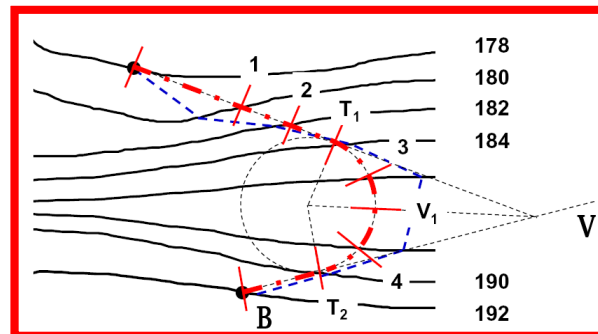




# COSTRUZIONE DI STRADE

## ANDAMENTO PLANIMETRICO DELL'ASSE STRADALE



# ANDAMENTO PLANIMETRICO

Andamento planimetrico ed altimetrico, INIZIALMENTE, si studiano SEPARATAMENTE.

1. L'andamento **planimetrico** è una successione di RETTIFILI, CURVE (circolari) e RACCORDI a raggio variabile (Clotoide) tra i due precedenti.
  - RACCORDI rettilineo curva
  - RACCORDI curva-curve
2. L'andamento **altimetrico** è una successione di LIVELLETTE (tratti a pendenza cost.) collegate da RACCORDI (parabolici).

In seguito l'analisi è coordinata PLANIMETRIA-ALTIMETRIA per ottimizzare:

- Sicurezza e comfort
- Percezione ottica del tracciato

In sequenza:

1. Si progetta la geometria del tracciato.
2. Si verifica la sua compatibilità con i limiti di Norma.
3. Si apportano le eventuali correzioni al progetto.
4. Si verifica nuovamente la compatibilità con i limiti di Norma
5. ....

## RETTIFILI – LUNGHEZZA MASSIMA

Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna, è opportuno che i rettifili abbiano una lunghezza  $L_r$  contenuta entro il seguente limite:

$$L_r = 22 \cdot V_{pMAX} \quad [m]$$

$V_{pMAX}$ : limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto, espresso in km/h.

N.B.: 22 è un valore temporale che, moltiplicato per la velocità di progetto, fornisce un valore spaziale [m].

## RETTIFILI – LUNGHEZZA MINIMA

L'adozione di rettifili di lunghezza limitata, inoltre, favorisce un **migliore inserimento** della strada **nell'ambiente**.

Un rettifilo, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una **lunghezza non inferiore** ai valori riportati in tabella, dove per velocità si intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

VELOCITÀ [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
LUNGHEZZA MINIMA [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

## PENDENZE TRASVERSALI DELLA PIATTAFORMA NEI RETTIFILI

La pendenza trasversale in rettifilo nasce dall'esigenza di allontanamento delle acque superficiali.

Indipendentemente dal tipo di strada, la **pendenza minima** delle falde della carreggiata è la seguente:

$$i_{MIN} = 2,5$$

$$\longrightarrow q = \frac{i_c}{100} \Rightarrow q_{MIN} = 0,025$$

# RETTIFILI – PENDENZA TRASVERSALE

## PENDENZE TRASVERSALI DELLA PIATTAFORMA NEI RETTIFILI

- Funzione: allontanare le acque superficiali ed impedire ristagni
- Valore minimo:  $i_{cMIN} = 2,5 \%$  indipendentemente dal tipo di strada
- Pendenze inferiori ( $i_c < i_{cMIN}$ ) ammesse SOLO nei tratti di TRANSIZIONE tra gli elementi con opposte pendenze trasversali (v. fig.) ed in galleria (1 %).

STRADE TIPO	PIATTAFORMA	PENDENZE TRASVERSALI
A, B, D a due o più corsie per carreggiata		
E a quattro corsie		
altre strade		

Ovviamente in curva la carreggiata è **inclinata verso l'interno** e la **pendenza trasversale** ( $j \leq 7 \%$  - Strade Tipo A, B e C) è **costante** su tutto l'arco di cerchio

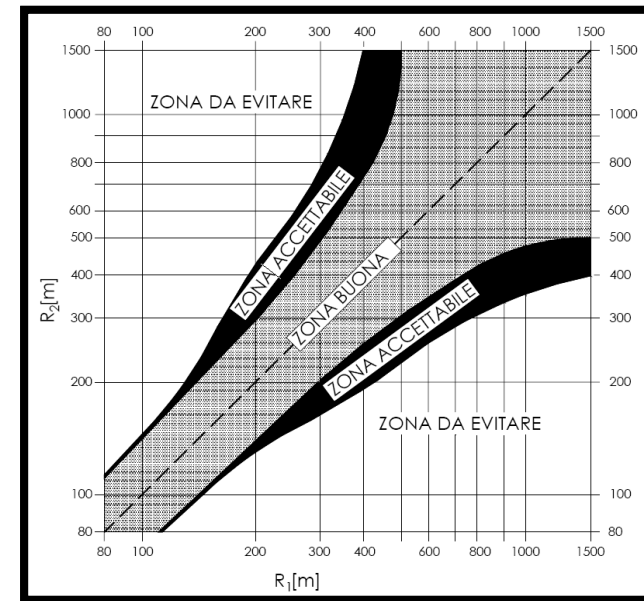
# CURVE CIRCOLARI: sviluppo e raggio minimo

**Sviluppo minimo** di una curva, per **corretta percezione**



corrispondente ad un **tempo di percorrenza** (alla **velocità di progetto**) di almeno 2,5 (s)

I rapporti tra i raggi  $R_1$  e  $R_2$  di due curve circolari successive (con un elemento di transizione)



Tra un rettifilo di lunghezza  $L_r$  ed il raggio ( $R$ ) delle due curve ad esso collegate



$$L_r < 300 \text{ m} \longrightarrow R > L_r$$

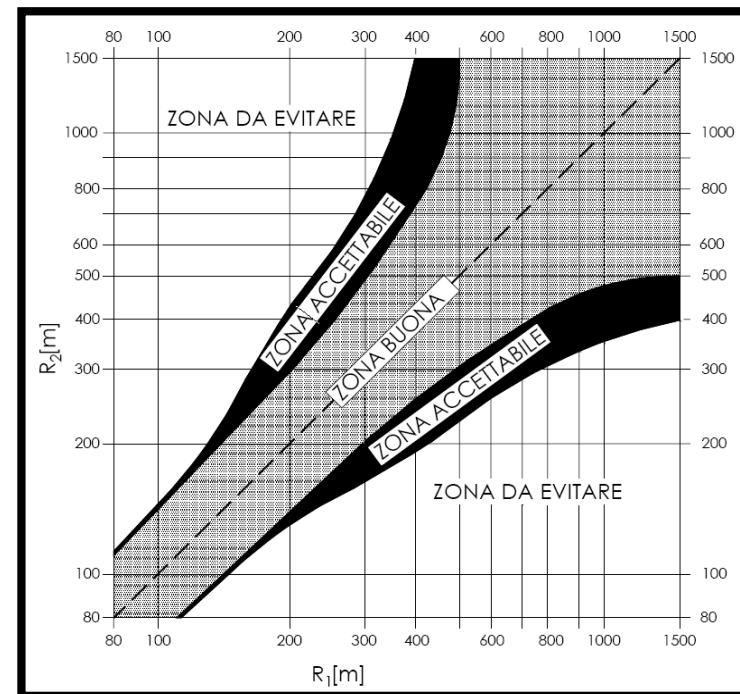
$$L_r \geq 300 \text{ m} \longrightarrow R \geq 400 \text{ m}$$

## CURVE CIRCOLARI – 2 CURVE SUCCESSIVE

Come previsto dal **D.M. 5/11/2001** una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un **tempo di percorrenza** di almeno 2,5 secondi, valutato con riferimento alla **velocità di progetto** della curva.

