimentale**: basandosi su una grande mole di osservazioni esamina contemporaneamente l'effetto di tutti i punti di conflitto prodotti, su ciascuna manovra, dalle correnti aventi su di essa diritto di precedenza.

## Metodo analitico (I)

Si considera il conflitto fra due manovre di cui una ha la precedenza (flusso principale diretto  $Q_1$ ) e l'altra deve cederla (flusso secondario di svolta  $Q_2$ ).



**Tempo di servizio  $s$**  = il tempo medio richiesto da ogni veicolo di  $Q_2$  per effettuare la manovra.

**$S = t$  di attraversamento + tutti gli intervalli insufficienti + intervallo critico.**

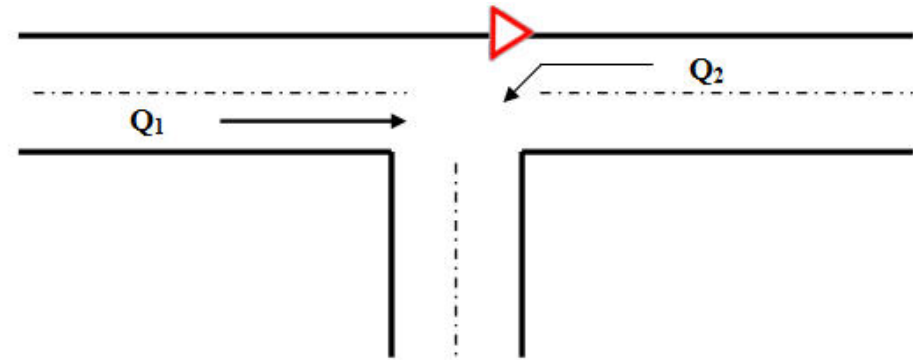
Esso è **funzione diretta del flusso principale  $Q_1$**  ed ha la dimensione di [tempo]/[veicoli].

$S$  è una variabile aleatoria di cui è possibile conoscere il valore medio  $b$ .

Il suo inverso  **$(1/b)$**  rappresenta il **flusso medio nell'arco di tempo considerato  $T$ , espresso in [veicoli]/[tempo] che può essere smaltito dall'intersezione**, relativamente alla manovra considerata.

## Metodo analitico (II)

Q1 ha la precedenza  
Q2 deve cederla



Al **flusso medio smaltibile** nel periodo T si rapporta il **flusso medio degli arrivi** nella manovra di svolta  $Q_2$  per ottenere il parametro **R (intensità di traffico)** :

- se  $R = Q_2 / (1/b) \leq 1 \Rightarrow$  **l'intersezione riesce a smaltire i veicoli** che chiedono di effettuare la manovra in questione (gli arrivi sono minori o al più uguali alle partenze); si realizza perciò un funzionamento in regime stazionario;
- se  $R = Q_2 / (1/b) > 1 \Rightarrow$  **l'intersezione non riesce a smaltire i veicoli** che chiedono di effettuare la manovra in questione (gli arrivi sono più numerosi delle partenze); il regime di funzionamento non è stazionario, formazione code.

## Il metodo sperimentale: Highway Capacity Manual

Applicabile solo **ad intersezioni a quattro vie di accesso**, due delle quali presentano un segnale di “dare precedenza” o di “stop”.

Determina **il livello di servizio di una intersezione** non semaforizzata tra una strada principale ed una secondaria.

La metodologia lega **la capacità delle vie di accesso senza precedenza** a due fattori:

- **la distribuzione dei gap nel flusso principale** da attraversare o in cui immettersi
- **la soggettività dei guidatori** nella scelta dell'intervallo idoneo per effettuare la manovra desiderata;

La procedura:

1. stabilisce un **ordine di priorità** fra le diverse manovre senza precedenza, individuando **quattro livelli a cui compete una difficoltà crescente**;
2. **calcola il ritardo medio D** per veicolo relativo a ciascuna tipologia di manovra
3. pone in relazione il **ritardo medio totale** con il **livello di servizio** che si realizza nell'intersezione.

Livello di servizio	Ritardo medio totale D (s/ veicolo)
A	$D \leq 5$
B	$5 > D \leq 10$
C	$10 > D \leq 20$
D	$20 > D \leq 30$
E	$30 > D \leq 45$
F	$D > 45$

Si definiscono **semaforizzate** le **intersezioni stradali a raso** nelle quali il **movimento dei veicoli sia regolato mediante appositi segnali luminosi**, che prescrivono ai guidatori le condizioni di marcia che devono assumere al fine di evitare conflitti o collisioni con altri veicoli o con pedoni e, più in generale, **allo scopo di ottenere adeguate condizioni di sicurezza e di fluidità delle correnti veicolari**.

## Cenni alla normativa

Le norme che riguardano la segnaletica luminosa sono contenute

- nel **Nuovo Codice della Strada** (nel seguito indicato con “NCS”),
- nel rispettivo **Regolamento di Esecuzione del Nuovo Codice** della Strada (nel seguito indicato con “RENCS”) e nei loro rispettivi aggiornamenti normativi.

Il NCS dedica l’art. 41 alla definizione e alla prescrizione delle caratteristiche di massima della segnaletica luminosa (categorie di semafori).

Nel RENCS sono invece 12 (dal 158 al 169) gli articoli dedicati ai semafori per prescriverne forma, caratteristiche, dimensioni, colori e simboli, nonché per specificare le modalità di impiego e il comportamento che l’utente della strada deve tenere nelle varie situazioni previste.



## Lanterne semaforiche (art. 41 NCS)

**Lanterne semaforiche veicolari normali.** Le luci proiettate di forma circolare di colore verde, giallo e rosso, con il significato seguente:

- luce verde: consente il passaggio, ma i conducenti NON devono impegnare l'area se non hanno la certezza di poterla sgombrare prima dell'accensione della luce rossa, e devono dare SEMPRE la precedenza a pedoni, a ciclisti ed alle svolte a destra;
- luce rossa: vieta il passaggio;
- luce gialla fissa successivamente alla verde: vieta ai veicoli di oltrepassare la striscia di arresto o il segnale, a meno che vi si trovino tanto prossimi, al momento dell'accensione della luce, da non permettere l'arresto del veicolo in condizioni di sicurezza;
- luce gialla lampeggiante: consente ai veicoli di procedere a condizione di mantenere una velocità moderata e di rispettare le norme di precedenza con particolare prudenza.

## Lanterne semaforiche (art. 41 NCS)

**Lanterne semaforiche di corsia:** installate in corrispondenza delle corsie di canalizzazione del traffico, sono specializzate per differenti direzioni a ciascuna delle quali è dedicata una fase semaforica separata dalle altre. Sono composte da tre luci a forma di frecce.



**Lanterne semaforiche per i veicoli di trasporto pubblico:** hanno luci a forma di barra bianca su fondo nero con i seguenti aspetti e rispettivi significati:

- barra bianca orizzontale: arresto,
- triangolo giallo su fondo nero: preavviso di arresto,
- barra bianca verticale o inclinata a destra o sinistra: via libera, rispettivamente dritto, a destra o sinistra.



## Lanterne semaforiche (art. 41 NCS)

**Lanterne semaforiche veicolari per corsie reversibili.** Consentono la reversibilità del senso di marcia, vanno posizionate superiormente alle rispettive corsie orientandole orizzontalmente. Impiego:

- varchi di stazioni autostradali,
- varchi di barriere di controllo o di pedaggio,
- carreggiata suddivisa in tre o più corsie.



