



Università degli Studi di Trieste

Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Laurea Magistrale: Ingegneria Civile

Corso : Principi di Infrastrutture Viarie (cod. 239MI)



## Lezione 05: L'andamento planimetrico dell'asse stradale

**Roberto Roberti**

Tel.: 040 558 3588

E-mail: roberto.roberti@dia.units.it

Anno accademico 2019/2020



# Sommario

**ELEMENTI COSTITUTIVI DELL'ASSE PLANIMETRICO STRADALE**

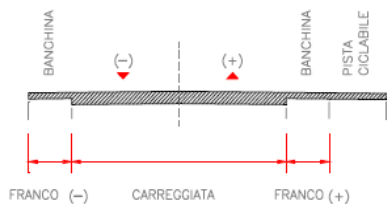
**I RETTIFILI**

**LE CURVE CIRCOLARI**

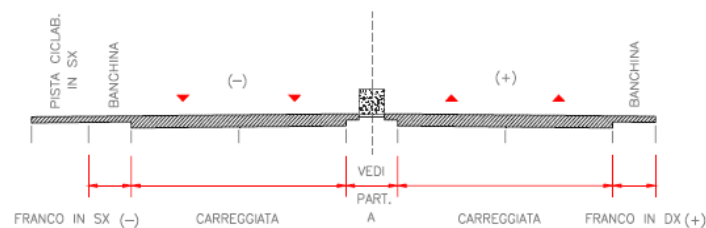
**LE CURVE DI TRANSIZIONE**

# Asse stradale

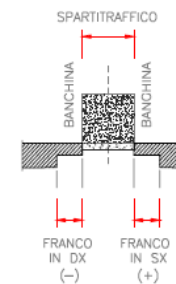
ELEMENTO A SINGOLA CARREGGIATA A DUE CORSIE



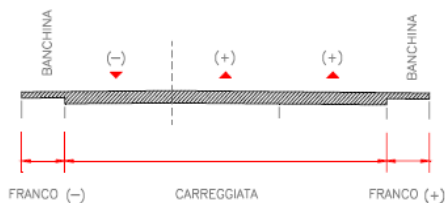
UNICO ELEMENTO A DUE CARREGGIATE



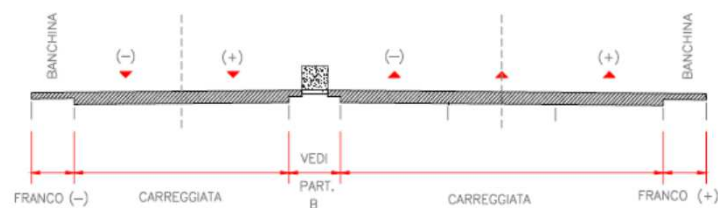
PARTICOLARE A



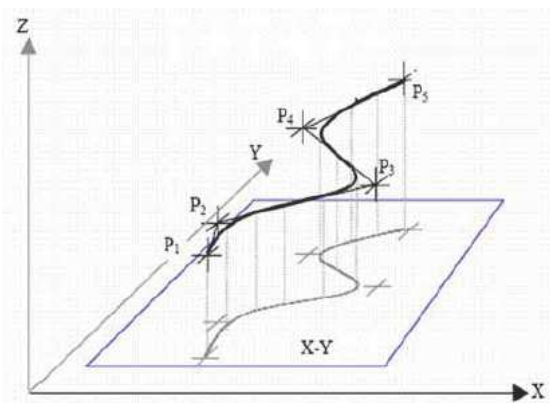
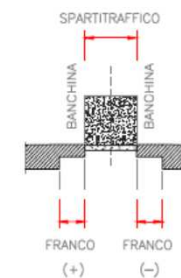
ELEMENTO A SINGOLA CARREGGIATA A TRE CORSIE



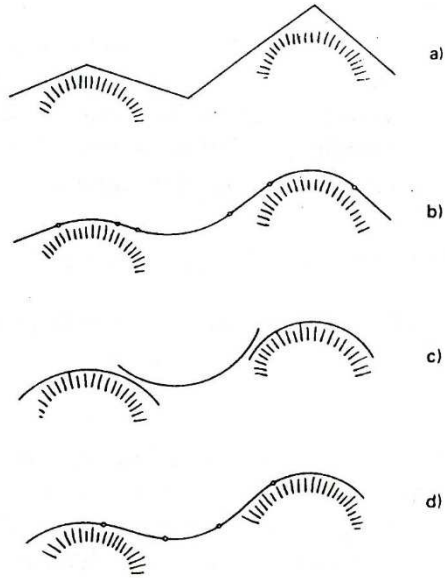
DUE ELEMENTI DISTINTI AD UNA CARREGGIATA CIASCUNO



PARTICOLARE B

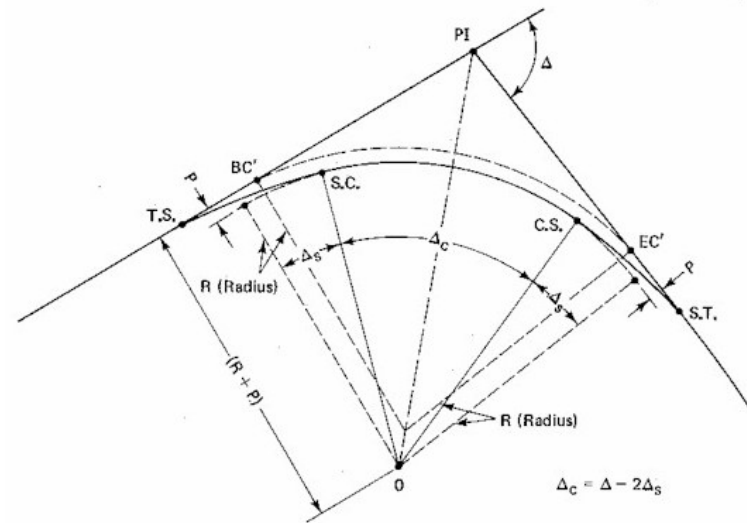
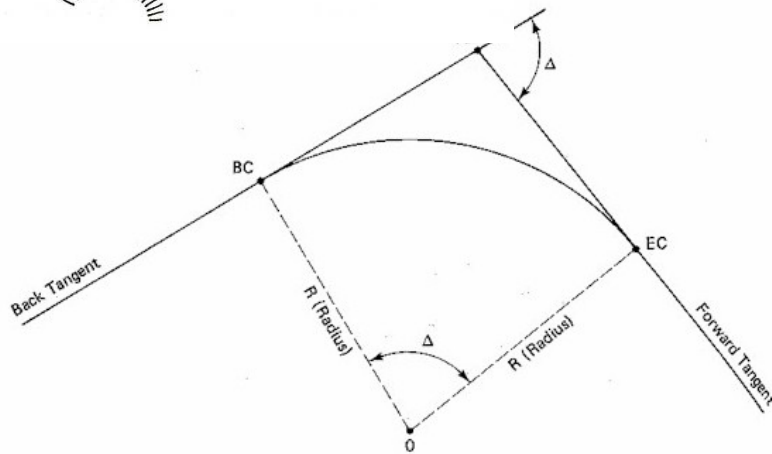


# Elementi costitutivi dell'asse planimetrico



Gli elementi che compongono planimetricamente l'asse stradale sono:

- i rettili;
- le curve circolari;
- le curve di transizione.



# I rettifili

## Svantaggi dei rettifili:

- Non si percepisce il reale pericolo;
- Se sono troppo lunghi portano ad affrontare la curva successiva a velocità elevata;
- Abbagliamento notturno;
- Noia.
- Problematiche ambientali

## Vantaggi:

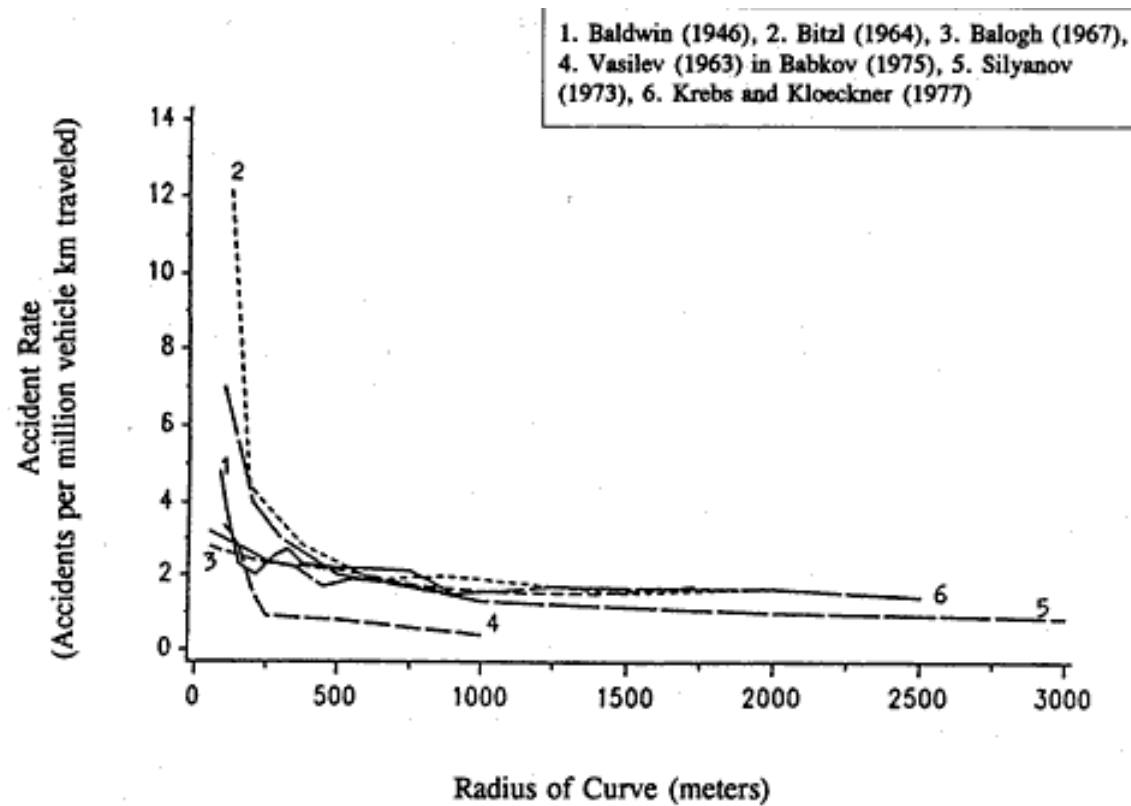
- Buona visibilità;
- Facilità di sorpasso.

$$L_{\max} \text{ [m]} \leq 22 V_{p(\max)} \text{ [km/h]}$$

Per poter essere percepito, il rettilineo deve avere una lunghezza minima, con V quella massima desunta dal diagramma di velocità nel rettilineo considerato.

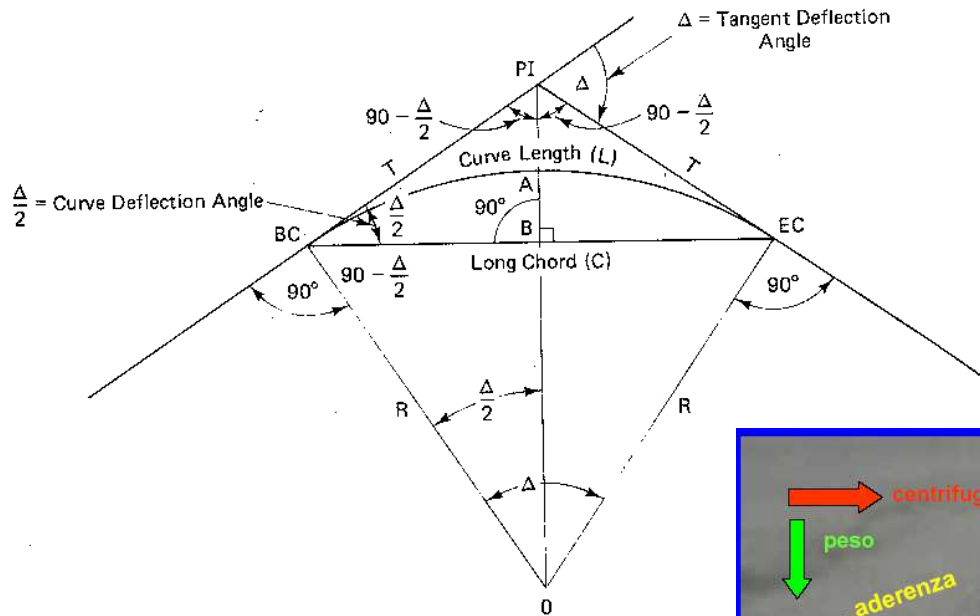
|          |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|----------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V [km/h] | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| Lmin [m] | 30 | 40 | 50 | 65 | 90 | 115 | 150 | 190 | 250 | 300 | 360 |

# Fattore umano e progettazione stradale

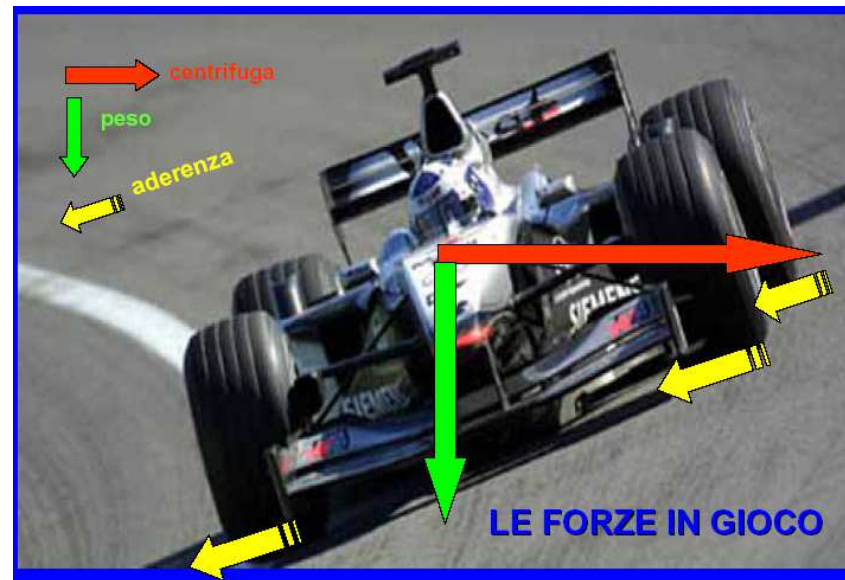


Relazioni tra raggio di curvatura e incidentalità

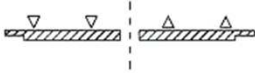

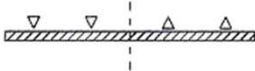

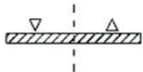

# La curva circolare



$$L \geq \frac{V_p}{3,6} \cdot t = \frac{V_p}{3,6} \cdot 2,5$$



# Le pendenze trasversali

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

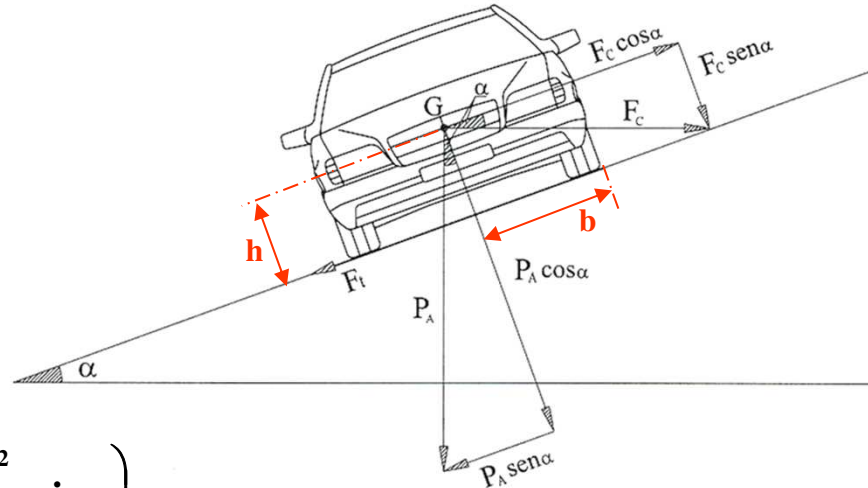


# Equilibrio del veicolo in curva (1)

## EQUILIBRIO ALLO SABANDAMENTO

$$F_C \cos\alpha - P_A \sin\alpha = F_t$$

$$F_C \cos\alpha - P_A \sin\alpha = f_t (P_A \cos\alpha + F_C \sin\alpha)$$



$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \cos\alpha - m \cdot g \cdot \sin\alpha = f_t \left( m \cdot g \cdot \cos\alpha + \frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \sin\alpha \right)$$

$$\frac{v^2}{R} - g \cdot \tan\alpha = f_t \left( g + \frac{v^2}{R} \cdot \tan\alpha \right)$$

$$\frac{v^2}{R} = \frac{g \cdot (f_t + \tan\alpha)}{1 - f_t \cdot \tan\alpha}$$

$$\frac{v^2}{R} = g \cdot (f_t + \tan\alpha) = g \cdot f_t + g \cdot \tan\alpha$$

Se  $V$  in [km/h] e  $R$  in [m]

$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot (f_t + \tan\alpha)$$

$\mathbf{a}$  (centrifuga) =  $\mathbf{a}$  (non compensata) +  $\mathbf{a}$  (compensata)

# Equilibrio del veicolo in curva (2)

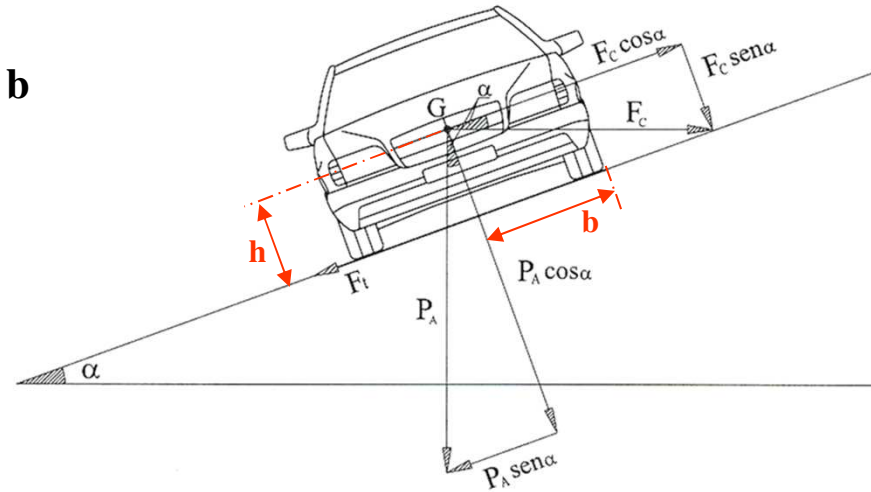
## EQUILIBRIO AL RIBALTAMENTO

$$(F_C \cos\alpha - P_A \sin\alpha) h = (P_A \cos\alpha + F_C \sin\alpha) b$$

$$\frac{v^2}{R} - g \cdot \tan\alpha = \frac{b}{h} \cdot \left( g + \frac{v^2}{R} \cdot \tan\alpha \right)$$

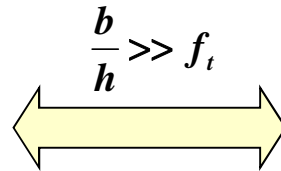
$$\frac{v^2}{R} = \frac{g \cdot \left( \frac{b}{h} + \tan\alpha \right)}{1 - \frac{b}{h} \cdot \tan\alpha}$$

$$\frac{v^2}{R} = g \cdot \left( \frac{b}{h} + \tan\alpha \right)$$



Se V in [km/h] e R in [m]

$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot \left( \frac{b}{h} + \tan\alpha \right)$$



$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot (f_t + \tan\alpha)$$

# Campo di variazione di q e f<sub>t</sub>

$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot (f_t + \tan\alpha) = 127 \cdot (f_t + q)$$

**q<sub>max</sub> = 0,07** per strade extraurbane ed autostrade urbane (tipi A, B, C, F) ;

**q<sub>max</sub> = 0,05** per strade urbane di tipo D;

**q<sub>max</sub> = 0,035** per strade urbane di tipo E, F.

**q<sub>min</sub> = 0,025**

**f<sub>t max</sub>** = massima aderenza trasversale **impegnabile** alle diverse velocità V

**f<sub>t max</sub> = [0,28 ÷ 0,53] \* f<sub>T,MAX, disp.</sub>** (f<sub>T,MAX, disp.</sub> massima aderenza trasversale **disponibile** alle diverse velocità),

| V (km/h)                | 25   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Strade D, E, F urbane   | 0,22 | 0,21 | 0,20 | 0,16 |      |      |      |
| Strade A, B, C, F extr. |      | 0,21 | 0,17 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,09 |

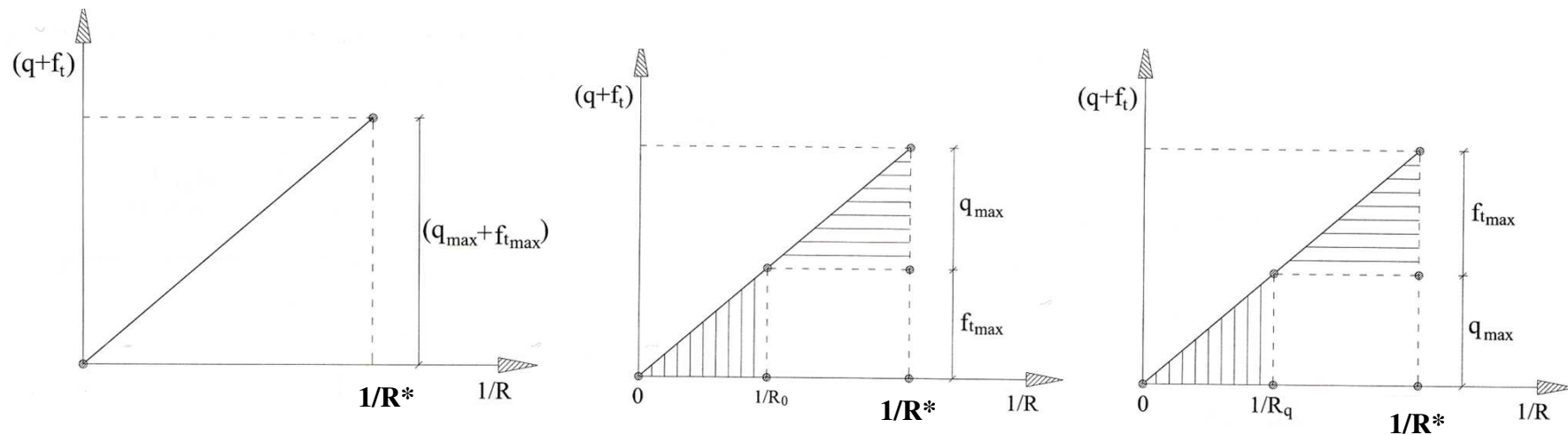
# Determinazione Raggio minimo

$$\frac{V^2}{R} = 127 \cdot (f_t + q) \quad \frac{V_{p,min}^2}{R_{min}} = 127 \cdot (f_{t,max,Vp,min} + q_{max}) \quad R_{min} = \frac{V_{p,min}^2}{127 \cdot (f_{t,max,Vp,min} + q_{max})}$$

$f_{t,max,Vp,min}$  = massima aderenza trasversale impegnabile alla velocità  $V_{p,min}$  (velocità di progetto minima per la classe della strada),  $q_{max}$  pendenza massima per la classe della strada,  $R_{min}$  è il raggio minimo ammesso per la classe della strada.

| TIPI SECONDO IL CODICE   | AMBITO TERRITORIALE | DENOMINAZIONE                  | $V_{p,min}$ [km/h] | $q_{max}$ | $f_{t,max}$ | Raggio minimo [m] |
|--------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|-----------|-------------|-------------------|
| AUTOSTRADA A             | EXTRAURBANO         | STRADA PRINCIPALE              | 90                 | 0,07      | 0,118       | 339               |
|                          |                     | STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE) | 40                 | 0,07      | 0,210       | 45                |
|                          | URBANO              | STRADA PRINCIPALE              | 80                 | 0,07      | 0,130       | 252               |
|                          |                     | STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE) | 40                 | 0,035     | 0,210       | 51                |
| EXTRAURBANA PRINCIPALE B | EXTRAURBANO         | STRADA PRINCIPALE              | 70                 | 0,07      | 0,147       | 178               |
|                          |                     | STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE) | 40                 | 0,07      | 0,210       | 45                |
| EXTRAURBANA SECONDARIA C | EXTRAURBANO         |                                | 60                 | 0,07      | 0,170       | 118               |
| URBANA DI SCORRIMENTO D  | URBANO              | STRADA PRINCIPALE              | 50                 | 0,05      | 0,205       | 77                |
|                          |                     | STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE) | 25                 | 0,035     | 0,220       | 19                |
| URBANA DI QUARTIERE E    | URBANO              |                                | 40                 | 0,035     | 0,210       | 51                |
| LOCALE F                 | EXTRAURBANO         |                                | 40                 | 0,07      | 0,210       | 45                |
|                          | URBANO              |                                | 25                 | 0,035     | 0,220       | 19                |

# Raggi superiori al minimo, $V=\text{cost}$ (1)



$R^*$  rappresenta, per un determinato tipo di strada, il generico raggio minimo per una determinata velocità  $V$

