

ANNALI

DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL' UNIVERSITA'

————— SASSARI —————

DIRETTORE: G. RIVOIRA

COMITATO DI REDAZIONE: M. DATILO - S. DE MONTIS - F. FATICHENTI
C. GESSA - L. IDDA - F. MARRAS - P. MELIS - A. MILELLA - A. PIETRACAPRINA
R. PROTA - A. VODRET

studi sassaresi

ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI



Istituto di Costruzioni Rurali dell'Università di Sassari

(Direttore: Prof. S. De Montis)

STEFANO DE MONTIS* - PAOLO BAZZU**

CARATTERISTICHE ELEMENTI E CONFIGURAZIONE DEI RACCORDI NELLA PROGETTAZIONE DELLE STRADE

RIASSUNTO

Gli Autori nel proporre diversi tipi di raccordi stradali utili per la progettazione delle infrastrutture viarie, ne esaminano caratteristiche, elementi e configurazione geometrica. Il tema, che interessa tutte le strade in genere, riguarda anche la viabilità rurale e forestale nella quale ricorre maggiormente l'uso di raccordi del tipo trattato.

SUMMARY

The Authors have suggested several kinds of road connections useful in planning roads and they have examined the characteristics, the elements and the geometrical shape of them.

PREMESSA

Tra gli elementi fondamentali che caratterizzano la qualità, la sicurezza ed il comfort di un tracciato stradale, certamente un ruolo determinante è rappresentato dal modo in cui si raccordano tra loro due o più tratti dell'asse viario, siano essi rettilinei o già di per sé curvilinei, mediante archi di circonferenza o curve di tipo diverso. La bontà del risultato finale del progetto dipende infatti dalla velocità consentita al mezzo lungo il tracciato e dalla facilità di guida che ne consegue, caratteristiche possibili anche e soprattutto se si sono adottate soluzioni corrette per i raccordi viari, e risulterà tanto più affidabile, comoda e rispondente al fine quanto più la scelta sarà stata coerente con i parametri e le componenti che vi concorrono.

Raccordare convenientemente tra loro i tronchi di un'arteria, significa inoltre garantire prioritariamente il più elevato grado di sicurezza, ma anche facilitare e rendere quanto più confortevole la guida dell'utente, aspetto sempre più attuale e determinante per lo sviluppo dei trasporti e del turismo in genere.

I tipi di raccordo possibili sono diversi e variabili di volta in volta a seconda delle necessità che si presentano.

* Professore Associato e Direttore dell'Istituto di Costruzioni Rurali.

** Collaboratore esterno.

Lo studio ha l'intento di proporre i piú idonei e funzionali, compatibilmente con il programmato grado di sicurezza, con le esigenze di funzionamento del tracciato e con le premesse economiche dell'intervento, di determinarne gli elementi geometrici e analitici, di tracciarne la configurazione ed il profilo.

Tenuto conto anche delle nuove norme emanate dal CNR, i tipi proposti sono i seguenti, distinti in raccordi orizzontali

- a) circolare monocentrico, bicentrico e policentrico,
 - b) con curva esterna simmetrica e asimmetrica,
 - c) progressivo,
 - d) clotoidico,
 - e) di transizione a raggio, centro e vertice conservati,
 - f) mediante spirale di Searles,
- ed in raccordi verticali.

L'importanza dell'argomento è confermata dalla definizione che assimila le strade a spezzate mistilinee tridimensionali, caratterizzate appunto da elementi orizzontali e verticali giacenti nello spazio.

1. RACCORDI ORIZZONTALI

1.1. *Raccordo circolare monocentrico*

Il raccordo di due rettifili mediante curva circolare monocentrica è particolarmente

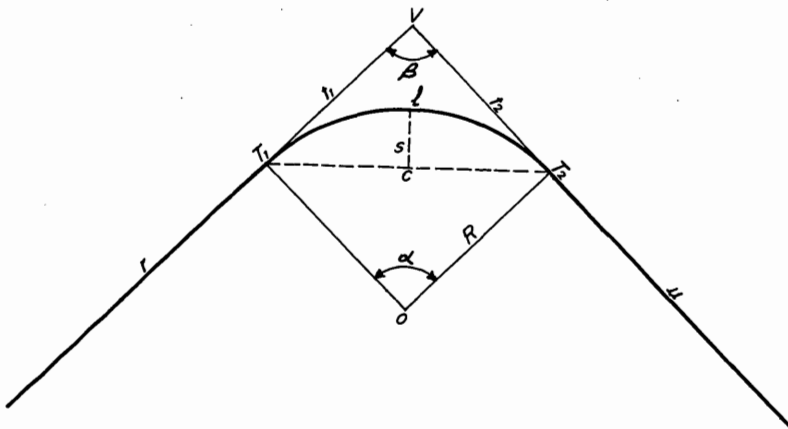


Fig. 1 - Tipo ed elementi di raccordo monocentrico.
Monocentric connecting curve.

r, u	rettifili
V	vertice
β	angolo al vertice
α	angolo al centro
T_1, T_2	punti di tangenza
t_1, t_2	tangenti
R	raggio di curvatura
O	centro della curva
l	sviluppo della curva
c	corda
s	saetta

$$\alpha^{\circ} = 200^{\circ} - \beta^{\circ} \quad 1)$$

$$t_1 = t_2 = R \operatorname{tg} \alpha/2 \quad 2)$$

$$l = \frac{\pi R \alpha^{\circ}}{200^{\circ}} \quad 3)$$

$$c = 2R \operatorname{sen} \alpha/2 \quad 4)$$

$$s = 2R \operatorname{sen}^2 \alpha/4 \quad 5)$$

efficiente con traffico lento, ma presenta inconvenienti nel caso di traffico veloce a causa della forza centrifuga che com'è noto in curva può assumere bruscamente valori elevati.

È consigliabile perciò limitare l'uso di detti raccordi alle strade secondarie caratterizzate da velocità di progetto molto bassa.

1.2. *Raccordo bicentrico*

Nella realtà operativa ricorre spesso il caso di dover raccordare tre tratti di rettifili successivi, di cui quello intermedio ha lunghezza ridotta rispetto agli altri due ed in assoluto. In tale situazione di norma si fanno coincidere i due punti interni di tangenza, suddividendo il rettifilo centrale in due tratti tangenti t_1 e t_2 tali che possano essere uguali o disuguali a seconda dei valori angolari

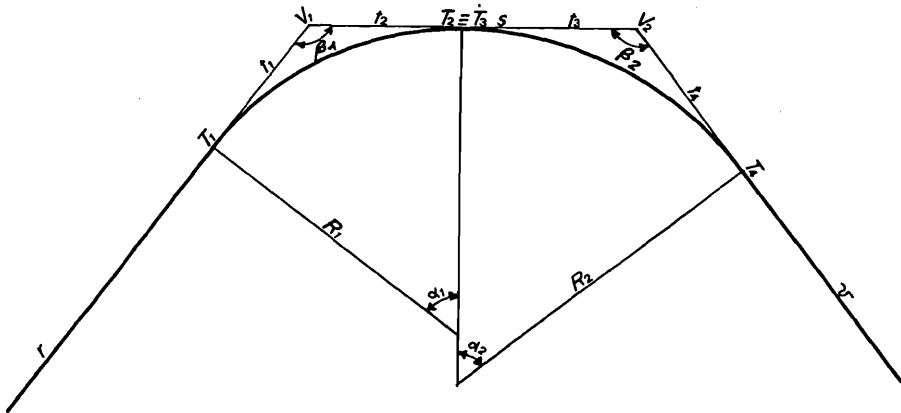


Fig. 2 - Tipo ed elementi di raccordo bicentrico.
Bicentric connecting curve.

$$R_1 = \frac{t_1}{\text{tg } \alpha_1/2} \qquad R_2 = \frac{t_3}{\text{tg } \alpha_2/2} \qquad 2') \quad 2'')$$

1.3. *Raccordo policentrico*

Il raccordo policentrico si presenta ogni qual volta si è costretti a passare con il tracciato stradale in punti obbligati, per la necessità di raccordare in successione più rettifili brevi e formanti tra loro angoli molto ottusi.

