

# **Insegnamento di Fondamenti di Infrastrutture viarie**

Territorio ed infrastrutture di trasporto

La meccanica della locomozione: questioni generali

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

Dall'equazione generale del moto alle caratteristiche di moto

Sistemi di trazione e motori di trazione

Trazione ferroviaria: studio di una fase completa di moto

Trazione stradale: studio di una fase completa di moto

La frenatura in ferrovia e su strada

Legislazione e Normativa

Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade

**Andamento planimetrico di un tracciato stradale:**

**1) elementi del tracciato planimetrico, rettili e curve circolari,  
pendenza trasversale in curva, curve a raggio variabile**

2) allargamento in curva e diagramma di velocità

Distanze di visibilità e andamento altimetrico di un tracciato stradale

Volume del solido stradale: metodi di calcolo

# **Andamento planimetrico di un tracciato stradale**

## **Elementi del tracciato planimetrico**

**Rettifili e curve circolari**

**Pendenza trasversale in curva**

**Curve a raggio variabile**

## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# Elementi del tracciato planimetrico

Il tracciato planimetrico di una strada è formato dalla successione di tre elementi: rettilinei, curve circolari e curve a raggio variabile.

Tra due elementi a raggio costante (curve circolari o curva circolare e rettilineo) deve essere sempre inserita una curva a raggio variabile.

La lunghezza dei rettifili deve risultare inferiore a :  $22 v_{p \max}$  (Km/h) al fine di:

- evitare che si abbia mancanza di attenzione nella guida del veicolo,
- indurre il conducente ad una velocità compresa nell'intervallo di velocità di progetto,
- favorire l'inserimento della strada nell'ambiente.

La lunghezza dei rettifili, per poter essere percepito come tale dall'utente, deve risultare non inferiore ai valori riportati in tabella:

V $v_{p \max}$ (diagramma di velocità):	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
L min :	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

---

(\*) Cfr. Il DM 5 novembre 2001- Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.

## Rettifili e curve circolari

Tra un rettifilo di lunghezza  $L$  ed il raggio  $R$  più piccolo delle curve circolari che lo precedono e lo seguono, con l'interposizione di curve a raggio variabile, deve essere verificata la seguente relazione:

$$R > L \quad \text{per } L < 300 \text{ m}$$

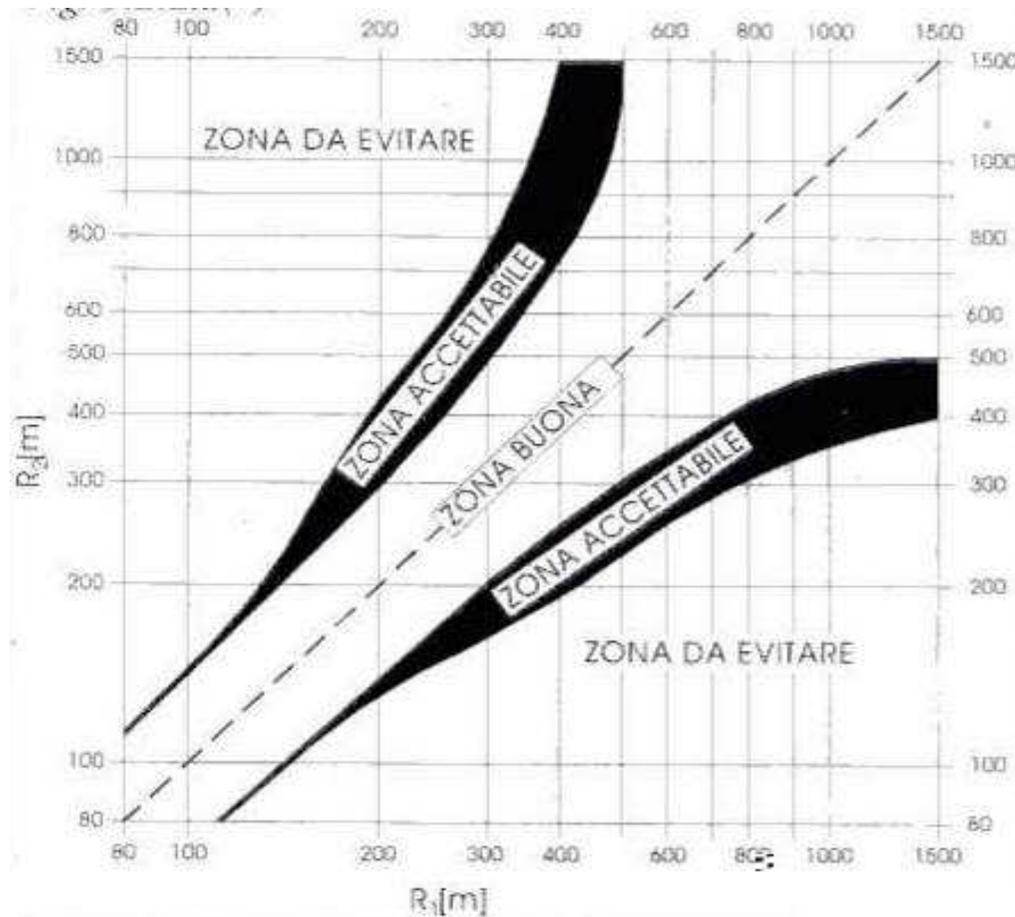
$$R > 400 \text{ m} \quad \text{per } L > 300 \text{ m}$$