### Lanterne semaforiche speciali:

luce rossa lampeggiante o due luci rosse circolari, disposte orizzontalmente o verticalmente e lampeggianti alternativamente: ai passaggi a livello ferroviari e tramviari, agli accessi dei ponti mobili o dei pontili di imbarco delle navi traghetto;

una o più luci circolari riportanti numeri bianchi su fondo nero: indicano, espressa in km/h, la velocità di coordinazione degli impianti semaforici situati lungo un itinerario; sono **denominate lanterne di onda verde** e possono essere adottate sugli itinerari comprendenti più intersezioni semaforizzate e coordinate tra loro; installate sui rami di uscita delle intersezioni stesse, consigliano ai conducenti dei veicoli la velocità da mantenere per trovare la via libera alla successiva intersezione semaforizzata.

50

40

30

## Specifiche costruttive: posizione e ridondanza

L' art. 168 del RENCs prescrive che le lanterne debbano essere **installate su pali posti sul margine destro** della carreggiata, sul marciapiede, ovvero su apposite isole di canalizzazione o spartitraffico.

I segnali luminosi devono essere ripetuti superiormente alla carreggiata nelle seguenti situazioni:

- strade a tre o più corsie nello stesso senso di marcia,
- strade alberate a due o più corsie nello stesso senso di marcia,
- strade percorse da elevati flussi di traffico pesante,
- strade a elevata velocità media di scorrimento;

è assolutamente indispensabile che **esista un numero minimo di almeno due facce semaforiche** veicolari riportanti la stessa indicazione, che siano **visibili dal traffico di ciascun approccio** a una intersezione semaforizzata (utili in presenza di veicoli commerciali di grandi dimensioni o autobus precludenti momentaneamente la visibilità di una delle due facce).

## Struttura dell'intersezione e modalità di controllo

Relativamente alla sua **struttura**, un'intersezione si definisce **semplice**, se non presenta particolari limitazioni o problemi nell'accumulo delle eventuali code di veicoli, comprese quelle generate dai veicoli che svoltano a sinistra; si definisce **complessa**, se è interessata dalla presenza di interferenze rilevanti tra le code dovute, per esempio, a conflitti tra correnti di traffico che, manifestandosi in diversi punti dell'area di incrocio, richiedono la semaforizzazione anche dell'area interna.

Dal punto di vista delle **modalità di controllo** le intersezioni possono essere definite:

- **isolate,**
- **interdipendenti**

## Modalità di gestione

**Ciclo semaforico:** 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.

In base al loro funzionamento i semafori possono essere così classificati:

- **semafori a ciclo fisso**

- su incrocio isolato,
- su più incroci interdipendenti e tra loro coordinati,

- **semafori attuati dal traffico** su incrocio isolato:

- completamente attuati dal traffico,
- parzialmente attuati dal traffico,
- semiattuati dal traffico;

- **semafori interdipendenti attuati dal traffico** a controllo centralizzato.

## Intersezioni isolate

Per il loro funzionamento sono disponibili le seguenti modalità di controllo:

**1.controllo manuale:** la **durata del ciclo semaforico e la durata delle singole fasi** sono determinate manualmente da parte di persone appositamente incaricate, in funzione dell' andamento del traffico da esse osservato;

**2.controllo a ciclo fisso:** la **durata del ciclo e quella delle singole fasi** sono predefinite (in base alle caratteristiche medie del traffico) in un piano semaforico e si mantengono costanti nel tempo, indipendentemente dall' andamento reale del traffico;

**3.controllo attuato:** **la durata del ciclo semaforico, la durata delle singole fasi** e la loro successione all' interno di ogni ciclo **sono adattati ai cambiamenti delle condizioni di traffico**; il controllo è realizzato da un apparato che opera automaticamente acquisendo **in tempo reale**, mediante rilevatori posizionati lungo gli accessi all' intersezione, i dati che caratterizzano l' andamento dei flussi veicolari e pedonali;

**4.controllo locale a selezione di piano:** il controllo avviene a ciclo fisso, ma possono realizzarsi cicli diversi, per durata e successione delle fasi, predefiniti mediante piani semaforici differenziati; la selezione dei piani può essere effettuata manualmente, ad orario o in funzione del traffico;

**5.controllo locale a formazione di piano:** le caratteristiche di ogni piano (fasatura, durata del ciclo e tempi di verde) sono definite automaticamente in funzione dell' andamento del traffico.

## Semafori isolati attuati dal traffico

Sono basati su dati di traffico acquisiti in tempo reale da rilevatori posti a breve distanza (tra 15 e 25m) dalla linea di arresto.

### Livelli di attuazione:

- **Semafori semi-attuati:** il monitoraggio del traffico è effettuato solo sugli approcci meno carichi.
- **Semafori attuati:** tutti gli approcci sono monitorati.

### Strategie di controllo:

- Attuazione **a volume**;
- Attuazione **a volume-densità**;
- Attuazione **a densità completa**.

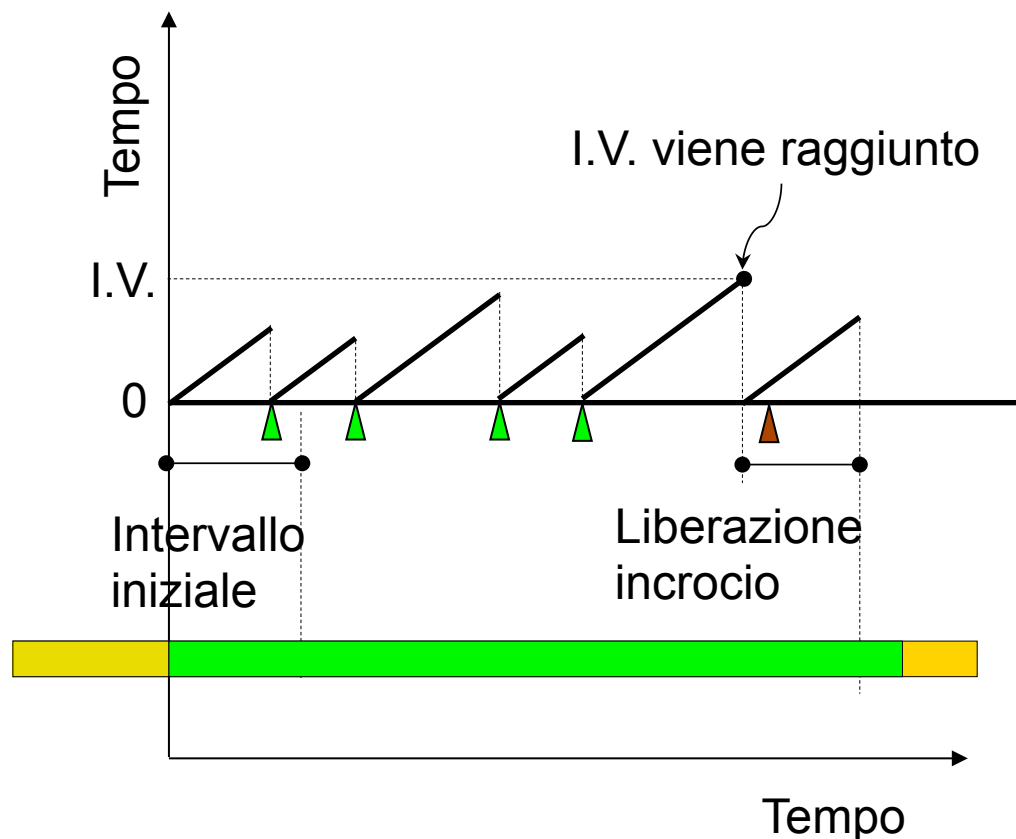


## Attuazione a volume (1)

Per ogni approccio, trascorso il rosso, il sistema garantisce **un tempo di verde minimo** (**intervallo iniziale**), necessario per smaltire tutti i veicoli eventualmente presenti tra il rilevatore e la linea di arresto.