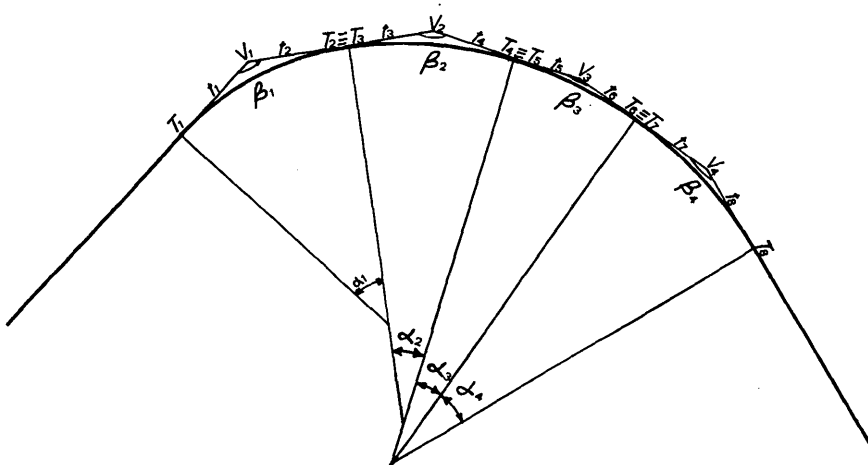


Fig. 3 - Tipo ed elementi di raccordo policentrico.
Polycentric connecting curve.

$$R_1 = \frac{t_1}{\operatorname{tg} \alpha_1/2}$$

$$R_2 = \frac{t_3}{\operatorname{tg} \alpha_2/2}$$

$$R_3 = \frac{t_5}{\operatorname{tg} \alpha_3/2}$$

$$R_4 = \frac{t_7}{\operatorname{tg} \alpha_4/2}$$

1.4. *Raccordo con curva esterna*

Le strade di secondaria importanza in montagna o in collina particolarmente difficili, presentano spesso raccordi con angoli al centro maggiori di 200° . Questo raccordo chiamato comunemente tornante, è difficilmente risolvibile con curva interna. Per rispettare le caratteristiche geometriche della strada si ricorre all'uso della curva esterna con controcurva di entrata e di uscita, con soluzione che prevede l'impiego di tre curve. Il tornante può essere anche asimmetrico composto cioè da due sole curve. Nota la posizione del vertice V_1 e l'orografia del terreno circostante si attribuisce il valore all'angolo α_1 ($\geq 200^\circ$): servendosi del raggio minimo fissato per il tipo di strada da progettare si determina lo sviluppo l_1 .

Gli archi l_2 e l_3 avranno ampiezza variabile al variare dei valori angolari $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. I vertici V_2 e V_3 geometricamente si determinano risolvendo il triangolo rettangolo $V_1 V_2 T_1$.

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{1}{2} [400^\circ - (\alpha_1 + \beta_1)] \quad 6)$$

$$\overline{V_1 V_2} = \overline{V_1 V_3} = \frac{R_1}{\cos \delta_1} \quad 7)$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 100^\circ - \delta_1$$

$$\beta_2 = \beta_3 = 200^\circ - \gamma_1$$

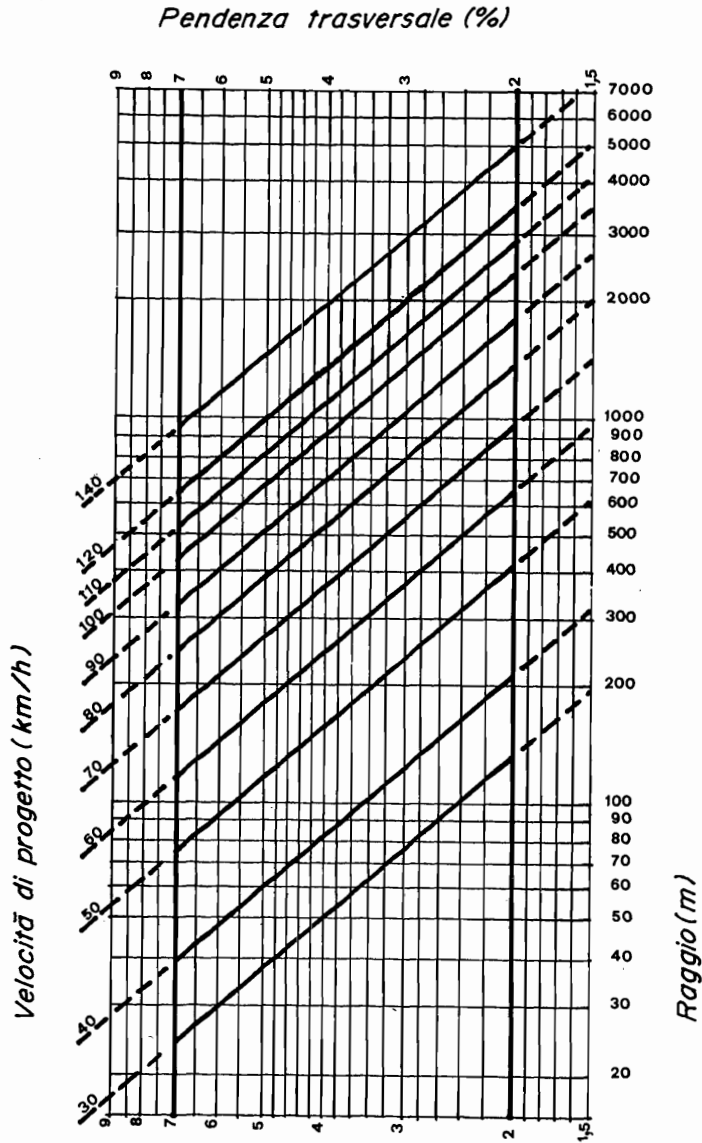


Fig. 4 - Relazione tra velocità di progetto, raggio di curvatura e pendenza trasversale (Fonte CNR).
 Relationship between speed of plan, radius of bend and transverse slope (CNR source).

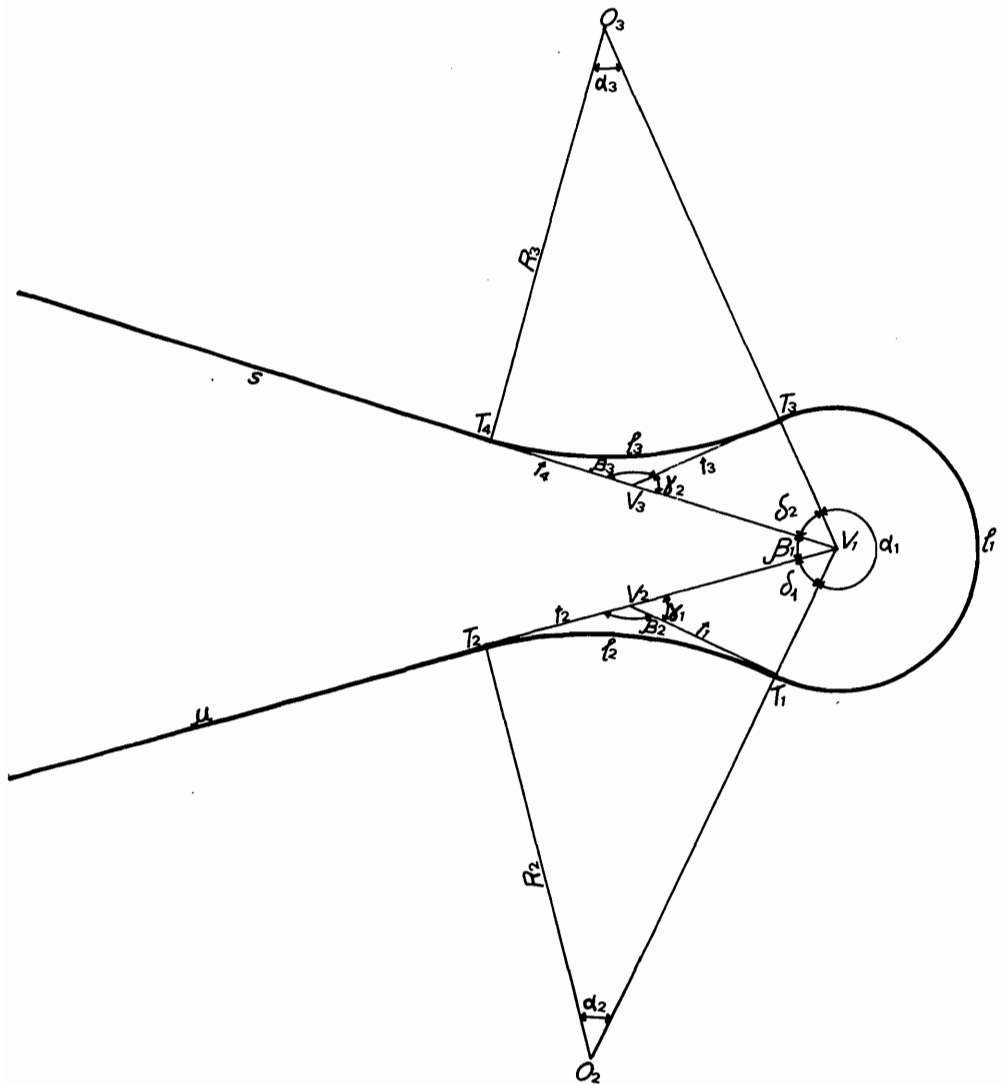


Fig. 5 - Tipo ed elementi di raccordo con curva esterna.
External symmetrical hairpin bend.