In rettilineo per fac.81426( ): .22299(o)-Tqet eo(t)-7.192(')1.22391( )-5.15948(l)0.326132(f)-4.7115(i)-7.17856(lu)-2.814

## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

### **Rettifili e curve circolari**

I rapporti tra raggi di curvatura  $R_1$  e  $R_2$  di due curve circolari che, sempre con l'inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato, sono regolati dall'abaco riportato in figura che evidenzia le zone da evitare.



## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# **Pendenza trasversale in curva**

Per la determinazione della pendenza in funzione del raggio è indispensabile stabilire il legame tra la velocità di progetto  $V_p$ , la pendenza trasversale in curva  $q$  e la quota parte del coefficiente di aderenza impegnato trasversalmente  $f_t$ . Dallo studio dell'equilibrio di un veicolo transitante su una curva circolare si ottiene:

$$V_p^2 / 127 R = q + f_t \quad \text{dove:}$$

$V_p$  è la velocità di progetto della curva

$R$  è il raggio della curva

$q$  è la pendenza trasversale in curva

$f_t$  è la quota parte del coefficiente d'aderenza impiegato trasversalmente

Si ricorda che in curva la carreggiata è inclinata verso l'interno e la pendenza trasversale rimane la stessa su tutta la lunghezza del suo sviluppo.

La pendenza trasversale massima  $q_{\max}$  è del 7% ( $q=0,07$ ), quella minima  $q_{\min}$  è del 2,5%. In particolare tale pendenza varia al variare del tipo di strada.

## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# **Pendenza trasversale in curva**