I rapporti tra i raggi  $R_1$  e  $R_2$  di due curve circolari che, con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade di tipo A, B, C, D ed F extraurbane, sono regolati dall'abaco riportato in figura.

In particolare, per le strade di tipo A e B detto rapporto deve collocarsi nella "**zona buona**"; per le strade degli altri tipi è utilizzabile anche la "**zona accettabile**".







## CURVE CIRCOLARI – CURVA, RETTIFILO, CURVA

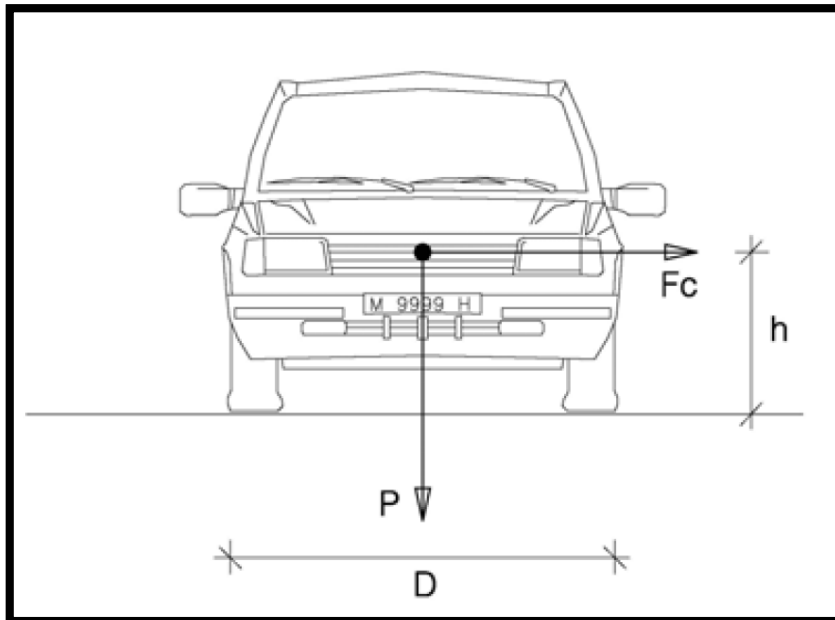
Tra un rettifilo di lunghezza  $L_r$  ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettifilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

$$L_r < 300 \text{ m} \longrightarrow R > L_r$$

$$L_r \geq 300 \text{ m} \longrightarrow R \geq 400 \text{ m}$$

## EQUILIBRIO DI UN VEICOLO IN CURVA DETERMINAZIONE DEL RAGGIO MINIMO DI UNA CURVA

Un veicolo di peso  $\underline{P}$  che percorre una traiettoria circolare di raggio  $\underline{R}$  a velocità costante  $\underline{v}$  è soggetto ad una forza centrifuga  $\underline{F}_c$  pari a:



$$F_c = m\omega^2 R = \frac{P}{g} \frac{V^2}{R^2} R = \frac{P}{g} \frac{V^2}{R}$$

$\underline{m}$ : massa del veicolo,  
 $\underline{\omega}$ : velocità angolare,  
 $\underline{P}$ : peso del veicolo,  
 $\underline{R}$ : raggio della curva,  
 $\underline{V}$ : velocità del veicolo.

Occorre valutare due tipologie di instabilità:

- **SLITTAMENTO;**
- **RIBALTAMENTO.**

# EQUILIBRIO DI UN VEICOLO IN CURVA

## DETERMINAZIONE DEL RAGGIO MINIMO DI UNA CURVA

### SLITTAMENTO

Per evitare che il veicolo venga spinto verso l'esterno della curva, la forza centrifuga deve essere compensata dall'aderenza trasversale che si sviluppa tra pneumatico e pavimentazione, in particolare deve risultare:

$$F_c \leq P \cdot f_t$$

$F_c$ : forza centrifuga;  
 $P$ : peso del veicolo;  
 $f_t$ : coefficiente di aderenza trasversale.

Ricordando:  $F_c = \frac{P V^2}{g R}$   $\longrightarrow$   $F_c = \frac{P V^2}{g R}$

da cui si ricava la **velocità limite di slittamento**:

$$V_{s,\text{lim}} = \sqrt{g \cdot R \cdot f_t}$$

## EQUILIBRIO DI UN VEICOLO IN CURVA DETERMINAZIONE DEL RAGGIO MINIMO DI UNA CURVA

### RIBALTAMENTO

La forza centrifuga agisce sul veicolo in curva ed è applicata nel baricentro, mentre la reazione dovuta all'aderenza è applicata nel punto di contatto pneumatico-pavimentazione. Per evitare il ribaltamento del veicolo il momento destabilizzante dovuto alla forza centrifuga deve essere minore del contributo stabilizzante:

$$F_c \cdot h = P \cdot \frac{D}{2}$$

$h$ : altezza del baricentro;  
 $D$ : scartamento degli pneumatici.

Ricordando:  $F_c = \frac{P V^2}{g R}$   $\longrightarrow$   $\frac{P}{g} \cdot \frac{V^2}{R} \cdot h \leq P \cdot \frac{D}{2}$

da cui si ricava la **velocità limite di ribaltamento**:

$$V_{r, \text{lim}} = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot D}{2h}}$$

## EQUILIBRIO DI UN VEICOLO IN CURVA DETERMINAZIONE DEL RAGGIO MINIMO DI UNA CURVA

### RAGGIO MINIMO

Tra le due tipologie di instabilità descritte quella che risulta meno dannosa per gli occupanti del veicolo è la prima, perciò è bene che la **velocità di slittamento** risulti **minore** rispetto a quella di ribaltamento:

$$V_{s,\text{lim}} < V_{r,\text{lim}}$$

Sostituendo le espressioni delle due velocità limite si ottiene:

$$\sqrt{g \cdot R \cdot f_t} < \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot D}{2h}} \rightarrow f_t < \frac{D}{2h}$$

Una maggiore **stabilità** risulta quindi garantita per veicoli con  $h$  non elevata e caratterizzati da uno scartamento ( $D/h$ ) notevole.