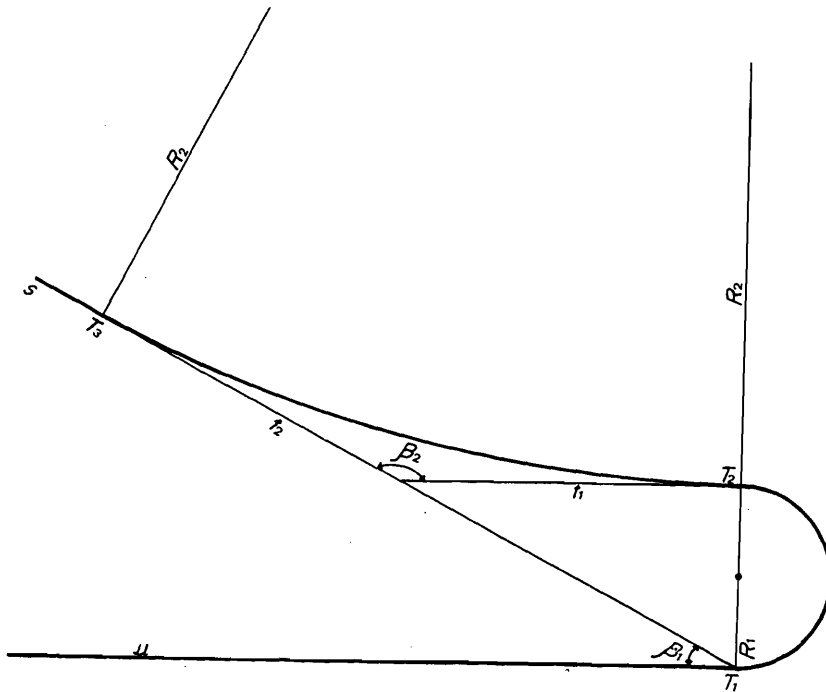


Fig. 6 - Elementi di tornante asimmetrico.
Asymmetrical hairpin bend.

1.5. Raccordi progressivi

Si è fin qui supposto, che due rettilinei convergenti in un punto V vengano raccordati con un arco di circonferenza, generando una traiettoria tridimensionale mistilinea. Un tale tracciato, concettualmente logico e di facile soluzione geometrica, non corrisponde alla traiettoria reale del veicolo: infatti questo, nell'affrontare la curva, è influenzato dal comportamento strettamente individuale del guidatore che attraverso la sterzata fa compiere al veicolo una curva di raggio variabile fino a far coincidere la traiettoria del mezzo con l'asse della corsia.

Il passaggio istantaneo dal moto in rettilineo al moto in curva genera bruscamente l'insorgere della forza centrifuga. Tale forza crea condizioni di disagio per i passeggeri fin dalle basse velocità ed è dannosa per la stabilità del veicolo con l'aumentare dell'andatura. Per adeguare la strada alle esigenze del mezzo sono state introdotte nelle moderne arterie curve di transizione diverse (clotoide, lemniscata, parabola, spirale di Searles, ecc.) con lo scopo di moderare l'impatto del veicolo con la curva circolare, vale a dire ridurre i disagi arrecati dalla forza centrifuga nel passaggio da $\rho = \infty$ a $\rho = R$.

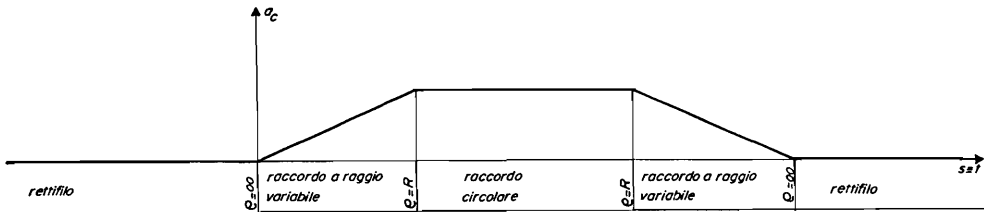


Fig. 7 - Andamento dell'accelerazione centrifuga.
State of centrifugal acceleration.

1.6. Raccordi clotoidici

Fra i raccordi citati in precedenza ha ampia applicazione il raccordo ad arco di clotoide di equazione parametrica

$$\frac{1}{\rho} = \frac{s}{A^2} \quad 8)$$

dove ρ è il raggio di curvatura nel generico punto P, s lo sviluppo dell'arco e A una costante detta appunto costante della clotoide. Le tre grandezze ρ , s , e A vanno espresse in metri.

Specifiche tabelle forniscono le lunghezze dei principali elementi di una clotoide unitaria ($A = 1$). Le lunghezze degli elementi di una generica clotoide si ottengono moltiplicando i valori della clotoide unitaria per il parametro A .

Si ricorda che $A = \sqrt{L \cdot R}$, ove L rappresenta lo sviluppo del raccordo e R il raggio della curva circolare.

La clotoide nel piano cartesiano è rappresentata da una doppia spirale le cui spire vanno sempre più confondendosi con una circonferenza di raggio nullo.

Il tratto di curva impiegato per il raccordo stradale è quello iniziale, e più precisamente quello compreso tra il punto di flesso, dove $\rho = \infty$, ed il punto in cui $\rho = R$ corrispondente all'inizio del raccordo circolare.

La tangente alla curva nel punto P forma con l'asse x l'angolo φ , che si può calcolare con l'espressione

$$\varphi = \frac{s}{2\rho} \quad 9)$$

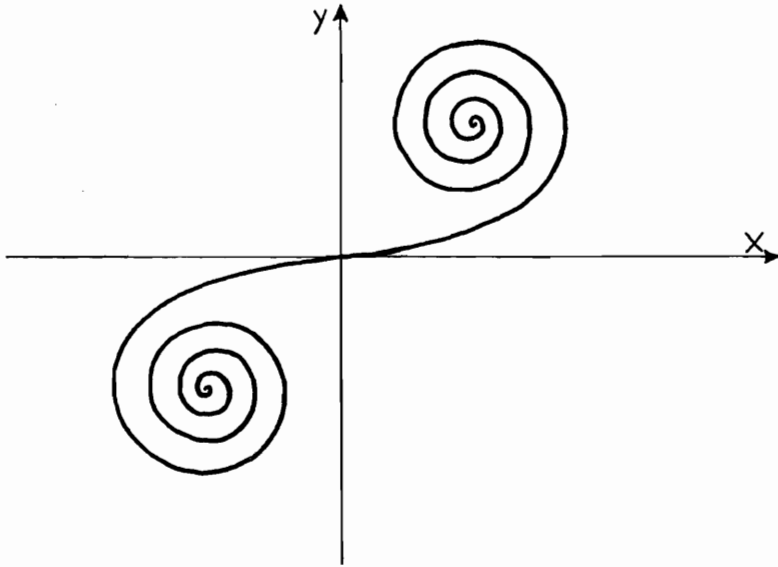


Fig. 8 Rappresentazione della clotoide in un piano cartesiano.
Description of clothoid.

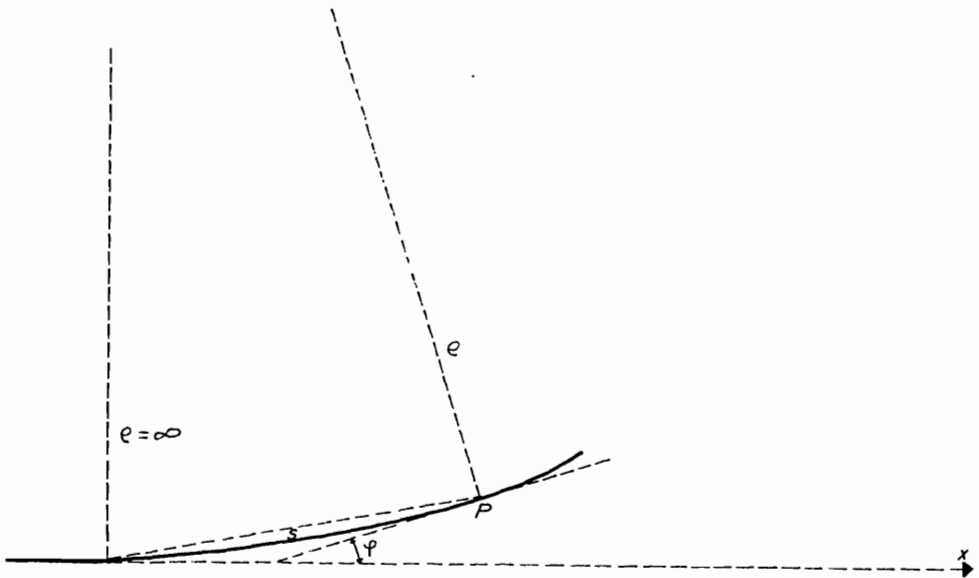


Fig. 9 - Tipo ed elementi di raccordo progressivo.
Progressive connecting curve.

Considerato che $ds = \rho d\varphi$, la 9) si ricava dalla 8): infatti sostituendo

$$d\varphi = \frac{ds}{\rho} = \frac{s}{A^2} ds$$

e integrando

$$\int d\varphi = \int \frac{s}{A^2} ds$$

si ottiene

$$\varphi = \frac{s^2}{2A^2} + c \quad \text{dove } c = 0 \quad \text{per } \varphi = 0 \quad s = 0$$

e ancora per la 8) $\varphi = \frac{s}{2\rho}$.