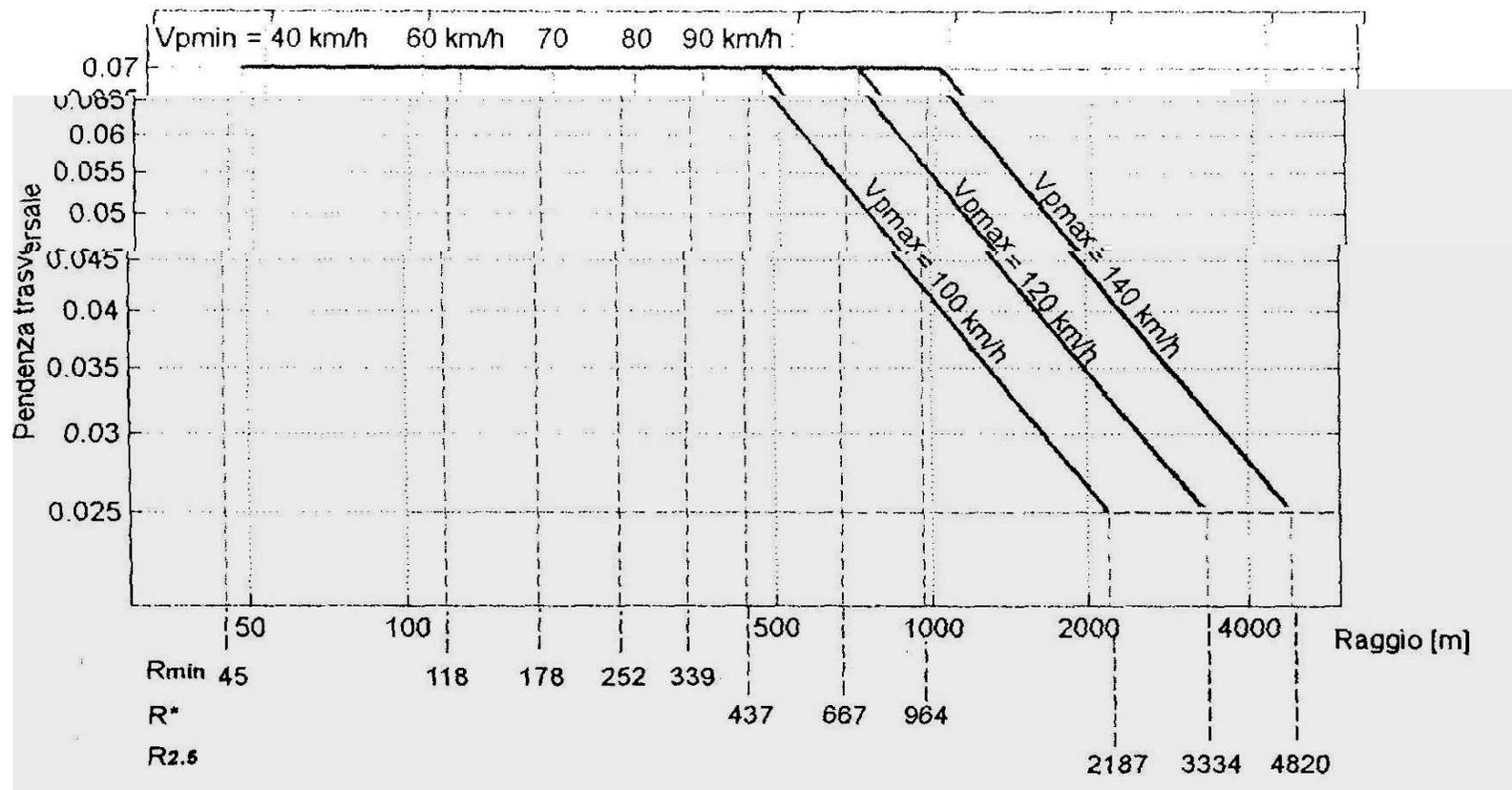
Si riportano in tabella i valori di  $q_{\max}$  per assegnati valori di  $f_t$  e  $R_{\min}$  :