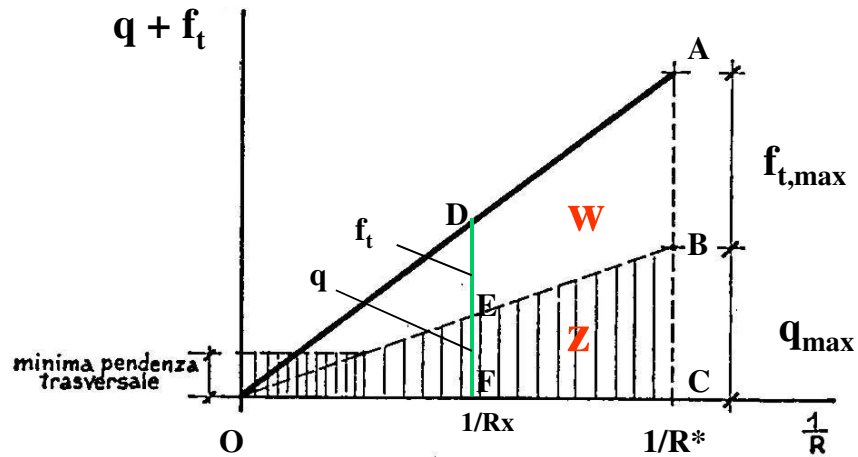
$q_{\max}$  e  $f_{t\max}$  rappresentano, per un determinato tipo di strada, rispettivamente la massima pendenza trasversale ammessa ed il massimo coefficiente di aderenza trasversale impegnabile alla velocità  $V$

$$(q+f_t) = \frac{V^2}{127 \cdot R}$$

$$R_0 = \frac{V^2}{127 \cdot f_{t,\max}}$$

$$R_q = \frac{V^2}{127 \cdot q_{\max}}$$

## Raggi superiori al minimo (2)



$$(q + f_t) = \frac{V^2}{127 \cdot R}$$

$$\frac{127 \cdot R}{V^2} \cdot f_t + \frac{127 \cdot R}{V^2} \cdot q = 1$$

$$w = \text{cost}$$

$$z = \text{cost}$$

$$\frac{q + f_t}{1/R_x} = \frac{q_{\max} + f_{t,\max}}{1/R^*}$$

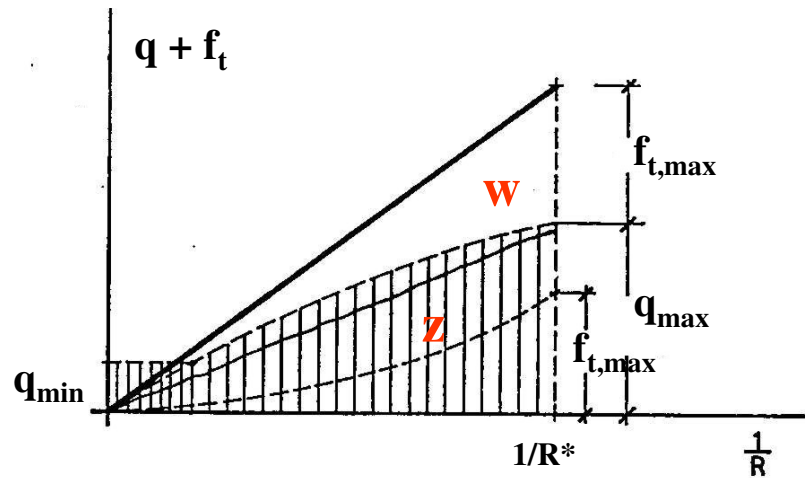
$$R_x \cdot (q + f_t) = R^* \cdot (q_{\max} + f_{t,\max})$$

$$\frac{q}{1/R_x} = \frac{q_{\max}}{1/R^*}$$

$$q \cdot R_x = q_{\max} \cdot R^*$$

$$\frac{q}{f_t + q} = \frac{q_{\max}}{f_{t,\max} + q_{\max}} = \text{cost}$$

## Raggi superiori al minimo (3)



$$(f_t + q) = \frac{V^2}{127 \cdot R}$$

$$\frac{127 \cdot R}{V^2} \cdot f_t + \frac{127 \cdot R}{V^2} \cdot q = 1$$

$\Downarrow$   $w \neq \text{cost}$        $\Downarrow$   $z \neq \text{cost}$

$$z = K \cdot R^n = \frac{127 \cdot R}{V^2} \cdot q$$

$$0 < n < 1$$

$$q = \frac{V^2}{127} K \cdot R^{n-1}$$

$$q_{\max} = \frac{V^2}{127} K \cdot R^{* (n-1)}$$

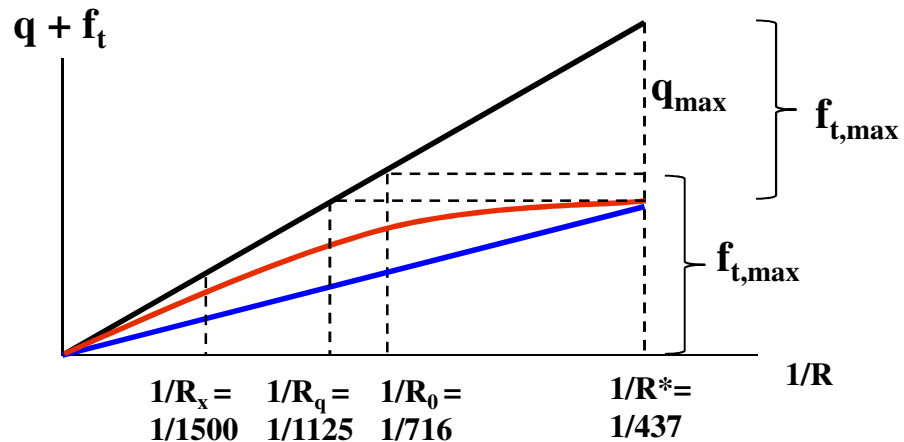
$$q = q_{\max} \frac{R^{n-1}}{R^{* (n-1)}}$$

# Raggi superiori al minimo (4)

Esempio:  $V = 100 \text{ km/h}$ ;  $f_{t\max,100} = 0,11$   $q_{\max} = 0,07$ ;  $n-1 = -0,64$

$R^* = 437 \text{ m}$ ;  $R_0 = 716 \text{ m}$ ;  $R_q = 1125 \text{ m}$ ;

| Criterio | $R_x = 1500 \text{ m}$ |           | $R_x = 1000$  |           | $R_x = 500 \text{ m}$ |           |
|----------|------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------------------|-----------|
|          | $f_{t_{R_x}}$          | $q_{R_x}$ | $f_{t_{R_x}}$ | $q_{R_x}$ | $f_{t_{R_x}}$         | $q_{R_x}$ |
| I        | 0,052                  | 0         | 0,079         | 0         | 0,110                 | 0,047     |
| II       | 0                      | 0,052     | 0,009         | 0,070     | 0,087                 | 0,070     |
| III      | 0,032                  | 0,020     | 0,048         | 0,031     | 0,096                 | 0,061     |
| IV       | 0,020                  | 0,032     | 0,038         | 0,041     | 0,093                 | 0,064     |





# Raggi superiori al minimo (5)

Esempio:  $V = 60$  km/h;  $ft_{max,60} = 0,17$   $q_{max} = 0,07$ ;  $n-1 = -0,64$ ;

$R^* = 118$  m;  $R_0 = 167$  m;  $R_q = 405$  m;

| Criterio | $R_x = 500$ m |           | $R_x = 250$ m |           | $R_x = 140$ m |           |
|----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|          | $ft_{R_x}$    | $q_{R_x}$ | $ft_{R_x}$    | $q_{R_x}$ | $ft_{R_x}$    | $q_{R_x}$ |
| I        | 0,057         | 0         | 0,114         | 0         | 0,17          | 0,032     |
| II       | 0             | 0,057     | 0,043         | 0,07      | 0,132         | 0,07      |
| III      | 0,040         | 0,017     | 0,080         | 0,033     | 0,143         | 0,059     |
| IV       | 0,029         | 0,028     | 0,070         | 0,043     | 0,139         | 0,063     |

# Raggi superiori al minimo (6)

$$q = \frac{V^2}{127} K \cdot R^{n-1} \quad \ln(q) = (n-1) \cdot \ln(R) + \ln\left(\frac{K \cdot V^2}{127}\right)$$

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

$$q_{max} = \frac{V^2}{127} K \cdot R^{*(n-1)} \quad \frac{q_{max}}{R^{*(n-1)}} = \frac{K \cdot V^2}{127}$$

$$\ln(q) = (n-1) \cdot \ln(R) + \ln(q_{max}) - (n-1) \ln(R^*)$$

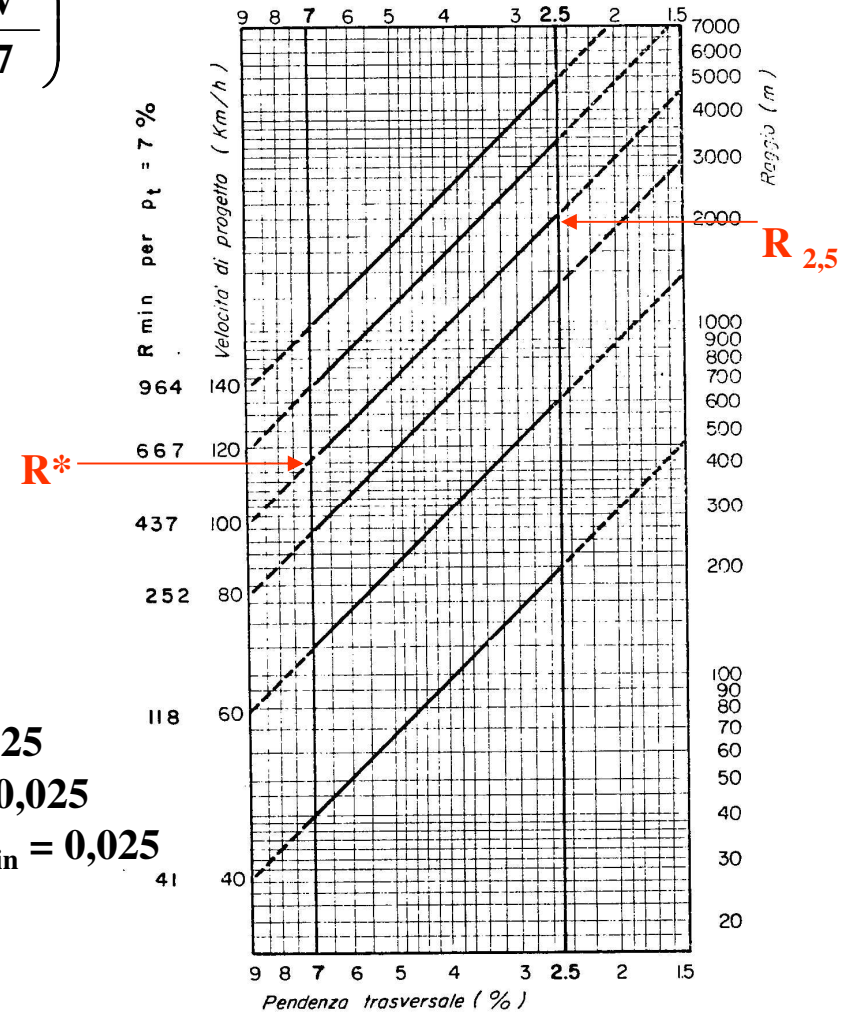
$$\frac{\ln(q_{min}) - \ln(q_{max})}{\ln(R_{2,5}) - \ln(R^*)} = (n-1) = -0,64$$

Strade extr.:  $R_{2,5} = 5 R^*$  ;  $q_{max} = 0,07$  ;  $q_{min} = 0,025$

Strade D:  $R_{2,5} = 2,95 R^*$  ;  $q_{max} = 0,05$  ;  $q_{min} = 0,025$

Strade E, F urb.:  $R_{2,5} = 1,69 R^*$  ;  $q_{max} = 0,035$  ;  $q_{min} = 0,025$

$$\ln(q) = -0,64 \cdot \ln(R) + \ln(q_{max}) + 0,64 \cdot \ln(R^*)$$



# Raggi superiori al minimo (7)

$$\ln(q) = -0,64 \cdot \ln(R) + \ln(q_{\max}) + 0,64 \cdot \ln(R^*)$$

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

**R = 252 m**

**V<sub>p</sub> = 80 km/h, q = q<sub>max</sub> = 0,07, f<sub>t</sub> = 0,130**

**V<sub>p</sub> = 68 km/h, q ≈ 0,053, f<sub>t</sub> = 0,090**

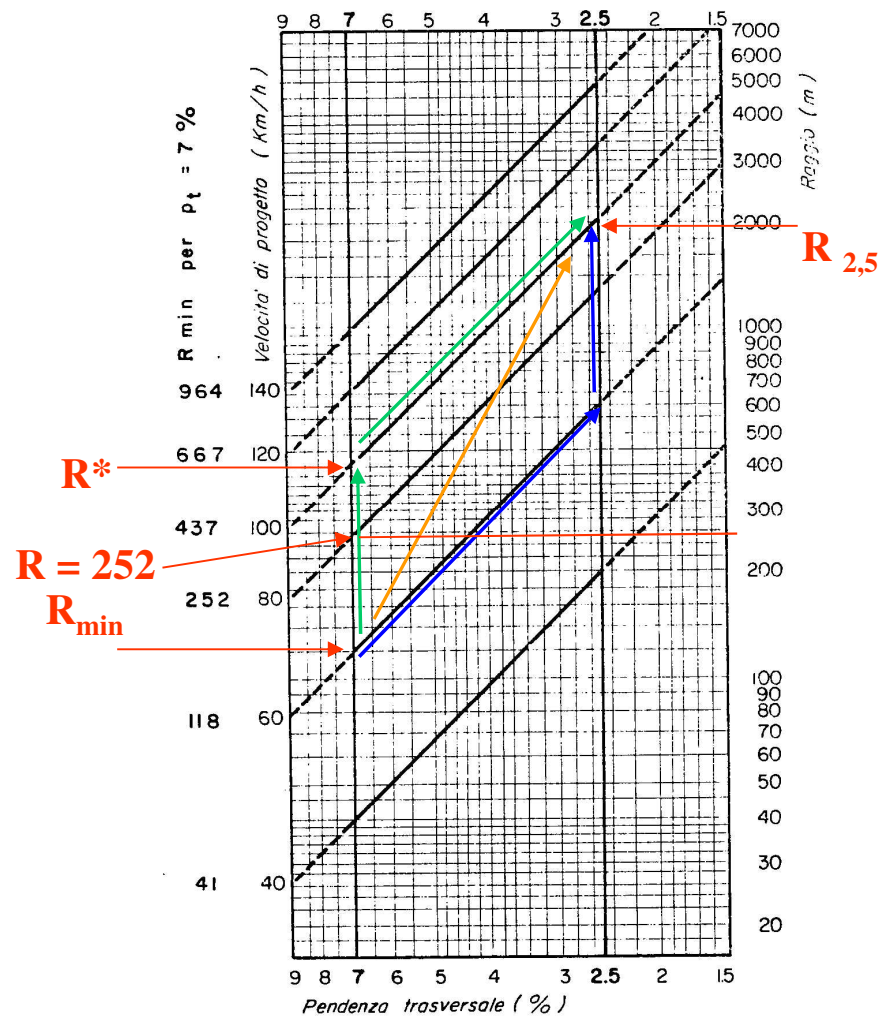
**V<sub>p</sub> = 60 km/h, q ≈ 0,043, f<sub>t</sub> = 0,069**

**V<sub>p</sub> = 80 km/h,**

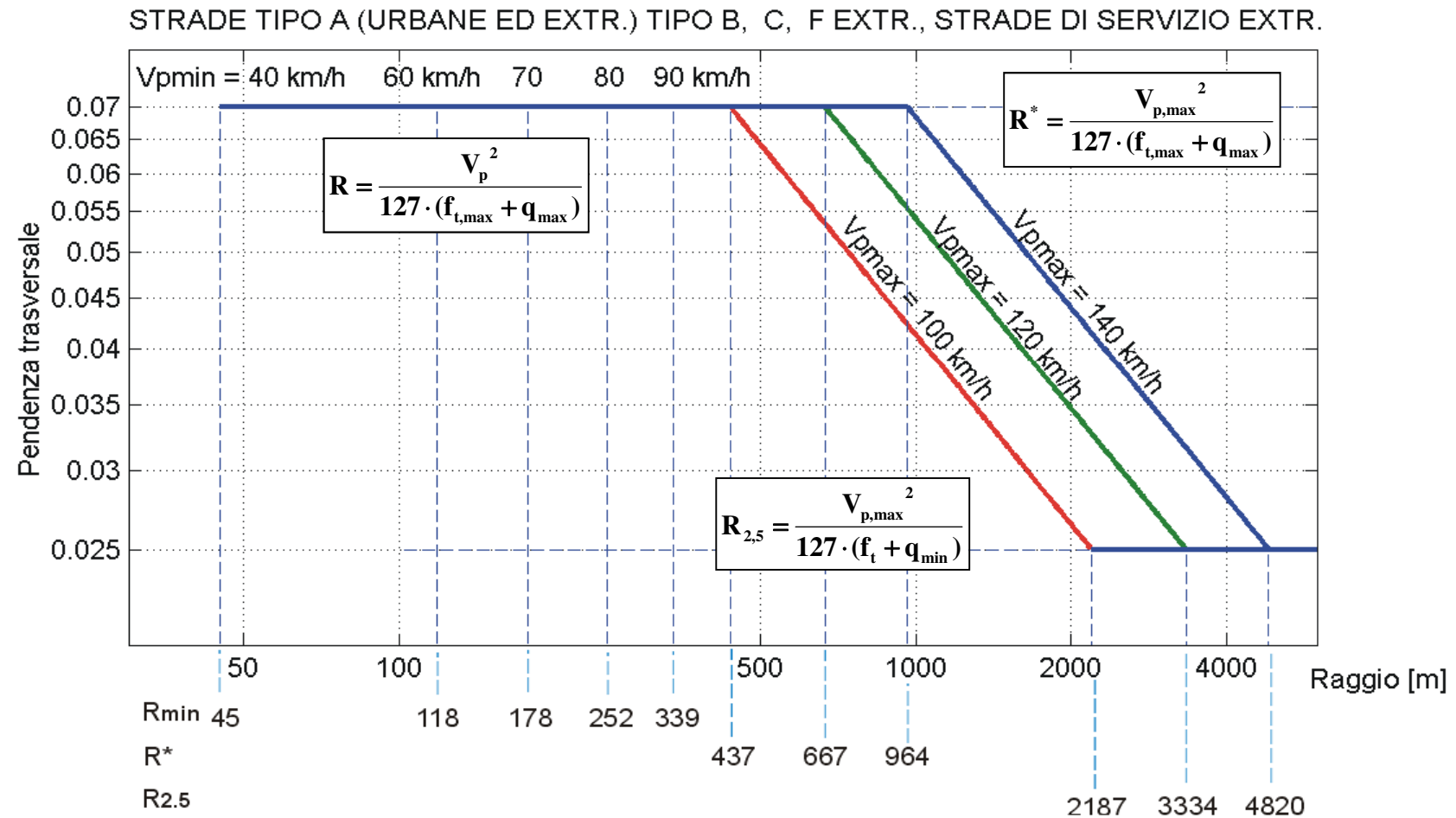
**f<sub>t</sub> = 0,13, q = q<sub>max</sub> = 0,07, R = 252**

**f<sub>t</sub> = 0,042, q ≈ 0,038, R = 650m**

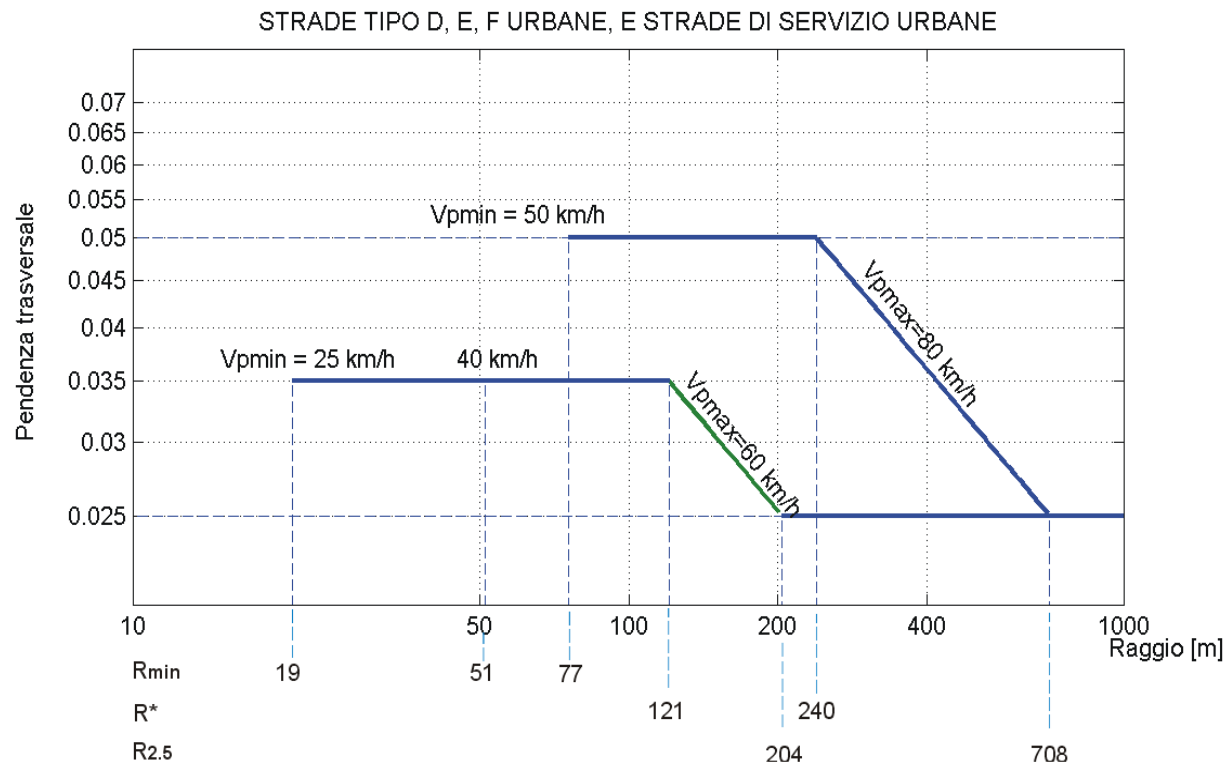
**f<sub>t</sub> = 0,012, q = 0,025, R = 1350 m**



# Raggi superiori a quello minimo (8)



# Raggi superiori a quello minimo (9)



# Raggi superiori a quello minimo (10)

|             |       |      |                    |      |               |
|-------------|-------|------|--------------------|------|---------------|
| STRADA TIPO | A     | B    | C<br>F extraurbane | D    | E<br>F urbane |
| R' [m]      | 10250 | 7500 | 5250               | 2000 | 1150          |

|                    |                   |             |                    |      |
|--------------------|-------------------|-------------|--------------------|------|
| STRADA DI SERVIZIO | A<br>extraurbane. | A<br>urbane | B<br>F extraurbane | D    |
| R' [m]             | 5250              | 1150        | 5250               | 1150 |

$$R' = \frac{V_{p,max}^2}{127 \cdot [f_t + (-0,025)]}$$

**Valori minimi di raggio per mantenere la contropendenza della carreggiata**

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

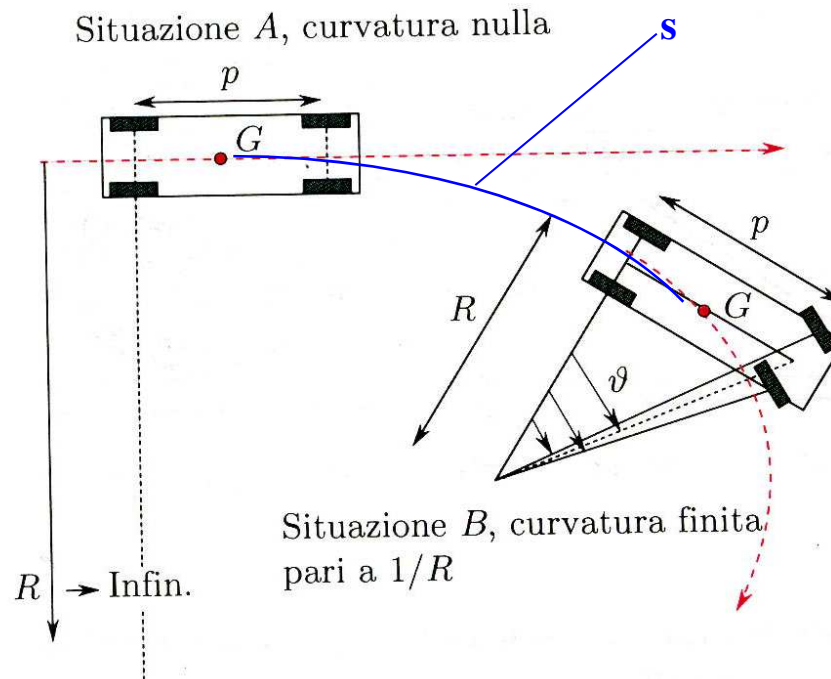
$$i_c = q * 100; i_l = i \%$$

**J ≤ 10 % per strade di tipo A e B**

**J ≤ 12 % per le altre strade in condizioni ordinarie**

**J ≤ 8 % per tutte le strade in condizioni di frequente innevamento**

# Elementi a curvatura variabile



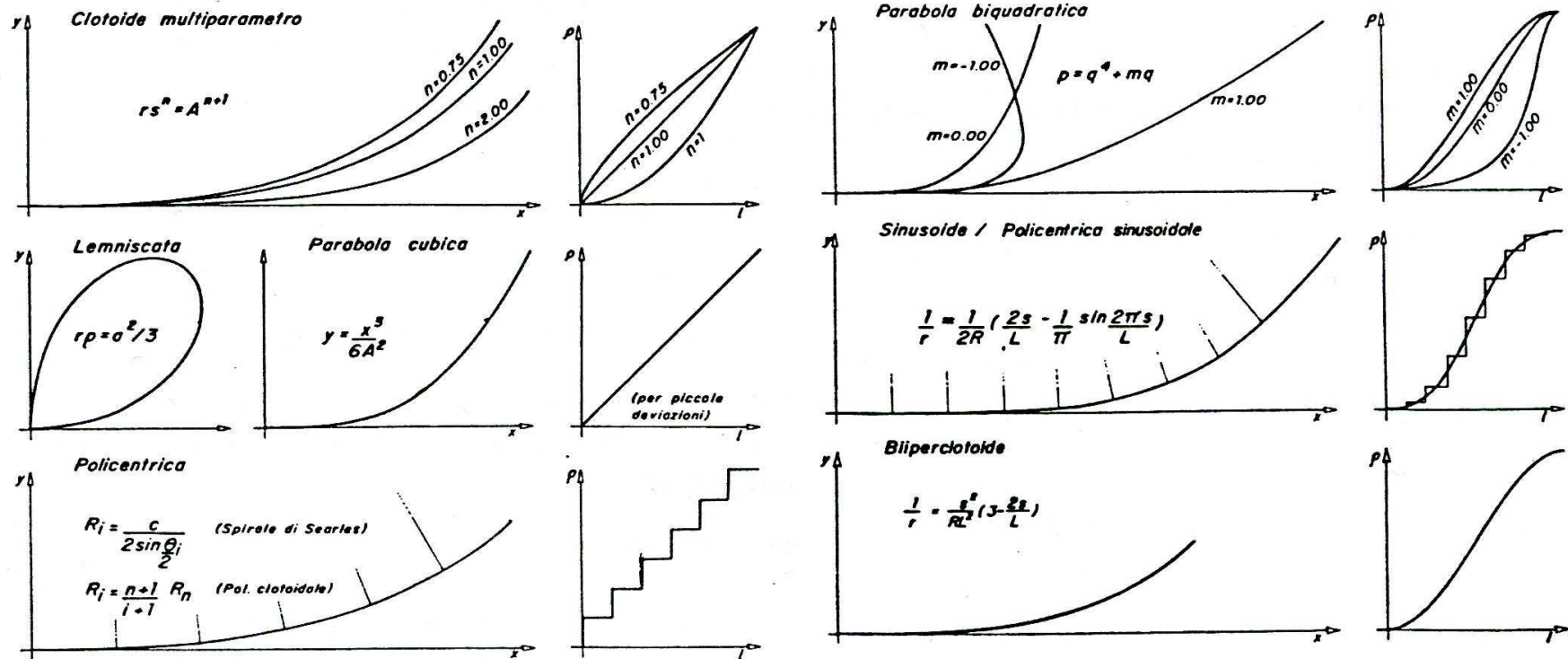
$$\frac{p}{R} = \sin(\vartheta) \cong \tan(\vartheta) \cong \vartheta$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$\dot{\vartheta} = \frac{\vartheta}{t} = \frac{p/R}{s/v} = \frac{p \cdot v}{R \cdot s}$$

$$R \cdot s = \frac{p \cdot v}{\dot{\vartheta}}$$

# Curve a curvatura variabile



**lunghezza  
unitaria o  
ridotta**

$$l = \frac{s}{L}$$

**curvatura  
unitaria o  
ridotta**

$$\rho = \frac{R}{r}$$



# Clotoide multiparametro (1)

Clotoide multiparametro

$$r * s^n = A^{n+1}$$

$r$  = raggio puntuale;