Ipotizzando l'andatura del mezzo a velocità costante lungo il raccordo, esso sarà sollecitato dall'accelerazione centrifuga

$$a_c = \frac{v^2}{\rho} \quad 10)$$

variabile da punto a punto.

Sostituendo a $\frac{1}{\rho}$ il suo valore nella 8) si ottiene

$$a_c = \frac{v^2}{A^2} s \quad 10')$$

e sapendo che $s = vt$ risulta

$$a_c = \frac{v^3 t}{A^2} \quad 10'')$$

Poiché A è una costante e v si è ipotizzata costante, anche il rapporto $\frac{a_c}{t}$ è costante: ne consegue che l'accelerazione centrifuga varia linearmente con il tempo

$$\frac{a_c}{t} = \frac{v^3}{A^2} = c \text{ (costante di contraccollo)} \quad 10''')$$

Ponendo $s = L$, per $\rho = R$ (ossia quando il punto P coincide con la fine della curva) per la 8) si ottiene

$$L = \frac{A^2}{R} \quad 11)$$

ed essendo per la 10''') $A^2 = \frac{v^3}{c}$ risulta

$$L = \frac{v^3}{c R} \quad 11')$$

Le norme tecniche del CNR prescrivono alcuni limiti per A , c , L e φ a seconda delle posizioni del raccordo con l'elemento a raggio costante. Si ricorda che φ è l'angolo al centro sotteso all'arco di clotoide, e che si considera elemento a raggio costante anche l'asse rettilineo.

Se la curva a raggio variabile è formata dalla successione di due clotoidi di parametro A_1 e A_2 fra questi deve essere verificata la relazione

per $A_2 \leq 200$ m $\frac{A_1}{A_2} \leq 1,5$

per $A_2 > 200$ m $\frac{A_1}{A_2 - 100} \leq 3$

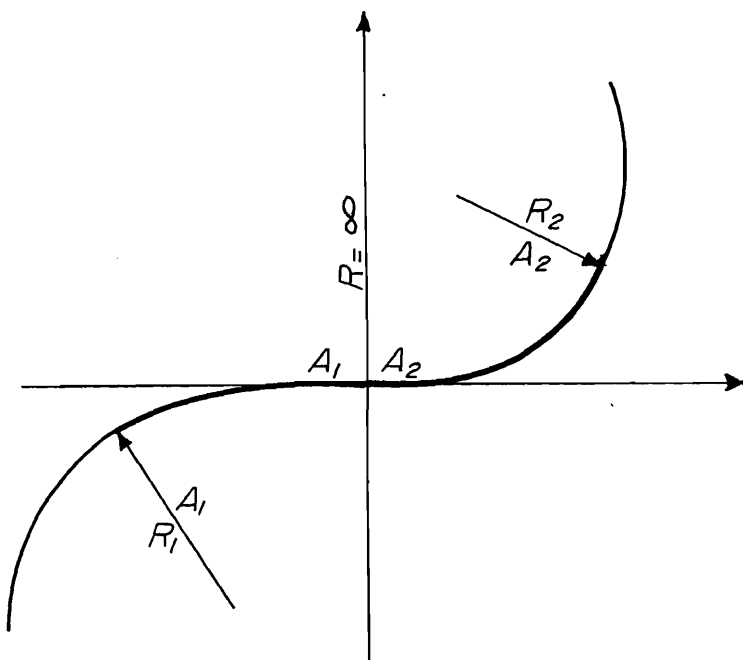


Fig. 10 - Raccordo di due tronchi stradali circolari mediante due tratti di clotoide aventi parametri A_1 e A_2 .
Connecting of two circular road sections by two clothoid stretches having parameters A_1 and A_2 .

Gli elementi di raccordo con arco di clotoide tra rettilo e curva circolare devono avere lunghezze L_1 e L_2 tali che

$$L_1, L_2 \geq 0,4\alpha'R$$

e inoltre

$$A_1, A_2 \geq R \sqrt{0,4\alpha'}$$

$$\phi' \geq 0,05$$

dove α è l'angolo di deviazione dei rettili, complementare all'angolo β , e ϕ' corrisponde ad $\frac{1}{18}$ di radiante.

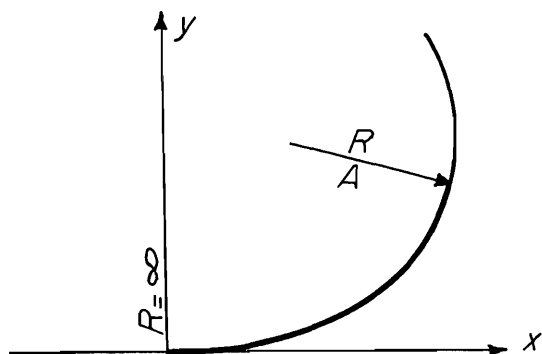


Fig. 11 - Raccordo di rettilo e curva circolare mediante clotoide.
Connection of a straight stretch and a circular curve using a clothoid.

Affinché lungo i raccordi clotoidali si abbia una graduale variazione d'accelerazione trasversale devono valere le relazioni seguenti nelle quali V è espressa in Km/h

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

$$c = \frac{50,4}{V}$$

Considerata la limitata applicazione nella viabilità rurale delle curve raccordate con la successione di due archi clotoidali, di seguito verrà trattato solo l'inserimento dell'arco di clotoide tra rettilo e curva circolare.

1.7. Inserimento del raccordo clotoidico fra rettilo e curva circolare

Aspetto importante assume l'inserimento dei raccordi di transizione ad arco di clotoide fra tratti di rettilo e curve di tipo circolare, operazione che determina sposta-

menti al tracciato originale di entità non trascurabile, conseguenti alle modalità con cui il raccordo viene inserito. Le possibilità di scelta per effettuare l'inserimento sono tre

- a) raccordi a raggio conservato,
- b) raccordi a centro conservato,
- c) raccordi a vertice conservato.

Nei metodi attuali di progettazione, si fa uso comunemente di raccordi del primo tipo essendo i soli che permettono di mantenere inalterato il raggio e di fissarne preventivamente l'ampiezza nel rispetto delle norme.

Il secondo e terzo caso, considerata la loro limitata applicazione, non vengono in questa sede trattati.

Nota la posizione dei rettili da raccordare e fissato il valore del raggio R , è possibile determinare l'angolo al centro α e le tangenti t_1 e t_2 , per poi successivamente tracciare il raccordo circolare a raggio costante.

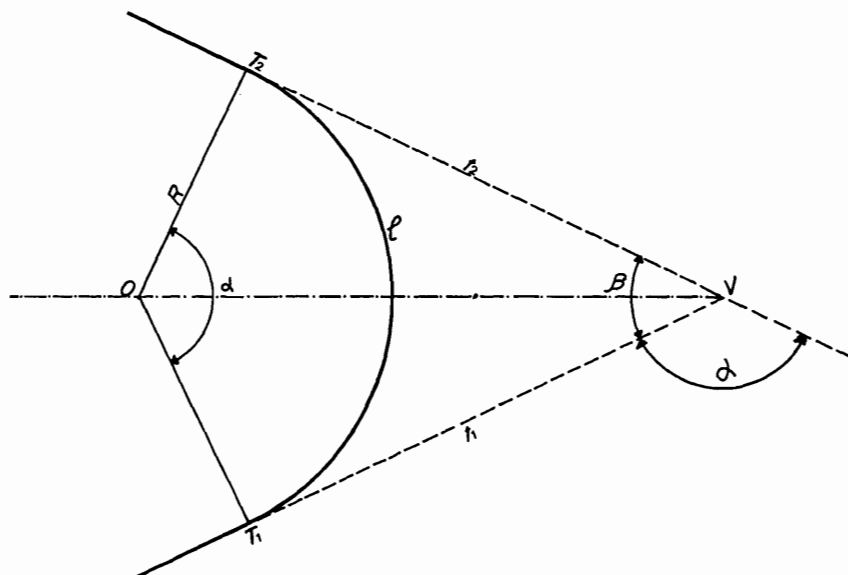


Fig. 12 - Inserimento di raccordo circolare.
Entry into ring road.

Occorre ora inserire, tra i rettili e il raccordo a raggio costante, due raccordi simmetrici ad arco di clotoide, aventi nel punto di contatto con il rettilo $\rho = \infty$ e nel punto di contatto con la curva circolare $\rho = R$.

Indicato con ϕ l'angolo formato dalla tangente nel punto terminale T_c e il rettilo (si ricorda che per la 9) $\phi = \frac{L}{2R}$, l'angolo al centro corrispondente alla curva circolare compresa tra i due raccordi di transizione vale $\alpha - 2\phi$.

Si è così in grado di individuare graficamente i punti di contatto tra raccordi e curva circolare a meno dello spostamento del tracciato.