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

## Andamento planimetrico di un tracciato stradale

# Pendenza trasversale in curva

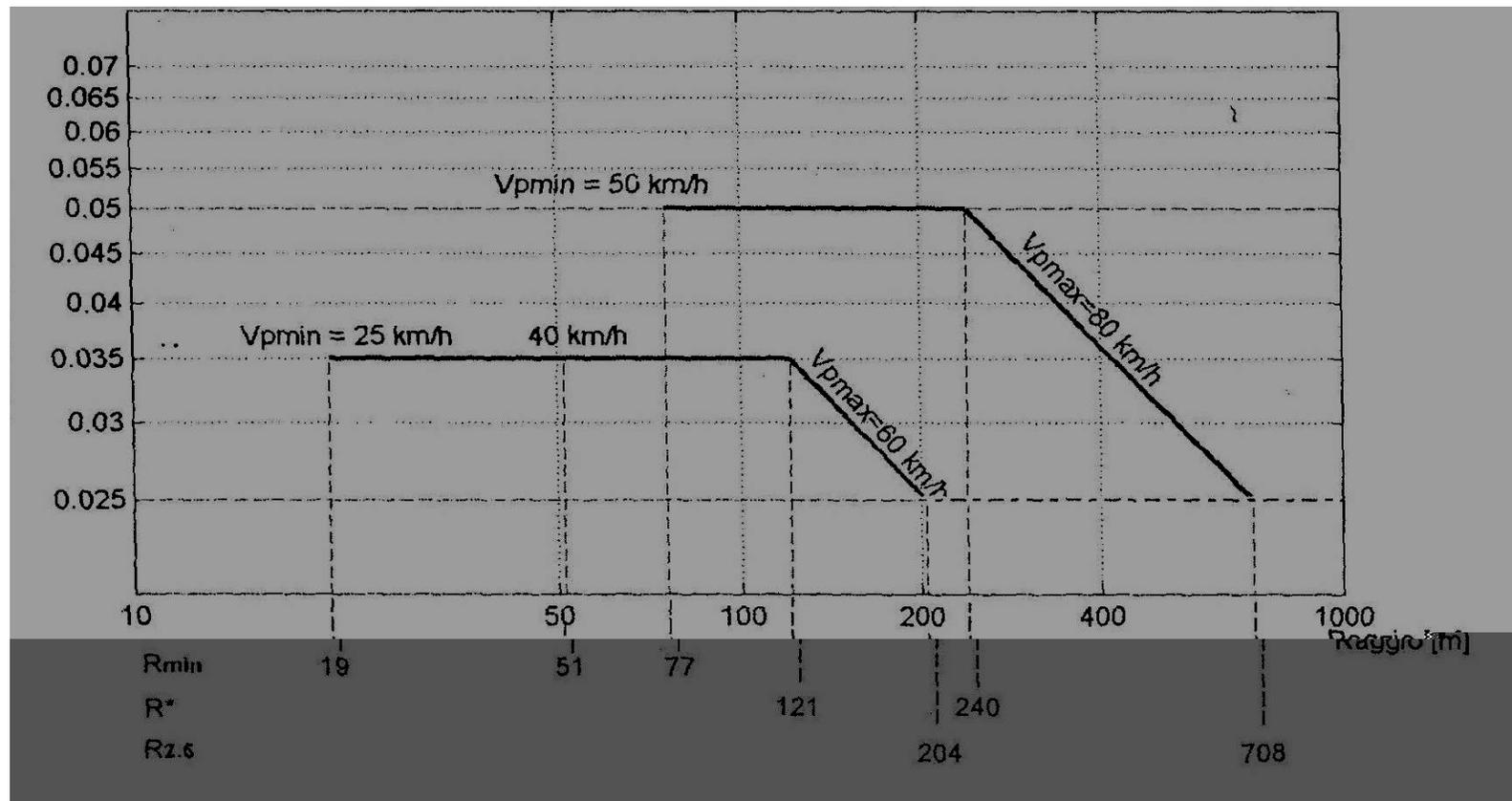
Strade di tipo A (U e E), di tipo B, C, F (E) e strade di servizio (E)



## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# Pendenza trasversale in curva

Strade di tipo D,E,F (U) e strade di servizio (U)



## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# **Curve a raggio variabile**

Queste curve sono progettate in modo da garantire:

1. una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) contenuta entro valori accettabili;
2. una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
3. la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato.

La curva a raggio variabile da impiegarsi è la clotoide, che è una particolare curva della famiglia delle spirali generalizzate definite dalla seguente equazione:

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

dove:

$r$  è il raggio di curvatura nel punto  $P$  generico e  $A$  è il parametro di scala

$s$  è la ascissa curvilinea nel punto  $P$  generico ed  $n$  è il parametro di forma (regola la variazione della curvatura)

Per  $n = 1$ , si ottiene l'equazione della Clotoide (si veda figura):

$$r s = A^2$$



## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# Curve a raggio variabile

Verifica del parametro di scala: *Limitazione del contraccollo*

Per aver una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata (contraccollo  $c$ ) lungo un arco di clotoide occorre che tra il parametro  $A$  e la massima velocità  $V$  (Km/h), desunta dal diagramma di velocità, sussista la seguente relazione:

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

dove:

$$q_i = \frac{i_{ci}}{100}, \text{ con } i_{ci} = \text{pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;}$$

$$q_f = \frac{i_{cf}}{100}, \text{ con } i_{cf} = \text{pendenza trasversale nel punto finale della clotoide.}$$

Trascurando il secondo termine dell'espressione ed assumendo per il contraccollo il valore limite pari a  $c_{\max} = 50,4/ V$  si ottiene:

$$A \geq 0,021 \times V^2$$

## Andamento planimetrico di un tracciato stradale

### Curve a raggio variabile

Verifica del parametro di scala: *Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata*

Per raccordare longitudinalmente i differenti assetti trasversali delle sezioni di estremità occorre introdurre una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione.