$s$  = ascissa curvilinea;

$A$  = parametro di scala

$n$  = fattore di forma

Per

$n = -1$

$r = s$  Spirale

$n = 0$

$r = A$  Cerchio

$0 < n < 1$  (p. e.  $n = 0,5$ )

$r * s^{0,5} = A^{1,5}$  Ipoclotoidi

$n = 1$

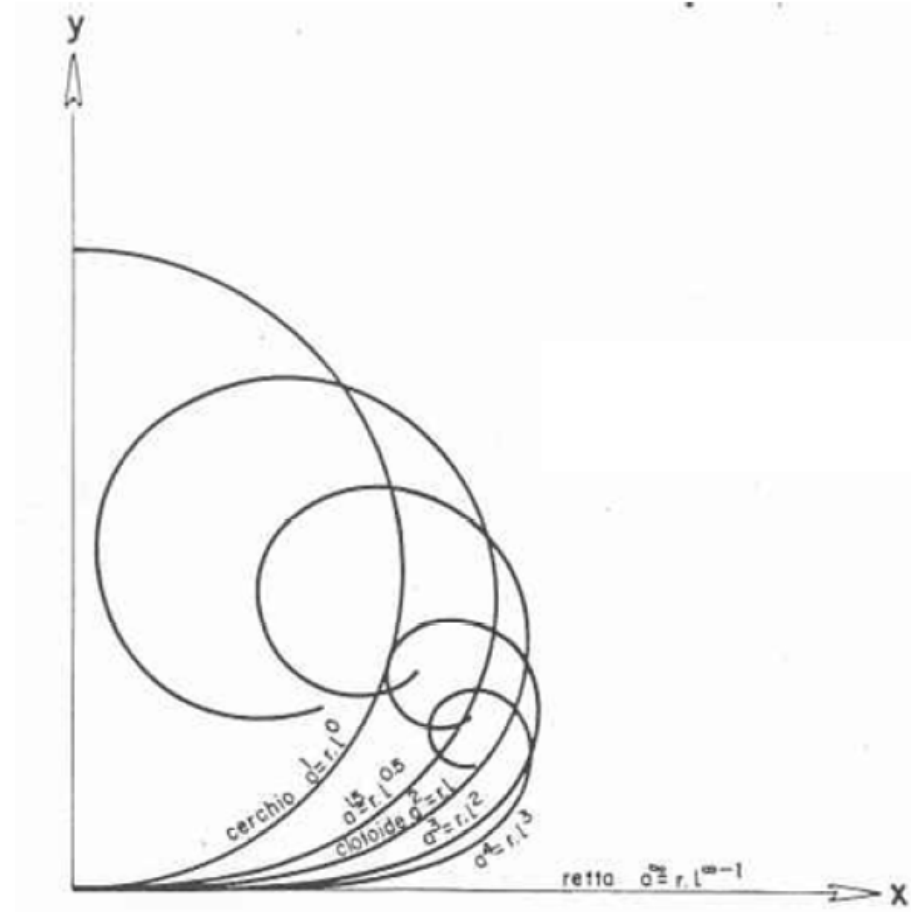
$r * s = A^2$  Clotoide

$1 < n < \infty$  (p.e.  $n = 2$ )

$r * s^2 = A^3$  Iperclotoidi

$n = \infty$

$r = \infty$  Retta



# Clotoide multiparametro (2)

Clotoide multiparametro

$$r * s^n = A^{n+1}$$

$r$  = raggio puntuale;

$s$  = ascissa curvilinea;

$A$  = parametro di scala

$n$  = fattore di forma

Per

$n = -1$

$r = s$

Spirale

$n = 0$

$r = A$

Cerchio

$0 < n < 1$  (p. e.  $n = 0,5$ )

$r * s^{0,5} = A^{1,5}$

Ipoclotoidi

$n = 1$

$r * s = A^2$

Clotoide

$1 < n < \infty$  (p.e.  $n = 2$ )

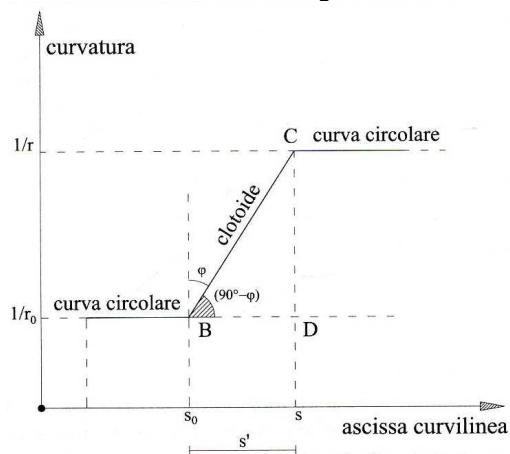
$r * s^2 = A^3$

Iperclotoidi

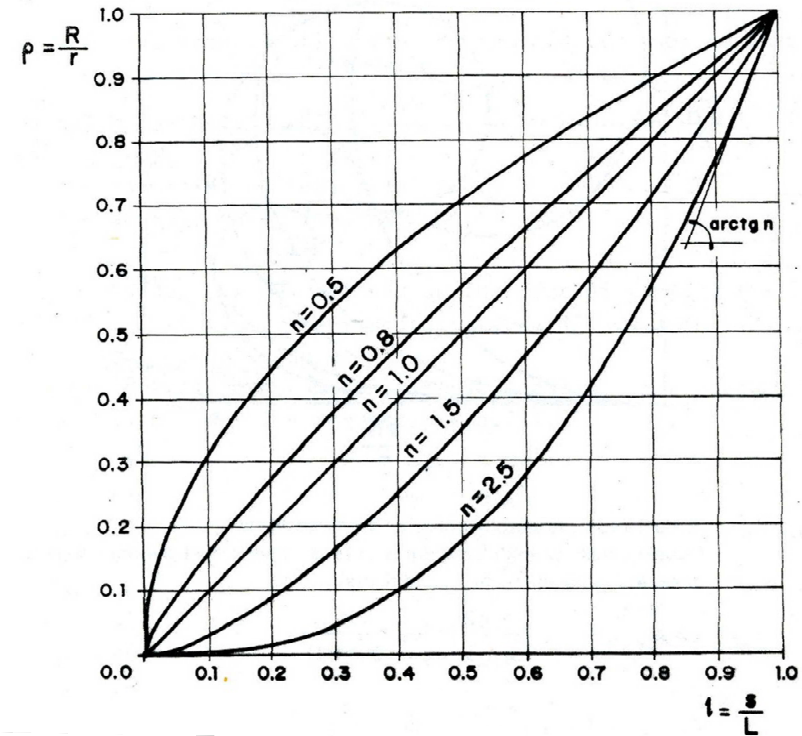
$n = \infty$

$r = \infty$

Retta



$$\text{tg}(\varphi) = A^2$$



# Clotoide multiparametro (3)

$$\vartheta \cong \frac{P}{R}$$

| V<br>(vel.<br>Veic.) | $\theta$<br>(Ang.<br>sterzo) | $\theta'$<br>(Vel.<br>Sterzo) | a<br>(acc. veic.) | L<br>(lun..<br>Arco) | R<br>(rag.<br>curvat.) | Tipo curva |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------|------------|
| Costante             | Nulla                        | Nulla                         | Qualsiasi         | Infinito             | Infinito               | Retta      |
| Costante             | Costante                     | Nulla                         | Nulla             | Finito               | Costante               | Cerchio    |
| Costante             | Variabile                    | Costante                      | Nulla             | Finito               | Variabile              | Clotoide   |
| Variabile            | Variabile                    | Costante                      | Costante          | Finito               | Variabile              | Ipocloide  |
| Costante             | Variabile                    | Variabile                     | Nulla             | Finito               | Variabile              | Ipercloide |
| Variabile            | Variabile                    | Variabile                     | Costante          | Finito               | Variabile              | Clotoide   |

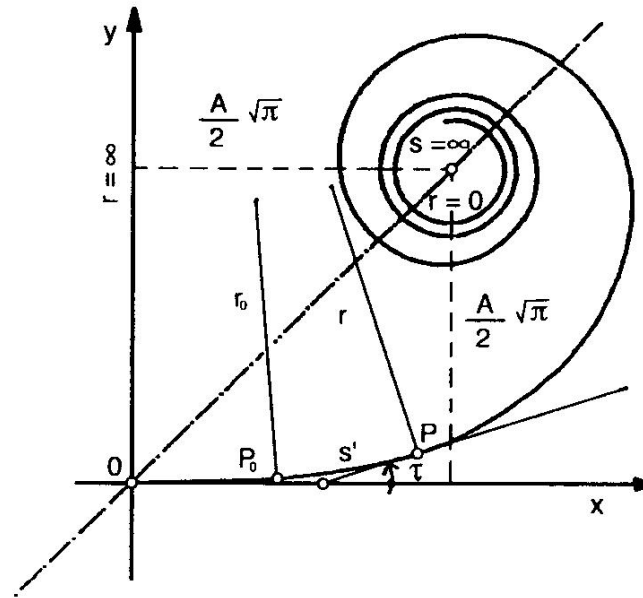
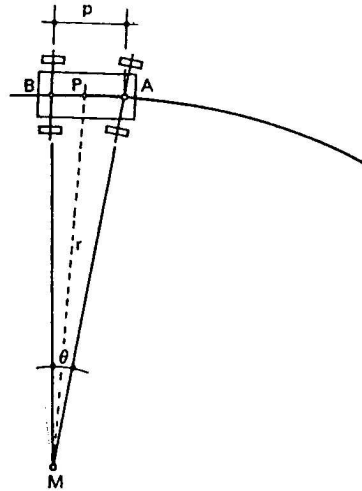
$$t = \frac{L}{v} \quad \dot{\vartheta} = \frac{\vartheta}{t} \quad R \cdot L = \frac{p \cdot v}{\dot{\vartheta}} = \text{cost} = A^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a}} \quad \dot{\vartheta} = \frac{\vartheta}{t} \quad R^2 \cdot L = \frac{p^2 \cdot a}{2 \cdot \dot{\vartheta}^2} = \text{cost} = A^3$$

$$t = \frac{L}{v} \quad \vartheta = \frac{1}{2} \cdot \ddot{\vartheta} \cdot t^2 = \frac{p}{R} \quad R \cdot L^2 = \frac{2 \cdot p \cdot v^2}{\ddot{\vartheta}} = \text{cost} = A^3$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a}} \quad \vartheta = \frac{1}{2} \cdot \ddot{\vartheta} \cdot t^2 = \frac{p}{R} \quad R \cdot L = \frac{p \cdot a}{\ddot{\vartheta}} = \text{cost} = A^2$$

# La Clotoide (1)

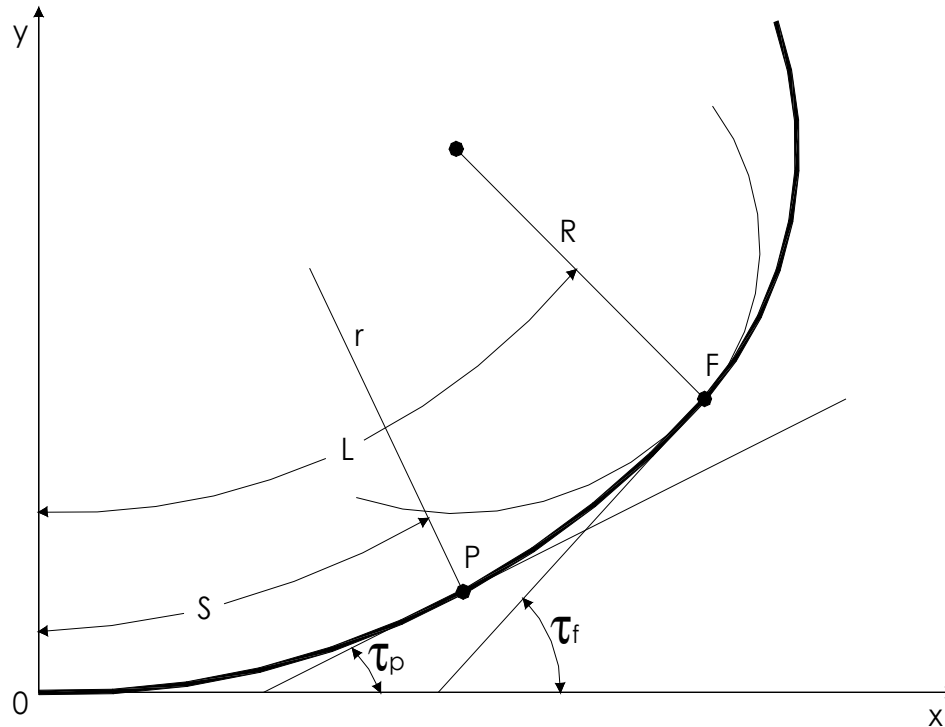


$$\left. \begin{aligned} \frac{s}{A^2} &= \frac{1}{r} \\ \frac{s_0}{A^2} &= \frac{1}{r_0} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{1}{A^2} = \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}}{s - s_0} = \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}}{s'}$$

$$\frac{\mathbf{p} \cdot \mathbf{v}}{A^2} = \frac{\frac{\mathbf{p}}{r} - \frac{\mathbf{p}}{r_0}}{\frac{s'}{v}} = \frac{\theta - \theta_0}{\Delta t} = \dot{\theta}$$

## La Clotoide (2)



**Clotoide**

$$\mathbf{r} * \mathbf{s} = \mathbf{A}^2$$

**r**, raggio puntuale

**s**, ascissa curvilinea

**A**, parametro di scala

**R**, raggio curva circolare

**L**, lunghezza clotoide

$\tau_f$  angolo di deviazione nel punto F

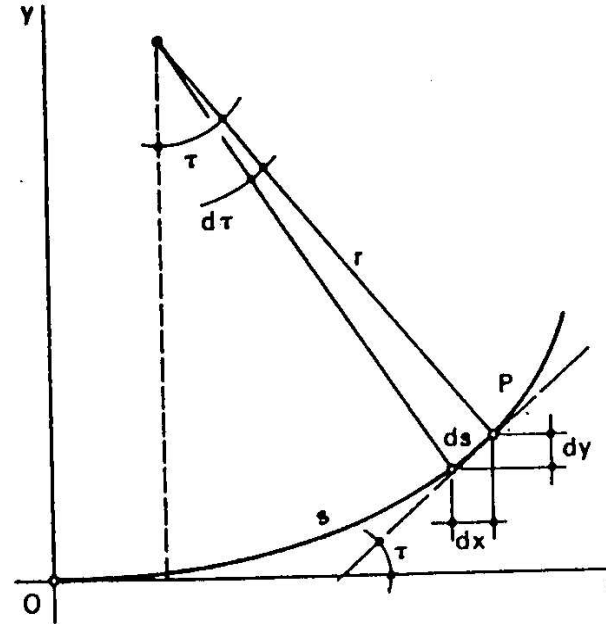
# Equazione cartesiana della clotoide (1)

$$dx = \cos \tau \, ds \quad dy = \sin \tau \, ds$$

Equazione intrinseca della clotoide  $r s = A^2$

$$d\tau = \frac{ds}{r} = \frac{s \cdot ds}{A^2} \quad \tau = \frac{s^2}{2 \cdot A^2} = \frac{s}{2 \cdot r} = \frac{A^2}{2 \cdot r^2}$$

$$s = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \quad ds = A \frac{\sqrt{2}}{2} \tau^{-\frac{1}{2}} d\tau$$



$$x = \int_0^s dx = \int_0^s \cos \tau \cdot ds = \frac{A \sqrt{2}}{2} \cdot \int_0^\tau \tau^{-\frac{1}{2}} \cdot \cos \tau \cdot d\tau = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \int_0^\tau \tau^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{2!} + \frac{\tau^4}{4!} - \dots\right) \cdot d\tau = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \int_0^\tau \left(\tau^{-\frac{1}{2}} - \frac{\tau^{\frac{3}{2}}}{2!} + \dots\right) \cdot d\tau =$$

$$= \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \left[ \frac{\tau^{-\frac{1}{2}+1}}{-\frac{1}{2}+1} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\tau^{\frac{3}{2}+1}}{\frac{3}{2}+1} + \dots \right]_0^\tau = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \left[ \frac{\tau^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\tau^{\frac{5}{2}}}{\frac{5}{2}} + \dots \right]_0^\tau = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \dots\right) \cong s$$

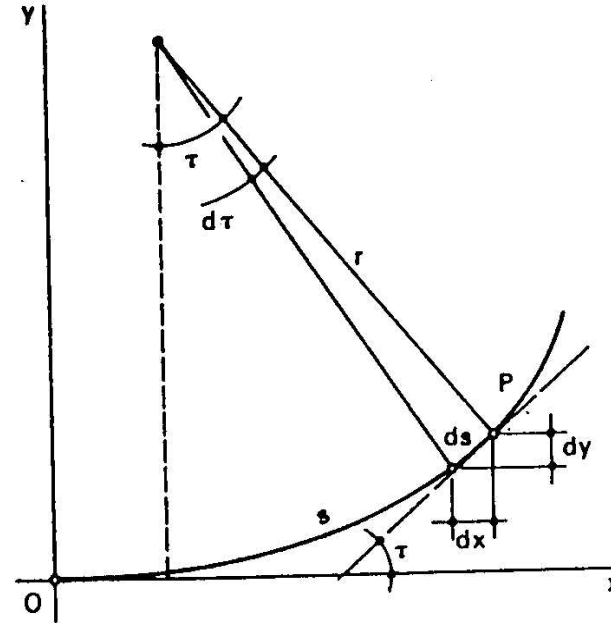
# Equazione cartesiana della clotoide (2)

$$dx = \cos \tau \, ds \quad dy = \sin \tau \, ds$$

Equazione intrinseca della clotoide  $r s = A^2$

$$d\tau = \frac{ds}{r} = \frac{s \cdot ds}{A^2} \quad \tau = \frac{s^2}{2 \cdot A^2} = \frac{s}{2 \cdot r} = \frac{A^2}{2 \cdot r^2}$$

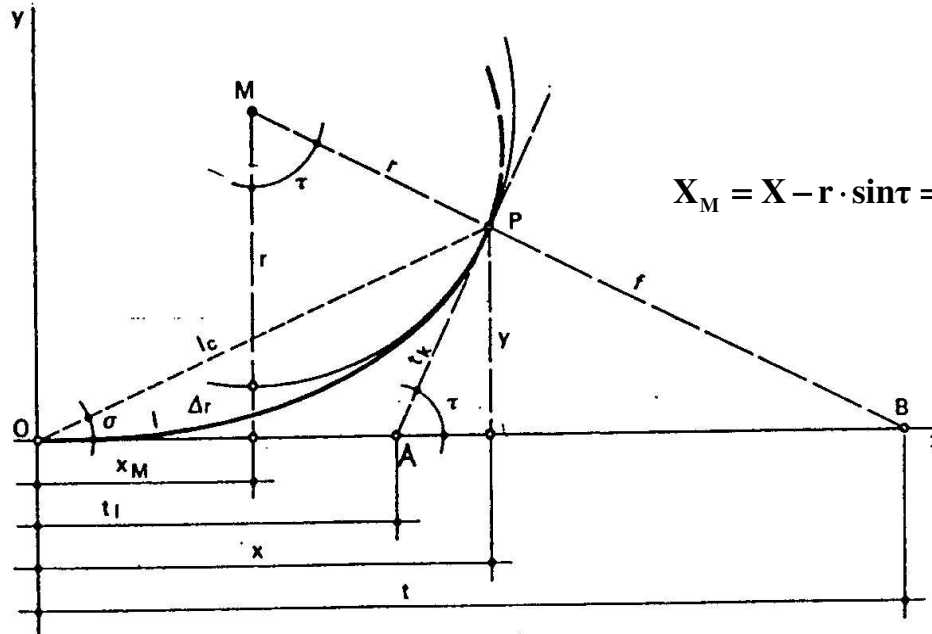
$$s = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \quad ds = A \frac{\sqrt{2}}{2} \tau^{-\frac{1}{2}} d\tau$$



$$y = \int_0^s dy = \int_0^s \sin \tau \cdot ds = \frac{A \sqrt{2}}{2} \cdot \int_0^\tau \tau^{-\frac{1}{2}} \cdot \sin \tau \cdot d\tau = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \int_0^\tau \tau^{-\frac{1}{2}} \cdot \left( \tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \dots \right) \cdot d\tau = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \int_0^\tau \left( \tau^{\frac{1}{2}} - \frac{\tau^{\frac{5}{2}}}{3!} + \dots \right) \cdot d\tau =$$

$$= \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \left[ \frac{\tau^{\frac{1}{2}+1}}{\frac{1}{2}+1} - \frac{1}{3!} \cdot \frac{\tau^{\frac{5}{2}+1}}{\frac{5}{2}+1} + \dots \right]_0^\tau = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \left[ \frac{\tau^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}} - \frac{1}{3!} \cdot \frac{\tau^{\frac{7}{2}}}{\frac{7}{2}} + \dots \right]_0^\tau = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1320} - \dots \right) \cong \frac{s^2}{6 \cdot r}$$

# Elementi caratteristici della clotoide (3)



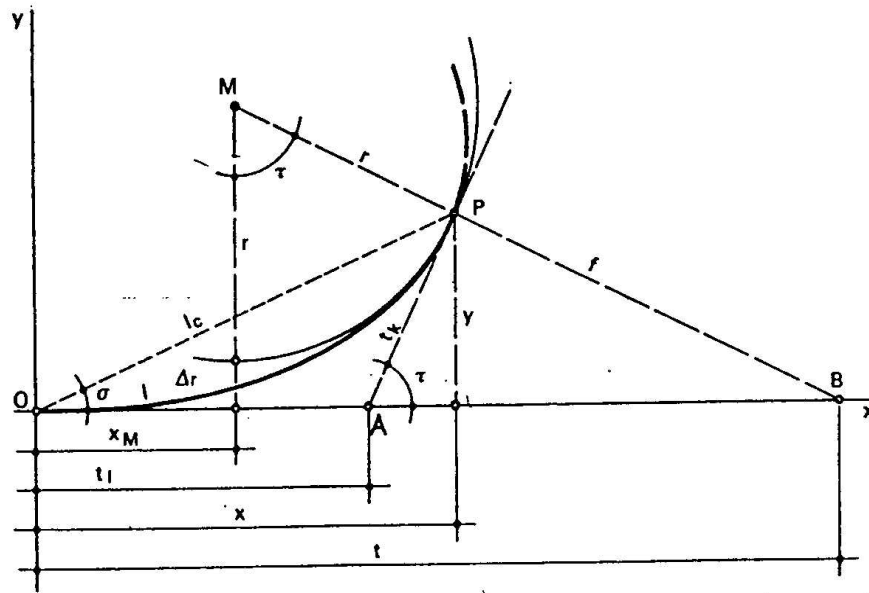
$$X_M = X - r \cdot \sin \tau = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \dots \right) - r \cdot \left( \tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \dots \right)$$

$$\begin{aligned} X_M &\cong A \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{10} \right) - r \cdot \left( \tau - \frac{\tau^3}{6} \right) = \frac{s}{\sqrt{2 \cdot \tau}} \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{10} \right) - \frac{s}{2 \cdot \tau} \cdot \left( \tau - \frac{\tau^3}{6} \right) = \\ &= \frac{s}{\sqrt{2 \cdot \tau}} \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{10} \right) - \frac{s}{2 \cdot \tau} \cdot \left( \tau - \frac{\tau^3}{6} \right) = \frac{s}{2} \left( 2 - \frac{\tau^2}{5} - 1 + \frac{\tau^2}{6} \right) = \frac{s}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{30} \right) = \frac{A^2}{2 \cdot r} \left( 1 - \frac{\tau^2}{30} \right) \end{aligned}$$

$$X_M = X - r \cdot \sin \tau \cong \frac{s}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{30} \right) = \frac{A^2}{2 \cdot r} \left( 1 - \frac{\tau^2}{30} \right)$$



# Elementi caratteristici della clotoide (4)



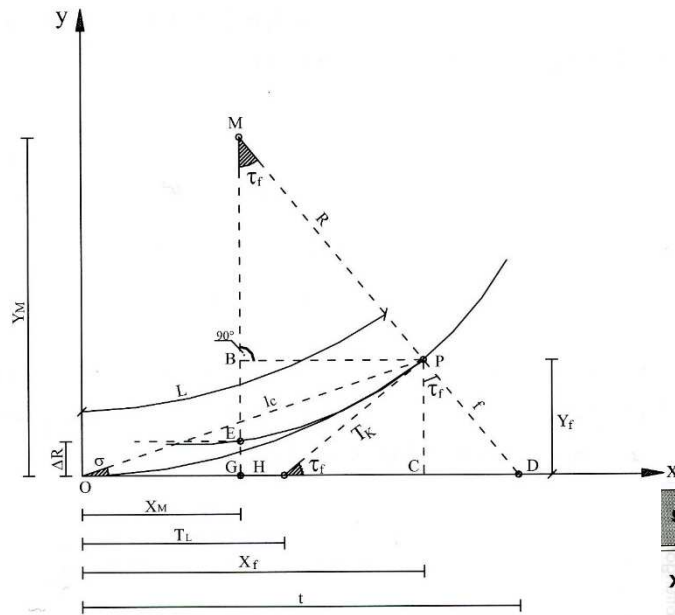
$$Y_M = Y + r \cdot \cos \tau = r + \Delta r$$

$$\Delta r = Y + r \cdot (\cos \tau - 1)$$

$$\begin{aligned} \Delta r = y + r \cdot (\cos \tau - 1) &= A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \dots \right) + r \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{2} + \frac{\tau^4}{24} - \dots - 1 \right) = \frac{s}{\sqrt{2 \cdot \tau}} \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \dots \right) + \frac{s}{2 \cdot \tau} \cdot \left( -\frac{\tau^2}{2} + \frac{\tau^4}{24} - \dots \right) \\ &= s \cdot \left( \frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \dots - \frac{\tau}{4} + \frac{\tau^3}{48} - \dots \right) = s \cdot \tau \cdot \left( \frac{1}{3} - \frac{\tau^2}{42} + \dots - \frac{1}{4} + \frac{\tau^2}{48} - \dots \right) \cong s \cdot \frac{s}{2 \cdot r} \cdot \left( \frac{1}{12} - \frac{\tau^2}{336} \right) = \frac{s^2}{24 \cdot r} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{28} \right) = \frac{A^4}{24 \cdot r^3} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{28} \right) \end{aligned}$$