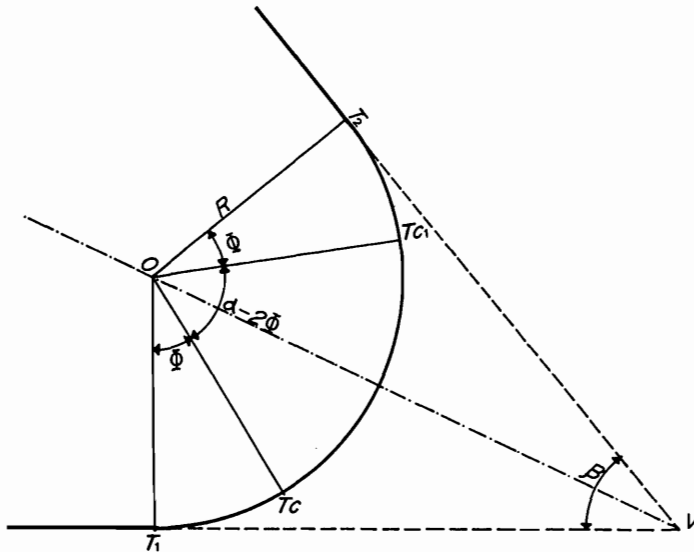


Fig. 13 - Angolo del raccordo circolare.
Angle of ring road.

Se nei punti T_c e T_{c1} si inseriscono i raccordi clotoidici di sviluppo L , si ottengono i due punti di tangenza T_0 e T_{01} , non appartenenti ai rettifili ma rispettivamente a due rette r e s parallele ai rettifili, situate ad una distanza ΔR .

Per determinare graficamente lo spostamento del tracciato e in conseguenza l'andamento reale dell'intero raccordo occorre traslare parallelamente alla bisettrice VO i punti T_0 , T_c , T_{c1} , T_{01} fino a quando T_0 e T_{01} incontrano i rettifili.

La soluzione analitica del problema consiste nel determinare gli spostamenti

$$\Delta R = Y_{\max} - R(1 - \cos \phi) \quad (12)$$

$$\Delta 0 = \frac{\Delta R}{\cos \alpha/2} \quad (13)$$

e le distanze

$$X_0 = X_{\max} - R \sin \phi \quad (14)$$

$$X_1 = X_0 + \Delta 0 \sin \alpha/2 = X_0 + \Delta R \operatorname{tg} \alpha/2 \quad (15)$$

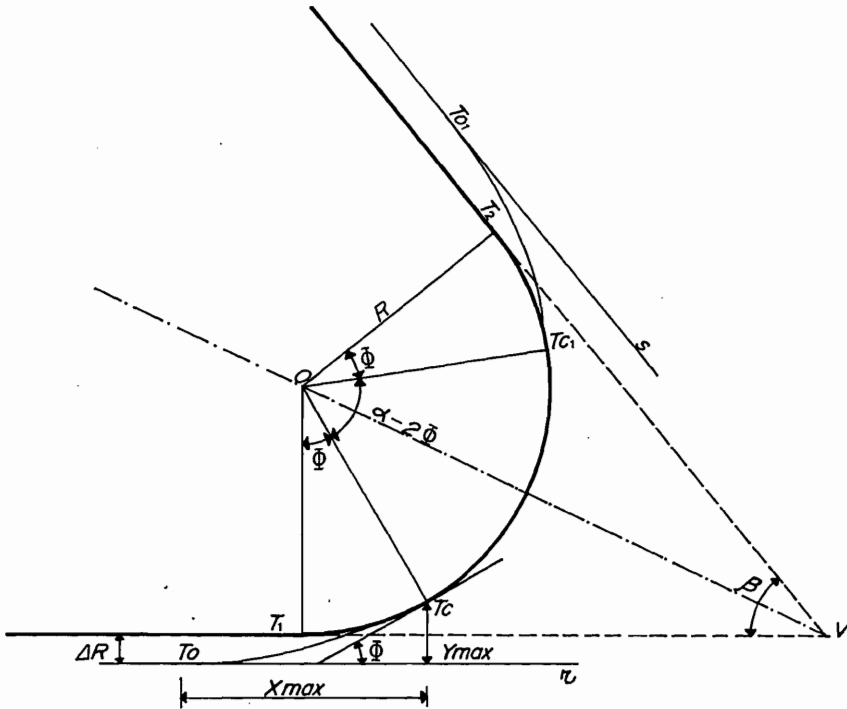


Fig. 14 - Posizione delle rette r e s.
Position of straight lines r and s.

1.8. *Raccordi mediante spirale di Searles*

La spirale di Searles, introdotta dall'omonimo matematico americano nel 1949, è la curva che più si avvicina alla clotoide e consiste in una spirale policentrica formata da archi a corda costante, i cui angoli al centro crescono progressivamente di 10'. Elementi fondamentali della spirale sono l'angolo φ formato dall'ascissa e dalla tangente alla curva in un punto e pari alla somma di tutti gli angoli al centro fino a quel punto, la corda C che l'autore assume pari a 100 piedi (30,48 m), l'angolo δ che ciascuna corda forma con l'asse X, l'angolo ω che l'ascissa forma con la congiungente l'origine con il punto.

Il valore angolare di δ è pari alla somma dell'angolo nel punto iniziale della corda più la metà dell'angolo al centro corrispondente alla corda stessa.

Ossia in termini numerici

$\varphi_1 = 10'$	$\delta_1 = 0' + 10'/2 = 5'$
$\varphi_2 = 10' + 20' = 30'$	$\delta_2 = 10' + 20'/2 = 20'$
$\varphi_3 = 10' + 20' + 30' = 60'$	$\delta_3 = 30' + 30'/2 = 45'$
$\varphi_4 = 10' + 20' + 30' + 40' = 100'$	$\delta_4 = 60' + 40'/2 = 80'$

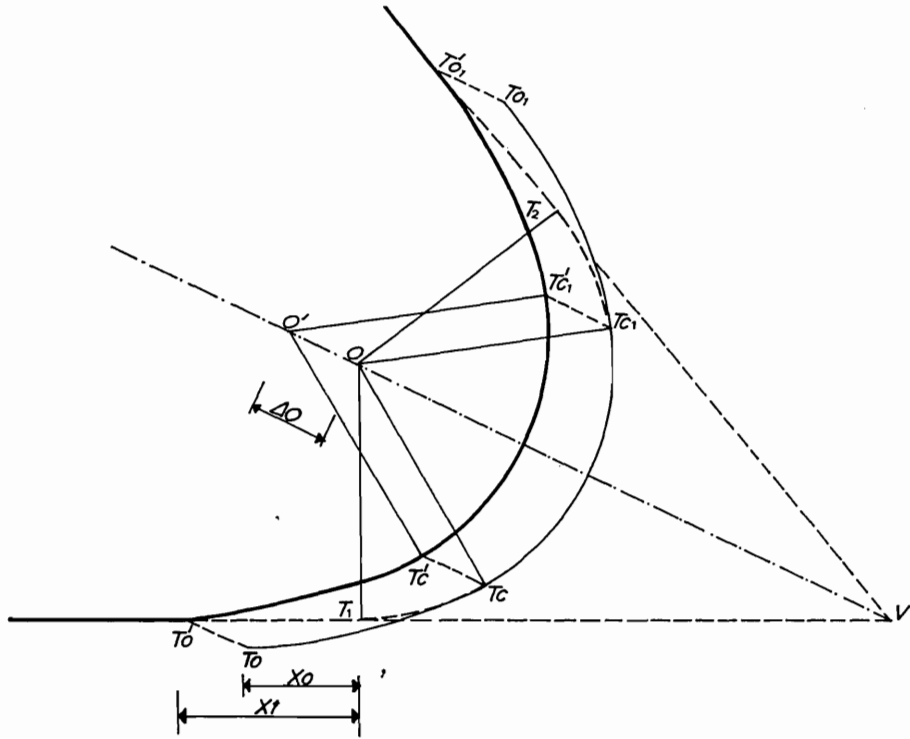


Fig. 15 - Inserimento di raccordo progressivo ad arco di clotoide a raggio conservato.
Entry using a clothoid arc and a fixed radius.