Trascorso l'intervallo iniziale, ammette **un tempo massimo** in cui il semaforo può essere a verde senza che arrivino nuovi veicoli (**intervallo veicolare I.V.**).

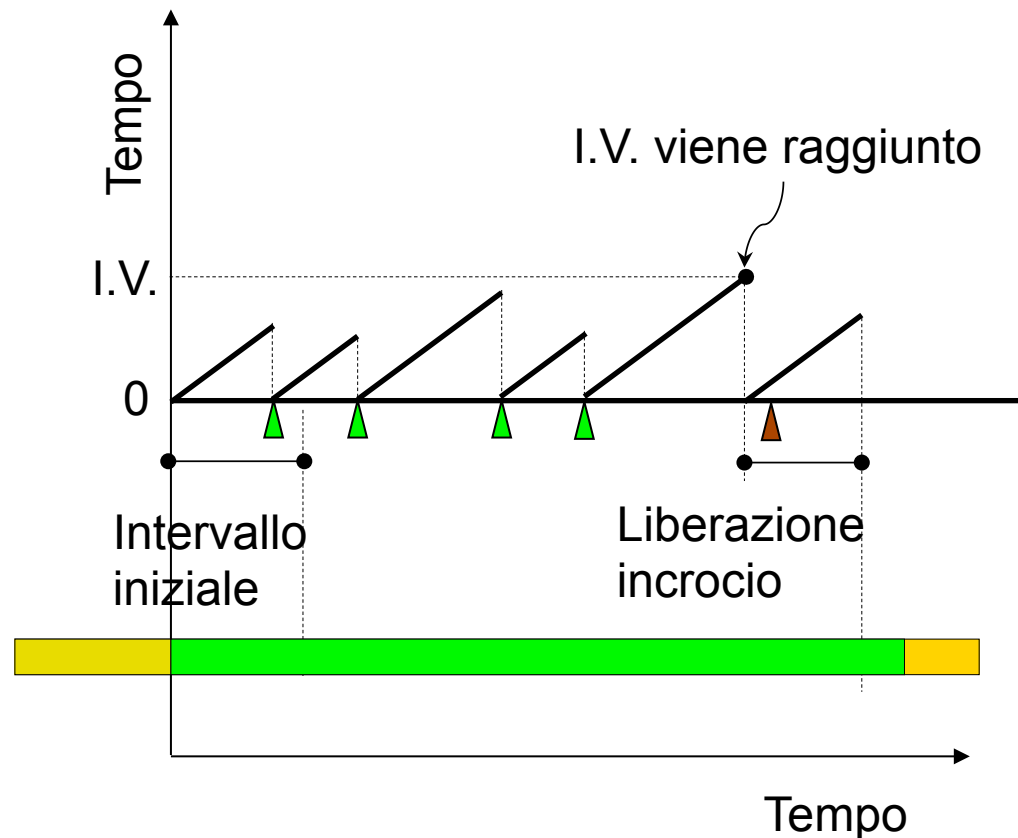
Durante il verde ogni volta che un veicolo arriva prima che si esaurisca l'intervallo veicolare I.V. (triangolo verde), dà inizio ad un nuovo intervallo veicolare, prolungando così la fase di verde.



## Attuazione a volume (2)

Il semaforo passa a rosso quando:

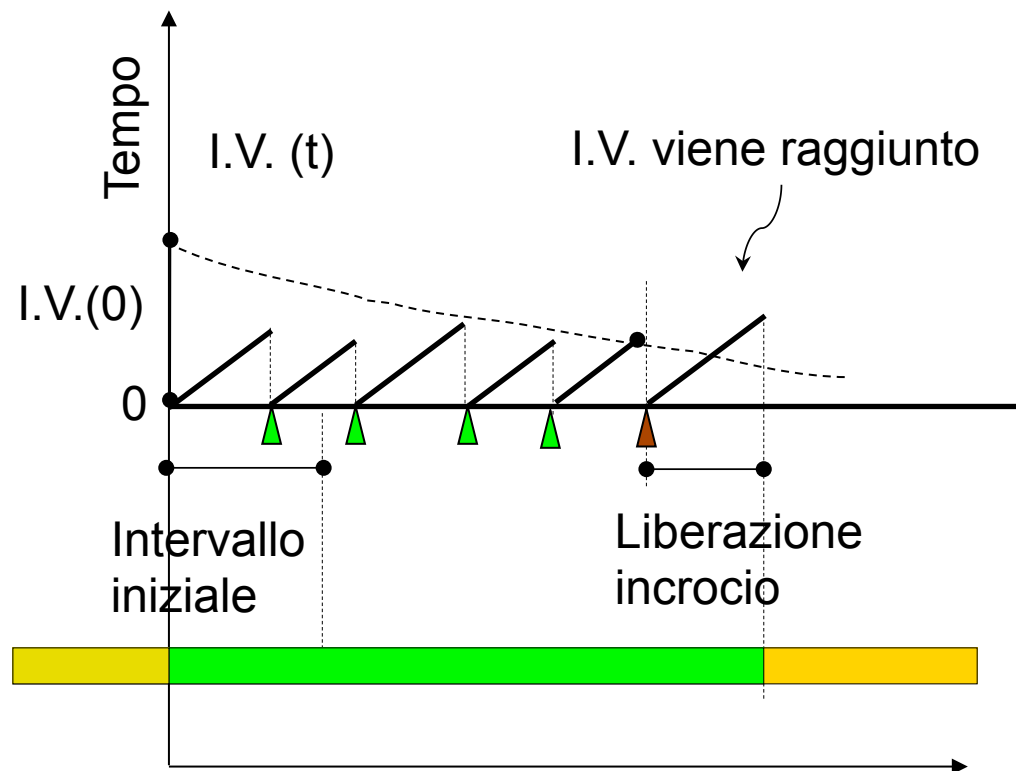
- è trascorso un intervallo veicolare **senza che sia arrivato alcun veicolo** (il triangolo marrone è oltre IV)
- è stato raggiunto il **valore massimo ammissibile** per il verde.



## Attuazione a volume-densità (1)

**Attuazione a volume – densità:**  
funziona come il precedente ma  
con:

- » un **intervallo iniziale variabile** in funzione del numero di veicoli effettivamente presenti tra rilevatore e linea di arresto,
- » un **intervallo veicolare variabile**: ridotto con una legge decrescente fissata dal progettista; ovvero con il passare del tempo la corrente in arrivo dovrà giungere con intervalli sempre più piccoli se vuole il verde.



## Attuazione a densità completa

### **Attuazione a densità completa.**

L' **intervallo iniziale** è determinato in maniera identica al controllo a volume-densità.

La variazione **dell' intervallo veicolare** dipende dai seguenti fattori:

- il tempo trascorso dalla prima attuazione (come nell'attuazione volume-densità);
- il numero di veicoli in attesa sulle altre fasi;
- la densità del traffico in moto: non è consentito il prolungamento del verde se un plotone sparso segue un plotone compatto.

## Criteri e condizioni per l'installazione di un impianto semaforico

### 1. Entità del flusso sulla strada principale

I **valori di flusso da considerare come limiti inferiori** per giustificare la realizzazione di un impianto semaforico sono i seguenti:

strada principale: flusso > 500 veicoli /h per almeno otto ore al giorno,

strada secondaria: flusso > 150 veicoli /h per almeno otto ore al giorno.