# Elementi caratteristici della clotoide (6)

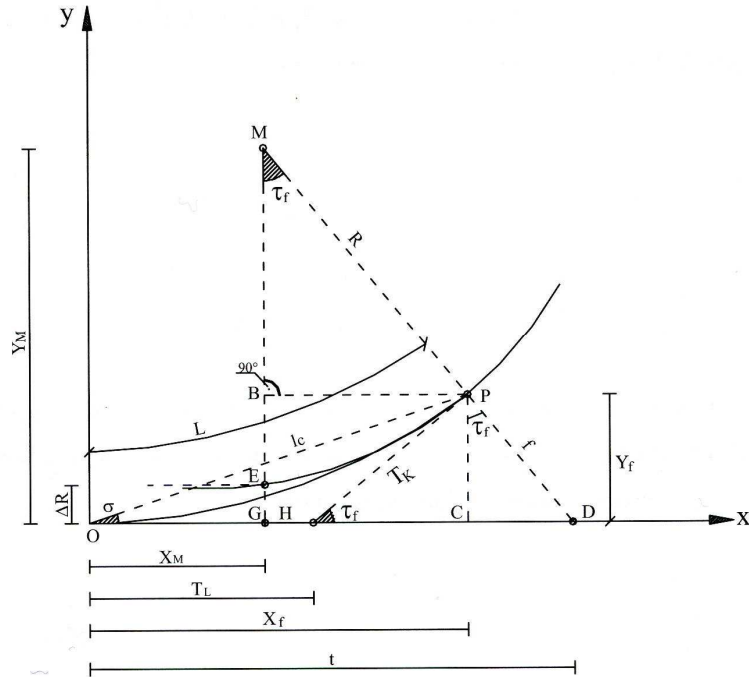


tangente lunga

$$t_l = x_f - y_f \cotg \tau_f$$

| SIMBOLI    | FORMULE ESATTE  | FORMULE APPROSSIMATE                          |
|------------|---|---|
| $x_f$      | $A \cdot \sqrt{2\tau_f} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-2)}}{(4i-3) \cdot [(2i-2)!]} \right]$   | $L$   |
| $y_f$      | $A \cdot \sqrt{2\tau_f} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(4i-1) \cdot [(2i-1)!]} \right]$   | $\frac{L^2}{6R}$                              |
| $\Delta R$ | $\frac{A^4}{24R^3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{6 \cdot \tau_f^{(2i-2)}}{(2i)! \cdot (4i-1)} \right] = \frac{L^2}{24R} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{6 \cdot \tau_f^{(2i-2)}}{(2i)! \cdot (4i-1)} \right]$   | $\frac{A^4}{24R^3} = \frac{L^2}{24R}$         |
| $x_M$      | $A \cdot \frac{\sqrt{2\tau_f}}{2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-2)}}{(2i-1)! \cdot (4i-3)} \right]$   | $\frac{L}{2}$                                 |
| $y_M$      | $A \cdot \frac{\sqrt{2\tau_f}}{2} \cdot \left[ \frac{1}{\tau_f} + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(2i)! \cdot (4i-1)} \right]$  | $R + \frac{A^4}{24R^3} = R + \frac{L^2}{24R}$ |
| $T_L$      | $T_L = A \cdot \sqrt{2\tau_f} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i+1} \cdot \tau_f^{(2i-2)}}{(4i-3) \cdot [(2i-2)!]} - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i+1} \cdot \tau_f^{(2i-1)}}{(4i-1) \cdot [(2i-1)!]} \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-2)}}{(2i-2)!}}{\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(2i-1)!}} \right] \right\}$ | $\frac{2}{3} \cdot L$                         |

# Elementi caratteristici della clotoide (7)



**tangente corta**  $t_k = y_f / \text{sen} \tau_f$   
**lunghezza della corda**  $l_c = x_f / \text{cos} \sigma$   
**angolo  $\sigma = \text{arctg } y_f / x_f$**

| SIMBOLI  | FORMULE ESATTE   | FORMULE APPROSSIMATE                           |
|----------|--|--|
| $T_k$    | $\frac{A \cdot \sqrt{2\tau_f} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(4i-1) \cdot [(2i-1)!]} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(2i-1)!} \right]}$  | $\frac{1}{3} \cdot L$                          |
| $\sigma$ | $\text{arctg} \left[ \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(4i-1) \cdot [(2i-1)!]} \right]}{\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-2)}}{(4i-3) \cdot [(2i-2)!]}}$  | $\text{arctg} \left( \frac{A^2}{6R^2} \right)$ |
| $l_c$    | $l_c = \left\{ \frac{A \cdot \sqrt{2\tau_f} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(4i-1) \cdot [(2i-1)!]}}{\left[ \text{sen} \left[ \text{arctg} \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-1)}}{(4i-1) \cdot [(2i-1)!]} \right]} \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \cdot \frac{\tau_f^{(2i-2)}}{(4i-3) \cdot [(2i-2)!]} \right]} \right\}$ | $L$  |

# Tabelle per la clotoide unitaria

APPENDICE "A" - n = 1,00

| s     | $\tau^c$ | $x_f$    | $y_f$    | $x_M$    | $y_M$      | $\Delta r$ | $t_L$    | $t_K$    | r          | $\sigma^c$ | $l_c$    |
|-------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|----------|
| 0.005 | 0.000796 | 0.005000 | 0.000000 | 0.002500 | 200.000000 | 0.000000   | 0.003333 | 0.001667 | 200.000000 | 0.000265   | 0.005000 |
| 0.010 | 0.003183 | 0.010000 | 0.000000 | 0.005000 | 100.000000 | 0.000000   | 0.006667 | 0.003333 | 100.000000 | 0.001061   | 0.010000 |
| 0.015 | 0.007162 | 0.015000 | 0.000001 | 0.007500 | 66.666667  | 0.000000   | 0.010000 | 0.005000 | 66.666667  | 0.002387   | 0.015000 |
| 0.020 | 0.012732 | 0.020000 | 0.000001 | 0.010000 | 50.000000  | 0.000000   | 0.013333 | 0.006667 | 50.000000  | 0.004244   | 0.020000 |
| 0.025 | 0.019894 | 0.025000 | 0.000003 | 0.012500 | 40.000001  | 0.000001   | 0.016667 | 0.008333 | 40.000000  | 0.006631   | 0.025000 |
| 0.030 | 0.028648 | 0.030000 | 0.000004 | 0.015000 | 33.333334  | 0.000001   | 0.020000 | 0.010000 | 33.333333  | 0.009549   | 0.030000 |
| 0.035 | 0.038993 | 0.035000 | 0.000007 | 0.017500 | 28.571430  | 0.000002   | 0.023333 | 0.011667 | 28.571429  | 0.012998   | 0.035000 |
| 0.040 | 0.050930 | 0.040000 | 0.000011 | 0.020000 | 25.000003  | 0.000003   | 0.026667 | 0.013333 | 25.000000  | 0.016977   | 0.040000 |
| 0.045 | 0.064458 | 0.045000 | 0.000015 | 0.022500 | 22.222226  | 0.000004   | 0.030000 | 0.015000 | 22.222222  | 0.021486   | 0.045000 |
| 0.050 | 0.079577 | 0.050000 | 0.000021 | 0.025000 | 20.000005  | 0.000005   | 0.033333 | 0.016667 | 20.000000  | 0.026526   | 0.050000 |
| 0.055 | 0.096289 | 0.055000 | 0.000028 | 0.027500 | 18.181825  | 0.000007   | 0.036667 | 0.018333 | 18.181818  | 0.032096   | 0.055000 |
| 0.060 | 0.114592 | 0.060000 | 0.000036 | 0.030000 | 16.666676  | 0.000009   | 0.040000 | 0.020000 | 16.666667  | 0.038197   | 0.060000 |
| 0.065 | 0.134486 | 0.065000 | 0.000046 | 0.032500 | 15.384627  | 0.000011   | 0.043333 | 0.021667 | 15.384615  | 0.044829   | 0.065000 |
| 0.070 | 0.155972 | 0.070000 | 0.000057 | 0.035000 | 14.285729  | 0.000014   | 0.046667 | 0.023333 | 14.285714  | 0.051991   | 0.070000 |
| 0.075 | 0.179049 | 0.075000 | 0.000070 | 0.037500 | 13.333351  | 0.000018   | 0.050000 | 0.025000 | 13.333333  | 0.059683   | 0.075000 |
| 0.080 | 0.203718 | 0.080000 | 0.000085 | 0.040000 | 12.500021  | 0.000021   | 0.053333 | 0.026667 | 12.500000  | 0.067906   | 0.080000 |
| 0.085 | 0.229979 | 0.085000 | 0.000102 | 0.042500 | 11.764731  | 0.000026   | 0.056667 | 0.028333 | 11.764706  | 0.076660   | 0.085000 |
| 0.090 | 0.257831 | 0.090000 | 0.000121 | 0.045000 | 11.111141  | 0.000030   | 0.060000 | 0.030000 | 11.111111  | 0.085944   | 0.090000 |
| 0.095 | 0.287275 | 0.095000 | 0.000143 | 0.047500 | 10.526352  | 0.000036   | 0.063333 | 0.031667 | 10.526316  | 0.095758   | 0.095000 |
| 0.100 | 0.318310 | 0.100000 | 0.000167 | 0.050000 | 10.000042  | 0.000042   | 0.066667 | 0.033333 | 10.000000  | 0.106103   | 0.100000 |
| 0.105 | 0.350937 | 0.105000 | 0.000193 | 0.052500 | 9.523858   | 0.000048   | 0.070000 | 0.035000 | 9.523810   | 0.116979   | 0.105000 |
| 0.110 | 0.385155 | 0.110000 | 0.000222 | 0.055000 | 9.090965   | 0.000055   | 0.073333 | 0.036667 | 9.090909   | 0.128385   | 0.110000 |
| 0.115 | 0.420965 | 0.114999 | 0.000253 | 0.057500 | 8.695716   | 0.000063   | 0.076667 | 0.038333 | 8.695652   | 0.140322   | 0.115000 |

$$s = \frac{L}{A} = \frac{A}{R} \uparrow \uparrow \tau^c = \frac{L}{2 \cdot R} \frac{200}{\pi} \uparrow r = \frac{R}{A}$$

# Esempio utilizzo Tabelle

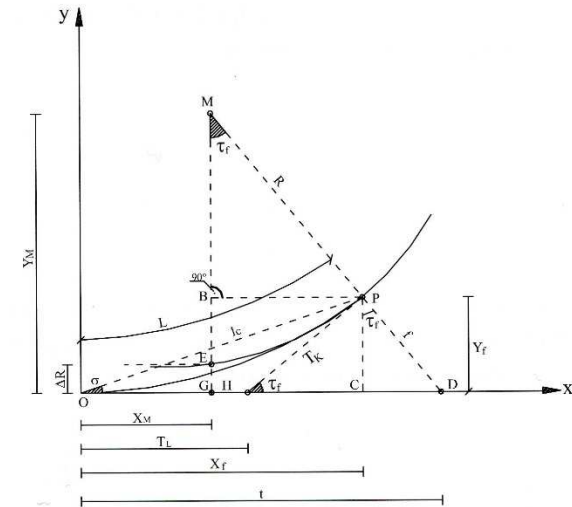
**A = 272 m; R = 340 m**

$$r = \frac{R}{A} = \frac{340}{272} = 1,25$$



(segue) APPENDICE "A" - n = 1,00

| s     | $r^c$     | $x_f$    | $y_f$    | $x_M$    | $y_M$    | $\Delta r$ | $t_L$    | $t_K$    | r        | $\sigma^c$ | $l_c$    |
|-------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|------------|----------|
| 0.695 | 15.375163 | 0.690957 | 0.055718 | 0.346825 | 1.452807 | 0.013958   | 0.464757 | 0.232961 | 1.438849 | 5.122520   | 0.693200 |
| 0.700 | 15.597184 | 0.695810 | 0.056922 | 0.349301 | 1.442832 | 0.014261   | 0.468142 | 0.234676 | 1.428571 | 5.196416   | 0.698134 |
| 0.705 | 15.820797 | 0.700658 | 0.058143 | 0.351776 | 1.433008 | 0.014568   | 0.471529 | 0.236391 | 1.418440 | 5.270838   | 0.703067 |
| 0.710 | 16.046001 | 0.705503 | 0.059382 | 0.354250 | 1.423330 | 0.014879   | 0.474918 | 0.238108 | 1.408451 | 5.345786   | 0.707997 |
| 0.715 | 16.272797 | 0.710342 | 0.060637 | 0.356723 | 1.413796 | 0.015195   | 0.478308 | 0.239826 | 1.398601 | 5.421261   | 0.712926 |
| 0.720 | 16.501184 | 0.715178 | 0.061910 | 0.359195 | 1.404404 | 0.015515   | 0.481700 | 0.241546 | 1.388889 | 5.497261   | 0.717852 |
| 0.725 | 16.731163 | 0.720008 | 0.063200 | 0.361667 | 1.395149 | 0.015839   | 0.485094 | 0.243268 | 1.379310 | 5.573788   | 0.722777 |
| 0.730 | 16.962734 | 0.724834 | 0.064508 | 0.364138 | 1.386031 | 0.016168   | 0.488489 | 0.244991 | 1.369863 | 5.650840   | 0.727699 |
| 0.735 | 17.195896 | 0.729655 | 0.065833 | 0.366608 | 1.377046 | 0.016501   | 0.491886 | 0.246715 | 1.360544 | 5.728419   | 0.732619 |
| 0.740 | 17.430649 | 0.734472 | 0.067177 | 0.369077 | 1.368191 | 0.016839   | 0.495285 | 0.248441 | 1.351351 | 5.806522   | 0.737537 |
| 0.745 | 17.666994 | 0.739283 | 0.068537 | 0.371546 | 1.359463 | 0.017182   | 0.498685 | 0.250169 | 1.342282 | 5.885152   | 0.742453 |
| 0.750 | 17.904931 | 0.744089 | 0.069916 | 0.374013 | 1.350862 | 0.017529   | 0.502088 | 0.251899 | 1.333333 | 5.964306   | 0.747367 |
| 0.755 | 18.144459 | 0.748890 | 0.071313 | 0.376480 | 1.342383 | 0.017880   | 0.505492 | 0.253630 | 1.324503 | 6.043986   | 0.752278 |
| 0.760 | 18.385579 | 0.753686 | 0.072728 | 0.378946 | 1.334026 | 0.018236   | 0.508898 | 0.255363 | 1.315789 | 6.124190   | 0.757186 |
| 0.765 | 18.628290 | 0.758476 | 0.074161 | 0.381411 | 1.325787 | 0.018597   | 0.512306 | 0.257098 | 1.307190 | 6.204920   | 0.762093 |
| 0.770 | 18.872593 | 0.763261 | 0.075613 | 0.383875 | 1.317664 | 0.018963   | 0.515716 | 0.258835 | 1.298701 | 6.286174   | 0.766997 |
| 0.775 | 19.118488 | 0.768040 | 0.077082 | 0.386338 | 1.309655 | 0.019333   | 0.519129 | 0.260573 | 1.290323 | 6.367953   | 0.771898 |
| 0.780 | 19.365973 | 0.772813 | 0.078571 | 0.388800 | 1.301759 | 0.019708   | 0.522543 | 0.262313 | 1.282051 | 6.450256   | 0.776797 |
| 0.785 | 19.615051 | 0.777580 | 0.080078 | 0.391261 | 1.293973 | 0.020087   | 0.525960 | 0.264056 | 1.273885 | 6.533084   | 0.781693 |
| 0.790 | 19.865720 | 0.782342 | 0.081603 | 0.393721 | 1.286295 | 0.020472   | 0.529378 | 0.265800 | 1.265823 | 6.616435   | 0.786586 |
| 0.795 | 20.117981 | 0.787097 | 0.083148 | 0.396180 | 1.278723 | 0.020861   | 0.532799 | 0.267547 | 1.257862 | 6.700310   | 0.791477 |
| 0.800 | 20.371833 | 0.791847 | 0.084711 | 0.398639 | 1.271255 | 0.021255   | 0.536222 | 0.269295 | 1.250000 | 6.784710   | 0.796365 |
| 0.805 | 20.627276 | 0.796590 | 0.086294 | 0.401096 | 1.263891 | 0.021655   | 0.539648 | 0.271046 | 1.242236 | 6.869632   | 0.801250 |



$$L = s \cdot A = 0,800 \cdot 272 = 217,60 \text{ m}$$

$$X_f = x_f \cdot A = 215,382 \text{ m}$$

$$Y_f = y_f \cdot A = 23,04 \text{ m}$$

$$X_M = x_M \cdot A = 108,42 \text{ m}$$

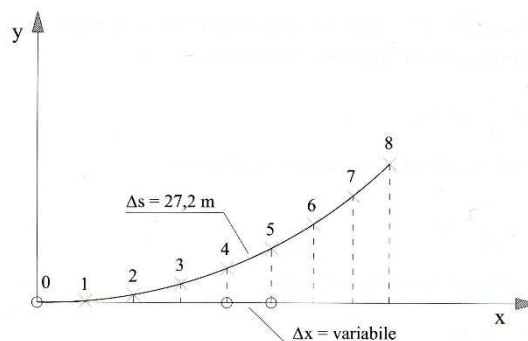
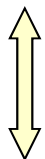
$$Y_M = y_M \cdot A = 345,78 \text{ m}$$

$$\Delta R = \Delta r \cdot A = 5,78 \text{ m}$$

# Esempio tracciamento clotoide

$$\Delta S = \frac{L}{8} = \frac{217,60}{8} = 27,20$$

$$\Delta s = \frac{\Delta S}{A} = \frac{27,2}{272} = 0,10$$



APPENDICE "A" - n = 1,00

| s     | c°       | x <sub>i</sub> | y <sub>i</sub> | x <sub>M</sub> | y <sub>M</sub> | Δr       | t <sub>L</sub> | t <sub>k</sub> | r          | σ°       | t <sub>c</sub> |
|-------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|------------|----------|----------------|
| 0.005 | 0.000796 | 0.005000       | 0.000000       | 0.002500       | 200.000000     | 0.000000 | 0.003333       | 0.001667       | 200.000000 | 0.000265 | 0.005000       |
| 0.010 | 0.003183 | 0.010000       | 0.000000       | 0.005000       | 100.000000     | 0.000000 | 0.006667       | 0.003333       | 100.000000 | 0.001061 | 0.010000       |
| 0.015 | 0.007162 | 0.015000       | 0.000001       | 0.007500       | 66.666667      | 0.000000 | 0.010000       | 0.005000       | 66.666667  | 0.002387 | 0.015000       |
| 0.020 | 0.012732 | 0.020000       | 0.000001       | 0.010000       | 50.000000      | 0.000000 | 0.013333       | 0.006667       | 50.000000  | 0.004244 | 0.020000       |
| 0.025 | 0.019894 | 0.025000       | 0.000003       | 0.012500       | 40.000001      | 0.000001 | 0.016667       | 0.008333       | 40.000000  | 0.006631 | 0.025000       |
| 0.030 | 0.028648 | 0.030000       | 0.000004       | 0.015000       | 33.333334      | 0.000001 | 0.020000       | 0.010000       | 33.333333  | 0.009549 | 0.030000       |
| 0.035 | 0.038993 | 0.035000       | 0.000007       | 0.017500       | 28.571430      | 0.000002 | 0.023333       | 0.011667       | 28.571429  | 0.012998 | 0.035000       |
| 0.040 | 0.050930 | 0.040000       | 0.000011       | 0.020000       | 25.000003      | 0.000003 | 0.026667       | 0.013333       | 25.000000  | 0.016977 | 0.040000       |
| 0.045 | 0.064458 | 0.045000       | 0.000015       | 0.022500       | 22.222226      | 0.000004 | 0.030000       | 0.015000       | 22.222222  | 0.021486 | 0.045000       |
| 0.050 | 0.079577 | 0.050000       | 0.000021       | 0.025000       | 20.000005      | 0.000005 | 0.033333       | 0.016667       | 20.000000  | 0.026526 | 0.050000       |
| 0.055 | 0.096289 | 0.055000       | 0.000028       | 0.027500       | 18.181825      | 0.000007 | 0.036667       | 0.018333       | 18.181818  | 0.032096 | 0.055000       |
| 0.060 | 0.114592 | 0.060000       | 0.000036       | 0.030000       | 16.666676      | 0.000009 | 0.040000       | 0.020000       | 16.666667  | 0.038197 | 0.060000       |
| 0.065 | 0.134486 | 0.065000       | 0.000046       | 0.032500       | 15.384627      | 0.000011 | 0.043333       | 0.021667       | 15.384615  | 0.044829 | 0.065000       |
| 0.070 | 0.155972 | 0.070000       | 0.000057       | 0.035000       | 14.285729      | 0.000014 | 0.046667       | 0.023333       | 14.285714  | 0.051991 | 0.070000       |
| 0.075 | 0.179049 | 0.075000       | 0.000070       | 0.037500       | 13.333335      | 0.000018 | 0.050000       | 0.025000       | 13.333333  | 0.059683 | 0.075000       |
| 0.080 | 0.203718 | 0.080000       | 0.000085       | 0.040000       | 12.500021      | 0.000021 | 0.053333       | 0.026667       | 12.500000  | 0.067906 | 0.080000       |
| 0.085 | 0.229979 | 0.085000       | 0.000102       | 0.042500       | 11.764731      | 0.000026 | 0.056667       | 0.028333       | 11.764706  | 0.076660 | 0.085000       |
| 0.090 | 0.257831 | 0.090000       | 0.000121       | 0.045000       | 11.111141      | 0.000030 | 0.060000       | 0.030000       | 11.111111  | 0.085944 | 0.090000       |
| 0.095 | 0.287275 | 0.095000       | 0.000143       | 0.047500       | 10.526352      | 0.000036 | 0.063333       | 0.031667       | 10.526316  | 0.095758 | 0.095000       |
| 0.100 | 0.318310 | 0.100000       | 0.000167       | 0.050000       | 10.000042      | 0.000042 | 0.066667       | 0.033333       | 10.000000  | 0.106103 | 0.100000       |
| 0.105 | 0.350937 | 0.105000       | 0.000193       | 0.052500       | 9.523858       | 0.000048 | 0.070000       | 0.035000       | 9.523810   | 0.116979 | 0.105000       |
| 0.110 | 0.385155 | 0.110000       | 0.000222       | 0.055000       | 9.090965       | 0.000055 | 0.073333       | 0.036667       | 9.090909   | 0.128385 | 0.110000       |
| 0.115 | 0.420965 | 0.114999       | 0.000253       | 0.057500       | 8.695716       | 0.000063 | 0.076667       | 0.038333       | 8.695652   | 0.140322 | 0.115000       |

| PUNTO | s    | COORD. CARTESIANE |       |
|-------|------|-------------------|-------|
|       |      | X (m)             | Y (m) |
| 0     | 0,00 | 0,00              | 0,00  |
| 1     | 0,10 | 27,20             | 0,04  |
| 2     | 0,20 | 54,40             | 0,36  |
| 3     | 0,30 | 81,58             | 1,22  |
| 4     | 0,40 | 108,73            | 2,90  |
| 5     | 0,50 | 135,79            | 5,66  |
| 6     | 0,60 | 162,67            | 9,77  |
| 7     | 0,70 | 189,26            | 15,48 |
| 8     | 0,80 | 215,38            | 23,04 |

# Scelta del parametro A

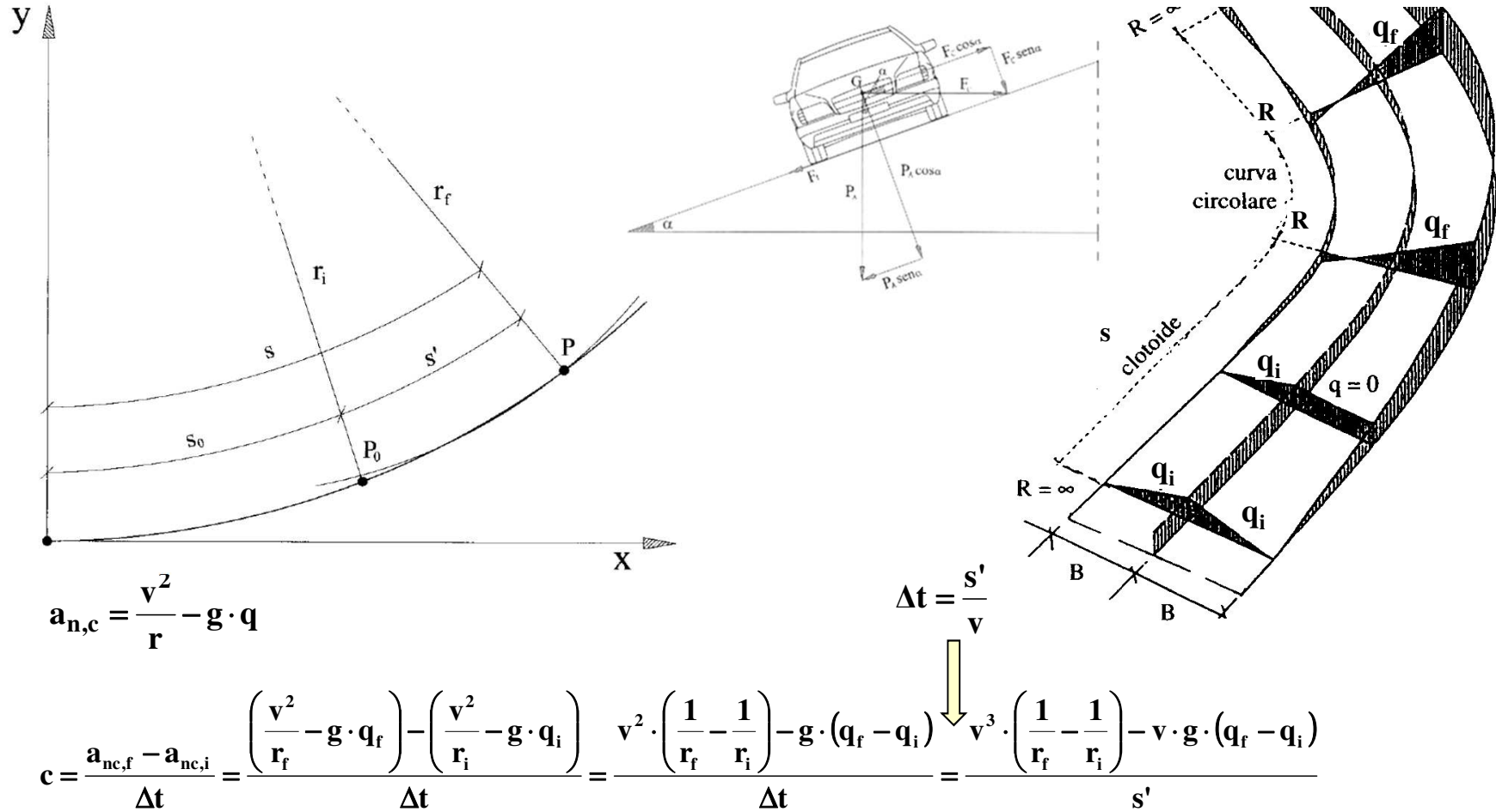
Le clotoidi vengono inserite nel tracciato in modo da garantire:

- una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccollo) contenuta entro valori accettabili (criterio dinamico);
- una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma (criterio costruttivo);
- la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato (criterio ottico).