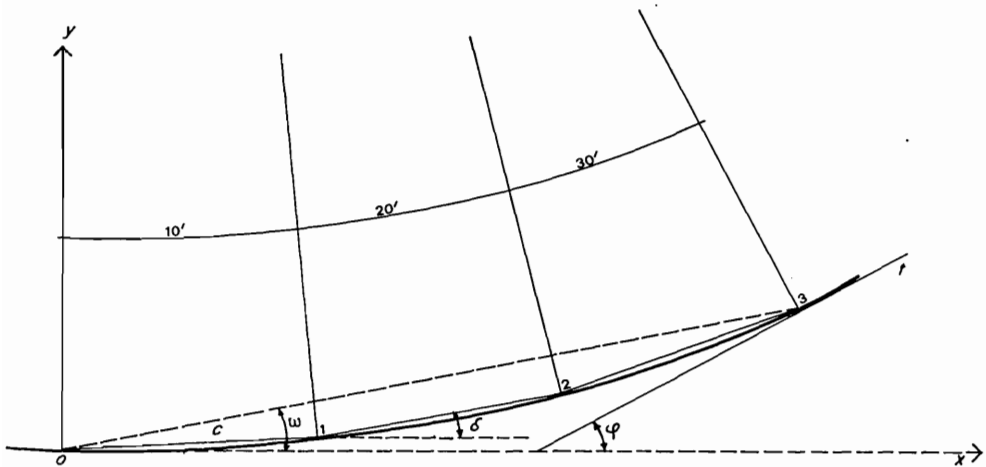


Fig. 16 - Spirale di Searles.
Searle's spiral.

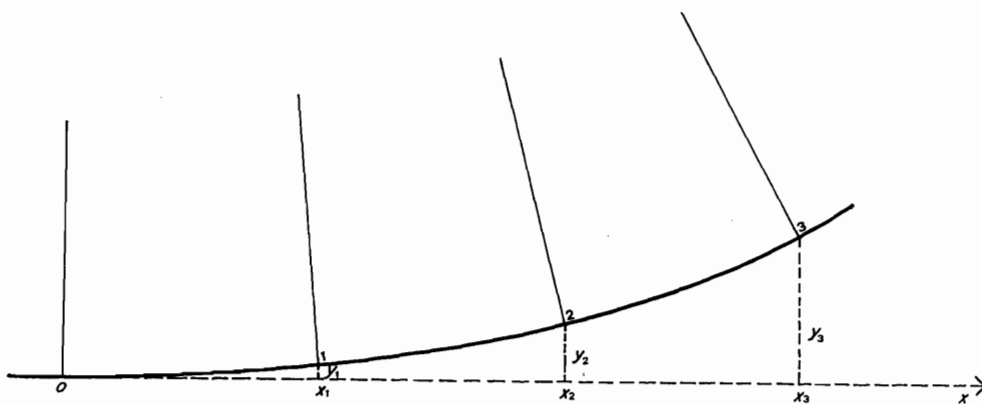


Fig. 17 - Coordinate dei punti nella spirale di Searles.
Coordinates of points in Searle's spiral.

Considerando il triangolo rettangolo OX_1' , con $C = 100$ piedi = 30,48 m, si desume facilmente che

$$1) \begin{cases} x_1 = 100 \cos \delta_1 = 30,48 \cos 5' \\ y_1 = 100 \sin \delta_1 = 30,48 \sin 5' \end{cases} \quad 16)$$

$$2) \begin{cases} x_2 = x_1 + 100 \cos \delta_2 = 30,48 (\cos 5' + \cos 20') \\ y_2 = y_1 + 100 \sin \delta_2 = 30,48 (\sin 5' + \sin 20') \end{cases}$$

.....

$$n) \begin{cases} x_n = x_{n-1} + 100 \cos \delta_n = \sum_{1}^n 30,48 \cos \delta_n \\ y_n = y_{n-1} + 100 \sin \delta_n = \sum_{1}^n 30,48 \sin \delta_n \end{cases}$$

Il valore angolare di ω si determina attraverso le coordinate del punto considerato

$$\operatorname{tg} \omega_n = \frac{y_n}{x_n}$$

Per l'inserimento del raccordo policentrico di Searles vale quanto detto per l'arco di clotoide.

2. RACCORDI VERTICALI

Esaurito l'aspetto relativo ai raccordi orizzontali, ricordato anche che le strade sono

in realtà assimilabili a spezzate mistilinee tridimensionali, è opportuno ora affrontare seppure in breve i raccordi di tipo verticale, comunemente realizzati con archi di cerchio che possono essere concavi o convessi.

Si dice convesso un raccordo fra due livellette generalmente concordi nel segno, ma aventi pendenza di valore diverso, e nelle quali la pendenza della prima è maggiore della seconda in valore relativo.

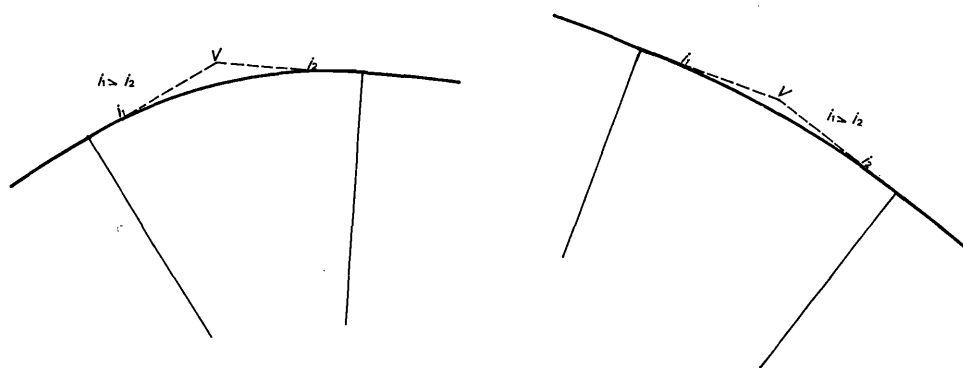


Fig. 18 - Raccordi convessi.
Convex connecting curves.

Viceversa si ha un raccordo concavo quando fra due livellette, ancora generalmente concordi nel segno, il valore della pendenza della prima è minore, sempre in senso relativo, rispetto a quello della seconda.

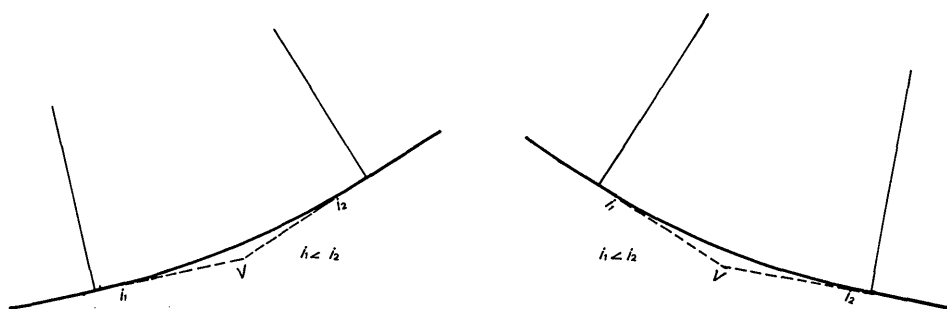


Fig. 19 - Raccordi concavi.
Concave connecting curves.

Raccordi verticali convessi e concavi atipici e casi limite dei precedenti perché formati tra livellette di segni discordi, sono rispettivamente i dossi e le sacche: nei primi ad una livelletta in salita ne segue una in discesa, nei secondi viceversa ad una in discesa segue una livelletta in salita.

Fissato il raggio del raccordo circolare è possibile determinarne la tangente t_v e lo sviluppo l_v mediante le espressioni

$$t_v = R_v \operatorname{tg} \alpha/2 \quad 2''')$$

$$l_v = \frac{\pi R_v \alpha^g}{200^g} \quad 3')$$

Le norme tecniche del CNR stabiliscono le caratteristiche geometriche minime e indispensabili da osservare nello studio di detti raccordi differenziandoli tra concavi e convessi.

a) Raccordi concavi

Il raggio di curvatura di questi raccordi deve essere tale da garantire, di notte e con i fari, una distanza di visibilità pari almeno alla distanza d'arresto D_a e viene calcolato con le due relazioni che seguono a seconda che D_a sia maggiore o minore dello sviluppo del raccordo.

Se $l_v > D_a$, il valore R_v del raggio è indipendente dalla differenza in valore assoluto tra le pendenze delle livellette Δi e si ottiene con la relazione

$$R_v = \frac{D_a^2}{2(h + D_a \operatorname{tg} \vartheta)} \quad 17)$$

dove h è l'altezza dei fari sul piano stradale e ϑ l'angolo del fascio luminoso.

Quando $l_v < D_a$, il raggio R_v del raccordo dipende anche da Δi e si calcola con l'espressione

$$R_v = \frac{2}{\Delta i} \left[D_a - \frac{1}{\Delta i} \left(h + D_a \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} \right) \right] \quad 18)$$

Ponendo $h = 0,50$ e $\vartheta = 2^\circ$, i valori di R_v si possono determinare con il seguente abaco riportato in figura 20.

b) Raccordi convessi

Nel calcolare il raggio di curvatura di questi raccordi è necessario garantire la distanza di visuale libera D : a tal fine si seguono due procedimenti distinti a seconda che D sia maggiore o minore della lunghezza del raccordo.