1) Alla fine di un rettilineo o in un punto di flesso il parametro A deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

dove:

$B_i$  = distanze fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile (vedi Fig. 5.2.6.a) [m].

$\Delta i_{\max}$  (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano  $B_i$  dall'asse di rotazione (vedi par. 5.2.6); in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata

$= \frac{i_{ci}}{100}$  dove  $i_{ci}$  = pendenza trasversale iniziale, in valore assoluto

$= \frac{i_{cf}}{100}$  con  $i_{cf}$  = pendenza trasversale finale, in valore assoluto

2) Nei punti di continuità, dove il raggio presenta valore finito, il parametro A deve verificare la seguente disuguaglianza:

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

dove:

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

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

## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# Curve a raggio variabile

Verifica del parametro di scala: *Garantire la percezione ottica*

Per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione:

$$A \geq R/3 \quad (R_1/3 \text{ in caso di continuità})$$

Inoltre per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide deve essere:

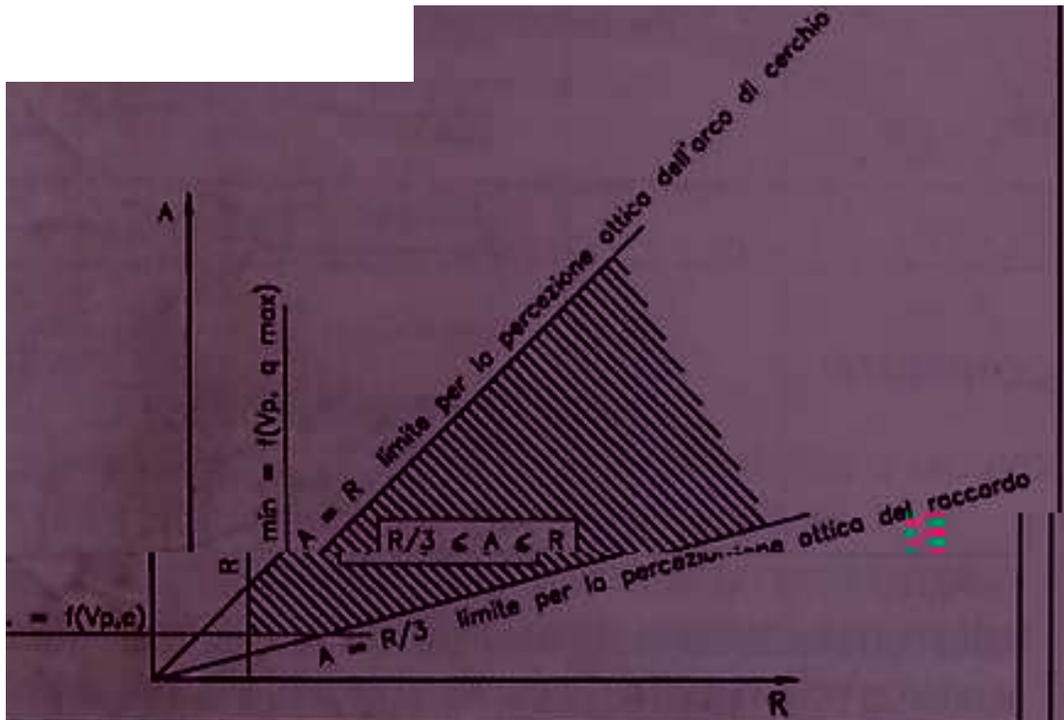
$$A \leq R$$

## Andamento planimetrico di un tracciato stradale

# Curve a raggio variabile

## Campo di applicazione dei raccordi di clotoide

In figura è riportato il dominio dei valori ammissibili per il parametro A



ve:

$$\min = \frac{V_p^2}{127 [f_{t \max}(V_p) + q_{\max}]}$$
$$\min = 0,021 \times V_p^2$$