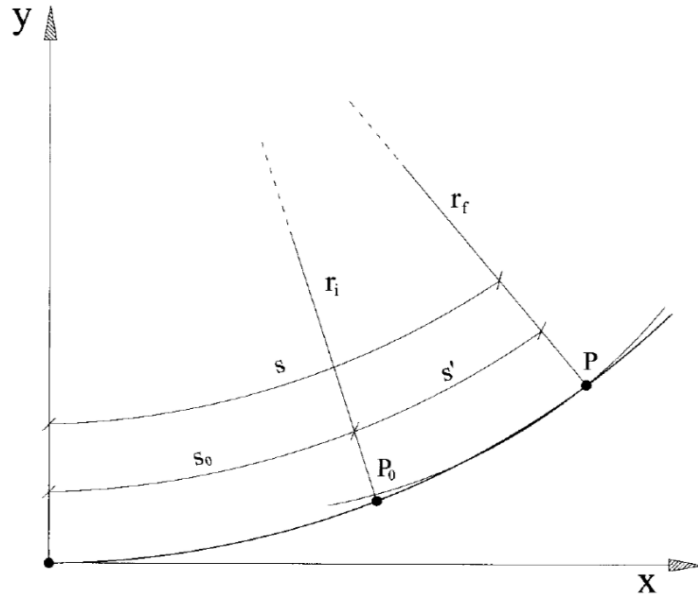


# Criterio di verifica del contraccollo (1)

**Criterio 1 (Limitazione del contraccollo):** Lungo un arco di clotoide si vuole una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccollo c).



# Criterio di verifica del contraccollo (2)



$$\frac{s}{A^2} = \frac{1}{r_f}$$

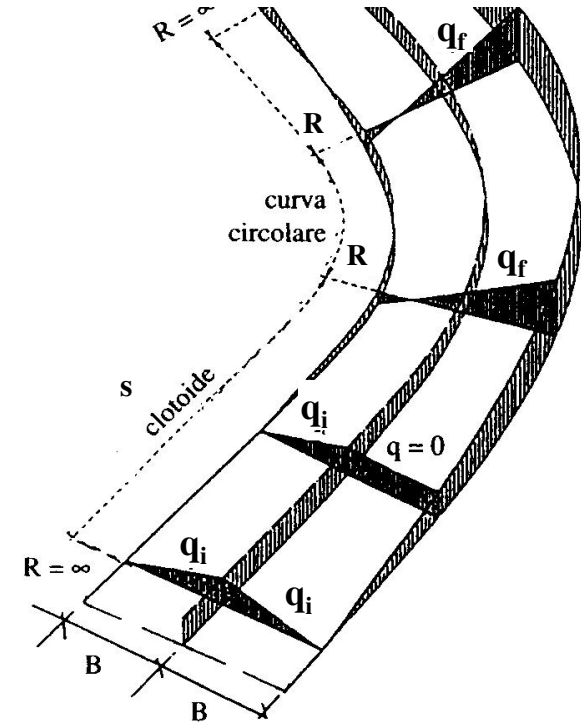
$$\frac{s_0}{A^2} = \frac{1}{r_i}$$

$$\frac{s'}{A^2} = \frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i}$$

$$c = \frac{v^3 \cdot \left( \frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right) - v \cdot g \cdot (q_f - q_i)}{s'} = \frac{v^3}{A^2} - \frac{v \cdot g \cdot (q_f - q_i)}{A^2 \cdot \left( \frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)}$$

$$A^2 = \frac{v^3}{c} - \frac{v \cdot g \cdot (q_f - q_i)}{c \cdot \left( \frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)}$$

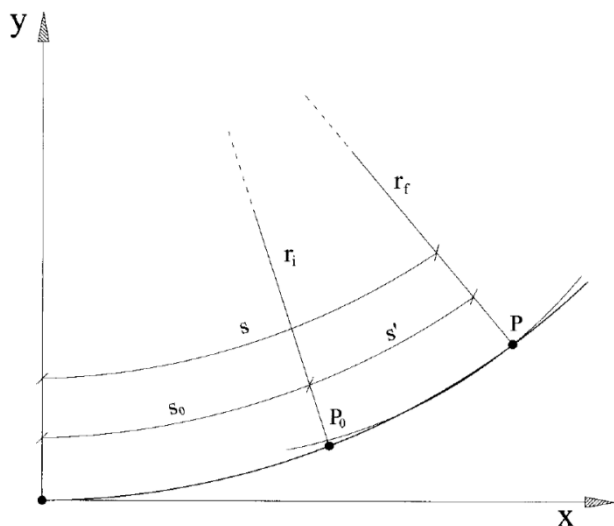
$$A = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{v \cdot g \cdot (q_f - q_i)}{c \cdot \left( \frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)}}$$



Per  $r_i = \infty$  e  $r_f = R$

$$A = \sqrt{\frac{v^3}{c} - v \cdot g \cdot R \cdot \frac{q_f - q_i}{c}}$$

# Criterio di verifica del contraccolpo (3)



$$A = \sqrt{\frac{v^3}{c} - v \cdot g \cdot R \cdot \frac{q_f - q_i}{c}}$$

$$c = \frac{\partial a_{nc}}{\partial t} \leq \frac{14}{v} = \frac{50,4}{V} = c_{\max} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \right]$$

↑ ↑  
[m/s]    [km/h]

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{v^3}{c}} = v^2 \cdot \sqrt{\frac{1}{14}} = \frac{V^2}{3,6^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{14}} = 0,021 \cdot V^2 \quad [V = \text{km/h}]$$

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{r_f \cdot s}$$

$$\frac{1}{A^2} = \frac{\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i}}{s - s_0} = \frac{\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i}}{s'}$$

$$\frac{v^3}{A^2} = \frac{\frac{v^2}{r_f} - \frac{v^2}{r_i}}{\frac{s'}{v}} = \frac{\Delta a_{nc}}{\Delta t} = c$$

$$\dot{\theta} = p \cdot v \cdot \frac{1}{A^2}$$

$$\dot{\theta} = p \cdot v \cdot \frac{c}{v^3} = p \cdot \frac{c}{v^2}$$

# Criterio di verifica del contraccollo (4)

$$r * s^n = A^{n+1}$$

$$a_t = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2 \cdot s^n}{A^{n+1}}$$

$$c = v^3 \frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{ds} = \frac{v^3 \cdot n \cdot s^{n-1}}{A^{n+1}}$$

$$R * L^n = A^{n+1}$$

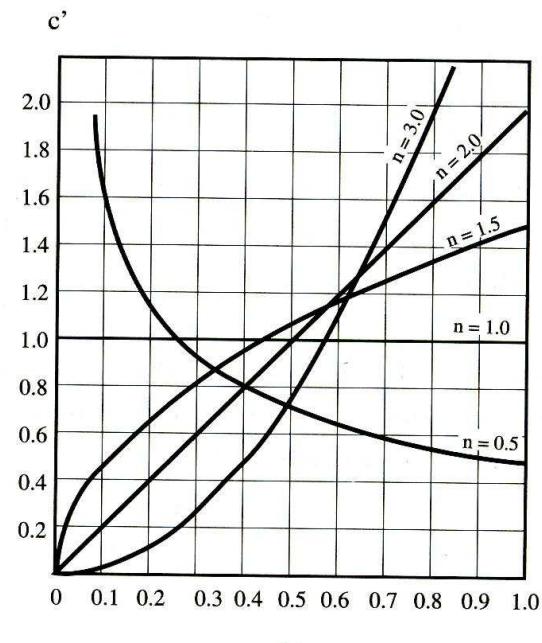
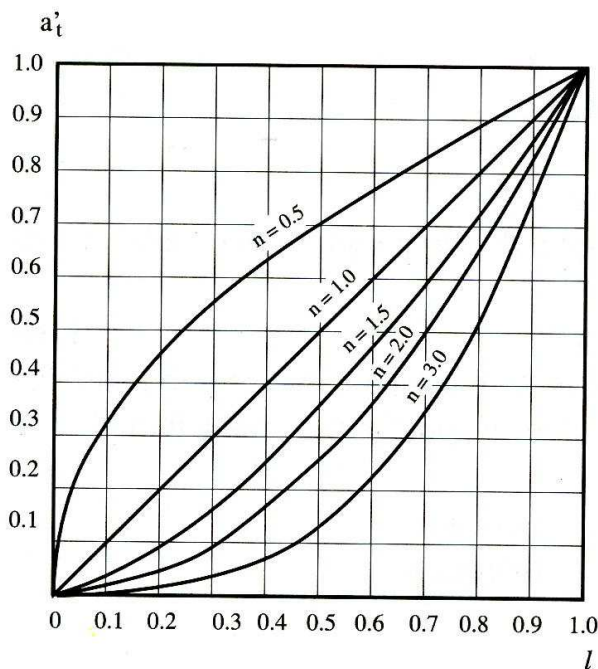
$$l = \frac{s}{L}$$

$$a_t = \frac{v^2}{R} \cdot l^n$$

$$a'_t = \frac{R \cdot a_t}{v^2} = l^n$$

$$c = \frac{v^3 \cdot n \cdot l^{n-1}}{R \cdot L}$$

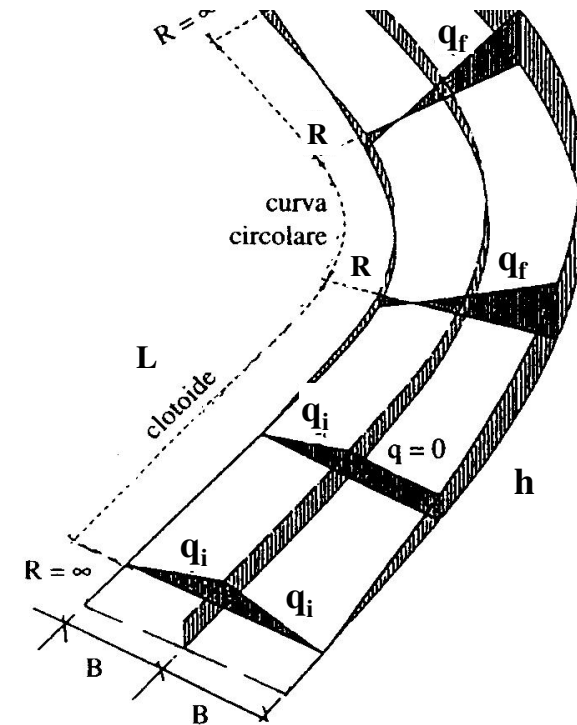
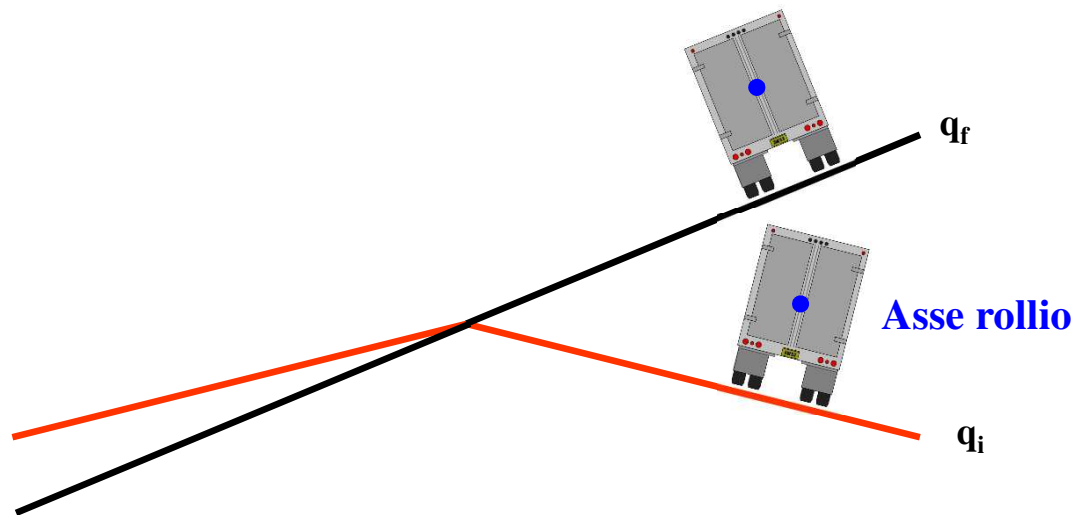
$$c' = \frac{c \cdot R \cdot L}{v^3} = n \cdot l^{n-1}$$



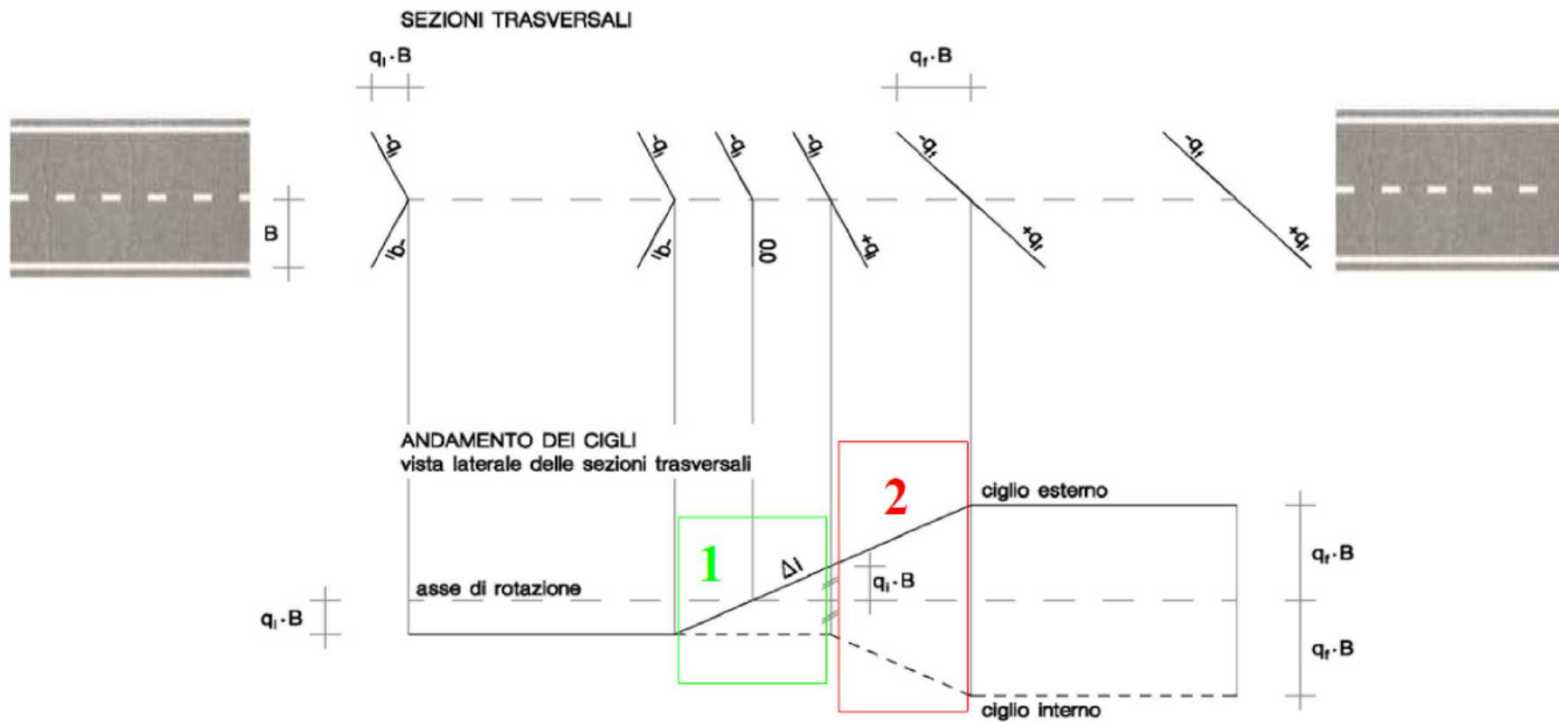
# Criterio di verifica della sovrappendenza (1)

**Criterio 2 (Limitazione della sovrappendenza longitudinale):**  
Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la piattaforma stradale presenta differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente, introducendo una pendenza (o una sovrappendenza) nelle linee di estremità della piattaforma.

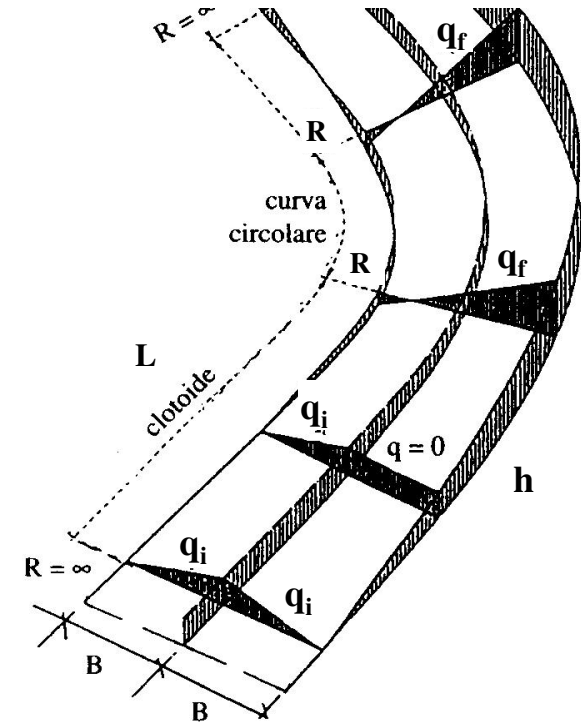
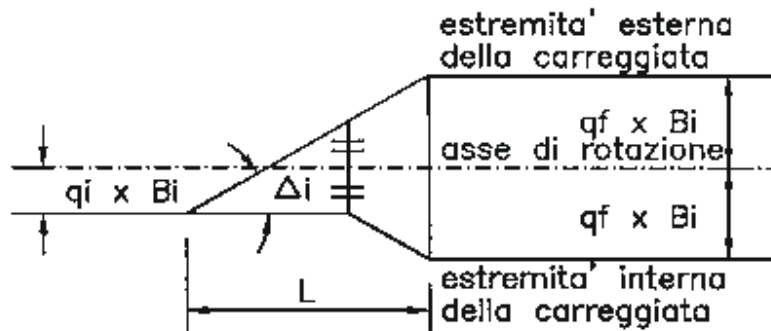
Per ragioni dinamiche (cioè per limitare la velocità di rotazione trasversale dei veicoli – velocità di rollio) la pendenza (o sovrappendenza) longitudinale  $\Delta i$  [%] delle estremità della carreggiata, o di parte di essa, non può superare un valore massimo.



# Criterio di verifica della sovrappendenza (2)



# Criterio di verifica della sovrappendenza (3)



$$\dot{q} = \frac{dq}{dt} = \frac{d(h/B)}{dt} = \frac{dh}{B \cdot ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{d(\Delta i \cdot s)}{B \cdot ds} \cdot v = \frac{\Delta i \cdot v}{B} \leq 0,05 \text{ rad/s}$$

$$\Delta i_{\max} \leq 0,05 \cdot 100 \frac{B}{v} \cong 18 \frac{B}{V} \quad [\%]$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow \\ \text{[m/s]} & \text{[km/h]} \end{matrix}$$

# Criterio di verifica della sovrappendenza (4)

$$\frac{1}{A^2} = \frac{\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i}}{s_f - s_i} = \frac{\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i}}{\frac{\Delta h}{\Delta i/100}} = \frac{\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i}}{\frac{B \cdot (q_f - q_i)}{\Delta i/100}}$$

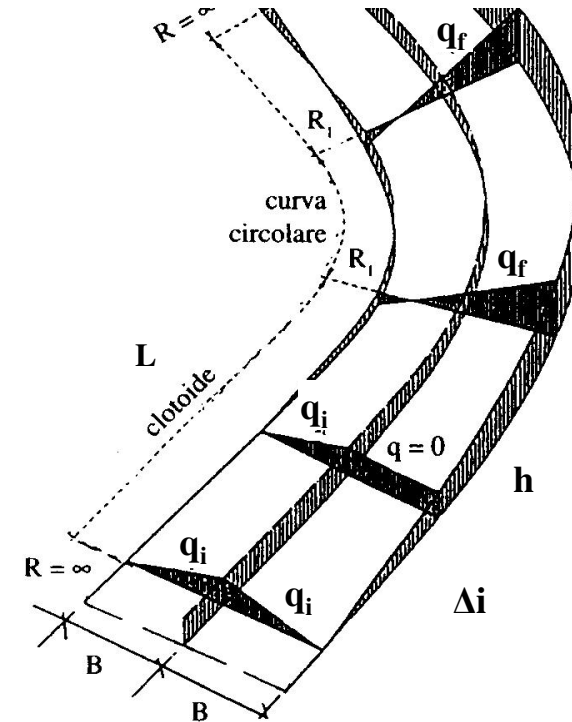
$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{B \cdot (q_f - q_i)}{\left(\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i}\right) \cdot \frac{\Delta i_{\max}}{100}}}$$

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R \cdot B \cdot (q_f - q_i)}{\Delta i_{\max} / 100}}$$

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

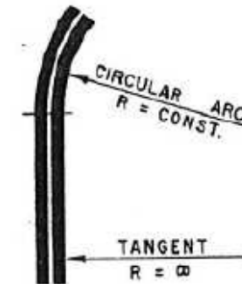
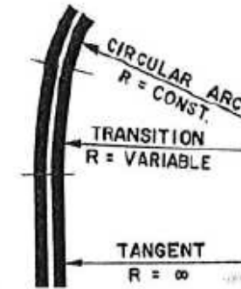
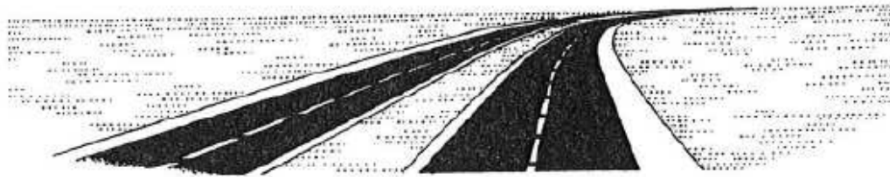
Se  $R_f = R$  e  $R_i = \infty$

Valida per  $q_i$  in contropendenza,  
e valori pendenze senza segno





# Criterio di verifica ottica (1)



## Criterio di verifica ottica (2)

**Criterio 3 (ottico):** per percepire otticamente il raccordo deve essere verificata la relazione

$$3^\circ \cong \frac{1}{18} \leq \tau_f = \frac{A^2}{2 \cdot R^2} \quad A \geq R/3; L \geq R/9$$

$$A = \sqrt[4]{24 \cdot R^3 \cdot \Delta R} \geq \sqrt[4]{24 \cdot R^3 \cdot 0,25}$$

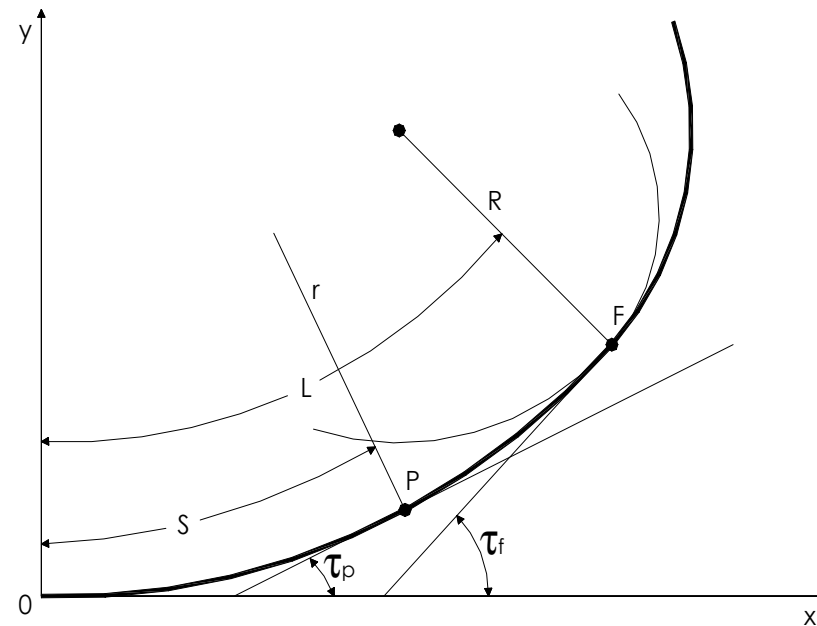
(norma Australiana)

Inoltre per la percezione dell'arco di cerchio deve essere

$$29^\circ \cong \frac{1}{2} \geq \tau_f = \frac{A^2}{2 \cdot R^2} \quad A \leq R; L \leq R$$

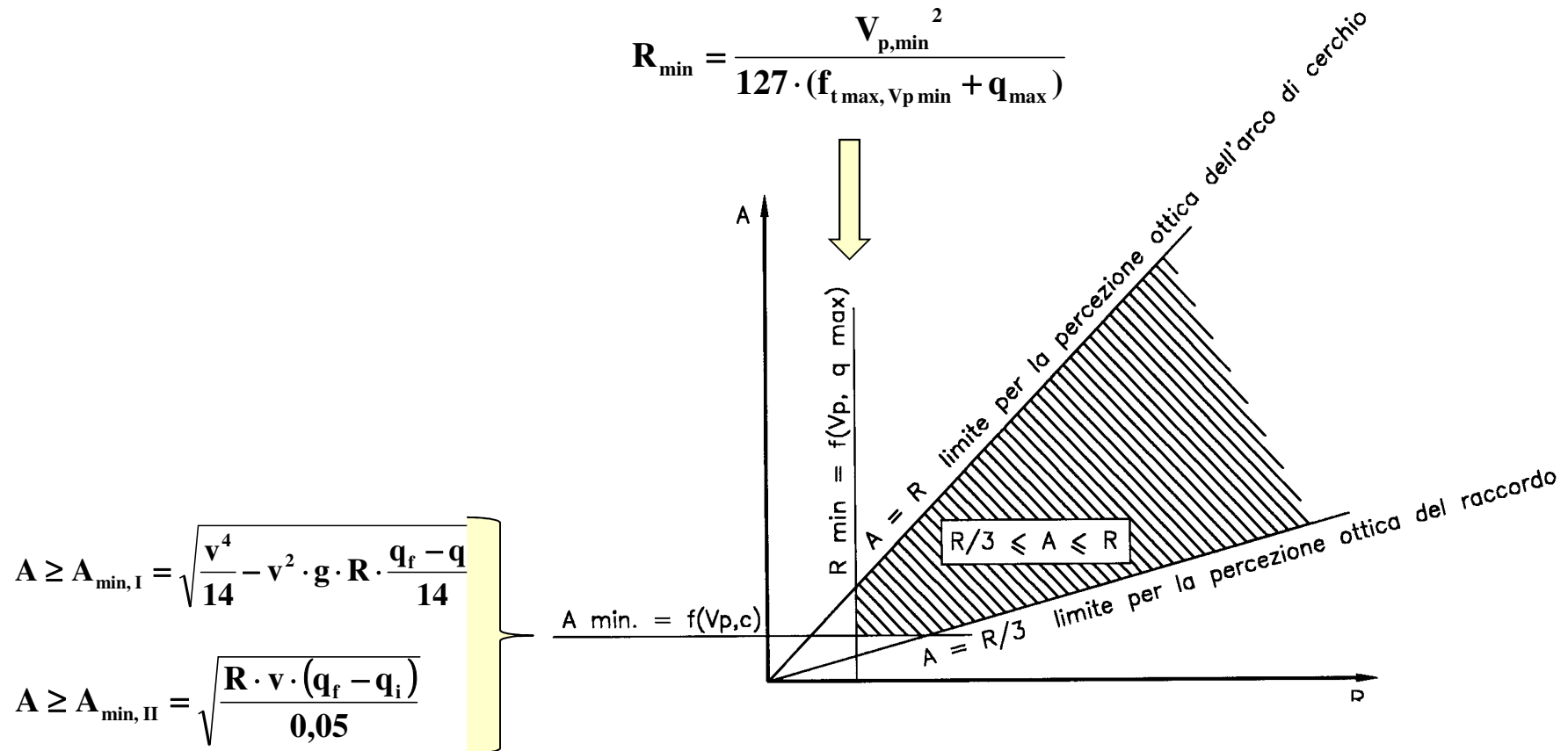
$$A = \sqrt[4]{24 \cdot R^3 \cdot \Delta R} \leq \sqrt[4]{24 \cdot R^3 \cdot 1}$$