Dall'espressione della velocità limite di slittamento è possibile calcolare il **raggio minimo** in base al quale deve essere dimensionata la curva:

$$R_{\text{min}} = \frac{V_{s,\text{lim}}^2}{f_t \cdot g}$$

# EQUILIBRIO DI UN VEICOLO IN CURVA

## DETERMINAZIONE DEL RAGGIO MINIMO DI UNA CURVA

### VERIFICHE PER PENDENZA TRASVERSALE NON NULLA

#### SLITTAMENTO:

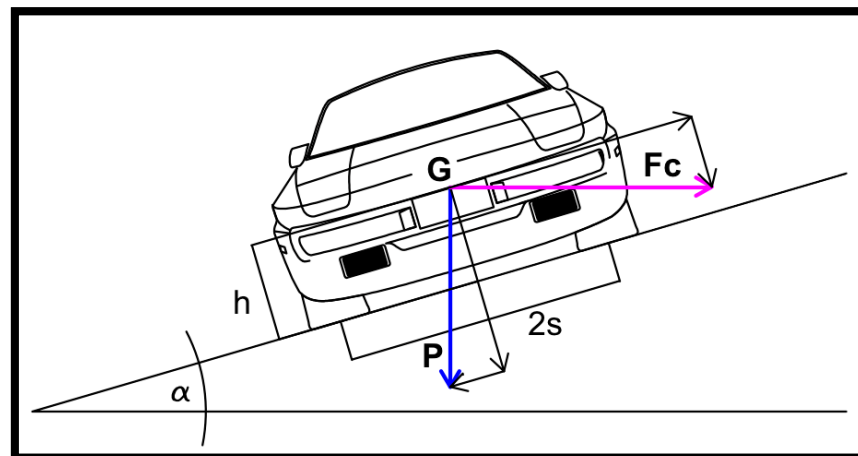
$$F_c \cos \alpha - P \sin \alpha \leq (P \cos \alpha + F_c \sin \alpha) \cdot f_t$$

$$\cos \alpha \approx 1 \quad \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = j$$

$$F_c - P \cdot j \leq P \cdot f_t + F_c \cdot j \cdot f_t$$

$$\frac{P V^2}{g R} - P \cdot j \leq P \cdot f_t + \frac{P V^2}{g R} \cdot j \cdot f_t$$

$$V_s = \sqrt{\frac{(f_t + j) \cdot g \cdot R}{1 - j \cdot f_t}}$$



Come per  $j=0$ , si impone  $f_t < s/h$  e risulta:

$$R = \frac{V^2 \cdot (1 - j \cdot f_t)}{g \cdot (f_t + j)}$$

#### RIBALTAMENTO:

$$F_c \cos \alpha \cdot h - P \sin \alpha \cdot h \leq P \cos \alpha \cdot s + F_c \sin \alpha \cdot j$$

$$\cos \alpha \approx 1 \quad \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = j$$

$$\frac{P V^2}{g R} \cdot h - P \cdot j \cdot h \leq P \cdot s + \frac{P V^2}{g R} \cdot j \cdot s \rightarrow V_r = \sqrt{\frac{(s + j \cdot h) \cdot g \cdot R}{h - j \cdot s}}$$

## PENDENZE TRASVERSALI DELLA PIATTAFORMA IN FUNZIONE DEL RAGGIO DELLE CURVE CIRCOLARI

In curva la carreggiata è inclinata verso l'interno e la pendenza trasversale è la stessa su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio. In base alla categoria ed all'ambito di ubicazione della strada viene individuata la pendenza trasversale massima  $q_{MAX}$  mediante la tabella:

TIPO DI STRADA		Valore di $q$ in ambito urbano
AUTOSTRADA	A	0,07
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	0,07
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	0,07
URBANA DI SCORRIMENTO	D	0,05
URBANA DI QUARTIERE	E	0,035
LOCALI ext. (a) urb. (b)	F	(a) 0,07 (b) 0,035

## RAGGIO MINIMO IN FUNZIONE DELLA PENDENZA TRASVERSALE

Nota la pendenza trasversale massima e l'intervallo di velocità di progetto relative alla tipologia di strada, si determina il **raggio minimo** della curva mediante lo studio dell'equilibrio di un veicolo transitante in curva:

$$R_{\min} = \frac{V_{p,\min}^2}{127 \cdot (q_{\max} + f_{t,\max})}$$

$R_{\min}$ : raggio minimo della curva [m];

$V_{p,\min}$ : limite inferiore velocità progetto [km/h];

$q_{\max}$ :  $i_c/100$  pendenza trasversale massima in curva;

$f_{t,\max}$ : aderenza trasversale massima.



## RAGGIO MINIMO IN FUNZIONE DELLA PENDENZA TRASVERSALE

Per quanto riguarda la quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente  $f_{t,max}$ , valgono i valori in tabella:

VELOCITÀ [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
$f_{t,max}$ per strade di tipo A, B, C, F extraurbane e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
$f_{t,max}$ per strade di tipo D, E, F urbane e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

# CURVE CIRCOLARI: raggio effettivo – pendenza trasv.

## PENDENZA TRASVERSALE IN FUNZIONE DEL RAGGIO EFFETTIVO

$$R_{\min} = \frac{V_{p,\min}^2}{127 \cdot (q_{\max} + f_{t,\max})}$$

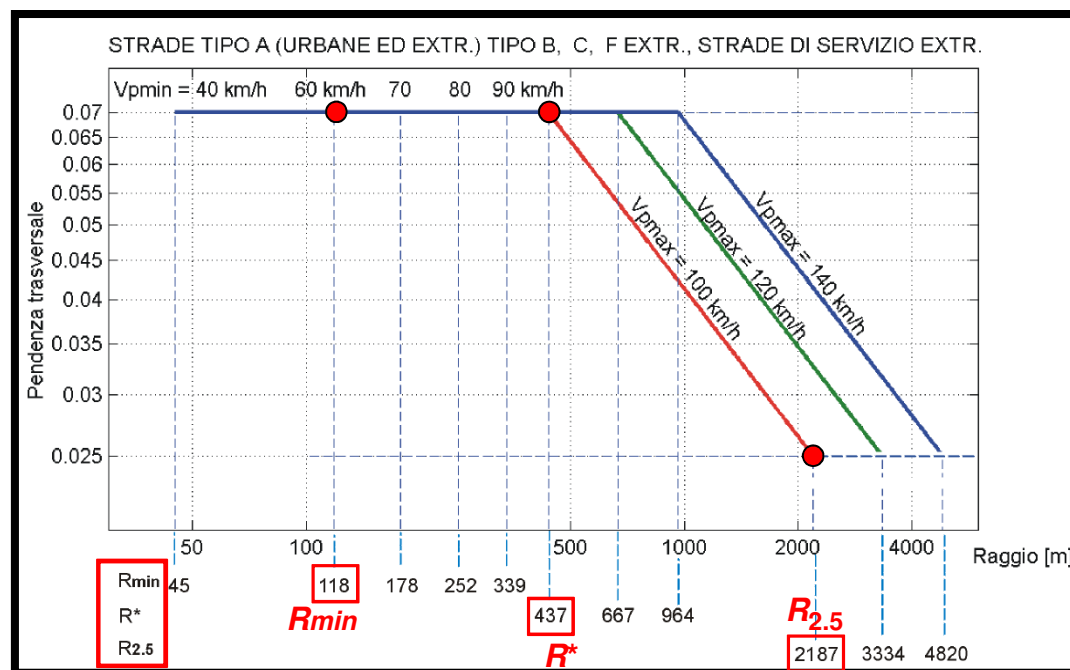
$$R^* = \frac{V_{p,\max}^2}{127 \cdot (q_{\max} + f_{t,\max})}$$