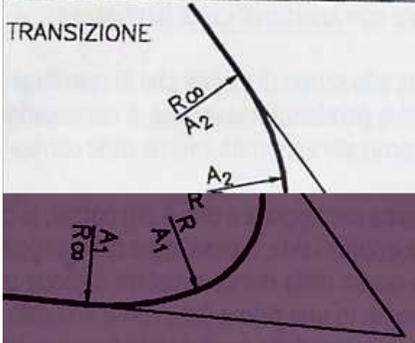
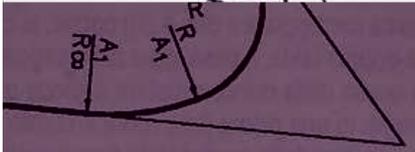
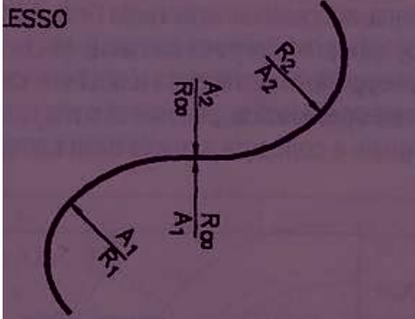
caso di continuità  $\frac{R_i}{3} < A < R$

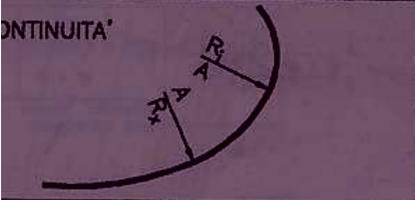
## Andamento planimetrico di un tracciato stradale

# Curve a raggio variabile

### Tipologie di clotoidi

In figura sono riportate le diverse tipologie di clotoidi inseribili in un tracciato con le relative limitazioni dei valori dei parametri:

TIPOLOGIA	LIMITI
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R}{3} \leq A_1 \leq R$
	$\frac{R}{3} \leq A_2 \leq R$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$
	$R_2 < R_1$ $A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ <b>FLESSO ASIMMETRICO</b> $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_2}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$ <b>FLESSO SIMMETRICO</b> $A_1 = A_2 = A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_2$

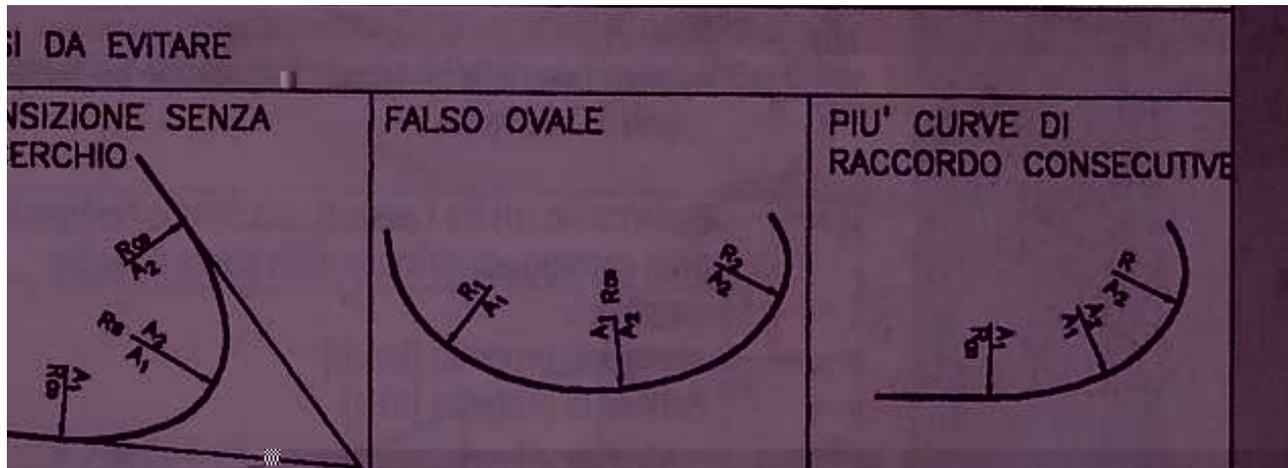
TIPOLOGIA	LIMITI
	$R_x < R_1$ $R_x$ all'interno di $R_1$ ma non concentrico $A_{min} \leq A$ $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_x$
	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_3}{3} \leq A_1 \leq R_1$ $\frac{R_3}{3} \leq A_2 \leq R_2$ $\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$