Per $l_v > D$, la condizione più sfavorevole si ha quando l'osservatore e l'ostacolo sono entrambi sul raccordo: in questo caso il valore del raggio è indipendente da Δi e si determina con la relazione

$$R_v = \frac{D^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})} \quad 18')$$

dove h_1 e h_2 sono rispettivamente l'altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente e l'altezza dell'ostacolo; si assume di norma $h_1 = 1,10$ m e $h_2 = 0,10$ m quando l'ostacolo è fisso e $h_2 = 1,10$ m quando trattasi di un veicolo in movimento. Se $l_v < D$ il raggio del raccordo è legato anche a Δi e si ottiene dall'espressione

$$R_v = \frac{2}{\Delta i} \frac{(D - h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})}{\Delta i} \quad 18'')$$

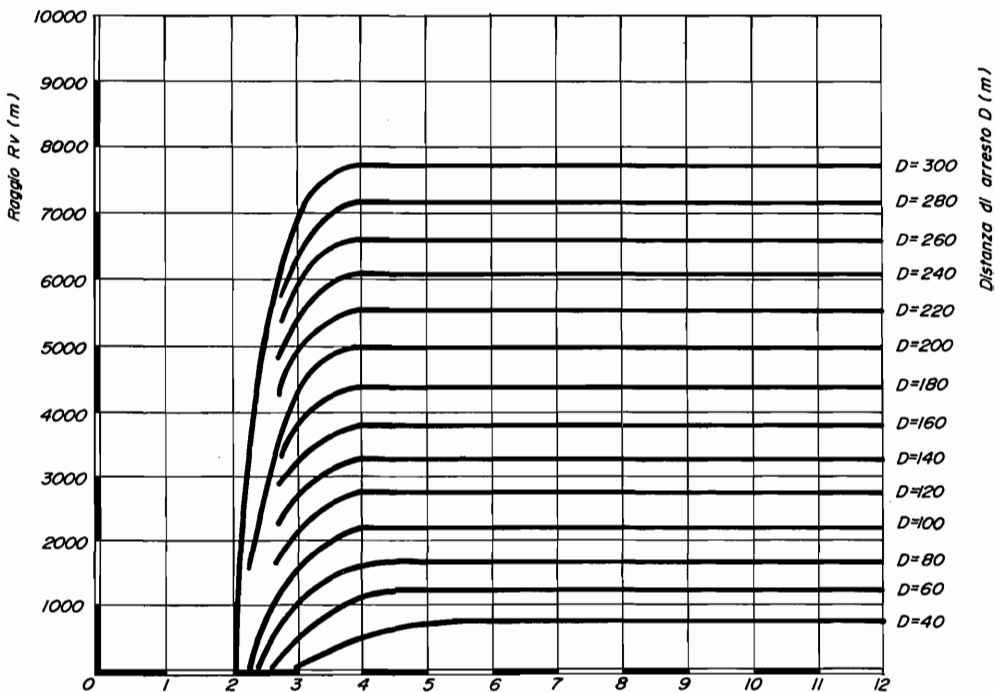


Fig. 20 - Relazione fra raggio di curvatura R_v , distanza d'arresto D e differenza di pendenza Δi nei raccordi concavi (Fonte CNR).

Relationship between the radius of the bend, stopping distance and slope difference at concave connecting curves.

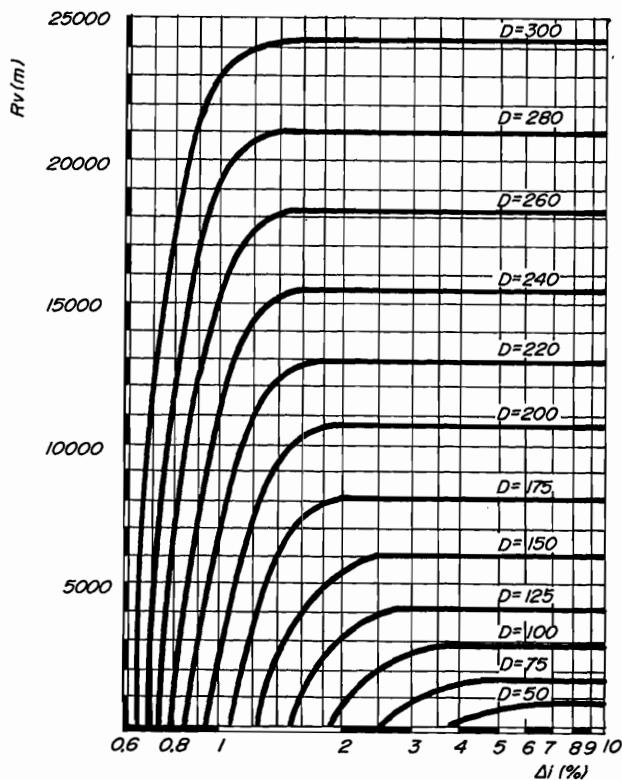


Fig. 21 - Relazione fra raggio di curvatura R_v , differenza di pendenza Δi e distanza di visibilità D , per carreggiate a senso unico con $h_1 = 1,10$ m e $h_2 = 0,10$ m (Fonte CNR).

Relationship between the radius of the bend, the slope difference and the range of visibility, for one way carriageway with $h_1 = 1.10$ m and $h_2 = 0.10$ m (CNR source).

Per piccoli valori di Δi si può verificare che i raggi determinati con l'abaco di fig. 20 (con D uguale alla distanza di visibilità di sorpasso o al doppio della distanza di arresto) siano minori di quelli determinati con l'abaco della fig. 21 (dove D è uguale alla distanza di arresto). Ne consegue che, per strade a doppio senso e per valori contenuti di Δi , la scelta del raggio viene fatta sul valore maggiore ottenuto dagli abachi. I tratti delle curve rappresentati a tratteggio nella fig. 22 forniscono valori di R_v inferiori a quelli deducibili dalla fig. 20. Ciò vale solo se nel raccordo non è consentito il sorpasso e quindi D è pari al doppio della distanza di arresto.

Nello studio del tracciato si deve fare in modo che la lunghezza della livelletta sia almeno pari alla somma delle tangenti di due curve consecutive. È consigliabile comunque che i due punti di tangenza siano distanti tra loro non meno di $80 \div 100$ m.

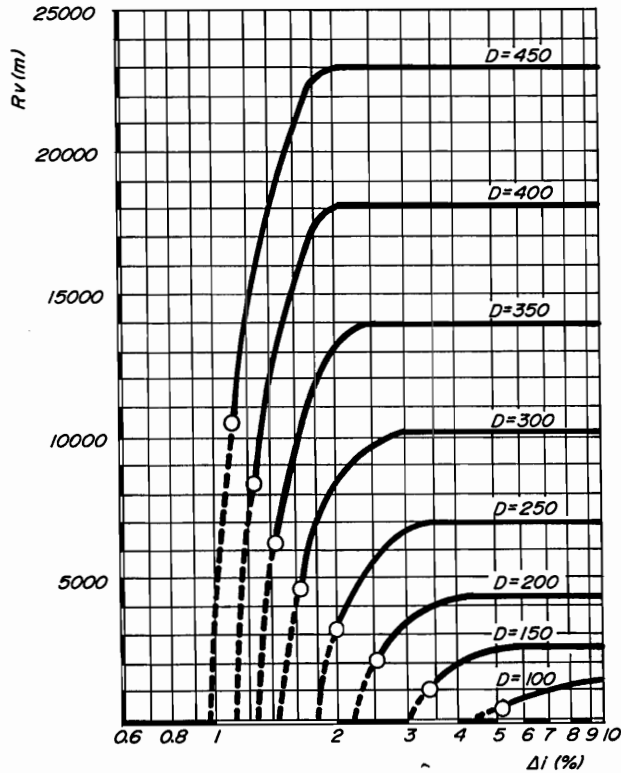


Fig. 22 - Relazione fra R_v , Δi e D per carreggiate a doppio senso con $h_1 = h_2 = 1,10$ m (Fonte CNR).
Relationship between R_v and D for two way carriageways with $h_1 = h_2 = 0.10$ m (CNR source).

3. ALLARGAMENTO IN CURVA

Pur non configurandosi di per sé come caso vero e proprio di raccordo, l'allargamento di corsia in corrispondenza delle curve può esservi in qualche modo assimilato, tenuto conto che verosimilmente di una sorta di raccordo si tratta, seppure definibile come soluzione di tipo «corretto». Da ciò l'opportunità e l'utilità di citare, seppure brevemente, anche tale aspetto come raccordo atipico.

È noto che quando un veicolo si muove lungo una carreggiata non rettilinea le ruote posteriori non seguono quelle anteriori ma descrivono una curva interna rispetto all'asse anteriore. Da questo problema, particolarmente sentito quando il raggio è

piccolo e invece è lungo il passo del veicolo, deriva la necessità di allargare la carreggiata in corrispondenza della curva affinché siano mantenuti gli stessi margini di «franco» adottati in rettilineo.

Semplici considerazioni geometriche, consentono di determinare l'incremento di larghezza Δ da assegnare alla corsia, una volta prefissate le dimensioni del veicolo e l'ampiezza del raggio di curvatura.