DEFINISCO:

1.  $R_{\min}$  il raggio calcolato (I<sup>a</sup> formula) per  $V_{p,\min}$ , pend.  $q_{\max}$  e  $f_{t,\max}(V_{p,\min})$ ;
2.  $R^*$  il raggio calcolato (II<sup>a</sup> formula) per  $V_{p,\max}$ , pendenza  $q_{\max}$  e  $f_{t,\max}(V_{p,\max})$ ;
3.  $R_{2.5} = 5 R^*$

**R**

Per  $R > R_{\min}$  si utilizza l'abaco in figura (strade tipo A, B, C ed F **extraurbane**) – C'è abaco analogo per le strade **urbane**



## PENDENZA TRASVERSALE IN FUNZIONE DEL RAGGIO EFFETTIVO

**R**

CASISTICA (**R** –  $q$  -  $V_p$  di progetto):

1.  $R_{min} \leq R \leq R^* \rightarrow$

- pendenza  $q = q_{max}$
- $V_p$  è data dall'espressione seguente con  $f_{t,max}(V_p)$

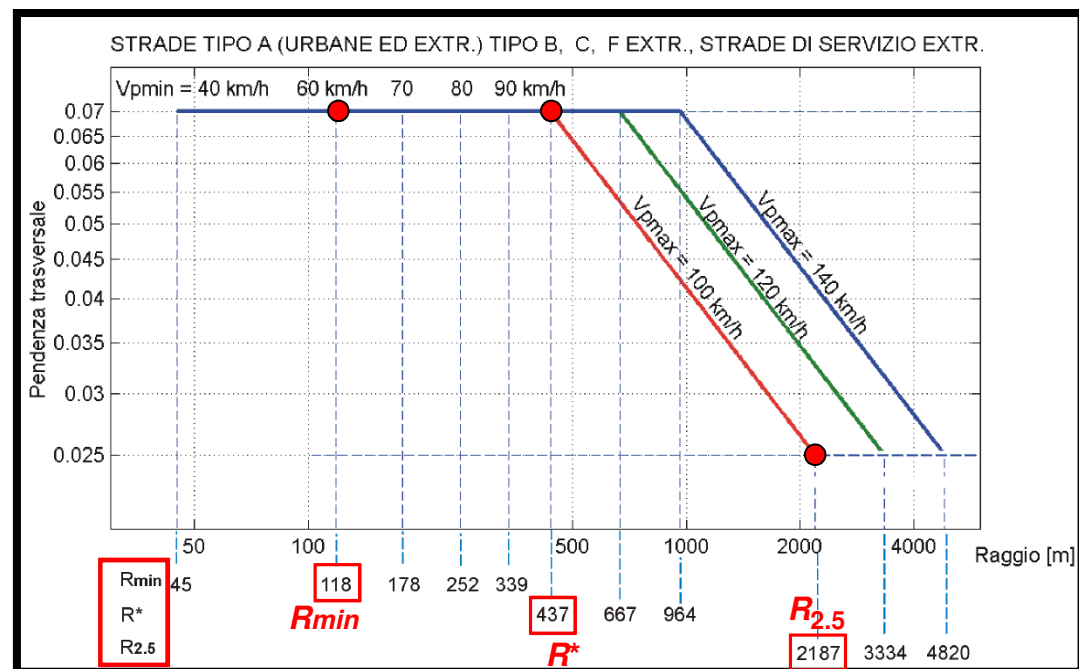
$$V_p = \sqrt{127 \cdot (f_{t,max} + q_{max}) \cdot R}$$

2.  $R^* < R \leq R_{2.5} \rightarrow$

- $q =$  variabile (da grafico)
- $V_p$  è pari a  $V_{p,MAX}$

3.  $R > R_{2.5} \rightarrow$

- $q =$  cost. = 2,5 %
- $V_p$  è pari a  $V_{p,MAX}$



## CURVE CIRCOLARI: esempio

Strada di categoria C1 (60 ÷ 100 km/h). -  $q_{max} = 0.07$

Il tracciato presenta una **Curva** circolare di raggio (**R**) pari a **350** m.

**Devo determinare la velocità di progetto della curva**

VELOCITÀ [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
$f_{t,max}$ per strade di tipo A, B, C, F extraurbane	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
$f_{t,max}$ per strade di tipo D, E, F urbane	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

$$R_{min} = \frac{60^2}{127 (0,07 + 0,17)} = 118 \text{ m}$$

$$R^* = \frac{100^2}{127 (0,07 + 0,11)} = 437 \text{ m}$$

CASO 1:

1.  $R_{min} \leq R \leq R^* \rightarrow$  pendenza  $q = q_{max}$  e la velocità di progetto  $V_p$  è data dall'espressione seguente con  $f_{t,max}(V_p)$

$$V_P = \sqrt{127 \cdot (f_{t,max}(V_P) + q_{max}) \cdot R}$$

## CURVE CIRCOLARI: esempio

$$V_P = \sqrt{127 \cdot (f_{t,\max}(V_P) + q_{\max}) \cdot R}$$

1<sup>a</sup> ipotesi:  $V_{p1} = 80 \text{ km/h} \rightarrow f_{t,\max}(V_{p1}) = 0,13$

$$V = \sqrt{350 \cdot 127 \cdot (0,07 + 0,13)} = 94,28 \text{ km/h}$$

Il risultato (94,28) è  $\neq$  dal valore ipotizzato (80)

2<sup>a</sup> ipotesi:  $V_{p2} = 94,28 \text{ km/h} \rightarrow f_{t,\max}(V_{p2}) = 0,1157$

$$f_t = 0,13 + \frac{80 - 94,28}{80 - 100} (0,11 - 0,13) = 0,1157$$

$$V = \sqrt{350 \cdot 127 \cdot (0,07 + 0,1157)} = 90,86 \text{ km/h}$$

Il risultato (90,86) è  $\neq$  dal valore ipotizzato (94,28)

3<sup>a</sup> ipotesi:  $V_{p3} = 90,86 \text{ km/h} \rightarrow f_{t,\max}(V_{p3}) = \dots$  segue

VELOCITÀ [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
$f_{t,\max}$ per strade di tipo A, B, C, F extraurbane	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
$f_{t,\max}$ per strade di tipo D, E, F urbane	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

## CURVE CIRCOLARI: esempio

Il risultato (90,86) è  $\neq$  dal valore ipotizzato (94,28)

3<sup>a</sup> ipotesi:  $V_{p3} = 90,86 \text{ km/h} \rightarrow f_{t,\max}(V_{p3}) = 0,1191$

$$f_t = 0,13 + \frac{80-90,86}{80-100} (0,11 - 0,13) = 0,1191$$

$$V = \sqrt{350 \cdot 127 \cdot (0,07 + 0,1191)} = 91,69 \text{ km/h}$$

Il risultato (91,69) è  $\neq$  dal valore ipotizzato (90,86)

