

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto funzionale Brescia-Verona

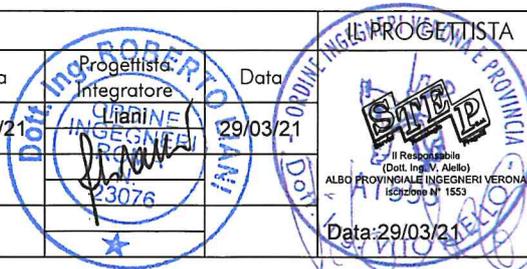
PROGETTO ESECUTIVO

VARIANTE DI TRACCIATO IN CORRISPONDENZA PROPRIETA' ANCAP RELAZIONE TECNICA DEL TRACCIAMENTO

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta)	
Data: _____	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 0	E	E 2	R O	I F 0 0 0 0	0 0 3	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data
A	Emissione	Guffante	29/03/21	Aiello	29/03/21	Lianni	29/03/21
B							
C							



CIG. 751447334A

File: INOR10EE2ROIF0000003A_01.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

**INDICE**

1. PREMESSA.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	3
3. ELABORATI DI TRACCIAMENTO	4
3.1. APPLICAZIONE	4
3.2. PROGRESSIVAZIONE DEGLI ASSI.....	5
3.3. TIPOLOGIA E CONTENUTI	5
3.3.1. <i>Tabulati di tracciamento</i>	5
3.3.2. <i>Planimetrie di tracciamento</i>	6
4. GEOMETRIA PLANIMETRICA DEGLI ASSI DI PROGETTO.....	8
4.1. PREMESSA.....	8
4.2. RELAZIONI CINEMATICHE DEL TRACCIATO	9
4.3. PARAMETRI CARATTERISTICI E FORMULE UTILIZZATE PER LA CLOTOIDE.....	10
4.4. CURVA MONOCENTRICA	12
5. GEOMETRIA ALTIMETRICA DEGLI ASSI DI PROGETTO.....	13

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
10

Codifica Documento
E E2 RO IF 00 00 003

Rev.
A

Foglio
3 di 14

1. PREMESSA

Il presente documento si propone di descrivere il contenuto degli elaborati di tracciamento, il loro significato e modo di impiego, nonché gli algoritmi di calcolo da utilizzare per la progettazione esecutiva del tracciato plano-altimetrico di tutti gli assi ferroviari presenti nel progetto.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I riferimenti principali per l'elaborazione dei dati di tracciamento sono le seguenti istruzioni tecniche di RFI:

- Rif. [1] RFI TCAR IT AR 01 001 "Norme Tecniche per la progettazione dei tracciati ferroviari"
- Rif. [2] RFI TCAR IT AR 01 003 "Progettazione dei nuovi tracciati ferroviari nei posti di servizio. Verifica dei tracciati nei posti di servizio già in esercizio"
- Rif. [3] RFI TCAR ST AR 01 003 "Standard dei materiali d'armamento per lavori di rinnovamento e costruzione a nuovo".

3. ELABORATI DI TRACCIAMENTO

3.1. Applicazione

Il soggetto fondamentale a cui si riferiscono i dati numerici e grafici degli elaborati di tracciamento è *l'asse*, inteso come entità piano – altimetrica di progetto rappresentata dalla linea ideale di mezzeria di un binario.

Il Progetto Definitivo prevede la realizzazione di più assi, evidenziati nella sottostante tabella, che vengono tutti tracciati negli elaborati in esame.

	LINEA	ASSE DI PROGETTO
1	LINEA A.C. Brescia Est –Verona	BINARIO PARI
3	LINEA STORICA RILOCATA	BINARIO PARI
4	LINEA STORICA RILOCATA	BINARIO DISPARI
5	LINEA STORICA RILOCATA	BINARIO PARI PRECEDENZA
6	LINEA STORICA RILOCATA	BINARIO DISPARI PRECEDENZA
7	SCALO MERCI RBN	ASTA DI MANOVRA
8	SCALO MERCI RBN	2° BINARIO P/C

I tracciamenti di progetto del Binario Pari della linea AC vengono modificati localmente rispetto a quanto previsto dagli elaborati di tracciamento IF00 del Progetto Esecutivo.

NOTE

- Si definisce binario pari quello di corretto tracciato diretto da Sud a Nord e da Est a Ovest; pertanto, nel caso della linea A.C. Milano - Verona, esso corrisponde a quello posizionato a Sud.