I valori sopra indicati si riferiscono a velocità di deflusso tipiche dagli ambiti urbani (50 km/h). Se l'**ottantacinquesimo percentile** ha una velocità superiore a 70 km/h i valori minimi di flusso si possono ridurre del 25%.

In tabella i valori minimi del flusso veicolare riscontrabile in diverse situazioni sulla strada principale e su quella secondaria che possa motivare la realizzazione di un impianto semaforico.

Numero di corsie s ogni approccio		Volume di traffico Q [veic/h]	
Strada principale	Strada secondaria	Strada principale (tot dei due approcci)	Strada secondaria (approccio con Q maggiore)
1	1	500	150
≥ 2	1	600	150
≥ 2	≥ 2	600	200
1	≥ 2	500	200

## Criteri e condizioni per l'installazione di un impianto semaforico

### 2. Entità degli attraversamenti pedonali

Per la regolazione del traffico può risultare opportuna l'installazione di un impianto semaforico in relazione **alla presenza significativa di attraversamenti pedonali**.

**Il valore di flusso veicolare da considerare come limite inferiore** per giustificare la realizzazione di un impianto semaforico **in relazione alla presenza di pedoni** è il seguente:

**traffico orario complessivo > 1000 veicoli/h per almeno otto ore al giorno,**

mentre **la componente pedonale** che attraversa la corrente principale deve soddisfare una delle seguenti condizioni:

**flusso pedonale > 150 pedoni/h,**

**flusso pedonale > 190 pedoni/h durante almeno un'ora.**

### 3. Incidentalità

La semaforizzazione di una intersezione può risultare efficace per la **riduzione del numero e della gravità degli incidenti** qualora non sussistano le condizioni che garantiscano l'effettivo rispetto delle prescrizioni da parte degli automobilisti e dei pedoni (questa affermazione può apparire banale e scontata, ma in effetti rispecchia bene quanto avviene nella realtà).

## Criteri progettuali

1. **caratterizzazione geometrica e funzionale** dell'intersezione da semaforizzare,
2. **stesura di una serie di piani semaforici** alternativi che soddisfino le esigenze delle correnti veicolari e pedonali in movimento nell'area dell'intersezione, garantendone la sicurezza e osservando le norme del codice della strada e le altre condizioni al contorno indagate durante i rilievi;

## 1. Caratterizzazione geometrica e funzionale dell'intersezione da semaforizzare

1.1. rilievo delle **caratteristiche geometriche** dell'intersezione: stesura di una planimetria in scala adeguata riportante i seguenti dettagli:

- numero e larghezza delle corsie dei rami di accesso, canalizzazioni, spartitraffico, isole di traffico,
- segnaletica orizzontale e attraversamenti pedonali,
- pendenze, curve, eventuali ostacoli alla visibilità,
- posizione e dimensioni delle fermate delle linee di trasporto collettivo, percorsi di eventuali linee di trasporto collettivo su ferro,
- regolamentazione della sosta,

1.2. rilievo dei **vincoli** presenti in prossimità dell'intersezione: edifici, passi carrabili, illuminazione pubblica, pali o piloni delle reti elettriche e telefoniche,

1.3. analisi delle varie **caratteristiche del traffico** che interessa l'intersezione, in particolare:

- numero dei veicoli entranti da ciascun ramo nell'intersezione,
- volumi veicolari di ogni corrente da ciascun approccio, evidenziando le svolte a sinistra conflittuali, suddivisi per tipologia veicolare,;
- volumi pedonali;

1.4. analisi **dell'incidentalità** relativa all'intersezione,



## **2. Stesura di una serie di piani semaforici**

**2.I. Definizione di una possibile geometria dell'area di incrocio all'interno dell'area disponibile**

**2.II Individuazione dei tempi di giallo e di tutto rosso**

**2.III Criteri di fasatura e definizione delle fasi semaforiche:**

- a) Numero delle fasi**
- b) Successione ciclica delle fasi**
- c) Durata di ogni fase**
- d) Calcolo del ciclo**

**2.IV Valutazione funzionale dell'intersezione**

- Calcolo del flusso di saturazione**
- Capacità e livelli di servizio**
- Confronto tecnico economico tra le alternative progettuali**

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.1. Definizione di una possibile geometria dell'area di incrocio all'interno dell'area disponibile

Schematizzazione e progettazione delle aree disponibili:

- disegno delle corsie (numero e tipologie) ai diversi approcci,
- individuazione delle zone di rispetto,
- localizzazione e disegno degli attraversamenti pedonali e ciclabili,
- localizzazione dei segnali componenti l'impianto semaforico sui diversi rami dell'intersezione.

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### II.1. Determinazione dei tempi di giallo tG

Il tempo di giallo deve consentire:

- **l'arresto tempestivo dei veicoli** che si stanno approssimando all'intersezione:

$$tG = t_d + t_a$$

- t<sub>d</sub> pari al tempo di decisione
- t<sub>a</sub> = tempo di arresto

- **lo sgombero dell'intersezione da parte dei veicoli che stanno transitando al suo interno** o che si trovano fermi nell'attesa di poter effettuare la svolta a sinistra:

$$tG = t_d + t_i$$

- t<sub>d</sub> pari al tempo di decisione
- t<sub>i</sub> = tempo necessario ad attraversare l'intersezione

In generale risulta molto più opportuno definire per **tutte le intersezioni** valori unici dei tempi di giallo (CNR):

- **strade urbane:** **tG = 4 s,**
- **strade extraurbane:** **tG = 5 s,**

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### II.2 Determinazione dei tempi di tutto rosso:

finalizzato a **garantire lo sgombero dell'intersezione da parte dei veicoli presenti al suo interno**,

Secondo la normativa italiana, il tempo di tutto rosso  $TR_i$  relativo a una certa fase  $i$  può essere calcolato, espresso in secondi, con la seguente relazione:

$$TR_i = t_{pd} + \frac{S_f}{v_v} + \frac{D + d}{v_v} - t_G$$

dove:

**$t_{pd}$  = tempo di percezione e decisione** = 1÷2 s (dipendente dall'attenzione dei guidatori, presenza di segnali di preavviso di impianto semaforico, età media prevedibile dei guidatori, velocità di approccio)

**$S_f$  = spazio di frenatura [m]** alla velocità  $v$  [m/s] dei veicoli in arrivo (considerata pari alla velocità di progetto della strada o al limite di velocità imposto).

**$D$  = lunghezza della traiettoria [m]** situata all'interno dell'area di intersezione; questa si intende racchiusa nel perimetro identificato dall'insieme delle linee di arresto della corrente più vincolante in termini di tempo di sgombero;

**$d$  = lunghezza media dei veicoli**, assunta in genere pari a 5 m;

**$v_v$  = velocità dei veicoli [m/s]** della corrente più vincolante all'interno dell'intersezione;

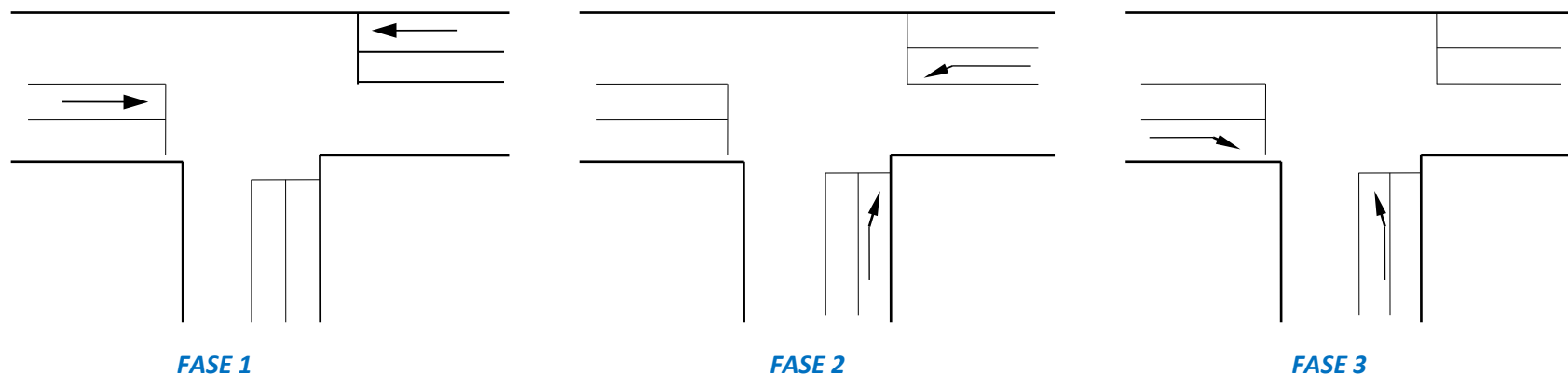
**$t_G$  = tempo di giallo**: 4 s per le strade urbane, 5 s per le strade extraurbane.

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III Criteri e definizione delle fasi semaforiche

In linea di principio possiamo distinguere due criteri base da seguire alternativamente nel progettare la semaforizzazione:

- **la separazione delle correnti indipendente dalla provenienza**: consiste nel dare il via libera in fasi diverse ai flussi provenienti dalla stessa strada aventi diversa destinazione, cercando di rendere minimi i punti di conflitto. Perché possa realizzarsi questo sistema di fasatura è necessario che le strade interessate siano di larghezza sufficiente a permettere la creazione di specifiche corsie di canalizzazione.

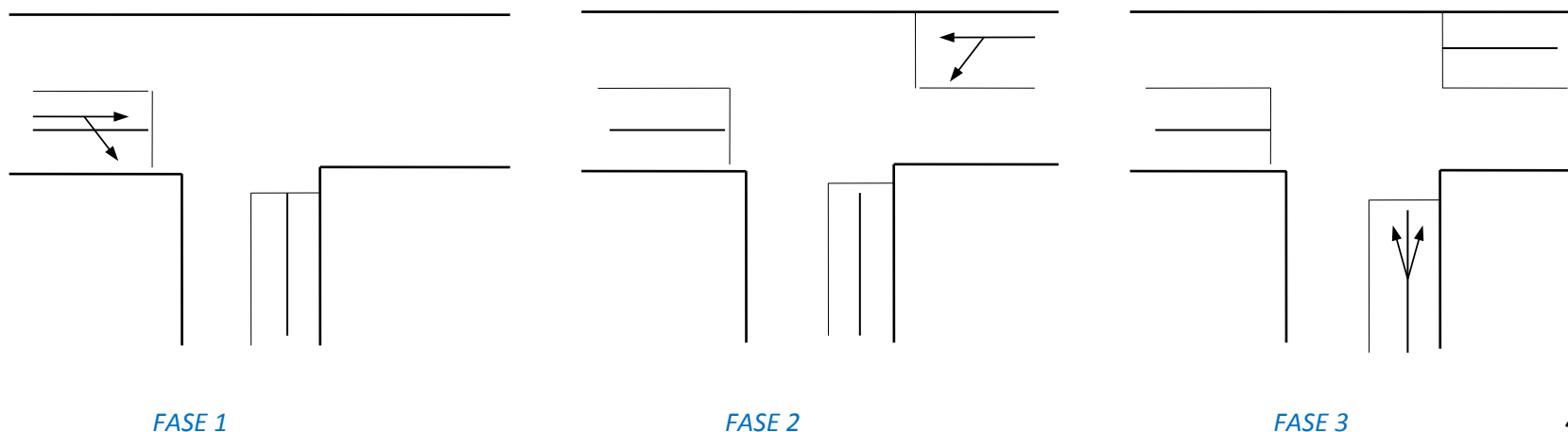


## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III Criteri e definizione delle fasi semaforiche

In linea di principio possiamo distinguere due criteri base da seguire alternativamente nel progettare la semaforizzazione:

- **la separazione delle correnti in base alla provenienza** che è il più semplice sistema di fasatura e si realizza assegnando **il via libera nella stessa fase a tutte le correnti provenienti dalla medesima strada**, indipendentemente dalla destinazione. E' il solo sistema di fasatura realizzabile allorché le ridotte dimensioni della sezione delle strade di accesso non consente di creare corsie specializzate per le svolte



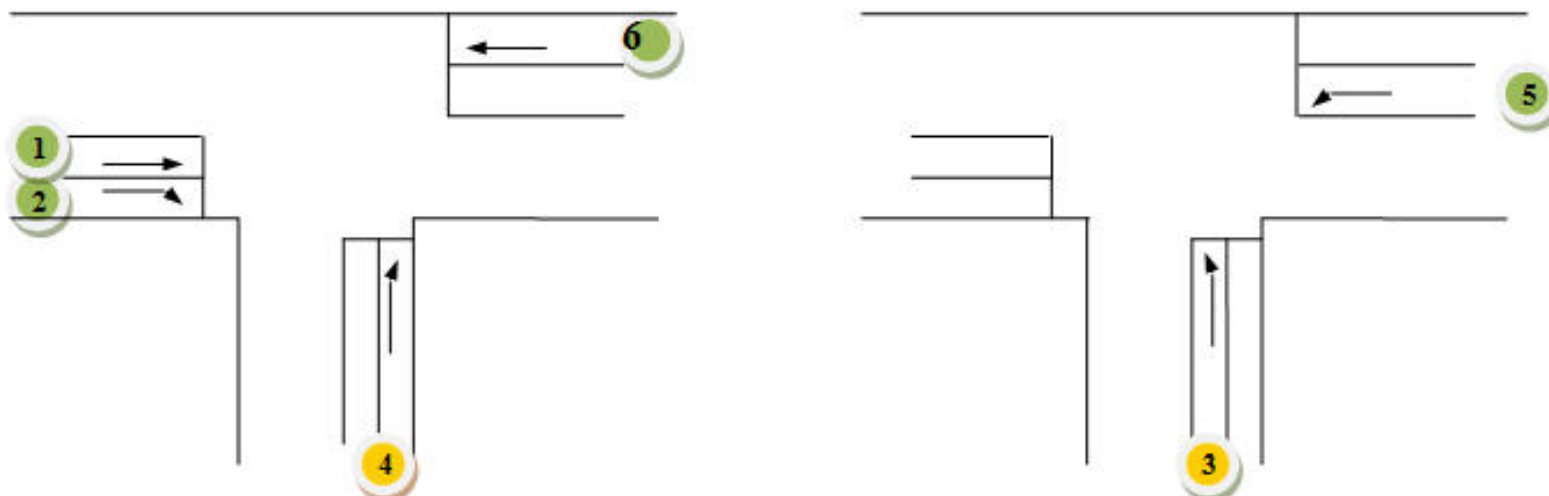
## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III Criteri e definizione delle fasi semaforiche

E' possibile distinguere le manovre che avvengono nell'ambito dell'intersezione semaforizzata in:

**manovre protette** che non presentano punti di conflitto con altre correnti o hanno rispetto a quest'ultime il diritto di precedenza;

**manovre permesse** che entrano in conflitto con correnti veicolari o pedonali aventi la precedenza (per esempio la svolta a sinistra consentita contemporaneamente al via libera dall'accesso opposto).



## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III Criteri e Definizione delle fasi semaforiche

Obiettivi di efficienza e sicurezza:

- provocare **il minore ritardo possibile** al deflusso veicolare
- **eliminare** il maggior numero possibile di **punti di conflitto** tra le correnti veicolari;

La **definizione delle fasi semaforiche** prevede:

- a) individuazione del numero delle fasi,
- b) definizione della loro successione ciclica,
- c) definizione della durata (o temporizzazione) di ogni fase,
- d) calcolo della durata del ciclo,



## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III.a individuazione del numero delle fasi

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,
- **accorpare** 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.

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III.b Successione delle fasi

Una volta stabilito il numero delle fasi, si procede con la definizione della **successione ciclica delle fasi stesse**, con l'obiettivo di massimizzare la capacità dell'intersezione nel rispetto delle condizioni di sicurezza.

*La sequenza delle fasi più conveniente è quella che consente di ottenere il ciclo più breve, minimizzando la somma dei tempi persi*

### 2.III.c Temporizzazione delle fasi

*Definizione della **durata delle varie fasi** precedentemente determinate e, di conseguenza, la **durata del ciclo complessivo**.*

#### **durata minima del verde:**

correnti veicolari in generale: 10 s,  
 correnti principali: 15 s,  
 flussi veicolari particolarmente bassi o impianti attuati dal traffico: 5 s,  
 svolte a sinistra: 10 s,  
 svolta a sinistra protetta con frecce direzionali: 5 s,  
 corsie riservate al trasporto collettivo: 5 s,  
 biciclette e pedoni: 5 s;

#### **durata massima del rosso:**

per pedoni e ciclisti: 60 s,  
 per il traffico veicolare: 120 s.

#### **durata del ciclo:**

durata minima: 30 s,  
 durata normale: 50 ÷ 75 s,  
 durata massima: 90 ÷ 120 s;

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III.d Calcolo della durata del ciclo

La normativa CNR consiglia per il calcolo del ciclo semaforico di adottare **la formula del ciclo teorico** (ciclo che smaltisce tutti i flussi in arrivo composti da veicoli viaggianti a intervalli tendenzialmente costanti durante il periodo di riferimento, in periodi di breve durata, pari a 15 minuti):

$$C = \frac{L}{(1 - Y)},$$

dove:

**C:** lunghezza del ciclo (s)

**L:** **somma dei perditempi**, espressi in secondi, riscontrabili durante un ciclo.

*Comprende i tempi relativi alla presenza di fasi esclusivamente pedonali cui vanno sommarsi i **perditempo** calcolati in tutte le fasi semaforiche.*

***Il perditempo comprende: un ritardo alla partenza (3 s), metà del tempo di giallo e un tempo di tutto rosso.***

**Y** = somma degli **indici di carico** delle singole fasi veicolari.

Equivalente al **rapporto tra Fj, flusso previsto** per una data corrente di traffico j, e **Sj, il flusso di saturazione** della stessa corrente j.

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.III.d Calcolo della durata del ciclo

$$C = \frac{L}{(1-Y)},$$

**Il tempo di verde** di ogni fase veicolare può essere espresso, in secondi, mediante la seguente relazione:

$$V_i = 1 + (C - L) \frac{y_i}{Y}.$$

**Con  $y_i$  = indice di carico massimo tra quelli di tutte le correnti della fase i:**

**I tempi di rosso** di ogni fase sono noti se lo sono i tempi di verde e se si tiene conto delle eventuali fasi pedonali.

Noti i tempi di rosso è necessario *verificare che la lunghezza della coda che si forma in ogni ramo non ostacoli il deflusso dei veicoli in uscita dalla eventuale intersezione posta a monte di quel ramo.*

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.IV Valutazione funzionale dell'intersezione

#### Capacità, grado di saturazione e livello di servizio delle intersezioni semaforizzate

La capacità di un'intersezione è fortemente dipendente dalla semaforizzazione presente ed è basata sul concetto di flusso di saturazione  $S_j$

La **capacità** (veicoli/ora): **n° max di veicoli che possono attraversare l'intersezione per una determinata direzione per un dato intervallo di tempo**

Il **livello di servizio** è una misura delle caratteristiche di mobilità di un'intersezione: viene definito in termini di ritardo, ed è la misura del disagio e della frustrazione del guidatore, del consumo di carburante e del tempo di viaggio speso. In particolare il livello di servizio è **misurato in termini di ritardo medio alla fermata (tempo di stazionamento di un veicolo in un incrocio) per un veicolo per un periodo di 15 minuti.**

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.IV Valutazione funzionale dell'intersezione

#### Capacità, grado di saturazione e livello di servizio delle intersezioni semaforizzate

Nella normativa italiana non si fa riferimento a concetti di capacità e livello di servizio.

- Il CNR propone una procedura di verifica che valuta la qualità della circolazione imposta dall'impianto semaforico computando **la lunghezza della coda** di ciascun ramo. *Determinata la lunghezza della coda di ogni ramo, la si può confrontare con la lunghezza dei tratti stradali compresi tra l'intersezione in esame e quelle limitrofe su ognuno dei suoi rami di accesso, verificando che non si creino interferenze.*

L'Highway Capacity Manual propone la **valutazione della capacità** e del **ritardo** apportato dalla semaforizzazione dell'incrocio, quest'ultimo parametro consente anche la definizione dei sei **livelli di servizio**.

## 2. Stesura di una serie di piani semaforici

### 2.IV Valutazione funzionale dell'intersezione

#### Capacità, grado di saturazione e livello di servizio delle intersezioni semaforizzate

**livello A:** ritardo estremamente limitato ( $\leq 10$  s/veic);

**livello B:** ritardo compreso tra 10 e 20 s/veic; si ottiene con una buona coordinazione e/o con brevi tempi di ciclo;

**livello C:** ritardo compreso tra 20 e 35 s/veic; il numero di veicoli arrestati per ciclo inizia a essere significativo; possono inoltre apparire singoli difetti del ciclo semaforico;

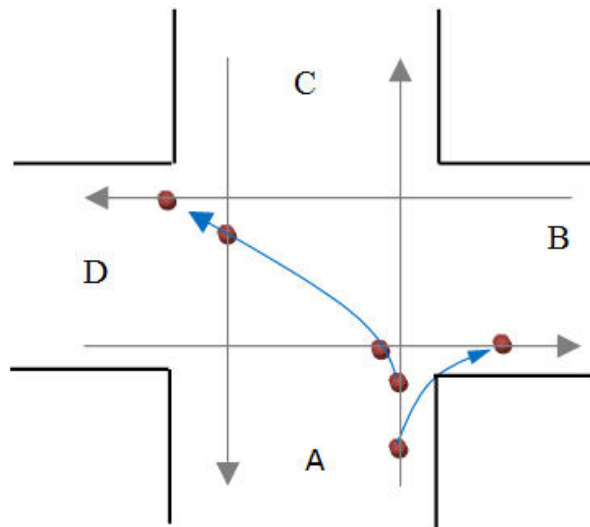
**livello D:** ritardo compreso tra 35 e 55 s/veic; l'influenza della congestione e l'insufficienza del ciclo iniziano a risultare rilevanti;

**livello E:** ritardo compreso tra 55 e 80 s/veic; questi valori di ritardo possono essere motivati da scarsa coordinazione semaforica, lunghi tempi di ciclo, elevati gradi di saturazione; il valore di 80 s/veic è di norma considerato come il limite accettabile del ritardo veicolare;

**livello F:** ritardo superiore a 80 s/veic; è considerato inaccettabile da gran parte dei conducenti e si verifica in presenza di sovrasaturazione

## INTERSEZIONI CON CONTROLLO DELLE MANOVRE NELLO SPAZIO

la manovra critica risulta essere quella di svolta a sinistra



n° di bracci a	n° di manovre di svolte a dx	punti di conflitt o genera ti	numero di manovre di svolta a sn	punti di conflitto generati	numero di manovre di attraversame nto	punti di conflitto generati	n° di punti conflitti totali
3	2	2	2	4	0	0	12
4	4	8	4	16	4	8	32



## INTERSEZIONI CON CONTROLLO DELLE MANOVRE NELLO SPAZIO

Le norme CNR individuano le seguenti soluzioni dei punti di conflitto:

- 1°. **Sfalsamento altimetrico** delle traiettorie, mediante idonee opere d'arte e rampe;
- 2°. **Realizzazione di tronchi di scambio**, aventi la funzione a far compiere l'intersecazione tra i veicoli con angoli particolarmente piccoli (e quindi a bassa velocità relativa), con ampia possibilità reciproca di scelta dell'intervallo utile di passaggio dei veicoli in scambio; i punti di conflitto di attraversamento vengono trasformati in punti di diversione e/o immissione;
- 3°. **Sfalsamento del tempo** d'impegno delle aree di manovra dell'intersezione mediante due possibili tipi di regolamentazione:
  - a precedenza* ( o con la sola regola della precedenza a destra o con segnaletica di precedenza, relativa o assoluta), in cui la scelta dell'intervallo utile per l'esecuzione delle manovre è a carico dei veicoli della corrente secondaria;
  - con semafori*, che impongono direttamente le cadenze di passaggio dei veicoli delle varie correnti di traffico.

## INTERSEZIONI CON CONTROLLO DELLE MANOVRE NELLO SPAZIO

In relazione alla classificazione delle strade previste dal Codice della Strada (D.L.vo 30 aprile 1992 n° 285 ) la soluzione dei punti di conflitto di attraversamento mediante sfalsamento nello spazio delle traiettorie è da prevedersi per i gruppi di intersezioni nei casi riportati in tabella 5.

GRUPPI D'INTERSEZIONE	CATEGORIA DI SOLUZIONE IN RAPPORTO AI TIPI DELLE DUE STRADE CHE SI INTERSECANO	MODI DI RISOLUZIONE DEI PUNTI DI CONFLITTO DI ATTRAVERSAMENTO
I) AUTOSTRADA URBANA CON STRADA URBANA DI SCORRIMENTO	DISOMOGENEA	1° OVVERO 1° E 2°
II) STRADA EXTRAURBANA PRINCIPALE O SECONDARIA CON STRADA URBANA DI SCORRIMENTO;	DISOMOGENEA	1° OVVERO 1° E 2°
III) STRADA URBANA DI SCORRIMENTO CON STRADA URBANA DI SCORRIMENTO	OMOGENEA	1° E 2° OVVERO 1° E 3°
IV) STRADA URBANA DI SCORRIMENTO CON STRADA DI QUARTIERE	DISOMOGENEA	1° E 2° OVVERO 1° E 3°
V) STRADA URBANA DI QUARTIERE CON STRADA URBANA DI QUARTIERE	OMOGENEA	2° OVVERO 3°
VI) STRADA URBANA DI QUARTIERE CON STRADA LOCALE	DISOMOGENEA	2° OVVERO 3°
VII) STRADA LOCALE CON STRADA LOCALE	OMOGENEA	SOLO 3°

## INTERSEZIONI A LIVELLI SFALSATI

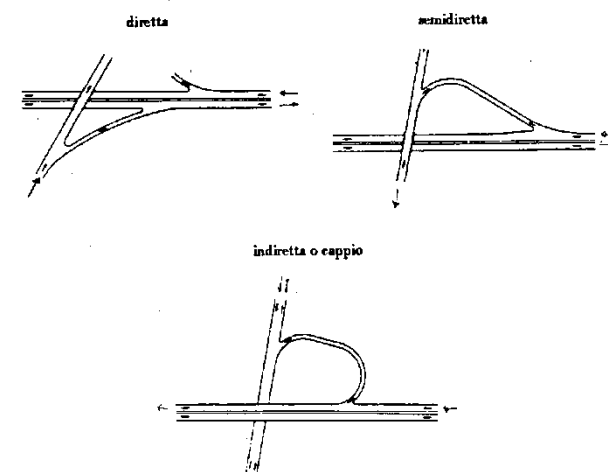
La funzionalità delle intersezioni a livelli sfalsati è definibile come **la capacità del sistema a consentire il cambio di traiettoria dei vari flussi di manovra tra i diversi rami** con: velocità adeguate e perditempo minimi delle correnti di diversione ed immissione e di scambio, minimo disturbo al regolare deflusso delle correnti di traffico dirette, da cui divergono o si immettono i veicoli diretti o provenienti dagli altri rami, elevati standard di sicurezza ed impatto visivo-acustico minimo.

Per tutte le possibili configurazioni, pertanto, la capacità dell'intersezione a livelli sfalsati è legata essenzialmente ai seguenti parametri:

- **alla forma** e, quindi, allo schema di risoluzione delle manovre di svolta a sinistra;
- **alle caratteristiche plano-altimetriche** (raggi di curvatura e pendenze) e dimensionali delle rampe di collegamento tra i vari rami dell'intersezione.
- **alle caratteristiche geometriche e dimensionali** degli elementi terminali, quali le corsie di accelerazione e delle aree di scambio.

## Il dimensionamento delle rampe

N° DI CORSIE	TRAFFICO (veic./h)	<b>DIMENSIONI</b> R= raggio di curvatura della rampa b= larghezza della rampa l= larghezza della banchina
1 per senso di marcia	< 500	R= 35 m. b=4,50 m. $35 < R \leq 60$ m. b=4,50 m. $R > 60$ m. b= 4,50 m. banchine una per lato l= 1,00 m.
2 per rampe a senso unico	500 - 1.000	b= 3,50 m. per corsia l = 1,00 m. per lato
1 per senso (per rampa a doppio senso)	< 1.000	per $35 < R \leq 60$ m. $b = 2 \cdot 4,00$ m per traffico pesante $\leq 10$ % $b = 2 \cdot 4,50$ m per traffico pesante $> 10$ % per $R > 60$ m. larghezza pari alla corsia di provenienza con eventuale allargamento l (per lato) = 1,00 m.



Ai fini della **determinazione della qualità della circolazione** in un'intersezione a livelli sfalsati è necessaria **la conoscenza dell'entità dei flussi d'immissione**, di scambio e di quello diretto presente sulla corsia di destra della strada d'innesto.

Tra i parametri utilizzabili al fine della valutazione della qualità della circolazione è possibile utilizzare **il fattore di carico " $X_v$ "** determinato dal **rapporto tra il flusso di scambio esistente o previsto " $q_v$ " e quello ammissibile " $q_c$ " relativo ad un determinato livello di servizio.**

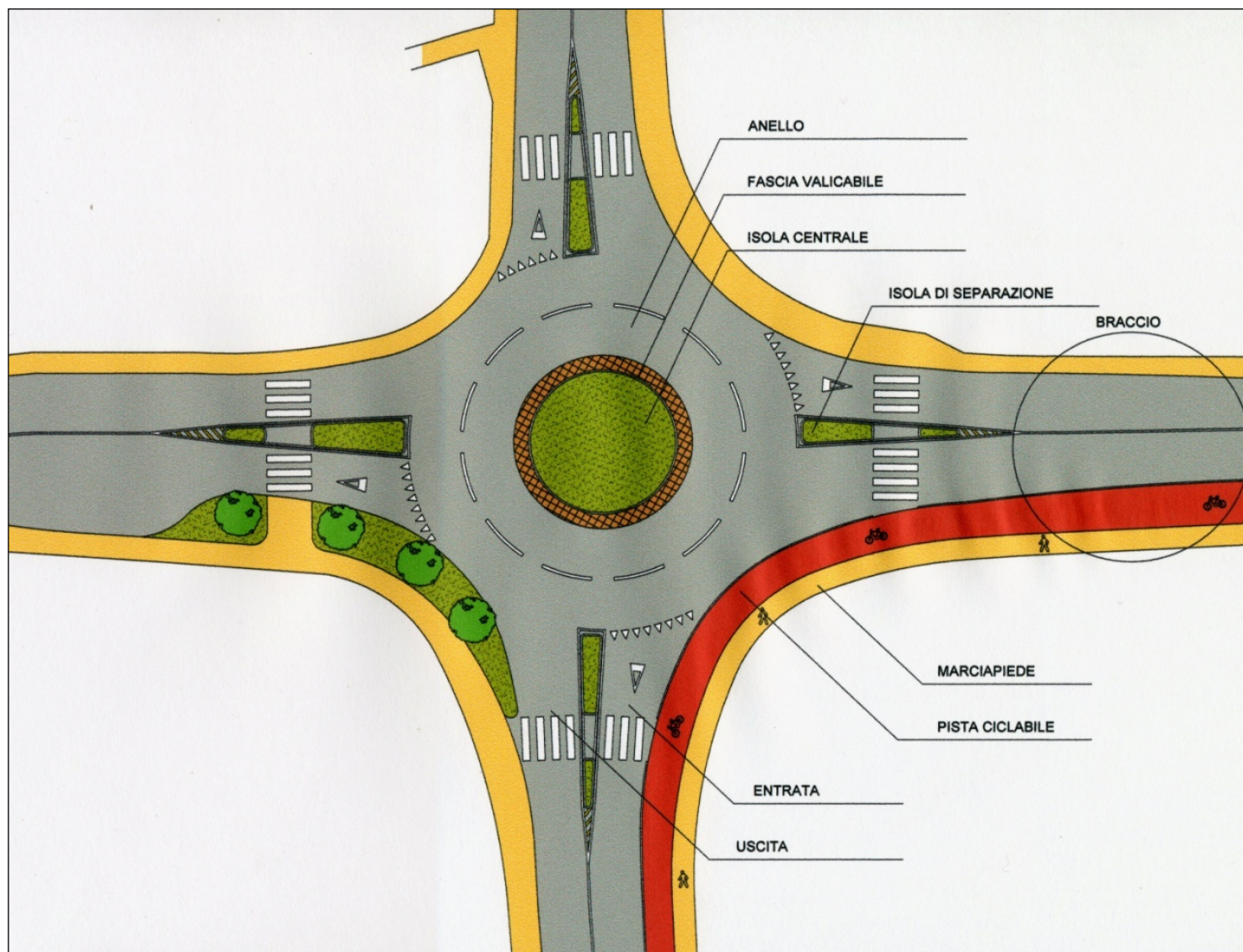
In relazione al **confronto tra i valori assunti dal fattore " $X_v$ " e quelli di riferimento** è possibile determinare il livello di servizio dell'intersezione e, quindi, la qualità della circolazione in essa.

LIVELLO DI SERVIZIO	FATTORE DI CARICO " $X_v$ "	PORTATE AMMISSIBILI " $q_c$ " (veic. eq/h)		
		TIPOLOGIA "A"	TIPOLOGIA "B"	TIPOLOGIA "C"
A	$\leq 0,3$	$\leq 600$	$\leq 600$	$\leq 950$
B	$\leq 0,55$	$\leq 1.100$	$\leq 1.100$	$\leq 1.750$
C	$\leq 0,75$	$\leq 1.500$	$\leq 1.500$	$\leq 2.350$
D	$\leq 0,90$	$\leq 1.800$	$\leq 1.800$	$\leq 2.800$
E	$\leq 1,00$	$\leq 2.000$	$\leq 2.000$	$\leq 3.150$
F	$> 1$	$> 2.000$	$> 2.000$	$> 3.150$

***Gli effetti positivi conseguenti alla riduzione di conflittualità fra le correnti veicolari in transito sono così sintetizzabili:***

- miglioramento delle condizioni di sicurezza nell'intersezione e conseguente riduzione del numero e della gravità degli incidenti, rispetto ad una intersezione semaforizzata di pari capacità, di oltre il 40 ÷ 50 % [10];
- aumento della capacità e riduzione dei tempi di attesa per l'immissione;
- livellamento dei tempi di attesa fra tutti gli ingressi non essendoci priorità dei flussi diretti rispetto a quelli di svolta e di questi ultimi fra loro.

# ELEMENTI



## una classificazione delle rotatorie, elaborata in Francia

<i>Classificazione</i>	Urbane tradizionali	Con isole semi-controllate	Mini	Ingresso di aree edificate
<b>Impiego</b>	Ovunque	Esclusi tronchi principali	Sperimentali	Incroci ad X
<b>Geometria</b>				
<b><i>Raggio isola centrale</i></b>	7 ÷ 20 m	3,5 ÷ 5 m	0,75 ÷ 2 m	10 ÷ 40 m
<b><i>Attraversamenti Pedonali (distanza da linea arresto)</i></b>	0 ÷ 2 m	1,5 ÷ 2 m	0,75 ÷ 2 m	0 ÷ 2 m
<b><i>Raggio esterno</i></b>	15 ÷ 30 m	11 ÷ 15 m	7 ÷ 11 m	≥ 18 m
<b><i>Largh. carreggiata anello</i></b>	7 ÷ 12 m	6 ÷ 8 m	6 ÷ 9 m	≥ 8 m
<b><i>Larghezza accessi</i></b>	1 ÷ 3 corsie	1 corsia	1 corsia	1 ÷ 3 corsie
<b><i>Largh. isola spartitraffico</i></b>	≥ 2,5 m	≥ 1,5 m	0 ÷ 2,5 m	≥ 4 m
<b>Traffico ottimale (UVP/h)*</b>	≤ 2500 UVP/ h (> se con accessi a 2 corsie)	≤ 2000 UVP/ h	≤ 1500 UVP/ h	≤ 3000 UVP/ h



## Capacità

l'approccio metodologico è stato quasi sempre di tipo sperimentale, consistente nella **rilevazione contemporanea dei valori del flusso in ingresso  $Q_i$ , di quello già sull'anello in corrispondenza dell'ingresso esaminato  $Q_a$  ed eventualmente di quello uscente  $Q_u$**  per diverse condizioni geometriche e mettendo in relazione tali parametri attraverso analisi di regressione.

$Q_i$  = capacità dell'ingresso in unità veicoli passeggeri in [uvp / h] (autovetture equivalenti)

$Q_a$  = flusso sull'anello in corrispondenza dell'accesso (non comprensivo di  $Q_u$  e  $Q_i$ ) in [uvp/h]

$Q_u$  = flusso uscente in corrispondenza dalla strada di ingresso considerata in [uvp /h]

$L_a$  = larghezza anello in [m]

$R$  = raggio esterno dell'anello in [m]

$C_a$  = numero di corsie dell'anello

$C_i$  = numero di corsie dell'ingresso