(norma Inglese)

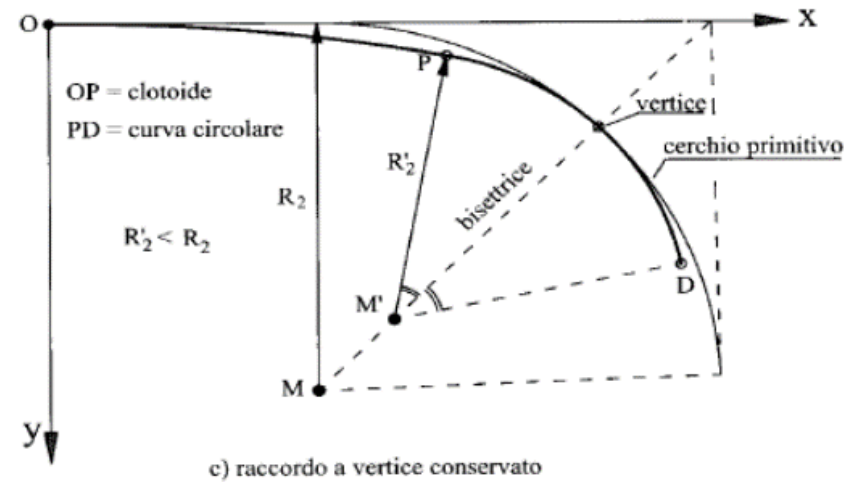
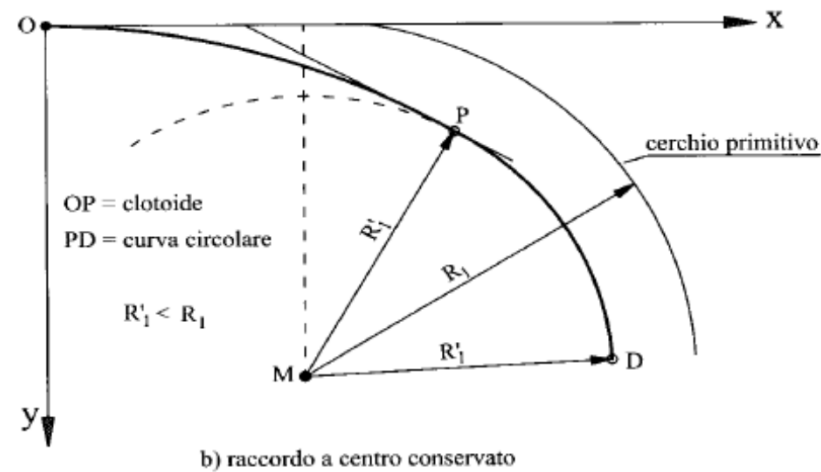
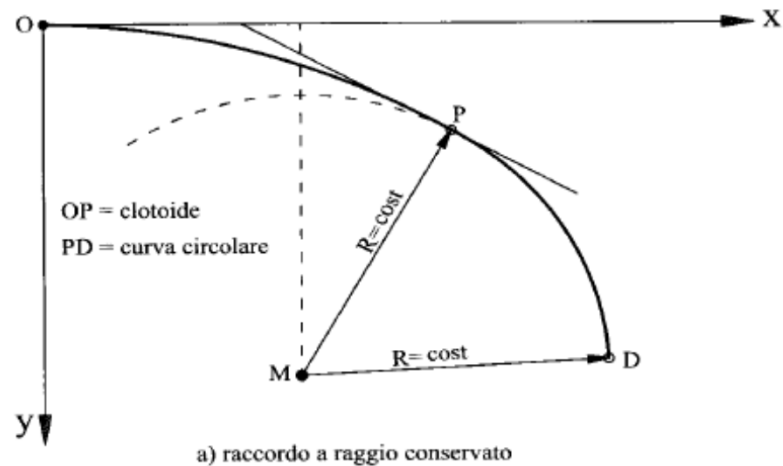


# Criterio di verifica ottica (3)

**Criterio 3 (ottico):** per percepire otticamente il raccordo deve essere verificata la relazione  $A \geq R/3$  ( $A \geq Ri/3$  nel caso di continuità), inoltre per la percezione dell'arco di cerchio deve essere  $A \leq R$



# Inserimento della clotoide nel tracciato (1)



# Inserimento della clotoide nel tracciato (2)

## CLOTOIDE DI TRANSIZIONE

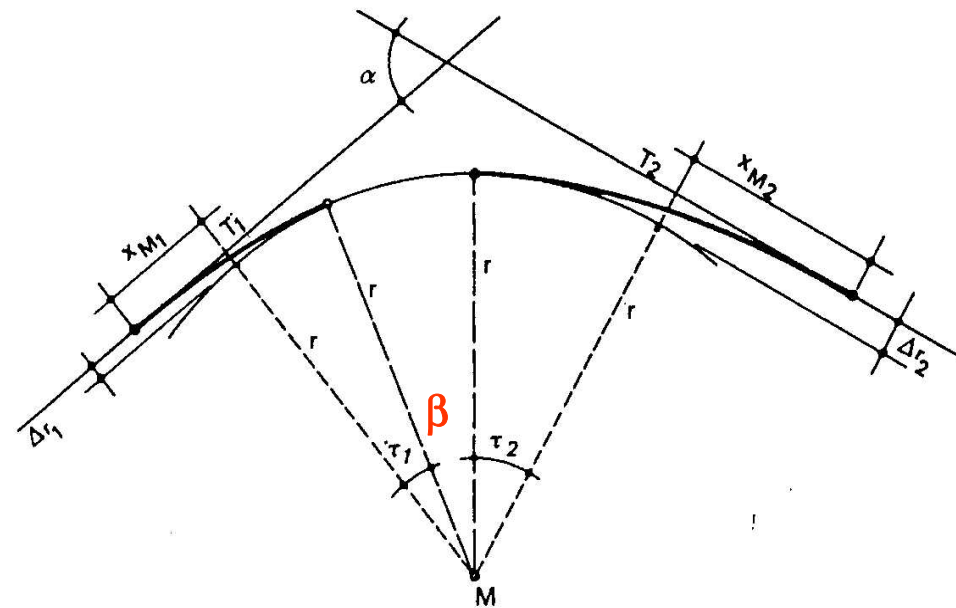
$$A_1 = 4 \sqrt{24 \cdot r^3 \cdot \Delta r_1 \cdot \left(1 + \frac{3}{14} \frac{\Delta r_1}{r}\right)}$$

$$A_2 = 4 \sqrt{24 \cdot r^3 \cdot \Delta r_2 \cdot \left(1 + \frac{3}{14} \frac{\Delta r_2}{r}\right)}$$

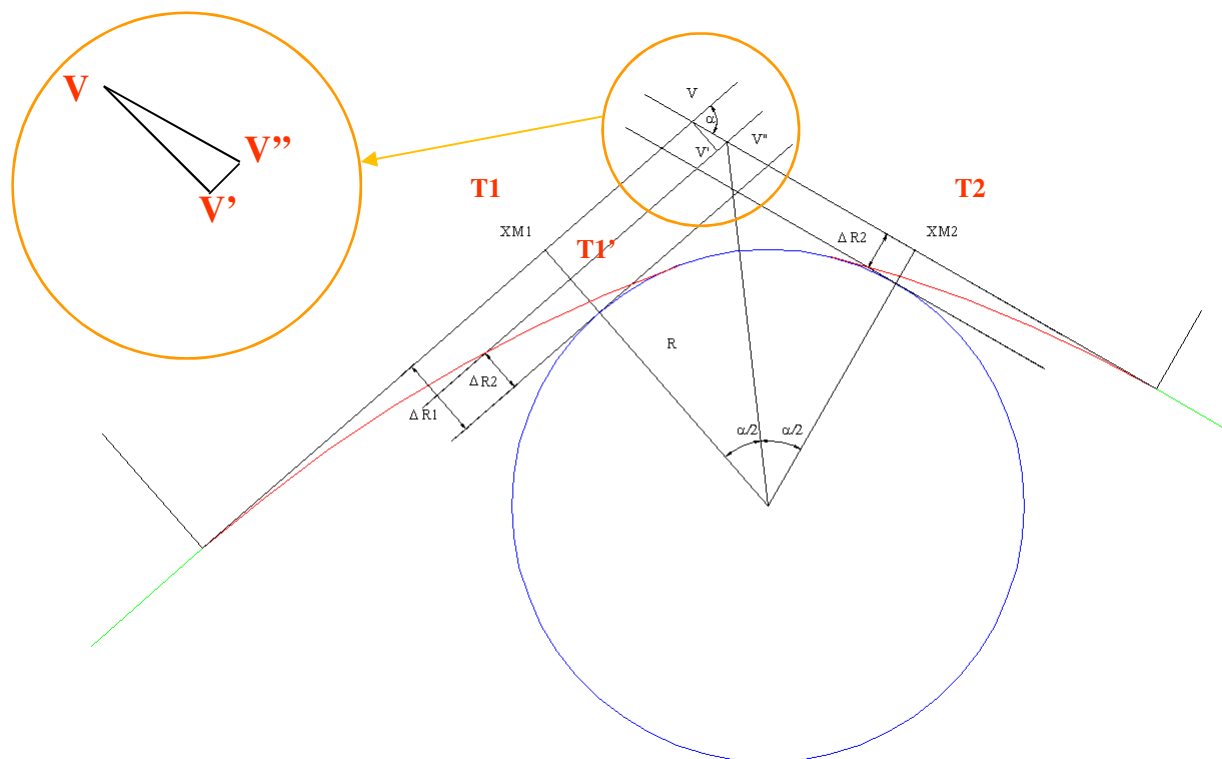
$$\tau_1 = \frac{A_1^2}{2 \cdot r^2} \quad \tau_2 = \frac{A_2^2}{2 \cdot r^2}$$

$$\tau_1 + \tau_2 \leq \alpha \quad \beta = \alpha - \tau_1 - \tau_2$$

$$\Delta r = \frac{s^2}{24 \cdot r} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{28}\right) = \frac{A^4}{24 \cdot r^3} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{28}\right)$$



## Inserimento della clotoide nel tracciato (3)



$$VV' = \Delta R1 - \Delta R2$$

$$VV'' = (\Delta R1 - \Delta R2) / \sin \alpha$$

$$V'V'' = (\Delta R1 - \Delta R2) / \tan \alpha$$

$$T_1'V'' = T_2V'' = (R + \Delta R2) * \tan(\alpha/2)$$

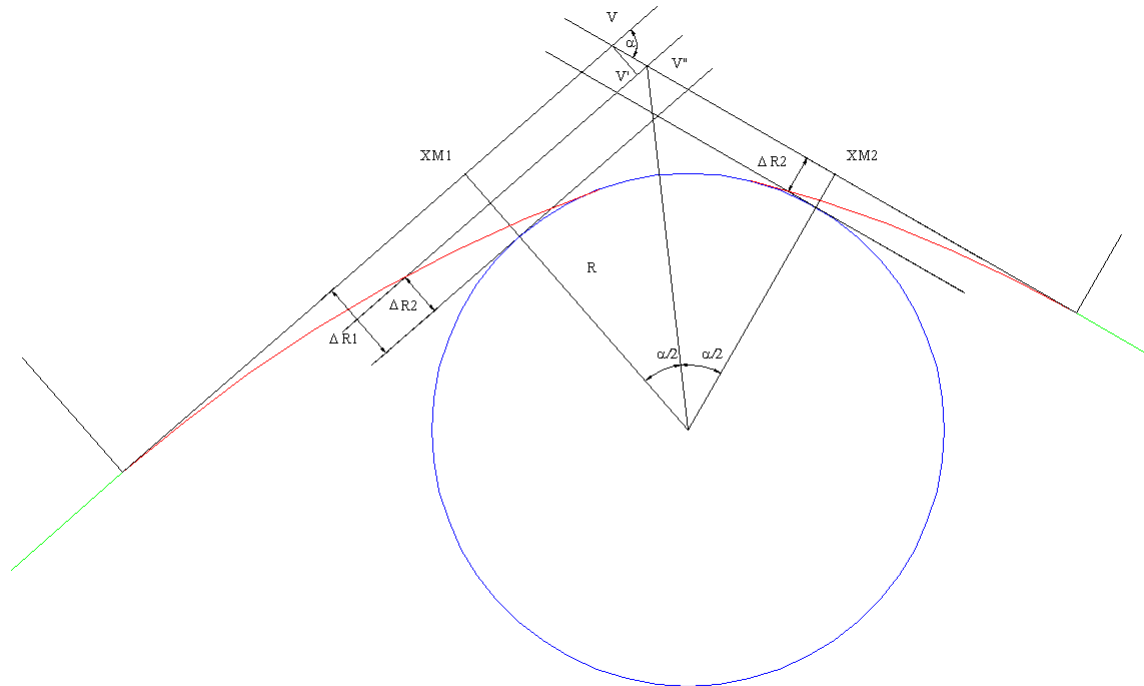
$$T_1V = T_1'V'' - V'V''$$

$$T_2V = T_2V'' + V''V$$

$$\beta = \alpha - \tau_1 - \tau_2$$

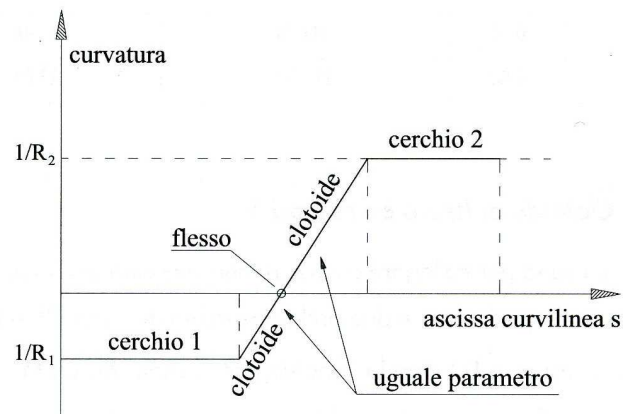
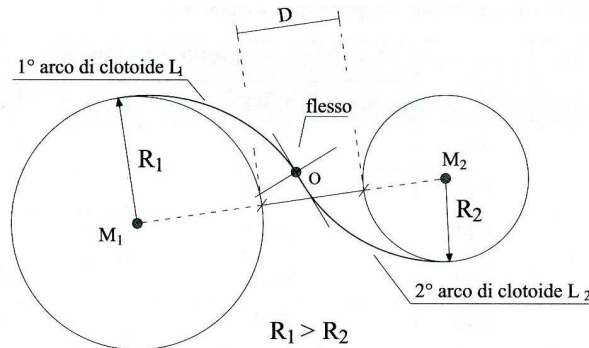
## Esempio di calcolo clotoide di transizione

Si consideri una strada di tipo C, nell' ipotesi di raccordo tra rettilineo e curva circolare, con angolo di deviazione tra i rettilinei di appoggio di  $90^\circ$ , si richiede: il raggio della curva, il calcolo dei parametri delle clotoidi (supponendo  $A1 \neq A2$ ), il tracciamento per punti della clotoide.



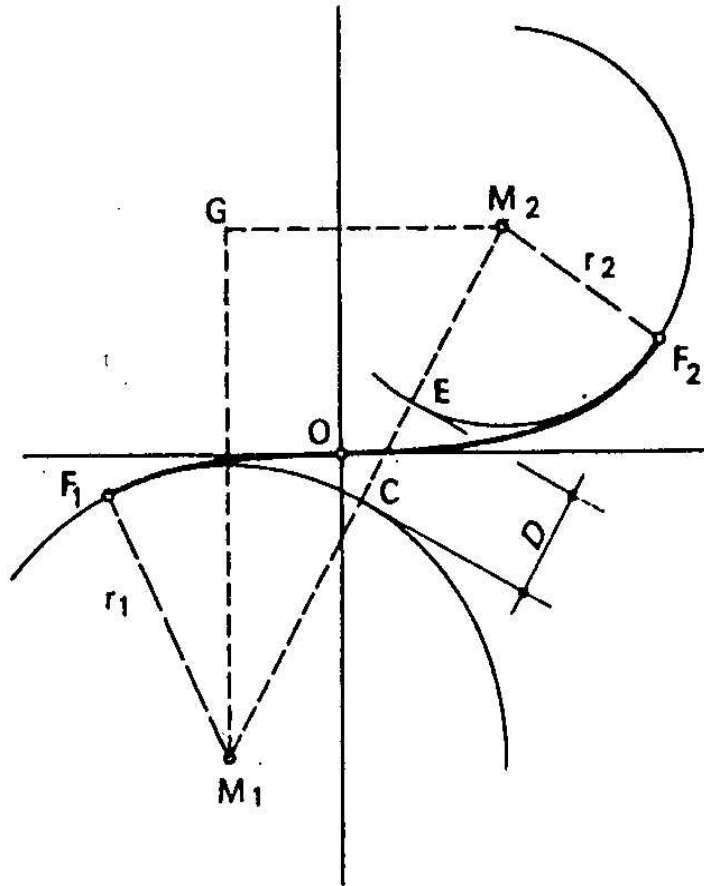
# Clotoide di flesso (1)

Il raccordo di flesso è utilizzato per raccordare due archi di cerchio le cui curvature hanno segno opposto. Questo raccordo è costituito da due clotoidi contrapposte le cui origini coincidono nel punto  $O$  (punto di flesso), in cui la curvatura è nulla.

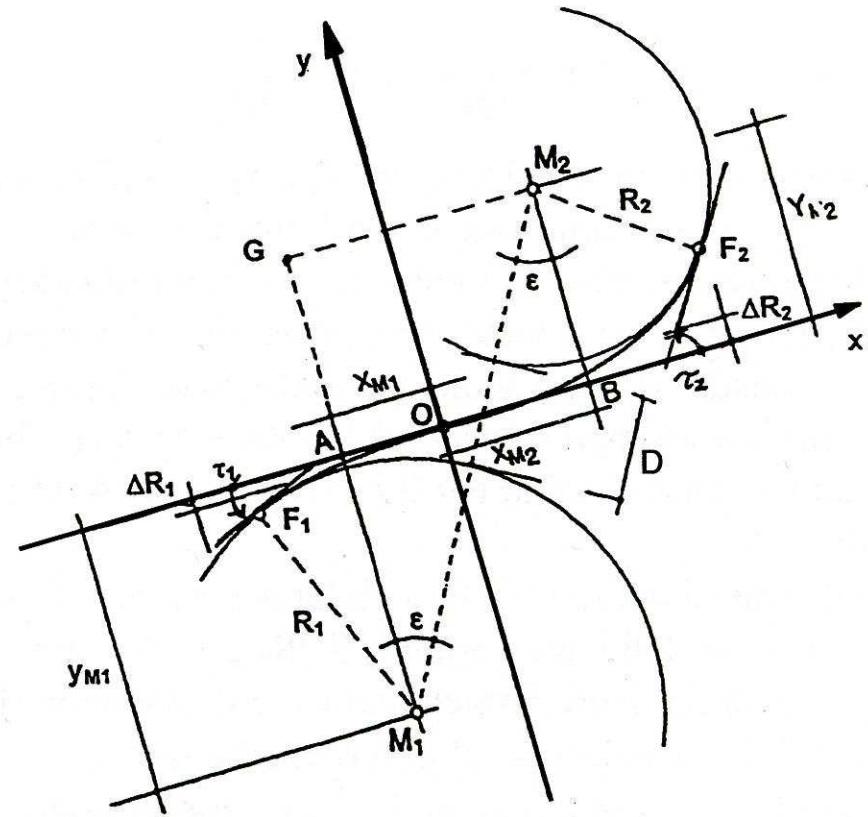




## Clotoide di flessio (2)



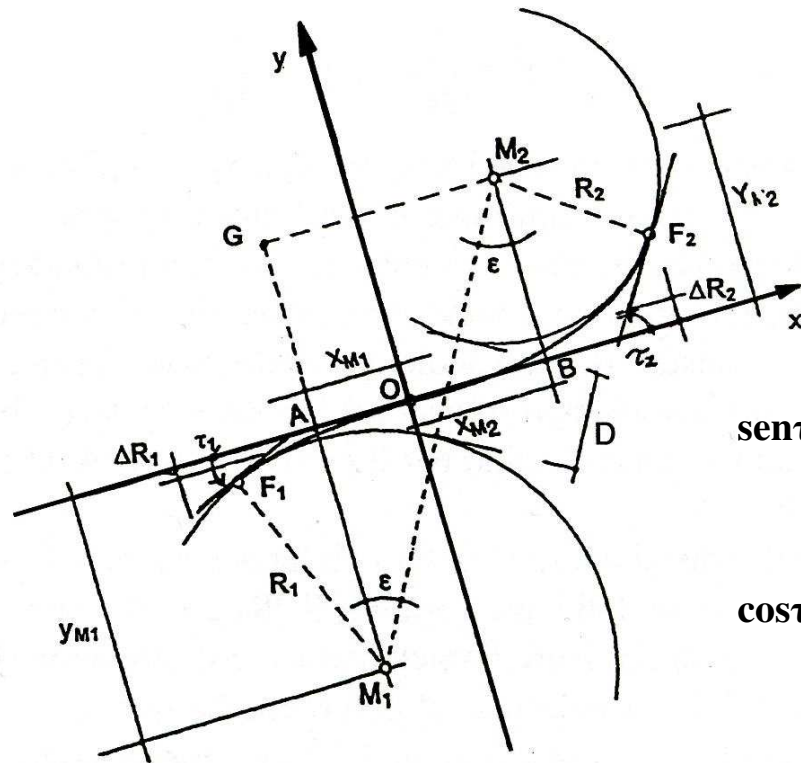
$$M_1M_2 = r_1 + r_2 + D$$



$$M_1G = y_{M1} + y_{M2} \quad M_2G = x_{M1} + x_{M2}$$

$$(M_1M_2)^2 = (r_1 + r_2 + D)^2 = (x_{M1} + x_{M2})^2 + (y_{M1} + y_{M2})^2$$

## Clotoide di flessio (3)



$$(r_1 + r_2 + D)^2 = [(x_{F1} - r_1 \sin \tau_1) + (x_{F2} - r_2 \sin \tau_2)]^2 + [(y_{F1} + r_1 \cos \tau_1) + (y_{F2} + r_2 \cos \tau_2)]^2$$

$$\sin \tau = \tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \dots$$

$$X_F = A \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \dots \right)$$

$$\cos \tau = 1 - \frac{\tau^2}{2!} + \frac{\tau^4}{4!} - \dots$$

$$Y_F = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1320} - \dots \right)$$

$$\tau_1 = \frac{A_1^2}{2 \cdot r_1^2}$$

$$\tau_2 = \frac{A_2^2}{2 \cdot r_2^2} = \frac{k^2 \cdot A_1^2}{2 \cdot r_2^2} = \frac{k^2 \cdot r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{A_1^2}{2 \cdot r_1^2}$$

$$A_1 = f(r_1; r_2; D)$$

# Clotoide di flessio (4)

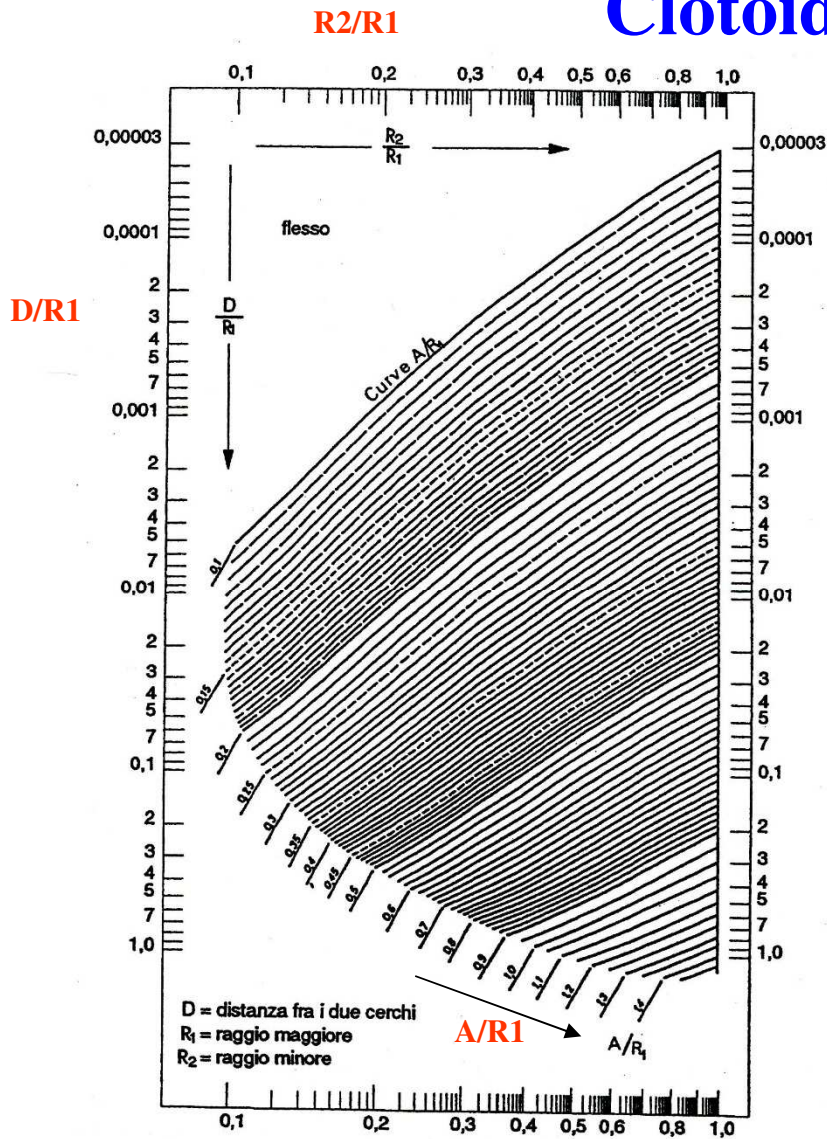
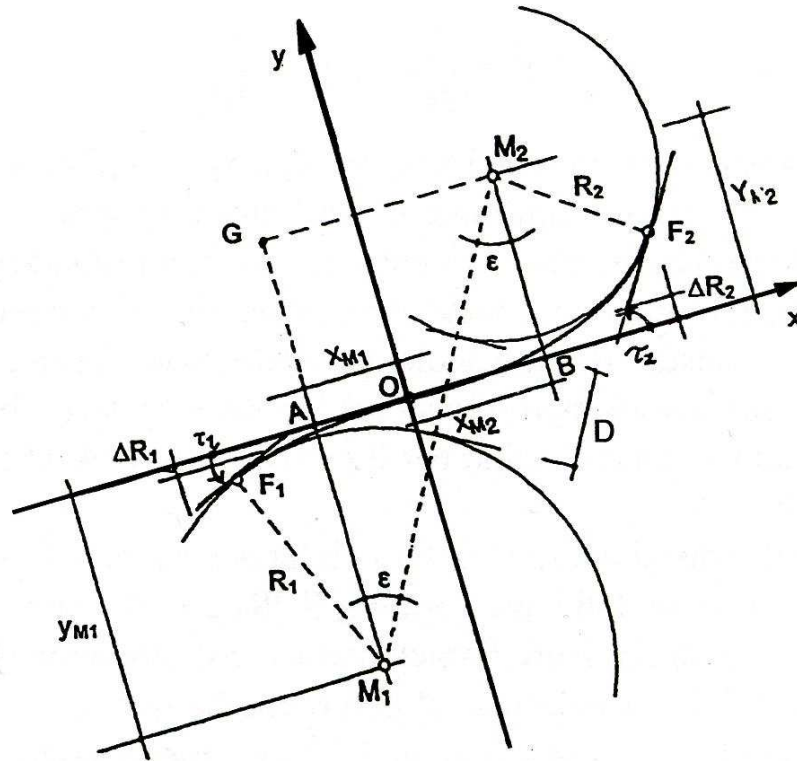