La tabella sottostante indica le velocità di tracciato sui tronchi dei vari assi di progetto.

TRONCHI	DA Pk	A Pk	V _T
Linea AC – 1 – Binario Pari	Km 111+307,604 (Pk P.E)	Km 145+721,131	300 Km/h
Linea AC – 2 – Binario Pari	Km 145+721,131	Km 149+129,382 (Pk P.E.)	250 Km/h
Linea Storica Ril. – Binario Pari	Km 135+000,000	Km 136+639,247	150 Km/h
Linea Storica Ril. – Binario Dispari	Km 135+000,000	Km 136+831,733	150 Km/h
Linea Storica Ril. – Bin. Pari Precedenza	Km 0+000,000	Km 0+879,353	60 Km/h
Linea Storica Ril. – Bin. Dispari Precedenza	Km 0+000,000	Km 1+140,809	60 Km/h
Scalo RBN - Asta di manovra	Km 0+000,000	Km 0+154,744	30 Km/h
Scalo RBN – 2° Binario P/C	Km 0+000,000	Km 0+ 382,609	30 Km/h

3.2. Progressivazione degli assi

Per quanto riguarda la Linea AC, la Variante di tracciato ha inizio dalla progressiva del Progetto Esecutivo 144+033,886 (inizio variante altimetrica), mentre in corrispondenza del termine della variante di tracciato (fine variante altimetrica), si ha la seguente corrispondenza tra i due sistemi di progressivazione:

Km 146+043.203 (AC BP PROGETTO ESECUTIVO) = Km 146+043.785 (AC BP VARIANTE).

Per quanto riguarda la Linea Storica Rilocata, la Variante di tracciato ha inizio dalla progressiva della linea esistente Milano-Venezia 135+000,000 per entrambi i binari di corsa, mentre in corrispondenza del termine della variante di tracciato, si ha la seguente corrispondenza tra i due sistemi di progressivazione:

BINARIO PARI: Km 136+526.810 (PK VARIANTE L.S.) = Km 136+526.471 (L.S. ESISTENTE)

BINARIO DISPARI: Km 136+550.707 (PK VARIANTE L.S.) = Km 136+550.358 (L.S. ESISTENTE)

Per quanto riguarda i binari di precedenza della Linea Storica Rilocata e i binari dello scalo merci RBN, la progressivazione si opera per ogni singolo asse a partire dalla Pk iniziale 0+000 con senso crescente nel verso di percorrenza Ovest-Est.

3.3. Tipologia e contenuti

Per “elaborati di tracciamento” si identificano i seguenti documenti:

- Tabulato di tracciamento planimetrico
- Tabulato di tracciamento altimetrico
- Planimetria di tracciamento (scala 1:5000 o 1:2000)

Si riportano di seguito i contenuti riportati nelle diverse tipologie di elaborato.

3.3.1. Tabulati di tracciamento

I tabulati di tracciamento planimetrico e altimetrico forniscono un’implementazione ai dati di tracciato dei vari assi di progetto, in cui i singoli elementi vengono determinati con rigorosi calcoli analitici.

Il tabulato di tracciamento planimetrico contiene:

- numero progressivo dei vertici;
- coordinate dei vertici;

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 10	Codifica Documento E E2 RO IF 00 00 003	Rev. A	Foglio 6 di 14
---------	------------------	-------------	--	-----------	-------------------

- angoli della curva;
- lunghezza dei lati e delle tangenti;
- sviluppi dei vari elementi geometrici e coordinate dei loro punti di contatto;
- punti della poligonale con progressiva e coordinate;
- velocità di progetto e valori di sopraelevazione.

Il tabulato di tracciamento altimetrico contiene:

- progressiva del vertice altimetrico, la sua quota di progetto, il valore del raccordo cilindrico;
- valori delle livellette;
- progressive e quote dei punti di tangenza.

