

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
ARMAMENTO
Documenti generali di progetto LC2
GENERALE
Relazione Tecnica di tracciamento**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Conorzio Iricav Due ing. Guido Fratini Data: Ottobre 2020			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	R O	S F 0 0 0 0	0 0 2	A	- - - P - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI	

Progettazione:								
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	FISCALE	31/03/21	GUILARTE	31/03/21	AIELLO	31/03/21	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1720EI2ROSF0900001A_01.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 2 di 14	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	Documenti di riferimento.....	3
3	ELABORATI DI TRACCIAMENTO.....	4
3.1	Applicazione.....	4
3.2	Tipologia e contenuti.....	5
3.2.1	Tabulati di tracciamento.....	6
3.2.2	Planimetrie di tracciamento	6
3.2.3	Profili di tracciamento.....	7
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 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	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”.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 4 di 14

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

SF01	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 0+909,95 a pk 4+941,16	LC2
SF02	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 4+941,16 a pk 6+841,16	LC2
SF03	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 6+841,16 a pk 7+660,94	LC2
SF04	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 7+660,94 a pk 10+020,97	LC2
SF05	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 10+020,97 a pk 19+900,00	LC2
SF06	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 19+900,00 a pk 25+500,00	LC2
SF07	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 25+500,00 a pk 31+806,37	LC2
SF08	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 31+806,37 a pk 32+525,00	LC2
SF09	Lavori di Armamento 1ª Variante LS da Km 1+873,81 a Km 3+451,77	LC2
SF10	Lavori di Armamento Deviate Provvisorie LS per realizzazione 1ª Variante LS	LC2
SF11	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 32+525 a pk 36+550	LC2
SF12	Lavori di Armamento Linea AC - Da pk 36+550 a pk 43+834	LC2
SF13	Lavori di Armamento Linea AC - Pk 43+834 a 44+250,03 (BP)	LC2
SF16	Lavori di Armamento 2ª Variante LS da pk 32+689 a 39+081	LC2
SF17	Lavori di Armamento Demolizione stazione di Altavilla da pk 40+287 a pk 42+071	LC2
SF18	Lavori di Armamento LS e AV Bivio Verona - Pk 0+125,00 a 0+909,95	LC1
SF00-LC2	Documenti generali di progetto LC2	LC2
SF00-LC1	Documenti generali di progetto LC1	LC1

I tracciamenti di progetto dei vari assi sono congruenti con quanto previsto dagli elaborati di tracciamento IF00 del presente Progetto Esecutivo.

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. Verona-Vicenza, esso corrisponde a quello posizionato a Sud.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 5 di 14

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

Assi di progetto	v [km/h]
Linea AC Verona-Vicenza - 1°Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza	vedi tabella seguente
Bivio Verona Innesso AV su Linea storica	60
Variante linea storica n° 1	125
Variante linea storica n° 2	140

Linea AC Verona-Vicenza - 1°Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza				
	interbinario [m]	pk inizio [m]	pk fine [m]	v [km/h]
Zona 1	4,00	0,000	562,002	115
		562,002	3445,004	130
		3445,004	3633,364	160
Zona 2	4,00-4,20	3633,364	4586,885	160
Zona 3	4,20	4586,885	7537,278	210
Zona 4	4,2-4.50	7537,278	7764,278	210
Zona 5	4,50	7764,278	32519,569	250
Zona 6	4,5-4,20	32519,569	32729,569	220
Zona 7	4,20	32729,569	39487,657	220
Zona 8	4,20-4,00	39487,657	39859,371	200
Zona 9	4,00	39859,371	41239,338	200
		41239,338	44250,260	150

La progressivazione di entrambi i binari per le due tratte di Linea AC e varianti della linea storica sono crescenti nel verso di percorrenza Ovest-Est.

3.2 Tipologia e contenuti

Per "elaborati di tracciamento" si identificano i seguenti documenti:

- Tabulato di tracciamento planimetrico
- Tabulato di tracciamento altimetrico
- Planimetria di tracciamento
- Profilo longitudinale di tracciamento
- Verifiche cinematiche

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 6 di 14

3.2.1 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;
- 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.