## Andamento planimetrico di un tracciato stradale

# Curve a raggio variabile

### Situazioni da evitare

In figura sono indicate le situazioni da evitare:



Nel caso di flessa è possibile inserire un rettilineo di lunghezza non superiore a:

$$L = \frac{A_1 + A_2}{12,5} \quad [m]$$

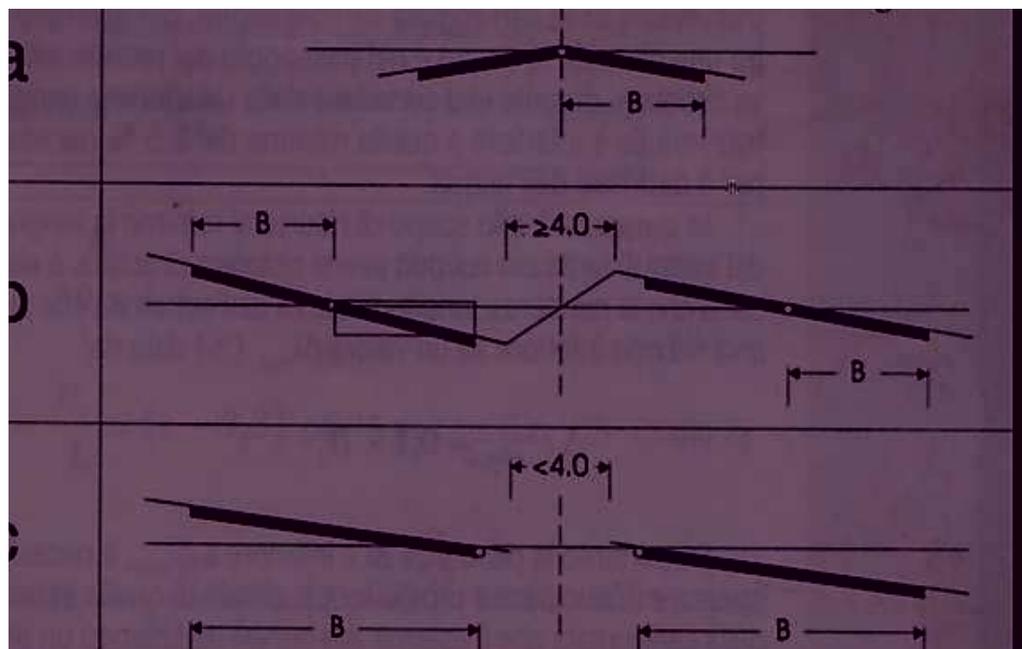
ed in tale caso non vale il requisito minimo di lunghezza del rettilineo ( $L_r = 22 V_{p_{Max}}$ ).

## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# **Curve a raggio variabile**

### *Pendenze trasversali*

Lungo le curve a raggio variabile, inserite fra due elementi di tracciato a raggio costante, si realizza il graduale passaggio della pendenza trasversale dal valore proprio di un elemento a quello relativo al successivo attraverso la rotazione della carreggiata o parte di essa intorno al suo asse o intorno alla sua estremità interna secondo i casi illustrati in figura.



## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

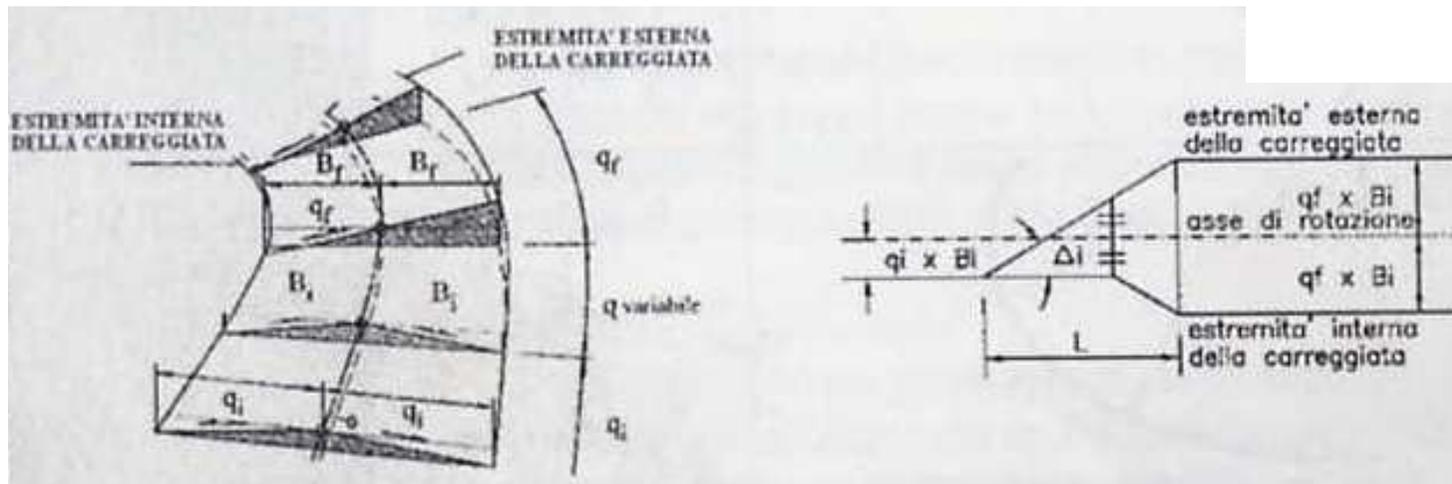
# **Curve a raggio variabile**

### *Pendenze trasversali: rotazioni in asse o d'estremità*

La rotazione intorno all'asse è generalmente da preferire ove possibile in quanto comporta un minor sollevamento dell'estremità della piattaforma nel caso di: a) strade a carreggiata unica a due o più corsie e b) strade a carreggiate separate con spartitraffico di larghezza superiore a 4 m.

Nel caso c) strade a carreggiate separate con spartitraffico di larghezza inferiore a 4 m, per evitare che lo spartitraffico acquisti una eccessiva pendenza trasversale, è necessario ruotare le due vie intorno alle estremità interne delle carreggiate.

Nelle strade ad unica carreggiata il passaggio dalla doppia falda (del rettilineo) a quella con sopraelevazione del ciglio esterno (curva circolare) si sviluppa lungo la clotoide ed avviene in due fasi: 1) rotazione, lungo l'asse della carreggiata, della falda esterna sino a realizzare una superficie piana, 2) rotazione dell'intera carreggiata (sempre lungo il suo asse) sino al raggiungimento della sopraelevazione richiesta:



## *Andamento planimetrico di un tracciato stradale*

# **Curve a raggio variabile**

### *Pendenze trasversali: valori massimi di pendenza $\Delta i$*

Per limitare la velocità di rotazione trasversale (rollio) dei veicoli la sovrappendenza longitudinale  $\Delta i$  delle estremità della carreggiata (senza gli eventuali allargamenti in curva) non può superare il seguente valore:

$$\Delta i_{\max} = \frac{dq}{dt} \times \frac{B_i}{v} \times 100 \cong 18 \times \frac{B_i}{V} \quad [\%]$$

dove:

$\frac{dq}{dt}$

= variazione della pendenza trasversale nel tempo  
pari a 0,05 rad. s<sup>-1</sup>

$B_i$  =

distanza (in m) fra l'asse di rotazione e l'estremità  
della carreggiata all'inizio della curva a raggio  
variabile

$V$  =

velocità di progetto [km/h]

$v$  =

velocità di progetto [m/s]

## Andamento planimetrico di un tracciato stradale

# Curve a raggio variabile

### Pendenze trasversali: valori minimi di pendenza $\Delta i$

Durante la prima fase di rotazione la pendenza trasversale è inferiore a quella minima del 2,5% e necessaria per il deflusso dell'acqua: allo scopo quindi di ridurre tale tratto di strada è necessario che la pendenza longitudinale  $\Delta i$  dell'estremità che si solleva sia non inferiore a: [ % ].

Pertanto quando:  $\Delta i < \Delta i_{min}$  è necessario spezzare in due parti il profilo longitudinale dell'estremità esterna della carreggiata in curva, realizzando quindi un primo tratto con pendenza maggiore o uguale a  $\Delta i_{min}$  sino a quando la pendenza trasversale ha raggiunto il 2,5%. Nel tratto successivo la pendenza potrà essere inferiore a  $\Delta i_{min}$ . In figura sono riportati i casi che si possono presentare:

