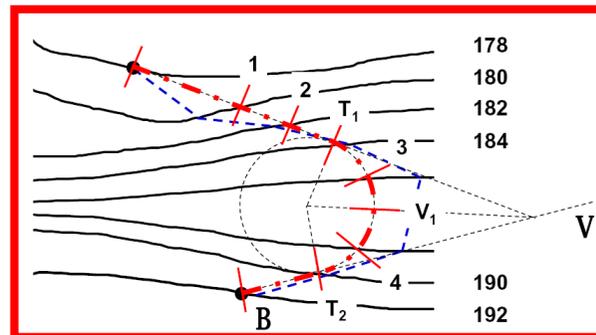




COSTRUZIONE DI STRADE

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

RETTIFILI – PENDENZA TRASVERSALE

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 piu' 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

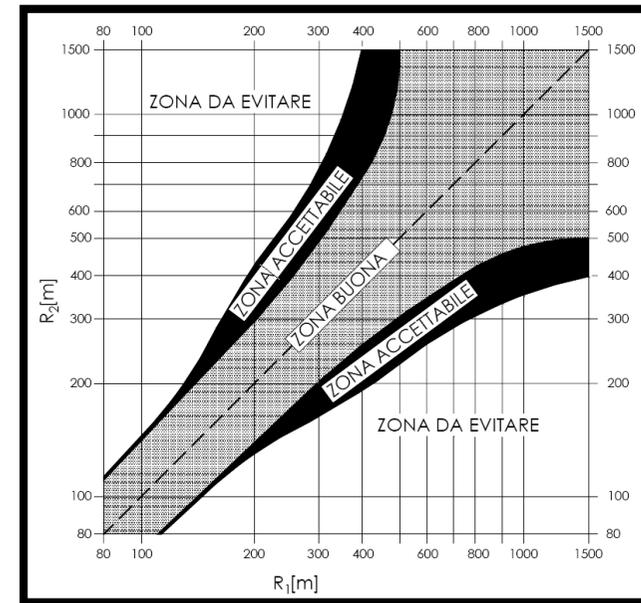
CURVE CIRCOLARI: sviluppo e raggio minimo

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 **R₁** e **R₂** 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 m → **R > L_r**

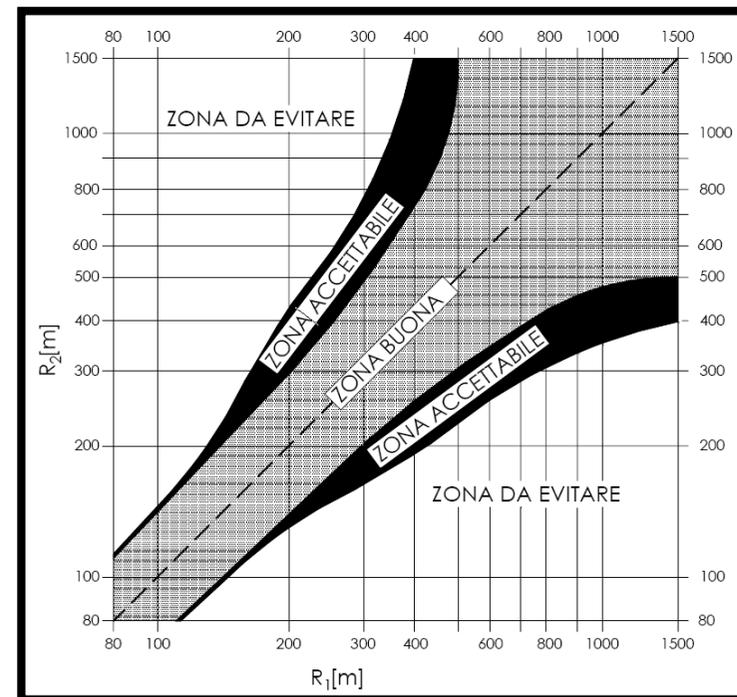
L_r ≥ 300 m → **R ≥ 400 m**

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

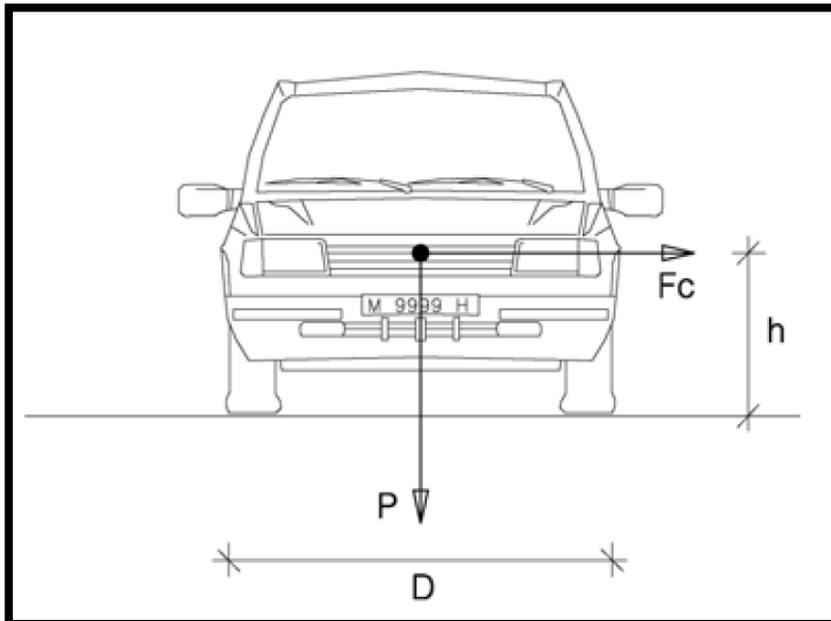
Tra un rettifilo di lunghezza L_r ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettifilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

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

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

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:

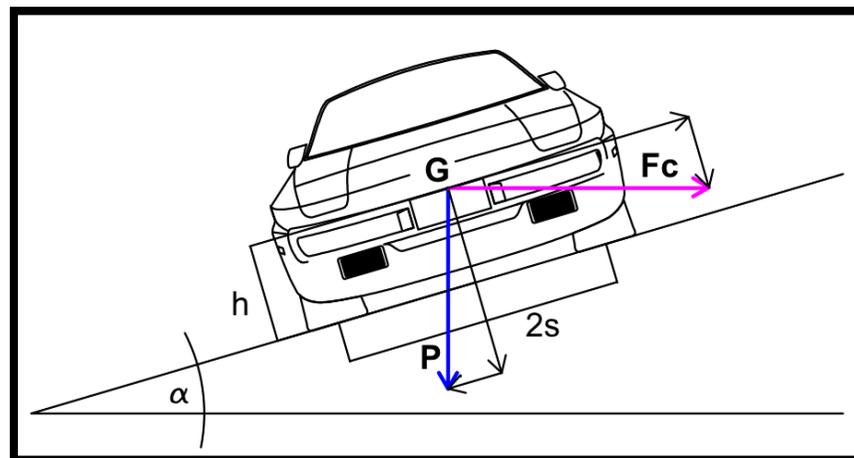
$$F_c \cos \alpha - P \sin \alpha \leq (P \cos \alpha + F_c \sin \alpha) \cdot f_t$$

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

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

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

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



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

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

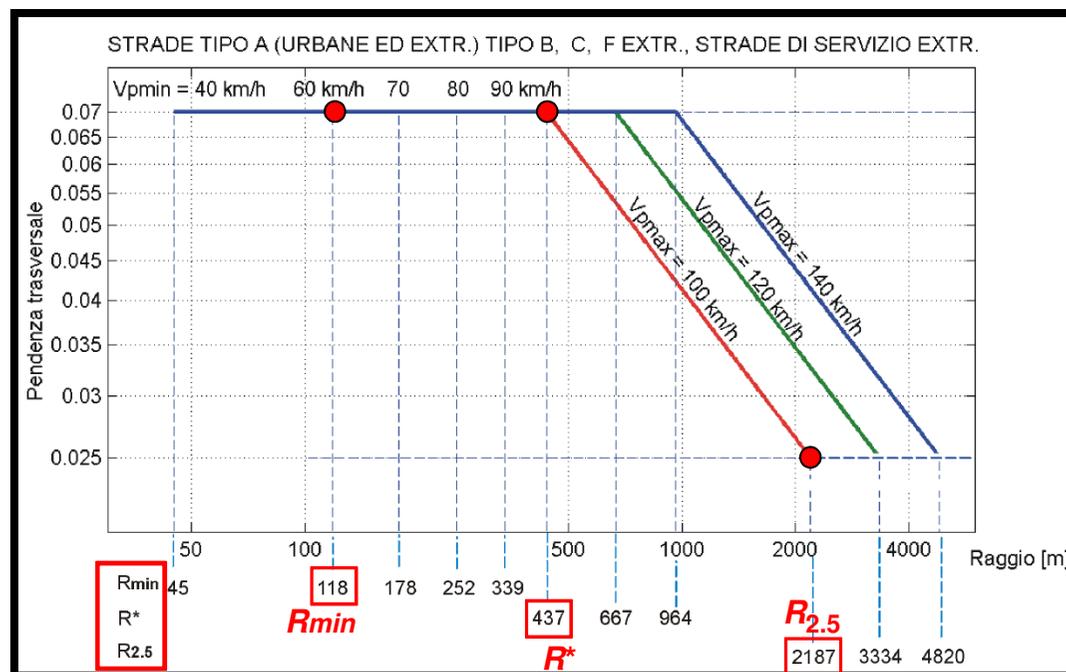
$$R^* = \frac{V_{p,\max}^2}{127 \cdot (q_{\max} + f_{t,\max})}$$

DEFINISCO:

1. R_{\min} il raggio calcolato (I^a formula) per $V_{p,\min}$, pend. q_{\max} e $f_{t,\max}(V_{p,\min})$;
2. R^* il raggio calcolato (II^a 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 $f_{t,max}(V_p)$

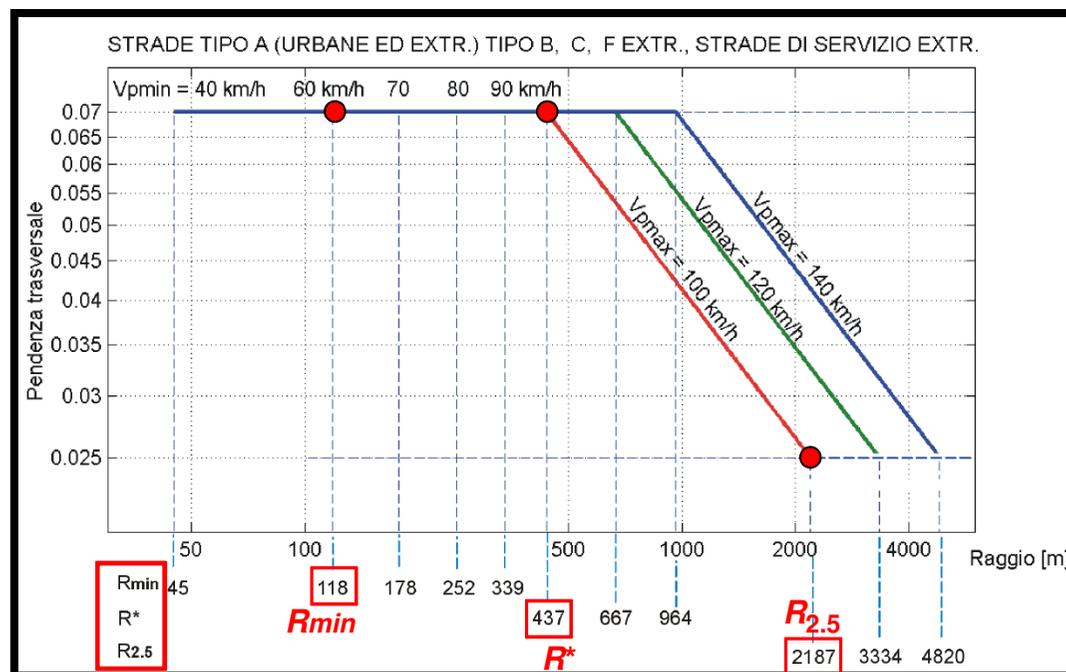
$$V_p = \sqrt{127 \cdot (f_{t,max} + q_{max}) \cdot R}$$

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^a 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^a 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^a 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^a 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^a 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:

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

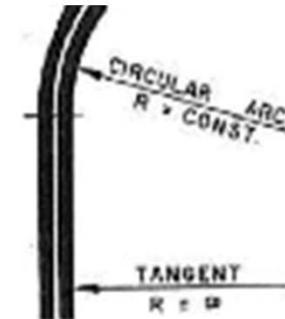
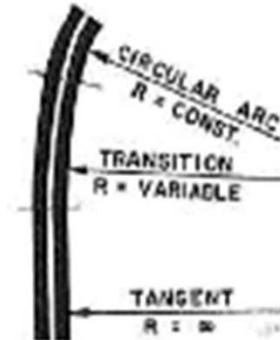
J non deve superare il valore del 10% per strade di tipo A o B e del 12% per le altre. Nel caso di strade a frequente innevamento il valore limite è pari all'8%.

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:

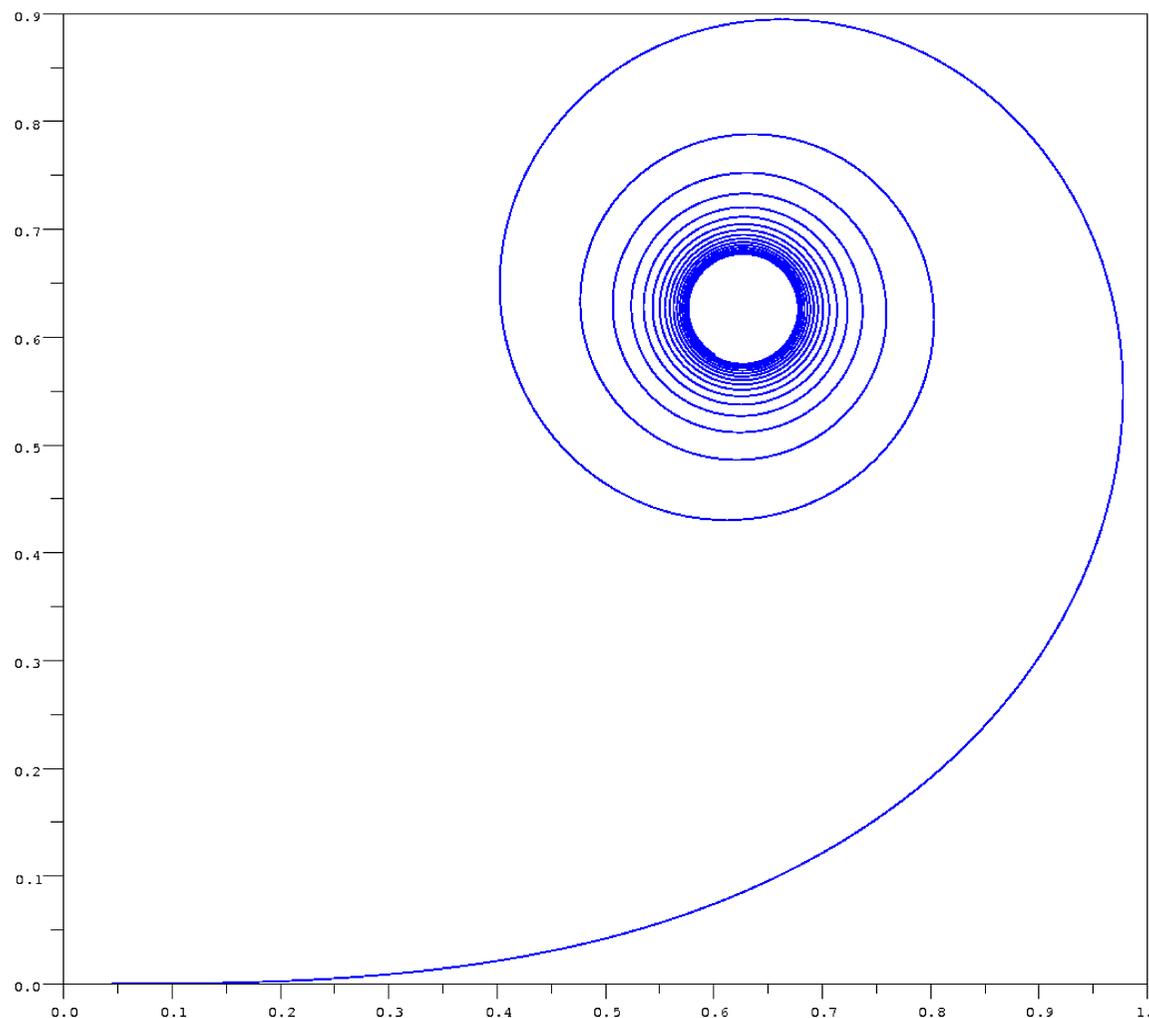
- riduzione di variazione **accelerazione TRASVERSALE** non compensata (contraccolpo: $c = \frac{da_t}{dt}$);
- riduzione rollio per variazione pendenza trasversale
- corretta **percezione ottica** del tracciato.

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

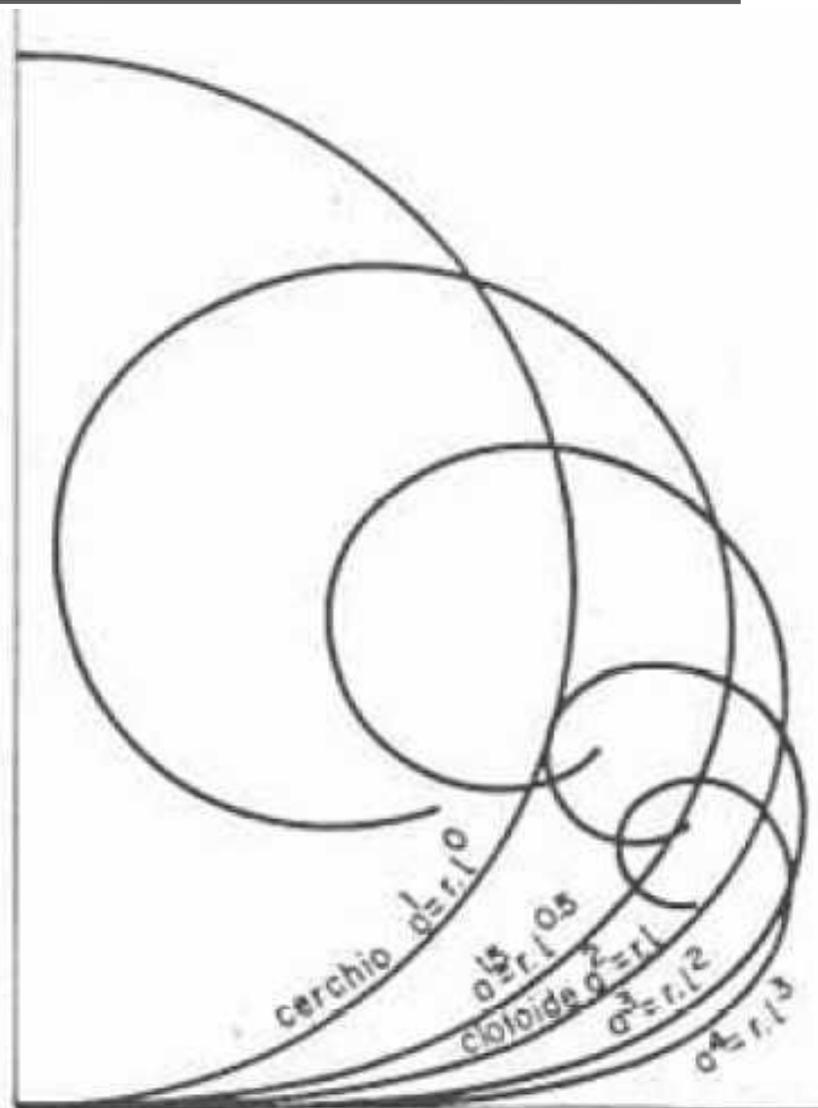
Il parametro n :

$n = -1$	$r = s$	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.**

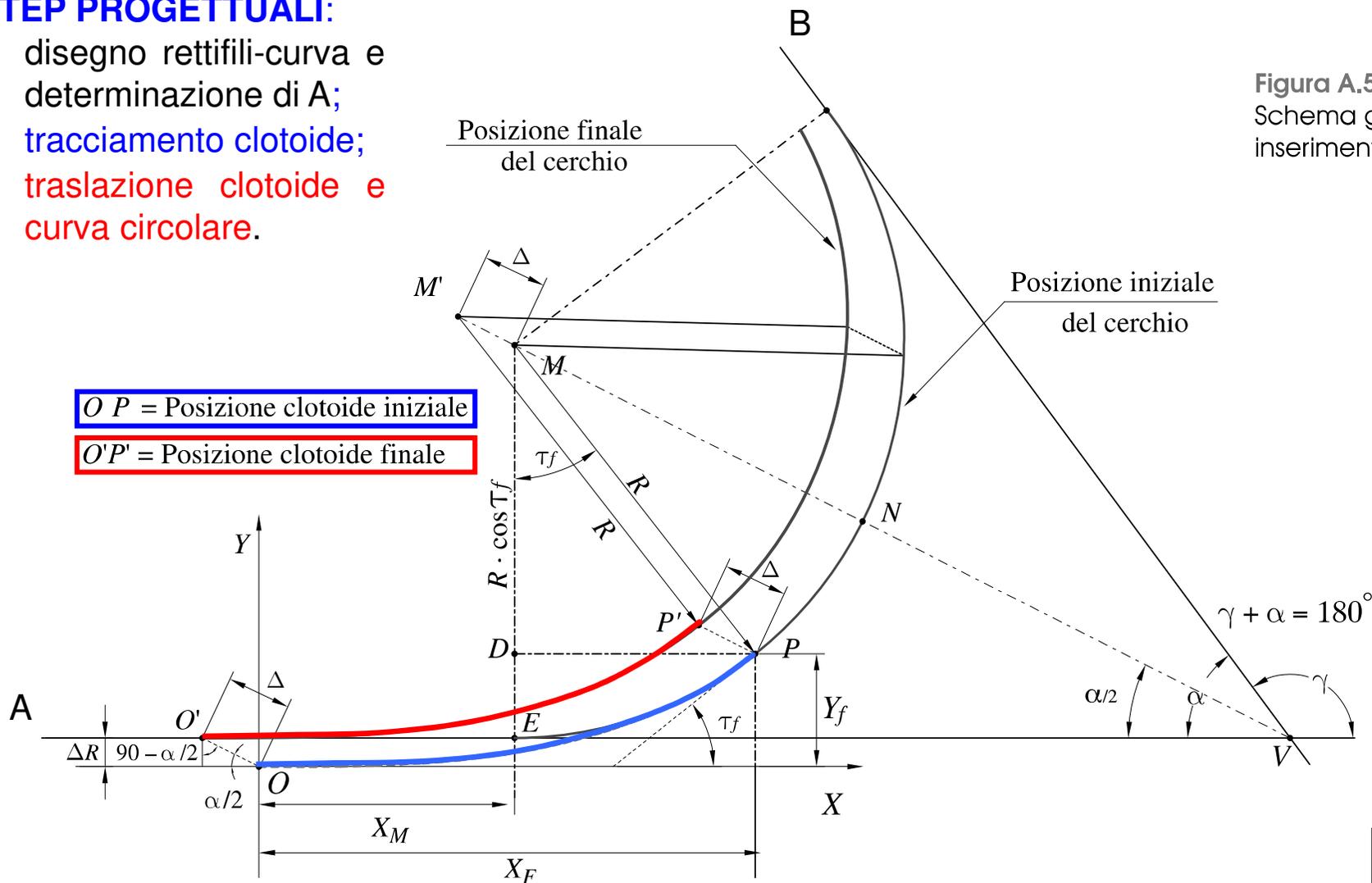


Figura A.5
Schema generico
inserimento clotoide.

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;

Δi : 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];

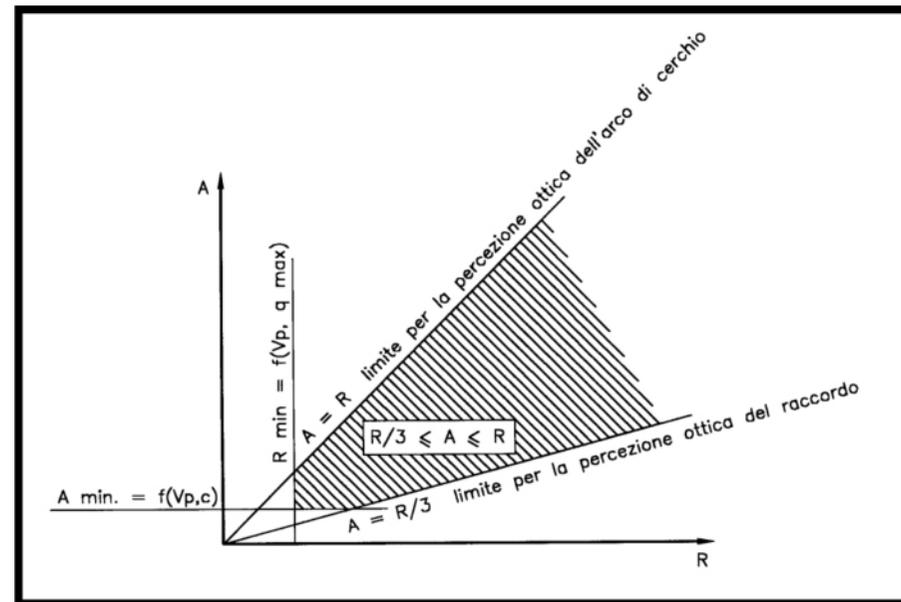
R_f = raggio nel punto terminale della curva a raggio variabile [m].

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

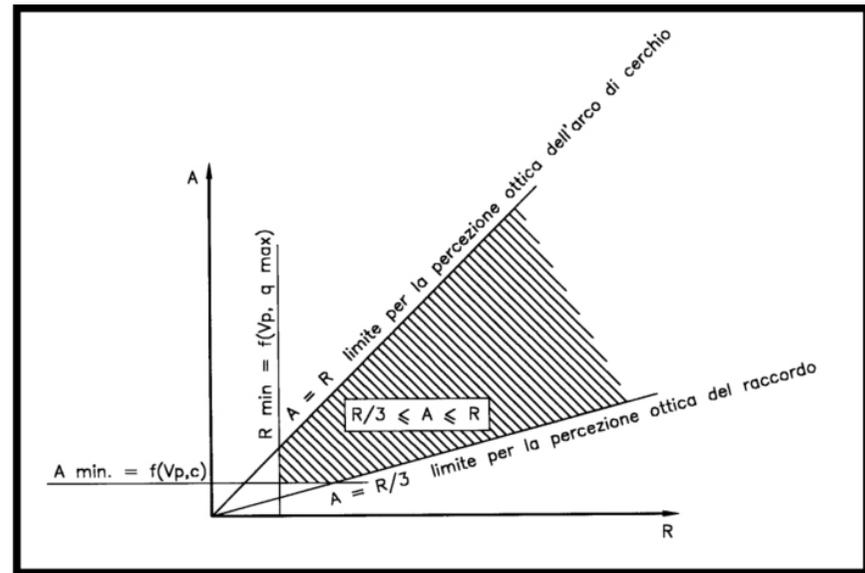
Si stabilisce il valore di \underline{A} , tale che:

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

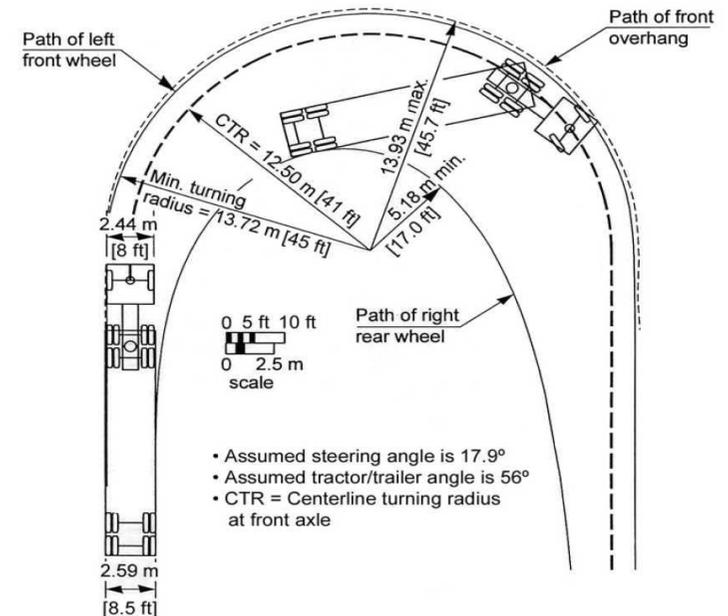
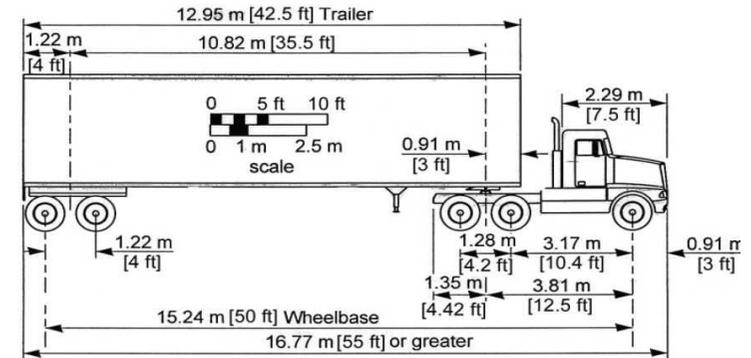
verificando la condizione:

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

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.

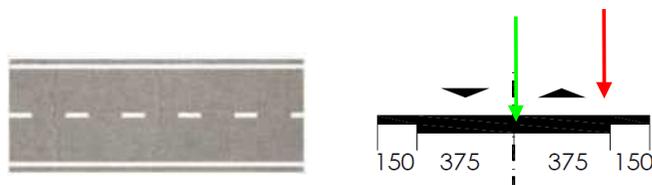
Nel caso di strade a **carreggiate separate**, o ad una carreggiata con due o più corsie per senso di marcia, si assume come raggio per l'allargamento quello dell'asse di ciascuna carreggiata o semi carreggiata.

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

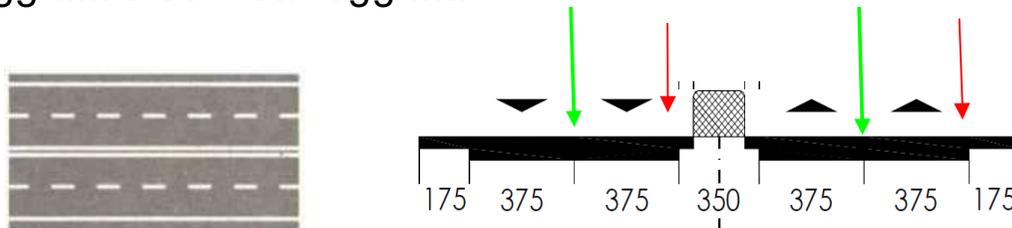
ALLARGAMENTO DELLA CARREGGIATA IN CURVA

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

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