4<sup>a</sup> ipotesi:  $V_{p4} = 91,69 \text{ km/h} \rightarrow f_{t,\max}(V_{p4}) = 0,1183$

$$f_t = 0,13 + \frac{80-91,69}{80-100} (0,11 - 0,13) = 0,1183$$

$$V = \sqrt{350 \cdot 127 \cdot (0,07 + 0,1183)} = 91,49 \text{ km/h}$$

Il risultato (91,49) è COMPATIBILE col valore ipotizzato (91,69)

Posso quindi assumere  $\rightarrow V_p = 91,5 \text{ km/h}$

VELOCITÀ [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
$f_{t,\max}$ per strade di tipo A, B, C, F extraurbane	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
$f_{t,\max}$ per strade di tipo D, E, F urbane	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

## PENDENZA LONGITUDINALE

Il D.M 5/11/01 stabilisce i valori delle **pendenze longitudinali massime** impiegabili a seconda della tipologia di strada, riportati in tabella:

TIPO DI STRADA		AMBITO URBANO	AMBITO EXTRAURBANO
AUTOSTRADA	A	6%	5%
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	-	6%
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	-	7%
URBANA DI SCORRIMENTO	D	6%	-
URBANA DI QUARTIERE	E	8%	-
LOCALE	F	10%	10%

Tali valori possono essere aumentati di una unità qualora risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione, in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso. Tale verifica deve essere eseguita per ogni caso specifico.

## PENDENZA GEODETICA

Per strade soggette a frequente innevamento la pendenza trasversale va limitata al 6% e, di conseguenza, il raggio minimo è ricavato dagli abachi in corrispondenza di tale valore.

La **pendenza geodetica**  $J$  ricavabile dalla combinazione della pendenza trasversale e quella longitudinale è pari a:

$$J = \sqrt{i_l^2 + i_c^2}$$

$J$  non deve superare il valore del 10% per strade di tipo A o B e del 12% per le altre. Nel caso di strade a frequente innevamento il valore limite è pari all'8%.

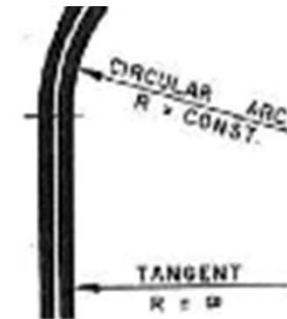
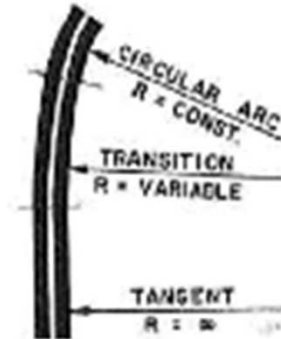
In **galleria** la pendenza trasversale minima può essere ridotta all'1%.

**N.B.:** Queste norme **non si applicano** alla progettazione delle curve di ritorno (tornanti) delle **strade di montagna**.



## RACCORDI A RAGGIO VARIABILE - Clotoide

rettifilo - **clotoide** - curva - **clotoide** - rettifilo



### VANTAGGI:

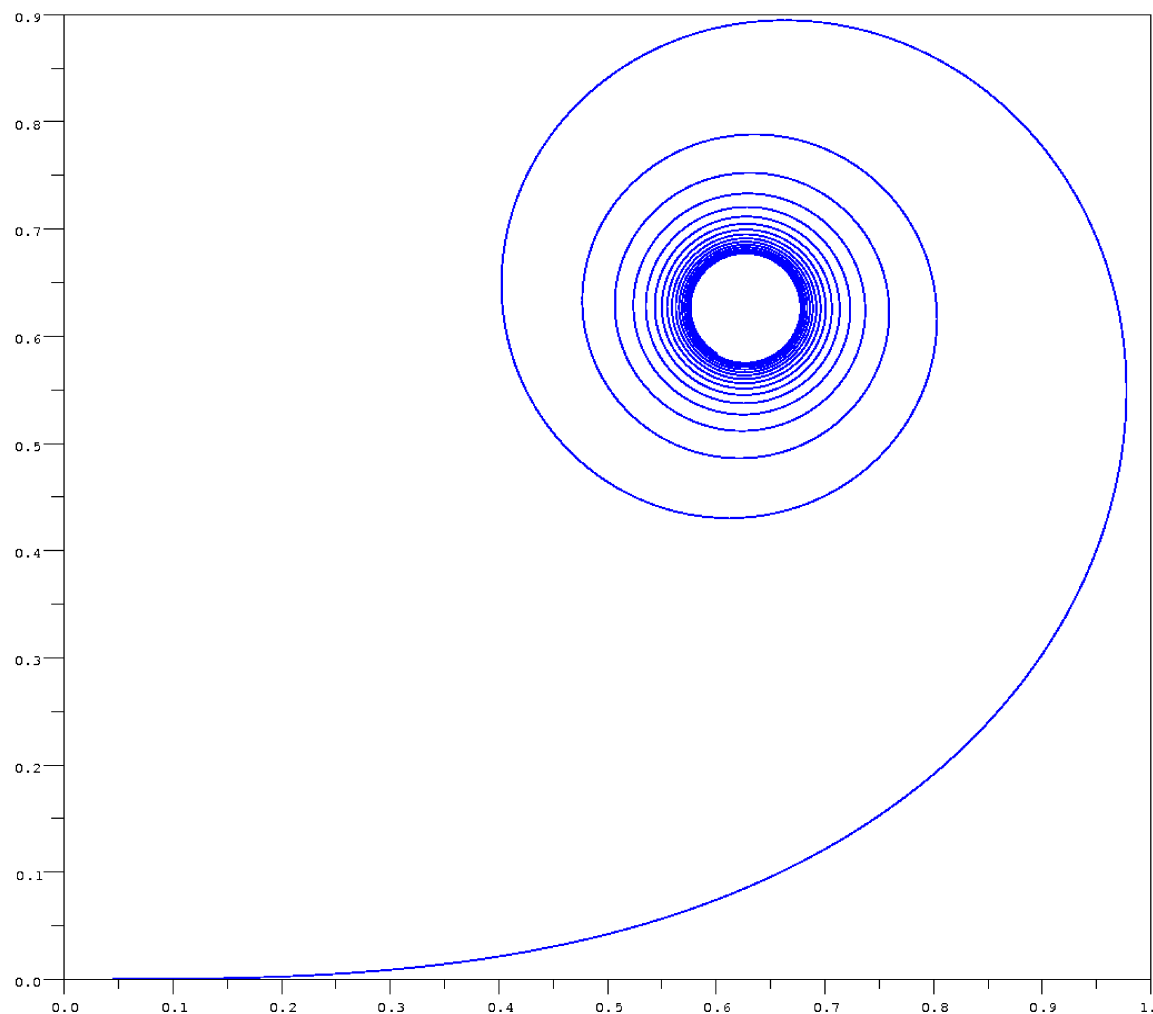
- riduzione di variazione **accelerazione TRASVERSALE** non compensata (contraccolpo:  $c = \frac{da_t}{dt}$ );
- riduzione rollio per variazione pendenza trasversale
- corretta **percezione ottica** del tracciato.

## RACCORDI PLANIMETRICI - Clotoide

**Curve circolari e rettili** devono essere raccordati mediante **curve di transizione** a RAGGIO VARIABILE dette **clotoidi** (famiglia delle spirali generalizzate:  $r \cdot s^n = A^{n+1}$ )

$$r \cdot s = A^2$$

- $s$ : ascissa curvilinea nel punto P generico;
- $r$ : raggio di curvatura nel punto P generico;
- $n$ : fattore di forma (=1)
- **A**: parametro di scala.



## RACCORDI PLANIMETRICI - Clotoide

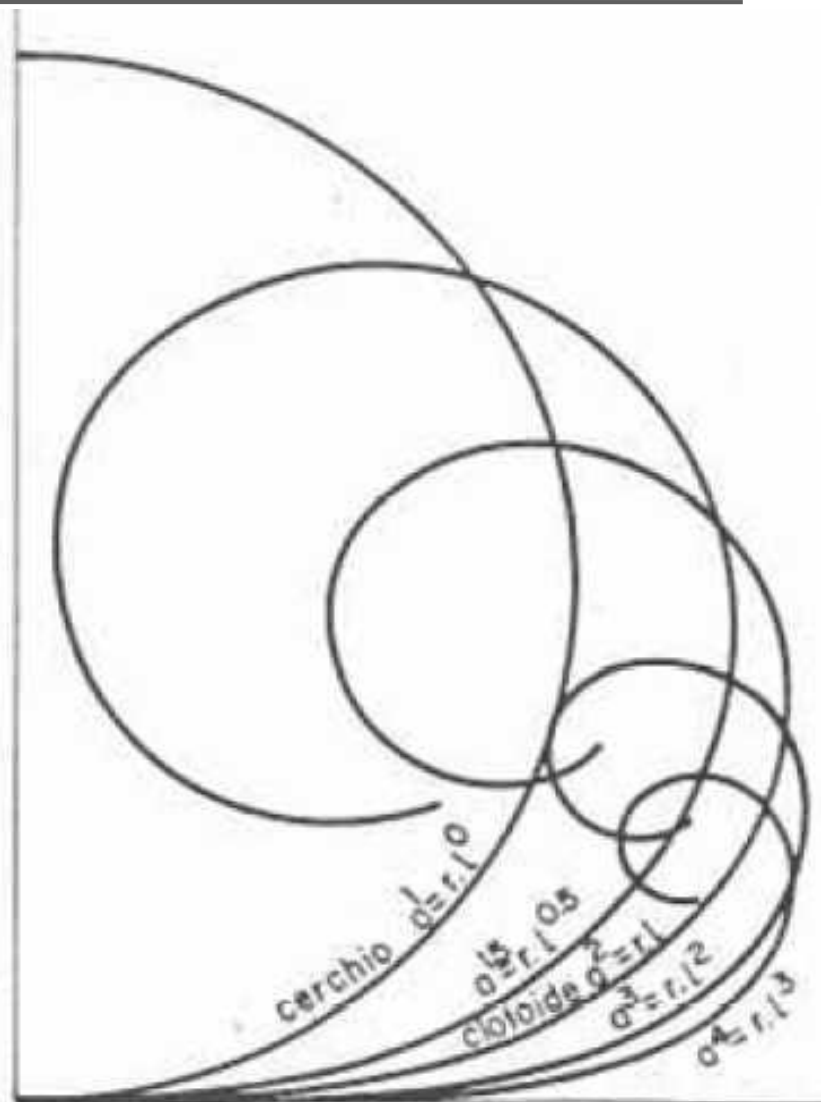
Il parametro  $n$ :

$n = -1$	$r = s$	Spirale
$n = 0$	$r = A$	Cerchio
$n = 1$	$r \times s = A^2$	Clotoide
$n = \infty$	$r = \infty$	Retta

$n = 1 \rightarrow$  il CONTRACCOLPO ( $c$ ) è costante lungo l'intero sviluppo della curva.

la clotoide viene inserita seguendo il **criterio "a raggio conservato"**: rimane costante il raggio  $R_0$  della curva circolare e la posizione del centro trasla lungo la bisettrice.

Esiste anche il metodo "a centro conservato".



# RACCORDI PLANIMETRICI - Clotoide

## STEP PROGETTUALI:

- disegno rettifili-curva e determinazione di A;
- tracciamento clotoide;
- traslazione clotoide e curva circolare.

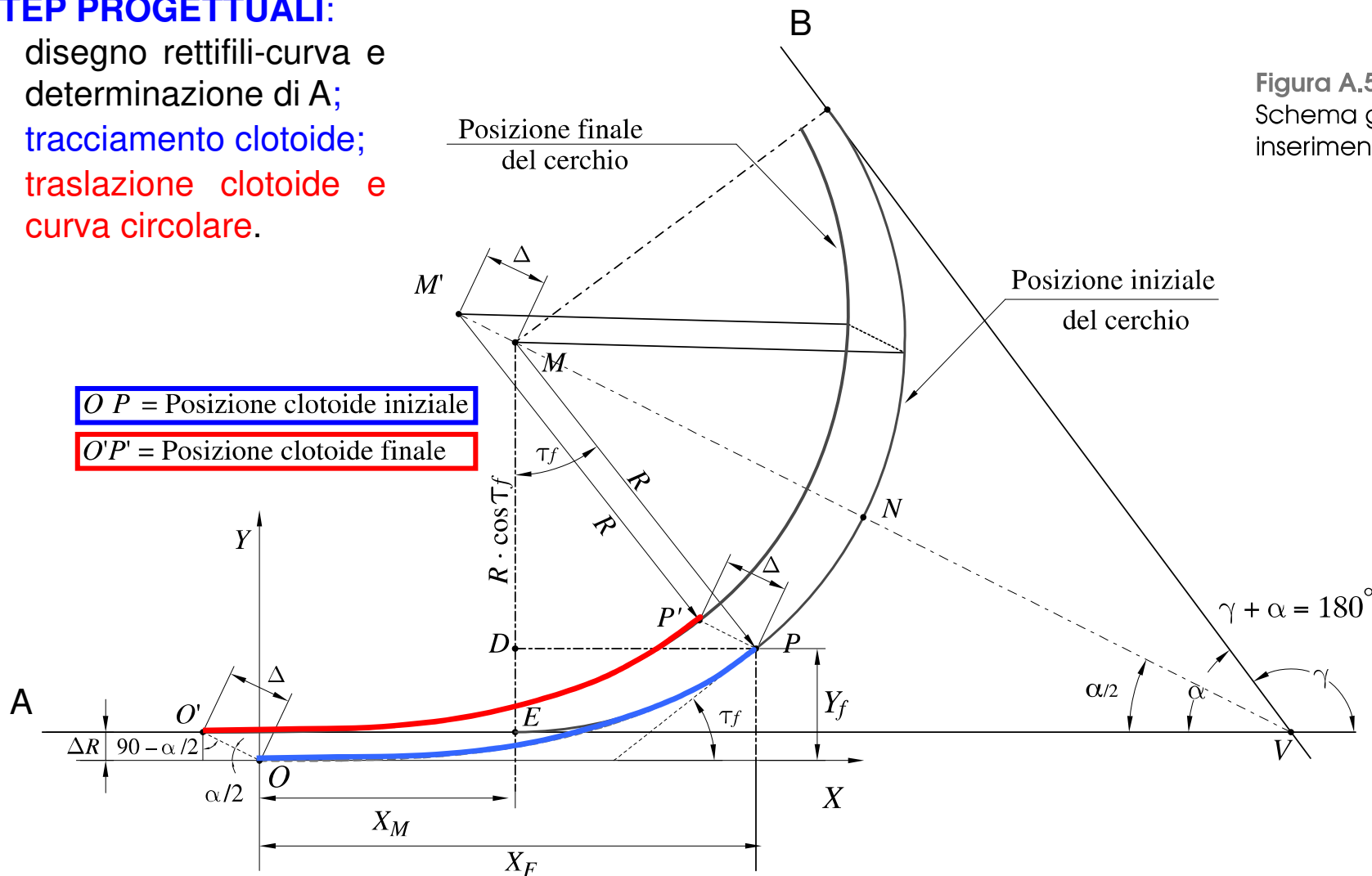


Figura A.5  
Schema generico  
inserimento clotoide.

$O P$  = Posizione clotoide iniziale

$O'P'$  = Posizione clotoide finale

# RACCORDI PLANIMETRICI – Clotoide: scelta di A

## CRITERIO 1 – LIMITAZIONE DEL CONTRACCOLPO

Limitazione del valore del contraccollo:

$$A_{\min,1} \geq 0,021 \cdot V_{p,\max}^2$$

## CRITERIO 2 – SOVRAPENDENZA DEI CIGLI

Sovrapendenza longitudinale della linea di estremità della carreggiata:

$$A \geq A_{\min,2} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \cdot 100 \cdot B_i \cdot (q_i + q_f)}$$

## CRITERIO 3 – CORRETTA PERCEZIONE OTTICA DEL TRACCIATO

Per garantire la **percezione** ottica del raccordo e della curva circolare:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

$$A \geq A_{\min} = \max(A_{\min,1}, A_{\min,2})$$

# RACCORDI PLANIMETRICI

## CRITERIO 1 – LIMITAZIONE DEL CONTRACCOLPO

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo, fra il parametro  $A$  e la massima velocità  $V$  [km/h] desunta dal diagramma delle velocità, deve essere verificata la relazione:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{V^3}{c} - \frac{g \cdot V \cdot R \cdot (q_f - q_i)}{c}}$$

$q_i$ :  $i_{ci}/100$  con  $i_{ci}$ : pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;

$q_f$ :  $i_{cf}/100$  con  $i_{cf}$ : pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;

$R$ : raggio dell'arco di cerchio da raccordare [m];

$V$ : velocità massima [km/h];

$g$ : accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ];

$c$ : contraccollo [ $m/s^3$ ].

## RACCORDI PLANIMETRICI

### CRITERIO 1 – LIMITAZIONE DEL CONTRACCOLPO

Trascurando il secondo termine dell'espressione del radicando e assumendo per il contraccolpo il valore limite:

$$c_{\max} = \frac{50,4}{V} \quad [\text{m/s}^3]$$

si ottiene la disuguaglianza:

$$A_{\min,1} \geq 0,021 \cdot V_{p,\max}^2$$

## CRITERIO 2 – SOVRAPENDENZA LONGITUDINALE DELLE LINEE DI ESTREMITÀ DELLA CARREGGIATA

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide, i differenti assetti trasversali sono da raccordare longitudinalmente introducendo una **sovrappendenza nelle linee di estremità** della carreggiata.

Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito, il parametro  $\underline{A}$  deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min,2} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \cdot 100 \cdot B_i \cdot (q_i + q_f)}$$

$\underline{q}_i$ :  $i_{ci}/100$  con  $i_{ci}$ : pendenza trasversale iniziale, in valore assoluto;

$\underline{q}_f$ :  $i_{cf}/100$  con  $i_{cf}$ : pendenza trasversale finale, in valore assoluto;

$\underline{R}$ : raggio dell'arco di cerchio da raccordare [m];

$\underline{B}_i$ : = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile [m];

$\underline{\Delta i}_{\max}$ : sovrappendenza longitudinale max. della linea costituita dai punti che distano  $B_i$  dall'asse di rotazione (in assenza allargamento, tale linea coincide con l'estremità della carreggiata).



## CRITERIO 2 – SOVRAPENDENZA LONGITUDINALE DELLE LINEE DI ESTREMITÀ DELLA CARREGGIATA

Qualora anche il raggio iniziale sia di valore finito, il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min,2} = \sqrt{\frac{B_i \cdot (q_f - q_i)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \cdot \frac{\Delta i_{\max}}{100}}}$$

$q_i$ :  $i_{ci}/100$  con  $i_{ci}$ : pendenza trasversale iniziale, in valore assoluto;

$q_f$ :  $i_{cf}/100$  con  $i_{cf}$ : pendenza trasversale finale, in valore assoluto;

$\Delta i$ : sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano  $B_i$  dall'asse di rotazione (in assenza allargamento, tale linea coincide con l'estremità della carreggiata);

$R_i$  = raggio nel punto iniziale della curva a raggio variabile [m];

$R_f$  = raggio nel punto terminale della curva a raggio variabile [m].

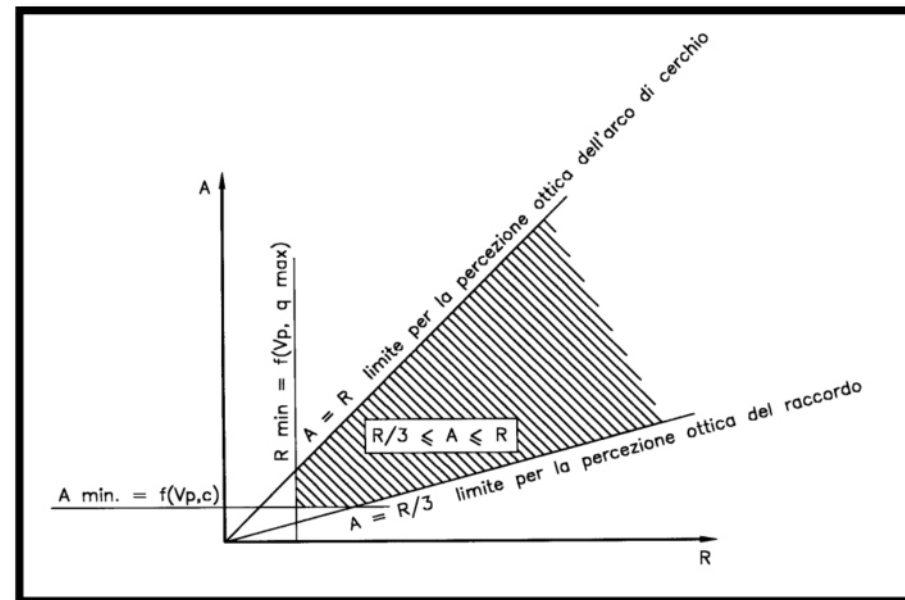
# RACCORDI PLANIMETRICI

## CRITERIO 3 – CORRETTA PERCEZIONE OTTICA DEL TRACCIATO

Per garantire la **percezione** ottica del **tracciato**:  $A \geq \frac{R}{3}$

Per garantire la **percezione dell'arco** di cerchio alla **fine** della clotoide:

$$A \leq R$$



# RACCORDI PLANIMETRICI

## CRITERIO 3 – CORRETTA PERCEZIONE OTTICA DEL TRACCIATO

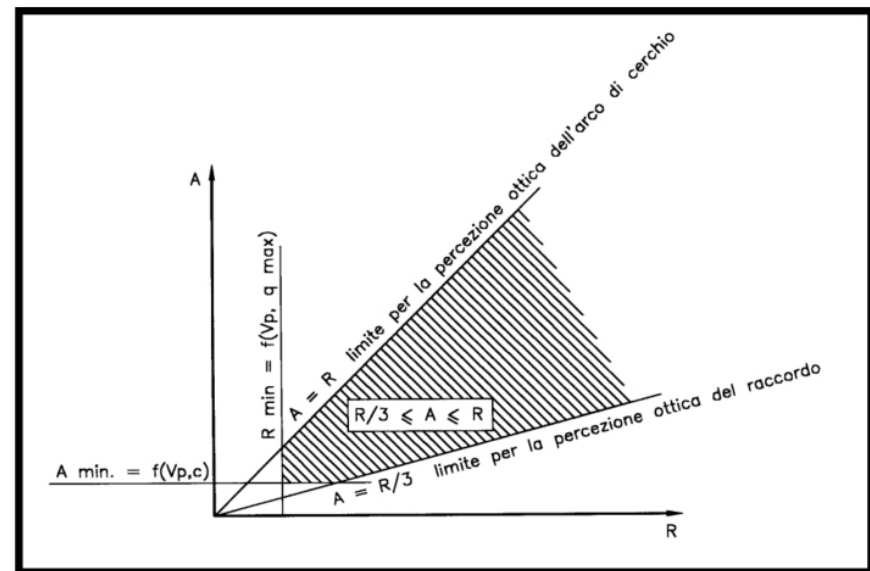
Si stabilisce il valore di  $\underline{A}$ , tale che:

$$A \geq A_{\min} = \max(A_{\min,1}, A_{\min,2})$$

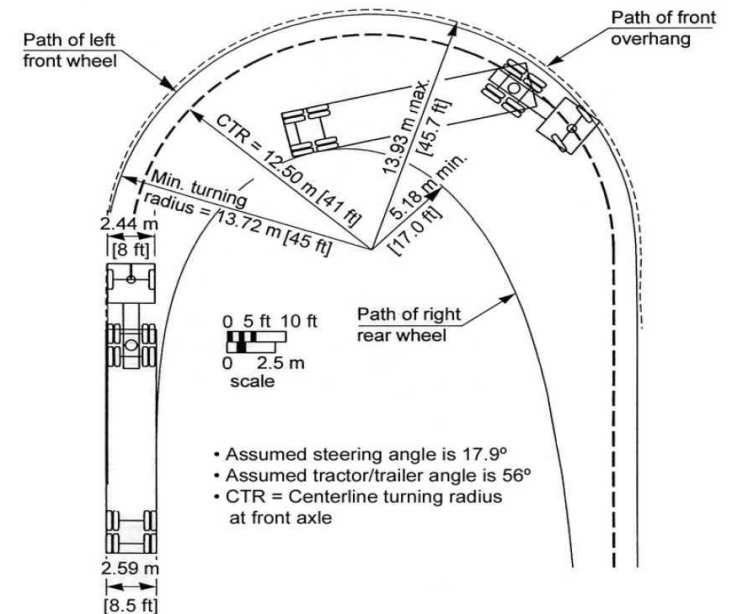
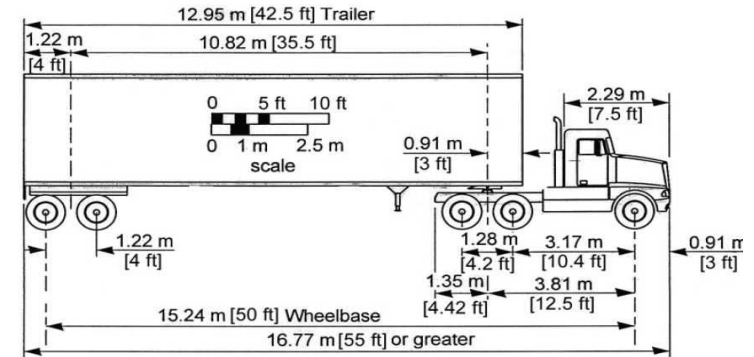
verificando la condizione:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

L'inserimento di una clotoide tra un rettilo ed una curva circolare viene eseguito seguendo il **criterio a raggio conservato**, secondo cui rimane costante il raggio  $R_0$  della curva circolare e la posizione del centro trasla lungo la bisettrice.



# ALLARGAMENTO DELLA CARREGGIATA IN CURVA



A Policy on Geometric Design of Highways and Streets- 2004 American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee

## ALLARGAMENTO DELLA CARREGGIATA IN CURVA

Per consentire il sicuro inserimento dei veicoli in curva, conservando i necessari franchi fra sagoma limite dei veicoli e i margini delle corsie, è necessario che **OGNI CORSIA** sia allargata di **E**:

$$E = \frac{K}{R} \quad [\text{m}]$$

$K$ : costante, pari a 45;

$R$ : raggio esterno della corsia [m].

Per strada a **singola carreggiata a due corsie**, per **R > 40** m si può assumere il valore del raggio uguale a quello dell'asse della carreggiata.

Nel caso di strade a **carreggiate separate**, o ad una carreggiata con due o più corsie per senso di marcia, si assume come raggio per l'allargamento quello dell'asse di ciascuna carreggiata o semi carreggiata.

SE **E < 20 cm**  $\longrightarrow$  LA CORSIA CONSERVA LA LARGHEZZA DEL RETTIFILO



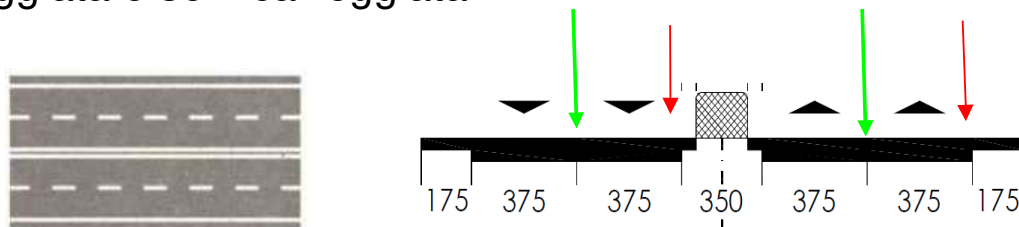
# ALLARGAMENTO DELLA CARREGGIATA IN CURVA

$$E = \frac{K}{R} \quad [\text{m}]$$

se  $R > 40\text{m}$  con strada 1 carreggiata e 2 corsie posso usare il raggio in asse;



Per strade a più di 2 corsie per senso di marcia, si può assumere il raggio dell'asse della carreggiata o semicarreggiata.



R (m)	40	60	80	100	125	150	175	200	225
e (m)	1.13	0.75	0.56	0.45	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20