3.2.2 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 clotoideici;
- 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)
- Tabelle dei raccordi clotoidei, contenenti i seguenti dati:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 7 di 14

- 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)

3.2.3 Profili di tracciamento

Il profilo di tracciamento in scala 1:5000/500 o 1:2000/200 rappresenta l'implementazione e la visualizzazione dei dati altimetrici degli assi di progetto e contiene:

- posizione e dati geometrici dei vertici altimetrici:
 - progressiva
 - quota altimetrica di progetto
 - Differenza di pendenza
 - Raggio verticale del raccordo altimetrico
 - Tangente
 - Freccia
 - Sviluppo del raccordo
- Rappresentazione in apposita fincatura posta in alto di:
 - valore delle pendenze della livelletta di progetto
 - differenza di quota tra vertici altimetrici
 - distanza tra i vertici altimetrici
- Rappresentazione in apposite fincature poste in basso di:
 - distanze parziali
 - progressive e chilometriche
 - quote del piano del ferro di progetto
 - quote della piattaforma ferroviaria, misurate in asse al binario tracciato
 - differenza tra le quote del piano ferro e le quote della piattaforma ferroviaria, misurata in asse al binario tracciato
 - rappresentazione in apposita fincatura dell'andamento planimetrico con evidenziato il raggio, lo sviluppo e la sopraelevazione delle curve, nonché la lunghezza dei raccordi clotoidici.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 8 di 14

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 9 di 14

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)
 - Linea A.C. $V_{max} = 250 \text{ Km/h}$ (115 Km/h) $V_{min} = 80 \text{ Km/h}$
 - Varianti liea storica Linea (in base alle pk indicate nel fascicolo di linea) $V_{max} = 125\text{-}140 \text{ Km/h}$ $V_{min} = 80 \text{ Km/h}$
- La sopraelevazione
- I valori limite per l'eccesso e l'insufficienza di sopraelevazione

Determinazione del Raggio minimo e sopraelevazione massima:

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

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

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

Determinazione dei raccordi di transizione:

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

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

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)

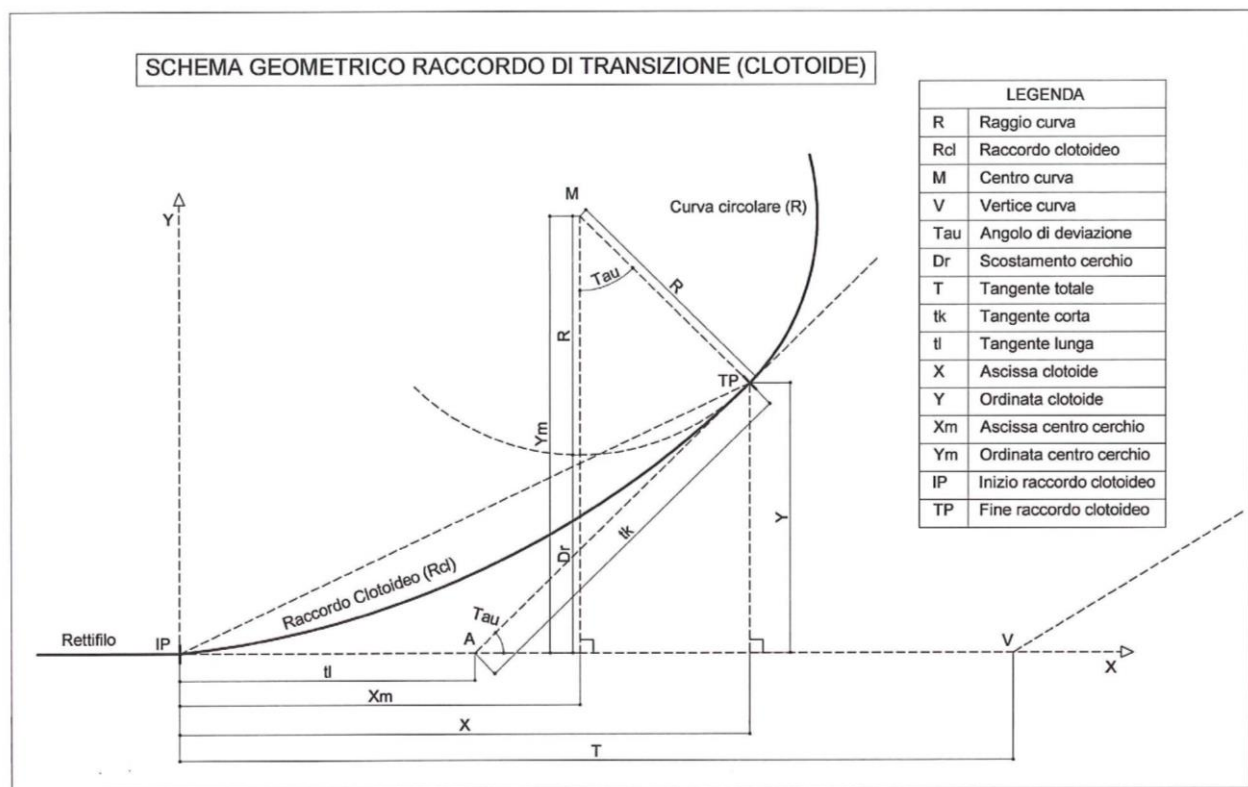
dD/dt è il rapporto di variazione della sopraelevazione