Diagramma di Osterloch

$$\frac{A}{r_1} = f\left(\frac{r_2}{r_1}; \frac{D}{r_1}\right)$$

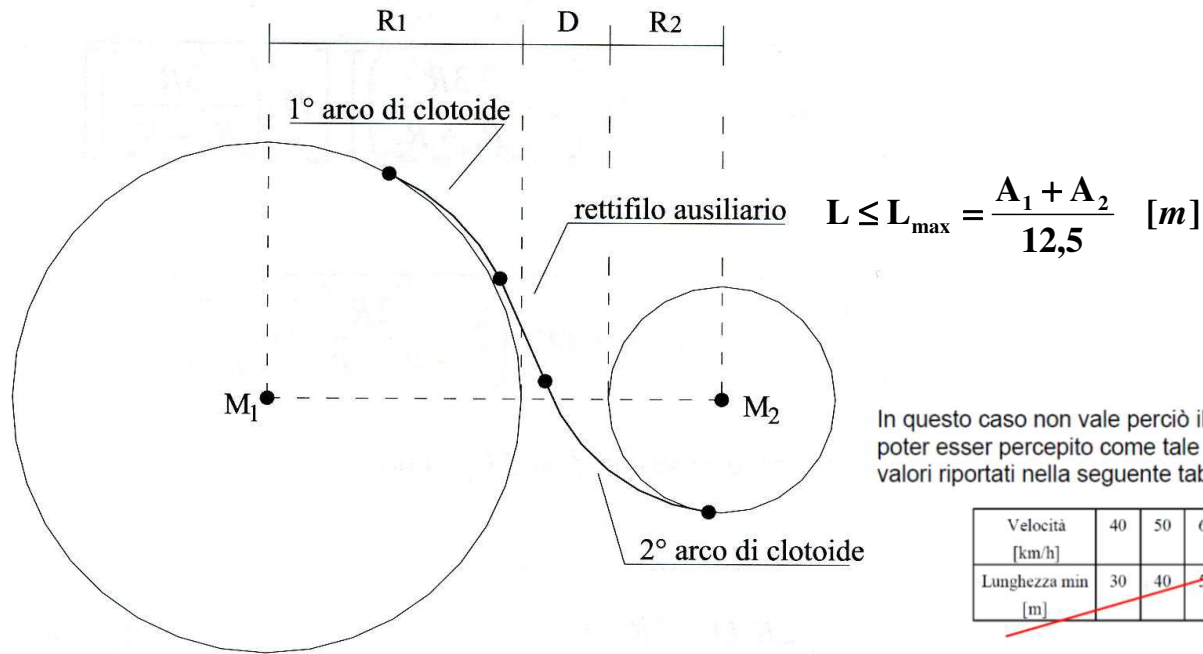
## Clotoide di flessio (5)



$$X_{M1} + X_{M2} = (Y_{M1} + Y_{M2}) \operatorname{tge}$$

$$\varepsilon = \operatorname{arctg} \frac{X_{M1} + X_{M2}}{Y_{M1} + Y_{M2}}$$

# Clotoide di flesso (6)



In questo caso non vale perciò il requisito minimo fissato secondo il quale un rettilo, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella seguente tabella:

|                   |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Velocità [km/h]   | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| Lunghezza min [m] | 30 | 40 | 50 | 65 | 90 | 115 | 150 | 190 | 250 | 300 | 360 |

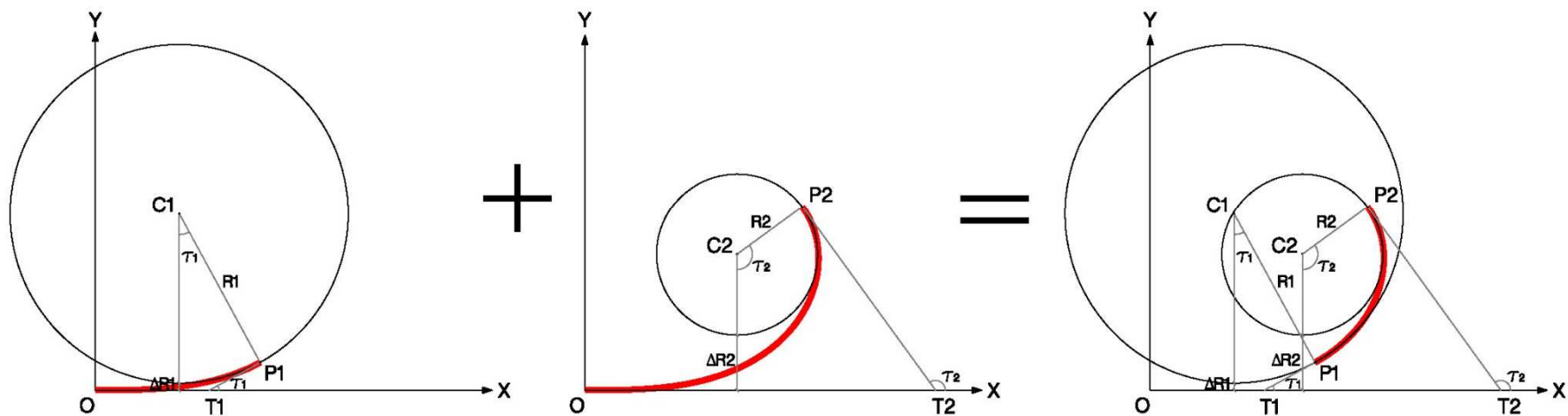
## Esempio

$V = 100 \text{ km/h}$     $R1 = 624 \text{ [m]}$     $R2 = 437 \text{ [m]}$     $D = 62,4 \text{ [m]}$     $A = 405 \text{ [m]}$     $L_{\max} = 64,8 \text{ [m]}$

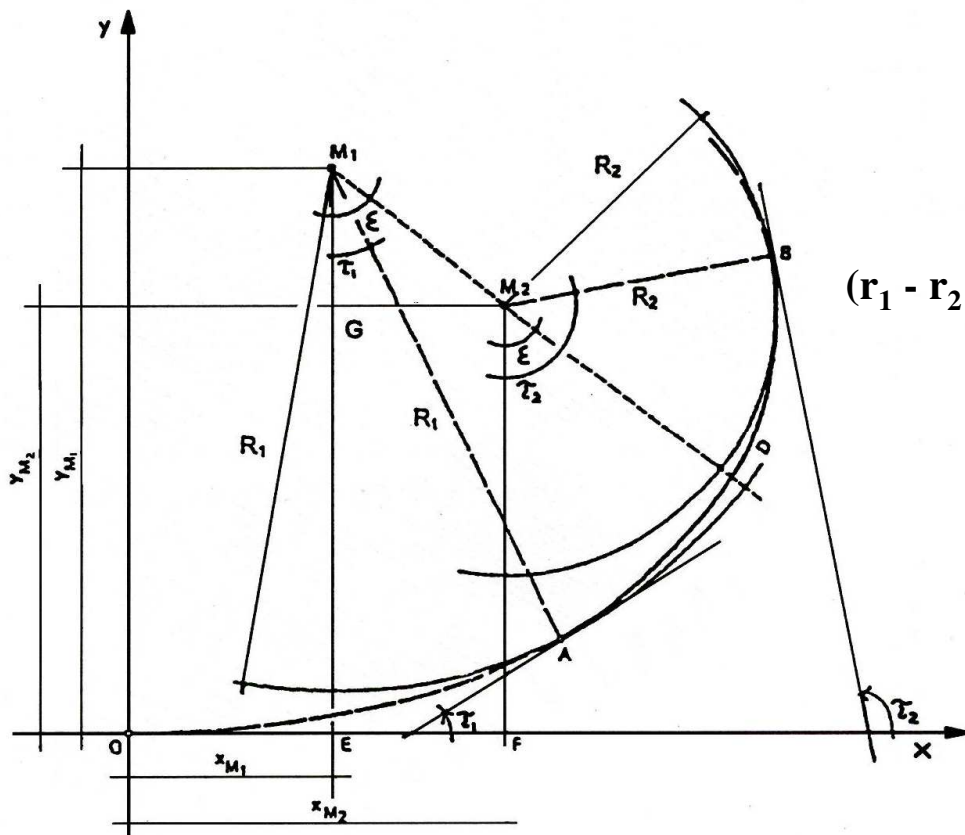
|                    |             |            |             |             |
|--------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| <b>Transizione</b> | <b>NO</b>   | <b>NO</b>  | <b>SI</b>   | <b>NO</b>   |
| <b>Flesso</b>      | <b>SI</b>   | <b>NO</b>  | <b>NO</b>   | <b>NO</b>   |
| <b>L</b>           | <b>64,8</b> | <b>150</b> | <b>2200</b> | <b>2200</b> |

# Clotoide di Continuità (1)

Raccordo di continuità è un arco di clotoide che raccorda due archi di cerchio l'uno interno all'altro le cui curvature hanno segno uguale, cioè percorsi nello stesso senso.



## Clotoide di Continuità (2)



$$(M_1M_2)^2 = (GM_2)^2 + (GM_1)^2$$

$$(r_1 - r_2 - D)^2 = (x_{M1} - x_{M2})^2 + (y_{M1} - y_{M2})^2$$

$$(r_1 - r_2 - D)^2 = [(x_A - r_1 \sin \tau_1) - (x_B - r_2 \sin \tau_2)]^2 + [(y_A + r_1 \cos \tau_1) - (y_B + r_2 \cos \tau_2)]^2$$

$$\text{sen } \tau = \tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \dots$$

$$X_{A,B} = A \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( 1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \dots \right)$$

$$\cos \tau = 1 - \frac{\tau^2}{2!} + \frac{\tau^4}{4!} - \dots$$

$$Y_{A,B} = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1320} - \dots \right)$$

$$A = f(r_1; r_2; D)$$

## Clotoide di Continuità (3)

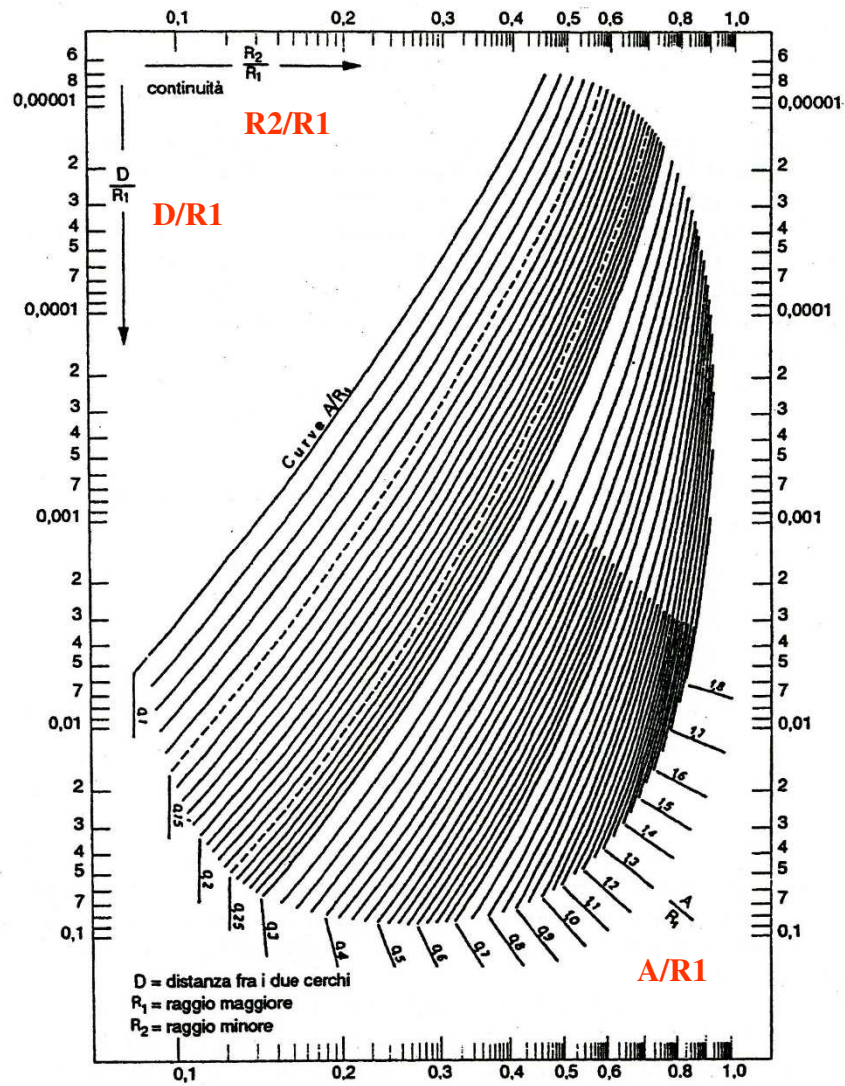
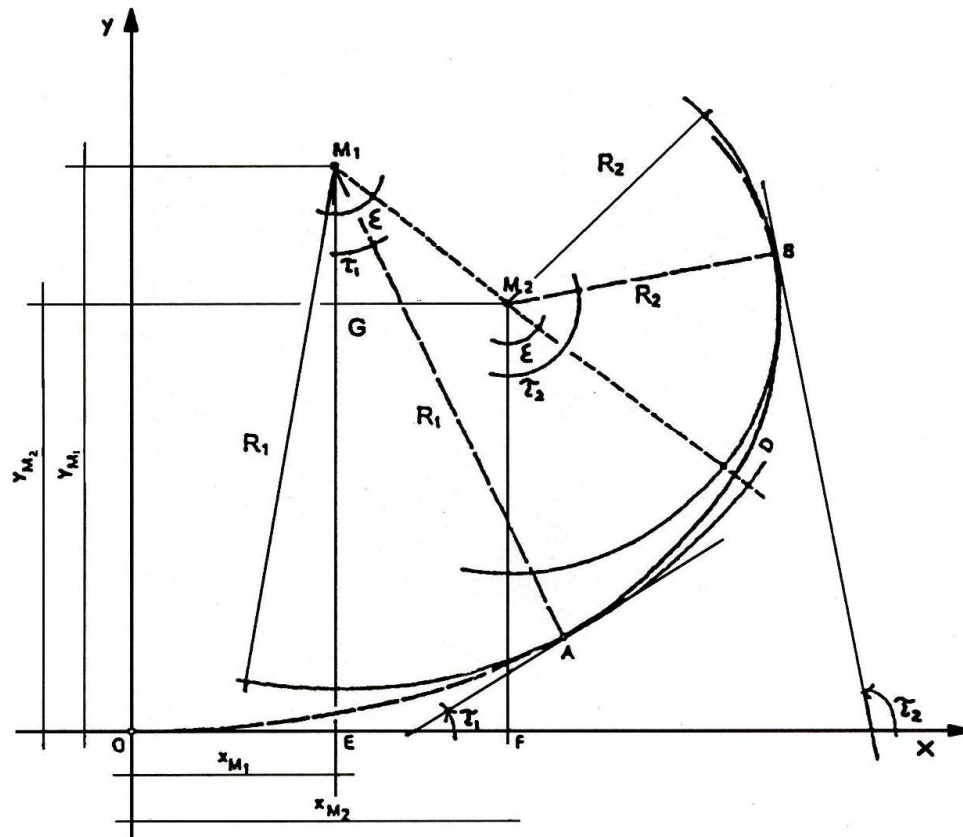


Diagramma di Osterloch

$$\frac{A}{r_1} = f\left(\frac{r_2}{r_1}; \frac{D}{r_1}\right)$$

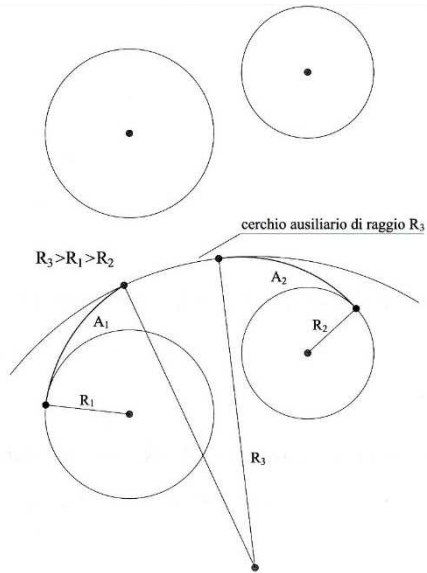


## Clotoide di Continuità (4)

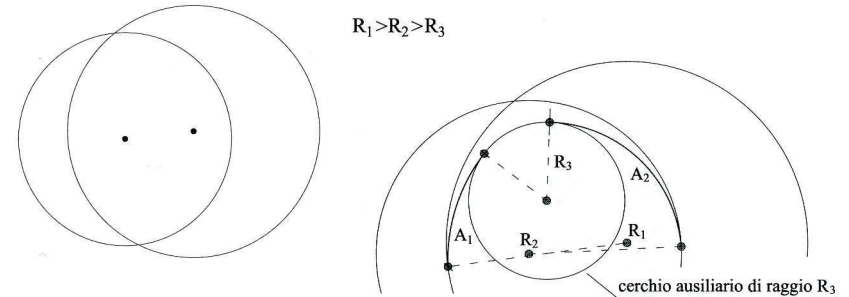
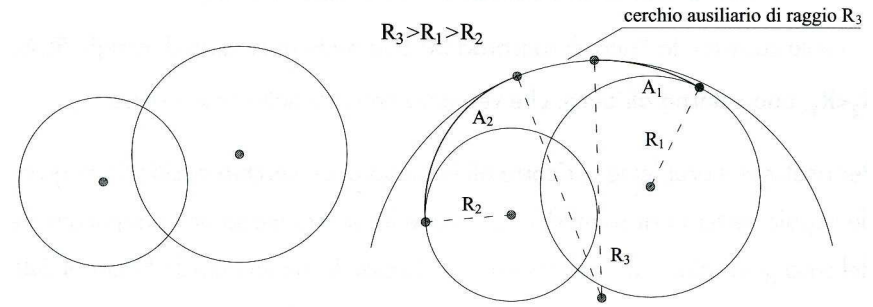


$$\epsilon = \operatorname{arctg} \frac{X_{M1} - X_{M2}}{Y_{M1} - Y_{M2}}$$

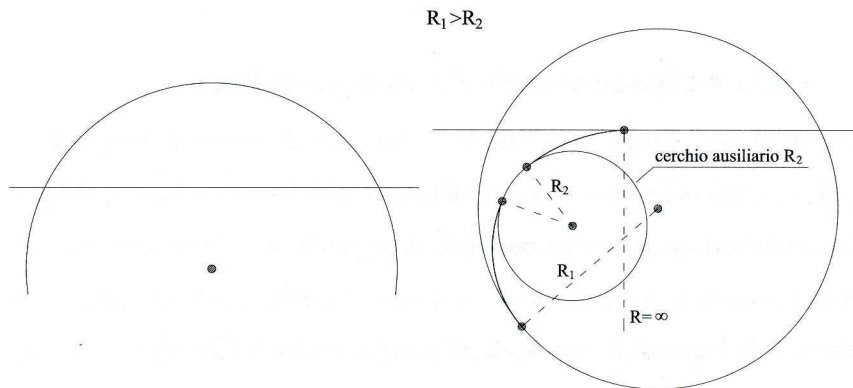
# Clotoide di Continuità, casi particolari



**Cerchi esterni**


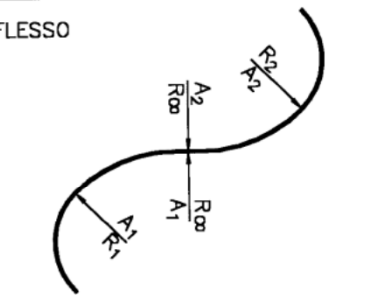
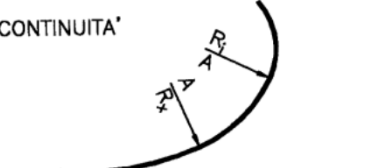
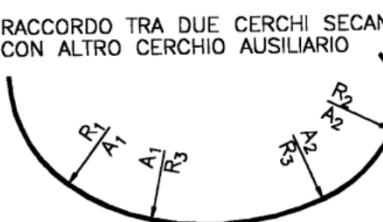


**Cerchi intersecantisi**

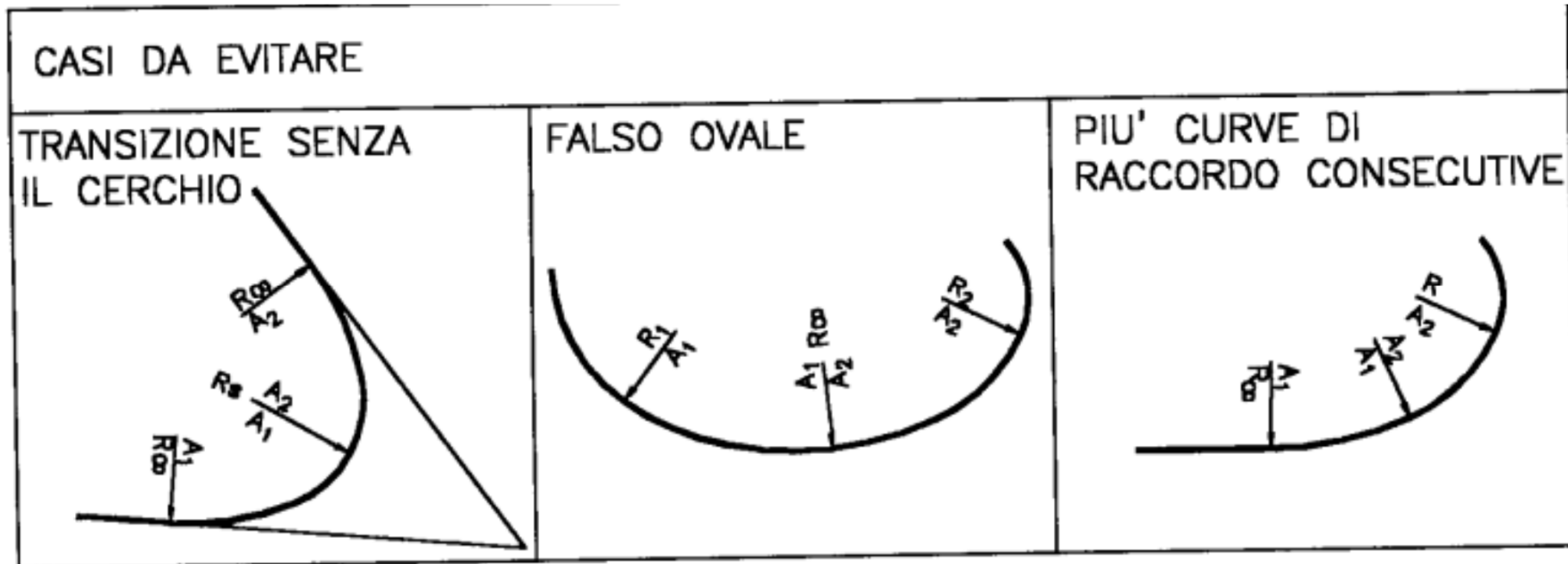


**Cerchio intersecante rettilineo**

# Limitazione nell'uso dei raccordi

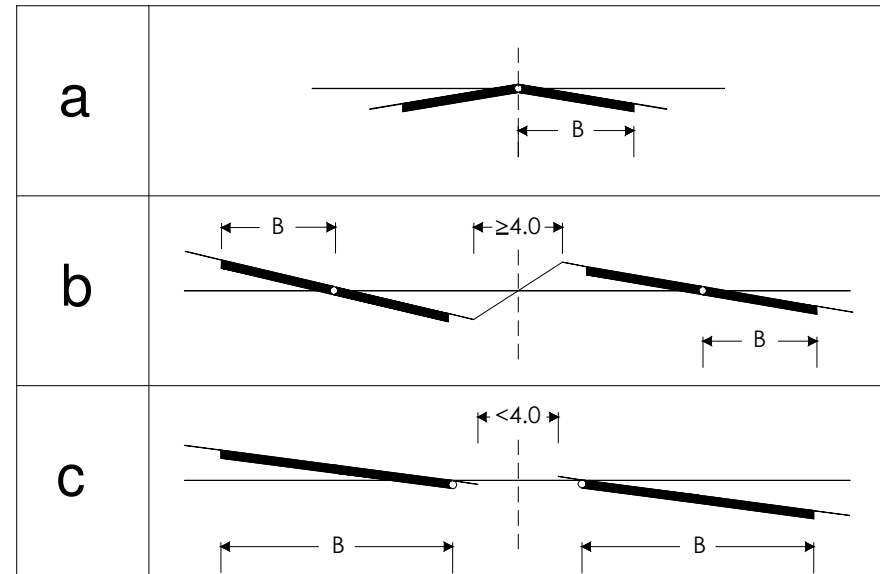
| TIPOLOGIA  | LIMITI  |
|--|---|
| <p>TRANSIZIONE</p>   | $A_1 \geq A_{min}$<br>$A_2 \geq A_{min}$<br>$\frac{R}{3} < A_1 < R$<br>$\frac{R}{3} < A_2 < R$<br>$\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$   |
| <p>FLESSO</p>    | $R_2 < R_1 \quad A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$<br><p>FLESSO ASIMMETRICO <math>A_1 \neq A_2</math></p> $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1 \quad \frac{R_2}{3} < A_2 < R_2 \quad \frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$<br><p>FLESSO SIMMETRICO <math>A_1 = A_2 = A</math></p> $\frac{R_1}{3} < A < R_2$ |
| <p>CONTINUITA'</p>    | $R_x < R_i \quad R_x \text{ all'interno di } R_i \text{ ma non concentrico}$<br>$A_{min} < A$<br>$\frac{R_i}{3} < A < R_x$  |
| <p>RACCORDO TRA DUE CERCHI SECANTI CON ALTRO CERCHIO AUSILIARIO</p>  | $A_1 \geq A_{min} \quad A_2 \geq A_{min}$<br>$\frac{R_3}{3} < A_1 < R_1$<br>$\frac{R_3}{3} < A_2 < R_2$<br>$\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$  |

# Limitazione nell'uso dei raccordi



# Sezione stradale in curva (1)

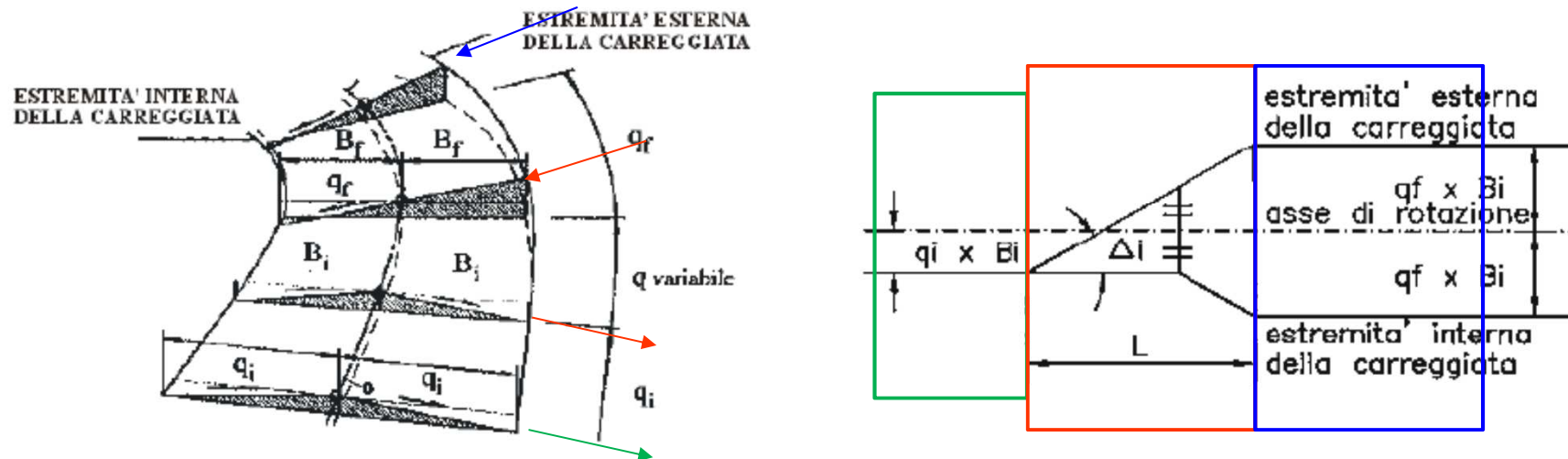
| STRADE TIPO                                      | PIATTAFORMA | PENDENZE TRASVERSALI |
|--|-------------|----------------------|
| A, B, D<br>a due o più corsie per<br>carreggiata |             |                      |
| E<br>a quattro corsie                            |             |            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



Lungo le curve a raggio variabile si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale dal valore proprio di un elemento a quello relativo al successivo.