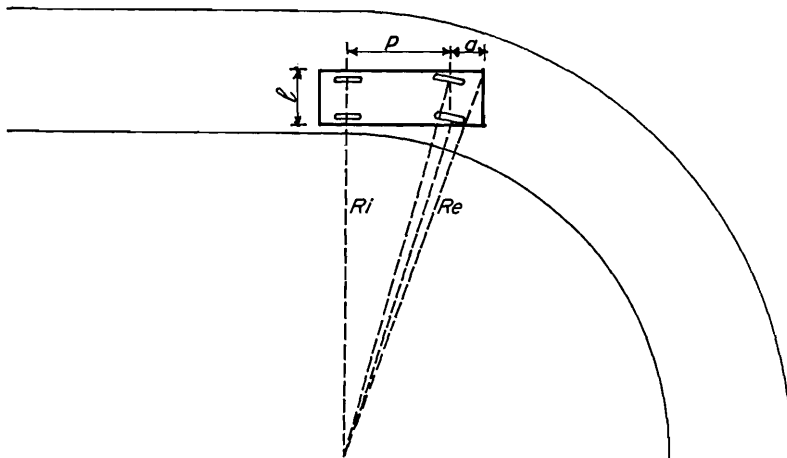


Fig. 23 - Iscrizione di veicolo in curva.
Entry of vehicles on a bend.

Noti gli elementi R_i , l , p ed a , per conoscere Δ è necessario preliminarmente calcolare R_o , che per il teorema di Pitagora vale

$$R_o = \sqrt{(R_i + l)^2 + (p + a)^2} \quad 19)$$

e quindi

$$\Delta = R_o - (R_i + l) \quad 20)$$

La formula proposta conduce a risultati geometricamente esatti, per la determinazione dei quali è però necessario conoscere a priori le dimensioni dei veicoli circolanti, e pertanto non ha utilità pratica. Altre formule empiriche sono state studiate per affrontare e risolvere tale problema, ma tutte cadute in disuso. Infatti nella progettazione stradale corrente per stabilire l'incremento di larghezza si fa ormai uso delle norme del CNR che prescrivono allargamenti in funzione della tipologia di traffico e del raggio di curvatura.

Tale allargamento, per singola corsia, si determina con la formula

$$\Delta = \frac{K}{R} \text{ (espresso in metri)} \quad (21)$$

dove K è una costante uguale a 45 per le strade a corsia unica, mentre per le strade con due o più corsie K è uguale a 30 se la percentuale del traffico pesante rispetto al totale è uguale o inferiore al 10% ed è uguale a 40 se detto traffico supera il 10%, R è il raggio medio della corsia; per raggi superiori a 40 m si può assumere R pari al raggio medio della carreggiata.

Determinato l'allargamento, questo va riportato metà all'esterno e metà all'interno del raccordo planimetrico. Nelle strade con corsia singola da percorrere a senso unico alternato, l'allargamento è consigliabile sia effettuato dalla parte interna, perché contribuisce a migliorare la visibilità; soltanto quando il raggio assume valori inferiori a 30 m è preferibile effettuare l'allargamento sul lembo esterno. Nei raccordi con curva di transizione l'allargamento ha valore zero all'inizio del raccordo e valore Δ alla fine. In un generico punto intermedio del raccordo

$$\Delta_n = \eta \Delta \text{ (m)} \quad (22)$$



Fig. 24 - Esempio di allargamento di corsia in curva con raccordo di transizione.

An example of lane widening on a bend with a transition connecting curve.

Le norme tecniche del CNR danno i seguenti valori per il coefficiente η

X/L	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
η	0,000	0,004	0,030	0,102	0,240	0,400	0,560	0,720	0,872	0,968	1,000

dove L rappresenta lo sviluppo del raccordo di transizione e x l'ascissa curvilinea del punto considerato.

Quando il raccordo non ha curva di transizione è comodo eseguirne un tratto metà in rettilo metà in curva, con raggio all'incirca doppio del raggio della curva. La lunghezza del tratto di raccordo si ottiene in forma approssimata dalla seguente espressione

$$L \cong 2d \cong 2 \sqrt{2R\Delta t} \quad (23)$$

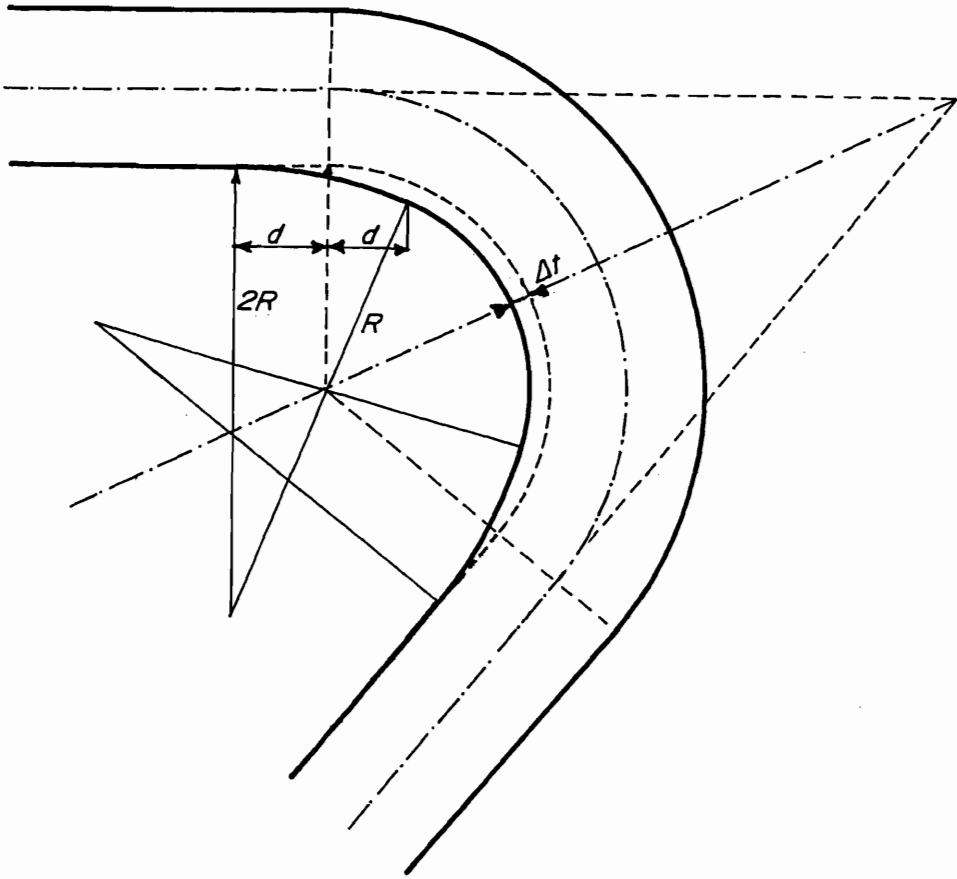


Fig. 25 - Esempio di allargamento di corsia in curva con raccordo monocentrico.
An example of lane widening on a bend with a monocentric connecting curve.

CONCLUSIONI

Dire quali siano le soluzioni ottimali in assoluto non è possibile, essendo numerose e diverse le variabili che concorrono al problema.

Di volta in volta prevarrà ora l'una ora l'altra a seconda dell'importanza dell'arteria viaria in progetto, della velocità consentita ai veicoli lungo il tracciato, delle condizioni oggettive locali soprattutto in relazione alla configurazione del terreno, dei limiti di funzionalità e di costo imposti inizialmente.

Saranno senza dubbio da preferire le soluzioni di raccordo che evitano un impatto brusco con la curva e che non comportano improvvise variazioni di traiettoria ai veicoli durante il moto per effetto di cambiamenti del raggio di curvatura: tali sono certamente quelle che presentano raccordi dolci e coordinati dei tratti di rettilineo o di tipo mistilineo in genere mediante curve aventi raggio il più compatibilmente possibile ampio.

Nelle scelte resta comunque da privilegiare la sicurezza di marcia dei veicoli, ma non ultimo il comfort per l'utenza, aspetto non secondario anche ai fini dello stress da guida, causa indiretta e frequente degli incidenti.

BIBLIOGRAFIA

DEL GAUDIO A., 1986. Nuovo Corso di Topografia. Calderini.

TESORIERE G., 1983. Strade ferrovie aeroporti. Vol. I, UTET Torino.

FERRARI P., GIANNINI F., 1983. Geometria e progetto di strade. Vol. I, A. Mondadori.

BONFIGLI C., SOLAINI L., 1982. Trattato di Topografia. Vol. III, Le Monnier Firenze.

MONARDO L., 1981. Pianificazione e tecnica delle infrastrutture stradali, Università di Roma. Facoltà di Architettura.

Bollettino Ufficiale del CNR n. 78 del 28.7.1980.

DRAGONETTI, PROCINO, ROSSI. Topografia e disegno topografico, AGOSTINI A.: Nuovo corso di Topografia. Vol. III, Hoepli.