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

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	TI	Tangente lunga
X	xf	Ascissa clotoide
Y	yf	Ordinata clotoide
Xm	-	Ascissa centro cerchio
Ym	-	Ordinata centro cerchio
IP	-	Inizio raccordo clotoideo
TP	-	Fine raccordo clotoideo



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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 11 di 14	

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:

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

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

Il valore di ΔR (Dr) è dato da:

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

Le lunghezze T_i e T_k sono date da:

$$T_i = x - \frac{y}{\text{tg} \gamma}$$

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 12 di 14

4.4 Curva monocentrica

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

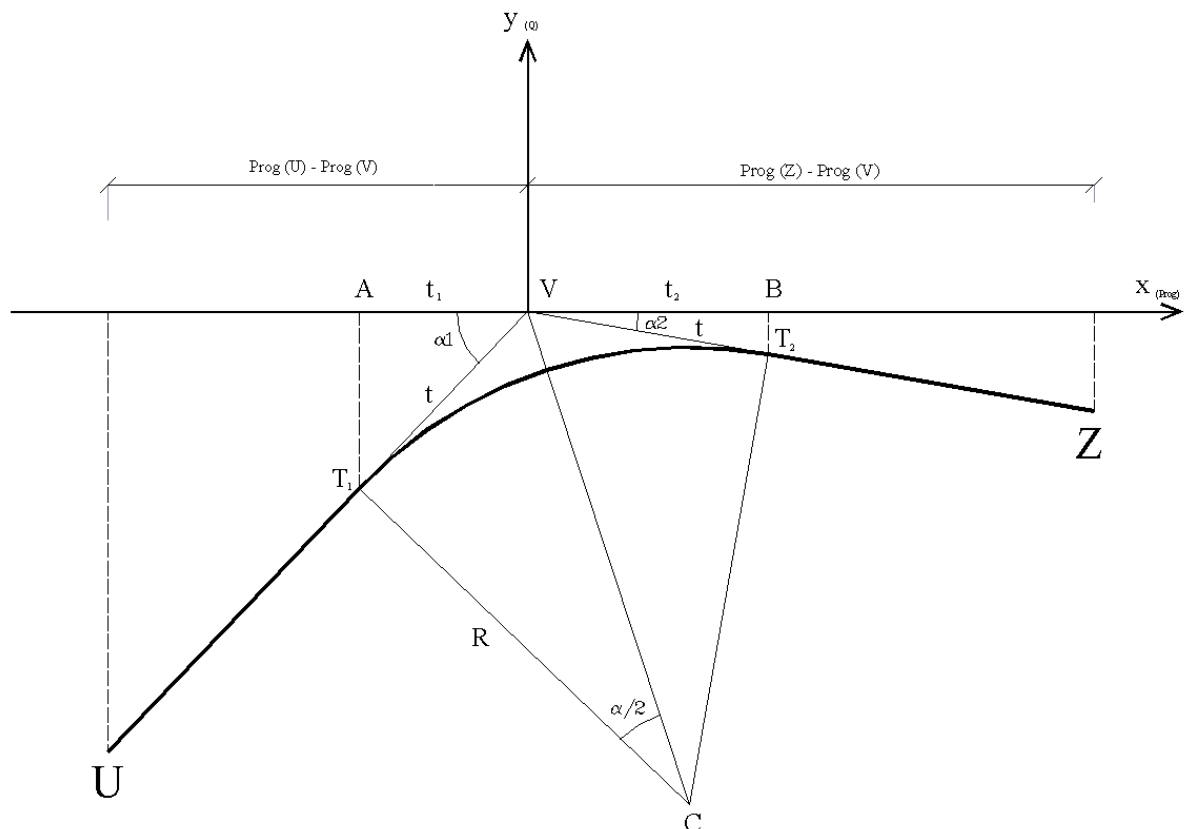
Le tabelle riportate nel tabulato e nelle planimetrie di tracciamento riportano tutti i parametri geometrici e di posizionamento delle curve.

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE TECNICA DI TRACCIAMENTO	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO SF 00 0 0 002	Rev. A	Foglio 14 di 14

$$\alpha_1 = \arctg \frac{Q_V - Q_U}{\text{Prog}(V) - \text{Prog}(U)}$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{Q_V - Q_Z}{\text{Prog}(Z) - \text{Prog}(V)}$$

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

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

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

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

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