Questo passaggio si ottiene facendo ruotare la carreggiata stradale, o parte di essa, secondo i casi, intorno al suo asse (preferibile...) ovvero intorno alla sua estremità interna (in strade a doppia carreggiata con spartitraffico  $< 4\text{m}$ )

## Sezione stradale in curva (2)

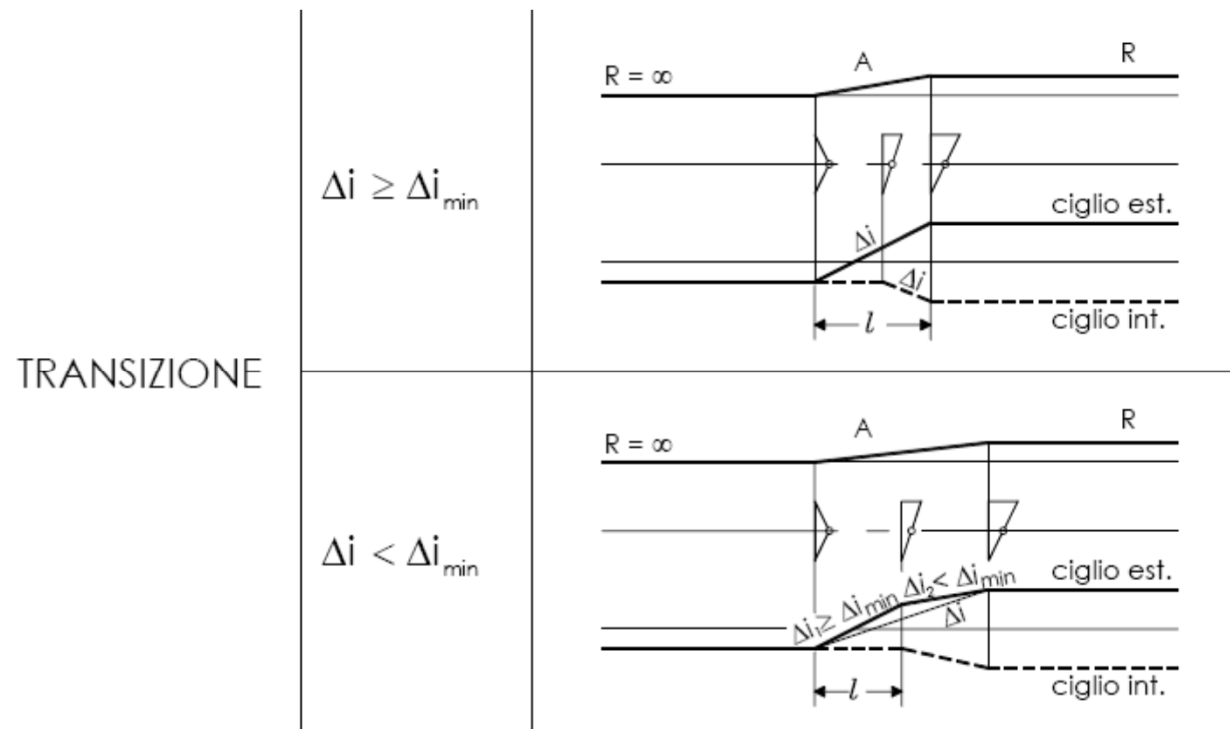


Per limitare la zona in cui la pendenza trasversale della carreggiata è inferiore alla minima del 2,50% è necessario che la sovrappendenza longitudinale  $\Delta i$  delle estremità della carreggiata sia superiore ad un valore minimo:

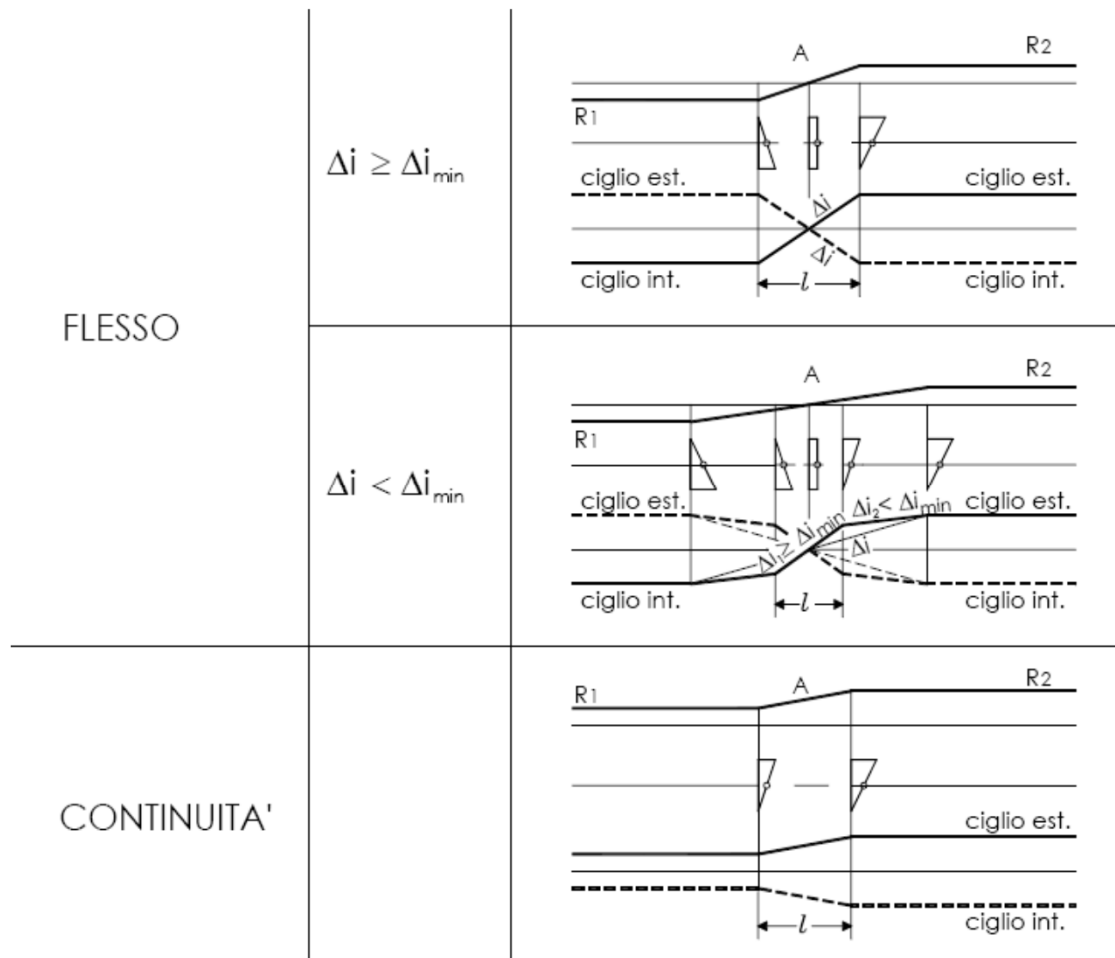
$$\Delta i_{\min} = 0,1 \times B_i \quad [\%]$$

## Sezione stradale in curva (3)

Se la pendenza  $\Delta i$  è inferiore a  $\Delta i_{\min}$ , è necessario spezzare in due parti il profilo longitudinale di quella estremità della carreggiata che è esterna alla curva, realizzando un primo tratto con pendenza maggiore o uguale a  $\Delta i_{\min}$ , fino a quando la pendenza trasversale della via ha raggiunto il 2,5%; la pendenza risultante per il tratto successivo potrà anche essere inferiore a  $\Delta i_{\min}$ .

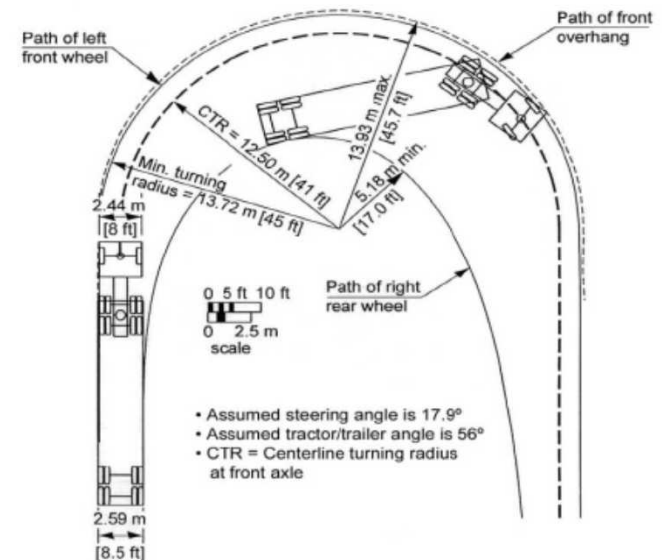
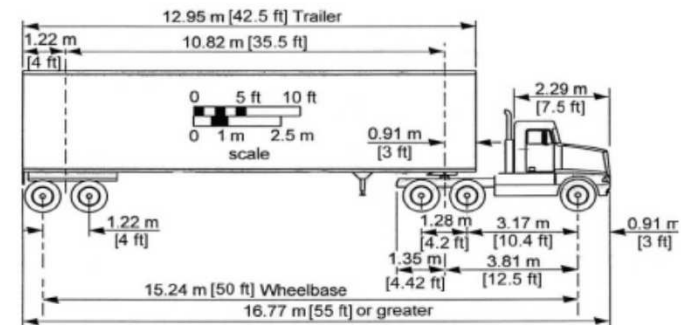


## Sezione stradale in curva (4)





# Allargamento della sezione in curva (1)



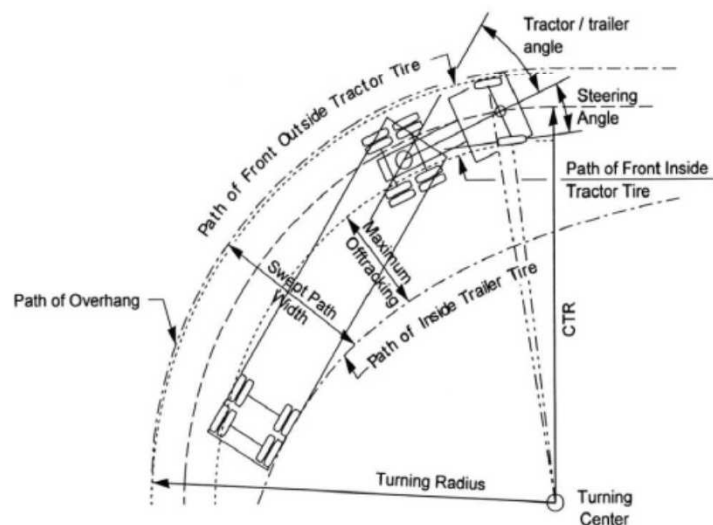
## Allargamento della sezione in curva (2)

Allo scopo di consentire la **sicura iscrizione dei veicoli** nei tratti curvilinei del tracciato, conservando i necessari franchi fra la sagoma limite dei veicoli ed i margini delle corsie, è necessario che nelle curve circolari **ciascuna corsia sia allargata** di una quantità  $E$ , data dalla relazione:

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

$$K = 45$$

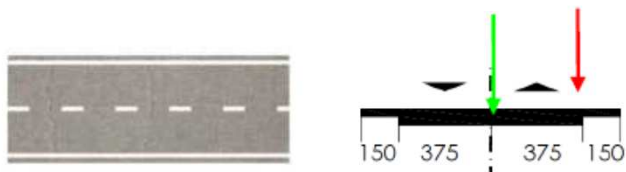
$R$  = raggio esterno (in m) della corsia;



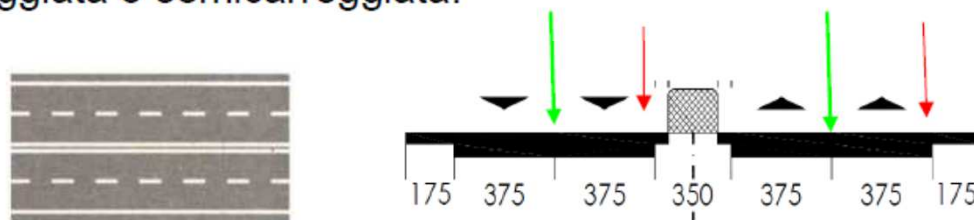
## Allargamento della sezione in curva (3)

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

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.



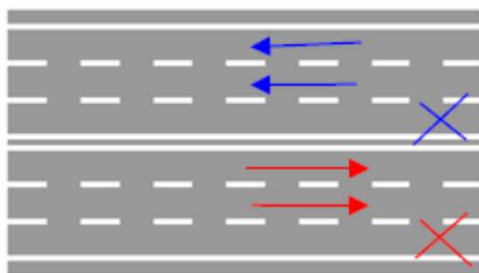
|              |           |           |           |            |            |            |            |            |            |
|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>R (m)</b> | <b>40</b> | <b>60</b> | <b>80</b> | <b>100</b> | <b>125</b> | <b>150</b> | <b>175</b> | <b>200</b> | <b>225</b> |
| <b>e (m)</b> | 1.13      | 0.75      | 0.56      | 0.45       | 0.36       | 0.30       | 0.26       | 0.23       | 0.20       |

## Allargamento della sezione in curva (4)

L'allargamento non si applica se è inferiore a **20 cm**.

Può essere **ridotto fino alla metà** se è poco probabile l'incrocio in curva di autoarticolati, autobus...

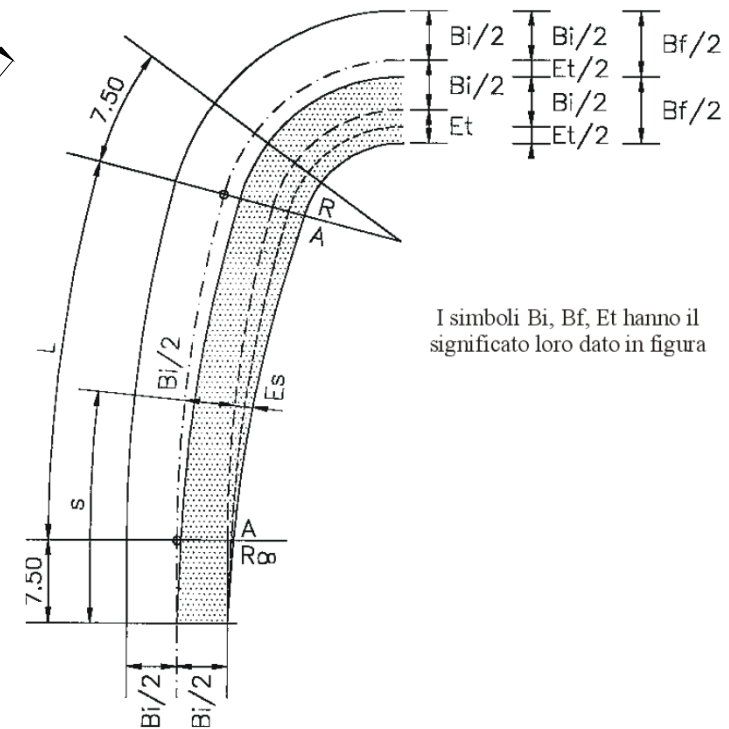
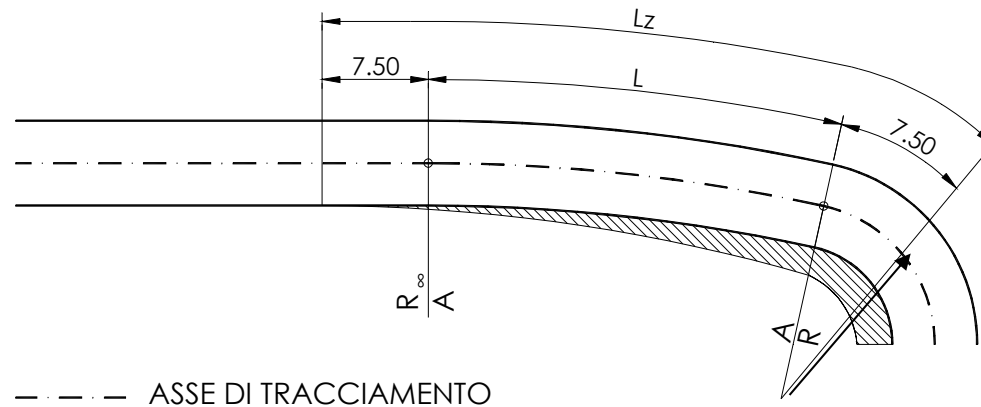
L'allargamento della carreggiata o semicarreggiata è dato dalla **somma** degli allargamenti delle due corsie più interne alla curva.



# Allargamento della sezione in curva (5)

$$L_z = 2 \cdot 7,5 + L$$

$$L_{z,\min} = 15$$

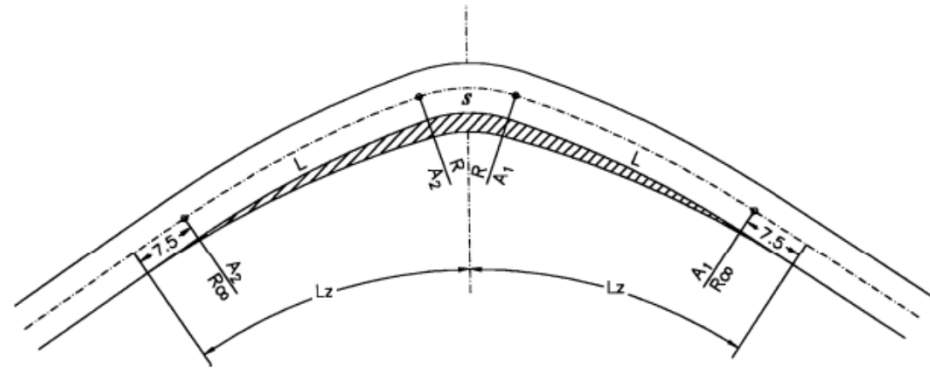


I simboli Bi, Bf, Et hanno il significato loro dato in figura

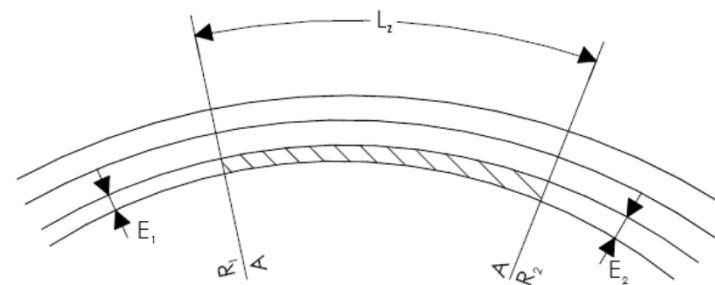
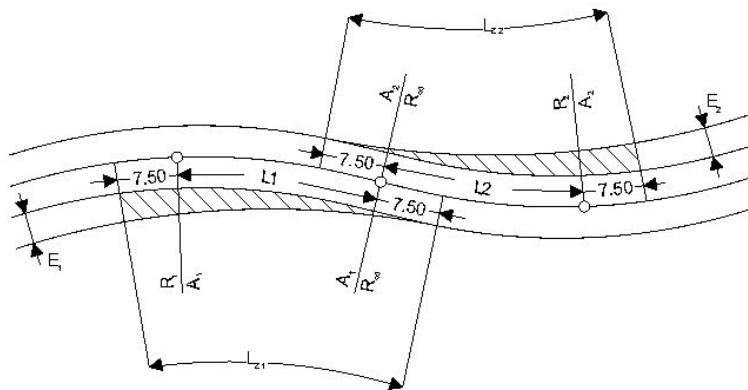
L'allargamento complessivo della carreggiata deve essere riportato tutto **sul lato interno** della curva.

# Allargamento della sezione in curva (6)

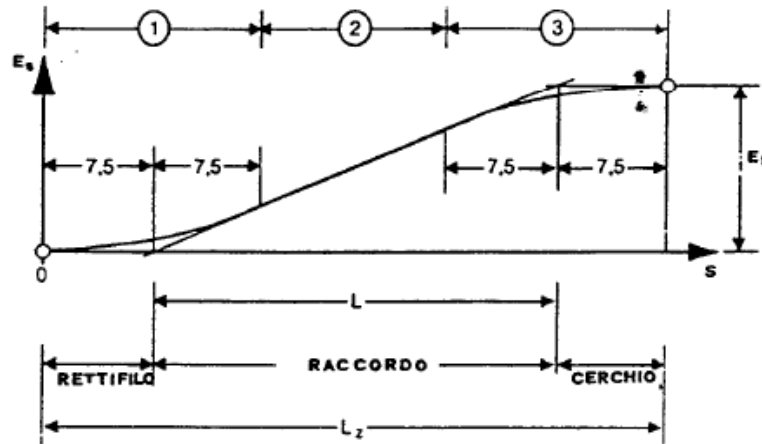
$$L_z = 7,5 + L + \frac{s}{2}$$



$$L_z = 2 \cdot 7,5 + L$$



## Allargamento della sezione in curva (7)



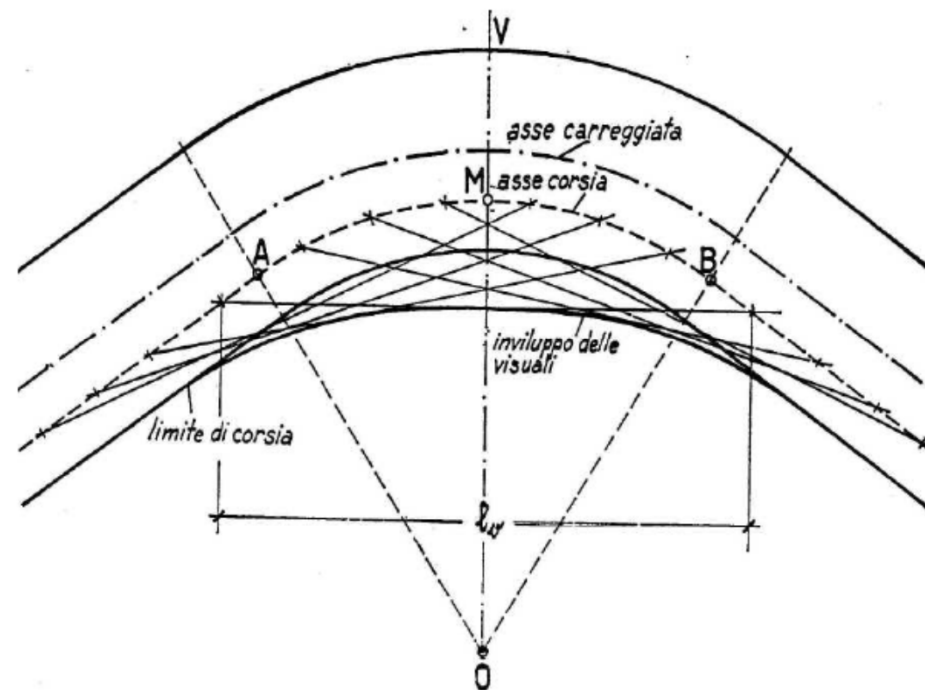
$$E_s = \frac{E_t}{30 \cdot L} \cdot s^2 \quad 0 \leq s \leq 15 \text{ m}$$

$$E_s = \frac{E_t}{L} \cdot (s - 7,5) \quad 15 \leq s \leq (Lz - 15) \text{ m}$$

$$E_s = E_t - \frac{E_t}{30 \cdot L} (Lz - s)^2 \quad (Lz - 15) \leq s \leq Lz \text{ m}$$

## Allargamento della sezione in curva (8)

L'allargamento delle corsie in curva necessario al corretto inserimento dei veicoli non va confuso con l'eventuale allargamento della piattaforma necessario a garantire le distanze di visibilità.





# Discussione



**Galileo Galilei (1564 – 1642):**

“Misura ciò che è misurabile e rendi misurabile ciò che non è misurabile.”