3.3.2. *Planimetrie di tracciamento*

La planimetria di tracciamento in scala 1:5000 o 1:2000 rappresenta la visualizzazione degli assi geometrici di progetto e contiene:

- vertici della poligonale di tracciamento, numerati progressivamente;
- tangenti primitive;
- curve circolari;
- raccordi di transizione clotoidici;
- indicazioni sui vertici altimetrici e loro posizionamento;
- tabelle delle curve definitive per ogni vertice planimetrico, contenenti i seguenti dati:
 - coordinate del vertice (E e N)
 - raggio di progetto (R)
 - sviluppo curva circolare (Sv)
 - angolo della curva (Ac)
 - tangente primitiva (Tan)
 - velocità di tracciato (V)
 - sopraelevazione (H)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
10

Codifica Documento
E E2 RO IF 00 00 003

Rev.
A

Foglio
7 di 14

– Tabelle dei raccordi clotoidei, contenenti i seguenti dati:

- parametro A della clotoide (A)
- lunghezza del raccordo clotoidico (Rcl)
- angolo di deviazione del raccordo clotoidico (AngF)
- scostamento del raggio della curva primitiva (m)
- Tangente lunga (Tl)
- Tangente corta (Tc)
- Ascissa e ordinata dei raccordi clotoidici (X_f e Y_f)
- Raggio della curva in ingresso clotoide (R_i)
- Raggio della curva in uscita clotoide (R_f)

4. GEOMETRIA PLANIMETRICA DEGLI ASSI DI PROGETTO

4.1. Premessa

Pur ribadendo concetti e formule note, si ritiene utile raccoglierle al fine di disporre di un documento di riferimento univoco che descriva i criteri di posizionamento degli elementi e le formule di calcolo utilizzate.

Considerando che la progettazione, il tracciamento e la realizzazione prevedono un ampio utilizzo di strumenti informatici dedicati è necessario che la descrizione numerica del tracciato sia realizzata in modo tale da garantire non solo la conoscenza analitica al continuo degli elementi presi singolarmente ma anche dell'intero asse nel suo complesso.

Gli elementi geometrici che costituiscono l'asse devono essere descrivibili e descritti in forma analitica tale da poter determinare per qualunque punto coordinate, direzione della tangente in quel punto, raggio di curvatura e progressiva.

Va sottolineata inoltre, l'importanza del rispetto della congruenza analitica della progressiva di un punto calcolata come sviluppo degli elementi e delle parti di essa interessate.

Il tracciamento e gli standard di linea devono rispettare le normative RFI Rif. [1], Rif. [2] e Rif. [3].

Gli argomenti verranno trattati nel seguente ordine:

- PARAMETRI CARATTERISTICI E DELLE FORMULE UTILIZZATE PER LA CLOTOIDE
- CURVA MONOCENTRICA
 - elementi geometrici utilizzati
 - criterio di posizionamento
 - schema operativo di calcolo

4.2. Relazioni cinematiche del tracciato

La determinazione degli assi di progetto, raggio minimo, raccordo di transizione e sopraelevazione, sono determinati da i seguenti parametri:

- Le velocità di esercizio massime e minime (treni passeggeri e merci)
- La sopraelevazione
- I valori limite per l'eccesso e l'insufficienza di sopraelevazione

Linea A.C. $V_{\max} = 300 \text{ Km/h}$ (250 Km/h curva 23) $V_{\min} = 80 \text{ Km/h}$

Linea Storica $V_{\max} = 150 \text{ Km/h}$ $V_{\min} = 80 \text{ Km/h}$

Determinazione del Raggio minimo e sopraelevazione massima:

$$R \geq \frac{11,8}{D+I} V_{\max}^2 \qquad R \leq \frac{11,8}{D-E} V_{\min}^2$$

$$\frac{11,8 \cdot V_{\min}^2}{D-E} \geq R \geq \frac{11,8 \cdot V_{\max}^2}{D+I}$$

$$D_{\max} = \frac{(I \cdot V_{\min}^2 + E \cdot V_{\max}^2)}{V_{\max}^2 - V_{\min}^2} \qquad R_{\min} = \frac{11,8 \cdot (V_{\max}^2 - V_{\min}^2)}{(E + I)}$$

Determinazione dei raccordi di transizione:

La lunghezza dei raccordi di transizione è determinata dai valori limite:

$$L \geq \frac{V_{\max} \cdot \Delta D}{3,6} \cdot \left(\frac{dD}{dt} \right)_{\lim}^{-1} \qquad L \geq \Delta D \cdot \left(\frac{dD}{dl} \right)_{\lim}^{-1} \qquad L \geq \frac{V_{\max} \cdot \Delta I}{3,6} \cdot \left(\frac{dI}{dt} \right)_{\lim}^{-1}$$

dove:

V_{\max} è la velocità massima dei treni (treni passeggeri)

V_{\min} è la velocità minima dei treni (treni merci)

R è il raggio della curva

L è la lunghezza del raccordo di transizione

D è la sopraelevazione in curva

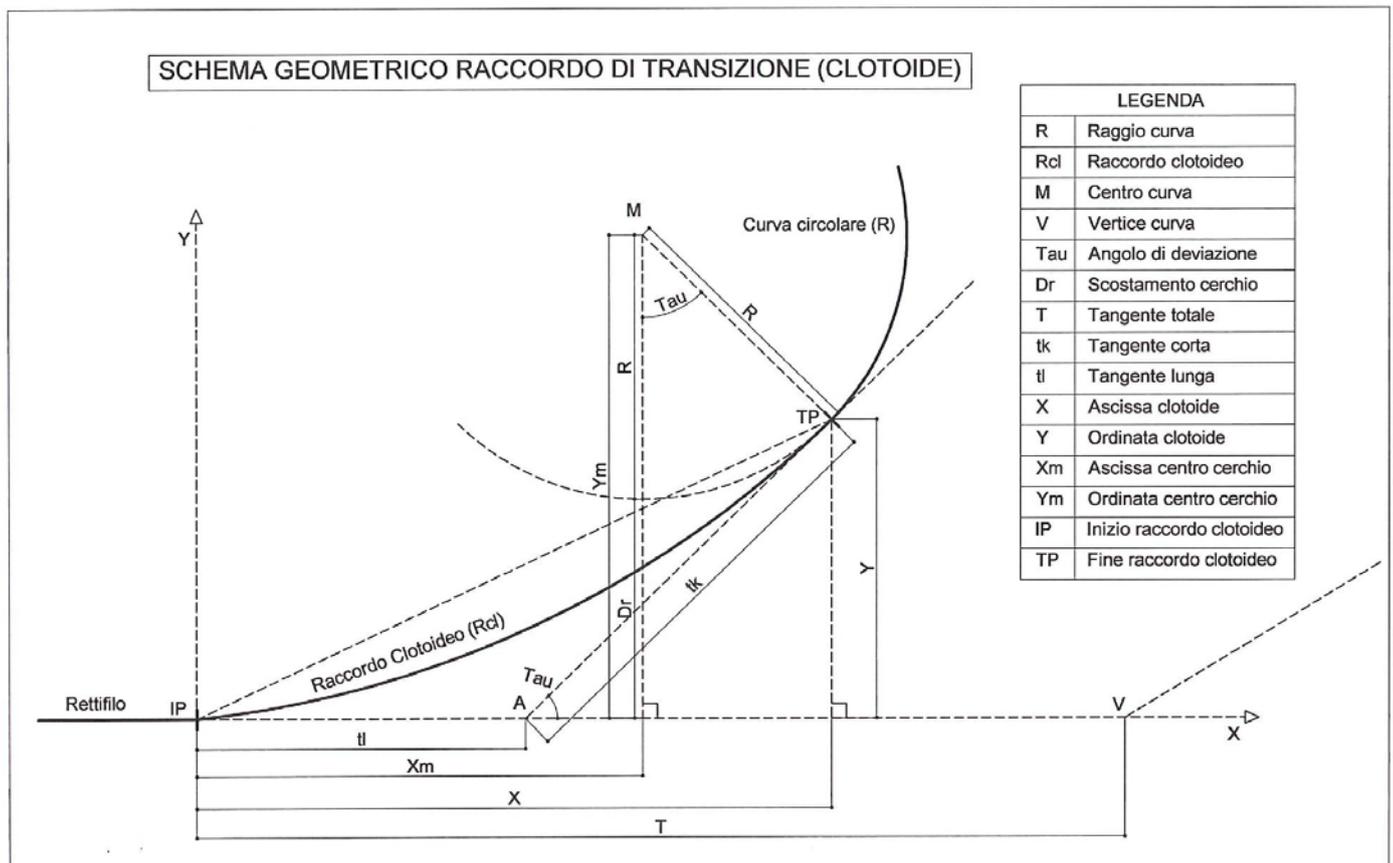
I e E sono l'insufficienza e l'eccesso di sopraelevazione (in cm)

dD/dt è il rapporto di variazione della sopraelevazione

dD/dl è la pendenza del raccordo

dI/dt è il rapporto di variazione dell'insufficienza della sopraelevazione

4.3. Parametri caratteristici e formule utilizzate per la clotoide



N.B. Si riporta la corrispondenza tra la simbologia di legenda riportata in figura e quella richiamata negli elaborati planimetrici di tracciamento:

R	R	Raggio Curva
Rcl	Rcl	Raccordo Clotoideo

M	--	Centro Curva
V	V	Vertice curva
Tau	AngF	Angolo di deviazione
Dr	m	Scostamento cerchio
T	T	Tangente totale
tk	Tc	Tangente corta
tl	Tl	Tangente lunga
X	xf	Ascissa clotoide
Y	yf	Ordinata clotoide
Xm	-	Ascissa centro cerchio
Ym	-	Ordinata centro cerchio
IP	-	Inizio raccordo clotoide
TP	-	Fine raccordo clotoide

EQUAZIONE DELLA CLOTOIDE UTILIZZATA

$$A^2 = R \times L$$

CLOTOIDE CON RAGGIO CONSERVATO

Lo sviluppo della curva L (Rcl) si ricava dalla:

$$L = \frac{A^2}{R}$$

Il valore dell'angolo γ (Tau) nel punto di passaggio tra raccordo e curva circolare è dato da:

$$\gamma = \frac{A^2}{2 \cdot R^2} = \frac{L}{2 \cdot R}$$

Le coordinate dei punti costituenti il raccordo si ricavano con le seguenti relazioni:

$$x = A \cdot \sqrt{2\gamma} \cdot \sum_1^{\infty} i \cdot (-1)^{i+1} \cdot \frac{\gamma^{2i-2}}{(4i-3) \cdot (2i-2)!}$$

$$y = A \cdot \sqrt{2\gamma} \cdot \sum_1^{\infty} i \cdot (-1)^{i+1} \cdot \frac{\gamma^{2i-1}}{(4i-1) \cdot (2i-1)!}$$

Le coordinate del centro della curva sono date da:

$$X_m = x - R \cdot \operatorname{sen} \gamma = A \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \cdot \sum_1^{\infty} i \cdot (-1)^{i+1} \cdot \frac{\gamma^{2i-2}}{(4i-3) \cdot (2i-1)!}$$

$$Y_m = y + R \cdot \cos \gamma = A \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \cdot \sum_0^{\infty} i \cdot (-1)^{i+1} \cdot \frac{\gamma^{2i-1}}{(4i-1) \cdot 2i!}$$

Il valore di ΔR (Dr) è dato da:

$$\Delta R = y - R \cdot (1 - \cos \gamma) = A \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \cdot \sum_1^{\infty} i \cdot (-1)^{i+1} \cdot \frac{\gamma^{2i-1}}{(4i-1) \cdot 2i!}$$

Le lunghezze T_l e T_k sono date da:

$$T_l = x - \frac{y}{\operatorname{tg} \gamma}$$

$$T_k = \frac{y}{\operatorname{sen} \gamma}$$

4.4. Curva monocentrica

Elementi geometrici utilizzati

Gli elementi geometrici utilizzati sono:

- la clotoide ($R \times L = A^2$), descritta precedentemente, che ha la particolarità di consentire la variazione continua del raggio da un valore infinitamente grande fino al valore del raggio, di lunghezza fissata dalla sopraelevazione e dalla pendenza della rampa di raccordo;
- l'arco di circonferenza.

Il posizionamento di tale curva di transizione sarà tale per cui i suoi punti estremi, calcolati analiticamente, garantiscano la continuità geometrica degli elementi.

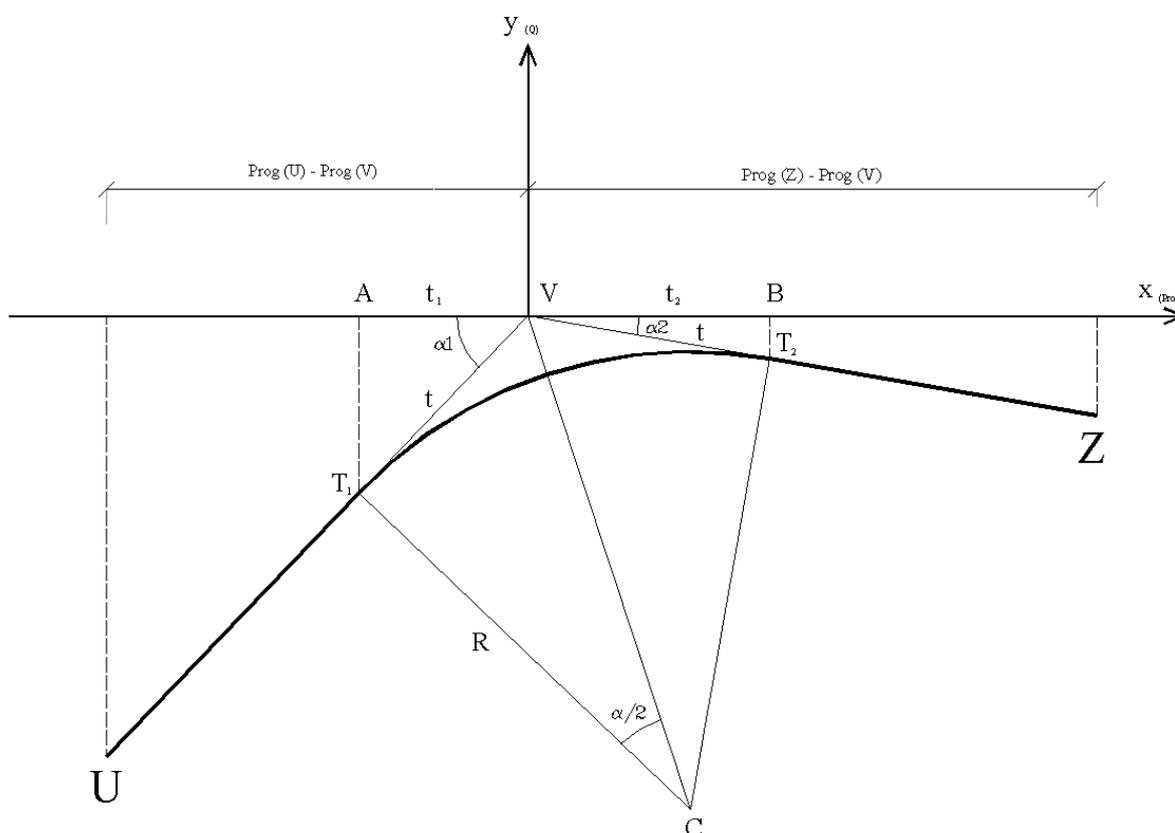
Le tabelle riportate nel tabulato e nelle planimetrie di tracciamento riportano tutti i parametri geometrici e di posizionamento delle curve.

5. GEOMETRIA ALTIMETRICA DEGLI ASSI DI PROGETTO

Il raccordo altimetrico fra due livellette è rappresentato da una curva circolare di raggio R.

La differenza fra le progressive di due vertici altimetrici consecutivi è calcolata sul piano orizzontale, come proiezione della livelletta stessa; allo stesso modo si calcola la differenza fra la progressiva di un vertice e quella dei due punti di tangenza relativi al raccordo altimetrico.

Riferendosi alla sottostante figura, si considerano i seguenti algoritmi di calcolo per la progettazione dell'asse altimetrico della linea A.C.



Dati 3 vertici altimetrici consecutivi U, V, Z, si definisce:

Q_U, Q_V, Q_Z Quote altimetriche dei vertici

T_1, T_2 , Punti di tangenza del raccordo altimetrico relativo al vertice V

$T_1V = T_2V = t = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ Sviluppo reale delle tangenti

$AV = t_1 \quad VB = t_2$ Sviluppo in proiezione orizzontale delle tangenti

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{Q_V - Q_U}{\operatorname{Pr og}(V) - \operatorname{Pr og}(U)}$$

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{Q_V - Q_Z}{\operatorname{Pr og}(Z) - \operatorname{Pr og}(V)}$$

$$t_1 = t \cdot \cos \alpha_1$$

$$t_2 = t \cdot \cos \alpha_2$$

Pertanto le progressive dei punti di tangenza del raccordo almetrico relative al vertice V sono calcolate come somma e differenza della progressiva del vertice almetrico con la lunghezza della tangente della transizione circolare, ossia:

$$\operatorname{Prog}(T_1) = \operatorname{Prog}(V) - t_1$$

$$\operatorname{Prog}(T_2) = \operatorname{Prog}(V) + t_2$$