

NUOVO SISTEMA DI TRACCIAMENTO
DELLE
RISVOLTE CIRCOLARI NELLE STRADE FERRATE

per
l'Ingegnere VINCENZO SOLDATI



*(Memoria letta ed approvata per la stampa negli Atti della Società
nelle Adunanze 20 e 29 dicembre 1871)*

Fra le operazioni che più di frequente occorrono all'ingegnere che studia o che costruisce una ferrovia, una delle più importanti, si è senza dubbio il tracciamento delle risvolte circolari, perché dalla buona distribuzione di queste risvolte e dal modo con cui esse secondano le accidentalità del terreno dipendono l'economia della costruzione e la comodità dell'esercizio.

L'importanza intrinseca di questa operazione e le accidentali difficoltà che talora l'accrescono, fanno sì che il tracciamento delle risvolte circolari è considerato come uno dei problemi più interessanti per l'arte pratica dell'ingegnere e di ciò ne è prova la molteplicità delle opere che ne trattano esclusivamente e diffusamente e più ancora la varietà dei sistemi che a tal uopo furono proposti ed adottati.

Sinora però in Italia non s'è fatto altro che seguire in questo, come pur troppo in molte altre cose, l'esempio delle nazioni che ci hanno preceduti nelle costruzioni ferroviarie; nessuna modificazione si è introdotta in questo genere di operazioni che è pur suscettivo di molte miglurie a seconda

delle circostanze del terreno su cui si devono eseguire, ed oltre a ciò mi è doloroso il dover constatare che persino i manuali che corrono per le mani dei nostri ingegneri sono francesi o tedeschi; nessuno ch'io mi sappia ve n'ha di pregevole che sia italiano.

Questo pensiero suscitato in me dall'importazione fatta testé fra noi di un piccolo manuale tedesco destinato appunto al tracciamento delle risvolte circolari e che io riconobbi per nulla raccomandabile agl'operatori, mi ha indotto a presentare all'onorevole nostra Società un breve cenno su d'un mio sistema di tracciamento delle curve circolari che io credo poter dire nuovo perché sinora non l'ho ancora visto né adottato da alcun ingegnere né descritto nei trattati di costruzione o nei manuali che si occupano di questa specialità.

Il sistema di cui ho intenzione di discorrere è applicabile a qualsiasi terreno, ma è più specialmente destinato a quelle curve che cadono in terreni molto difficili ed accidentali ed è più specialmente adatto in tutti quei casi in cui le linee di tracciamento non possono scostarsi di molto dalla curva che si vuoi tracciare, come per esempio nella costruzione delle gallerie o nella posa delle rotaie su alti rilevati o profonde trincee.

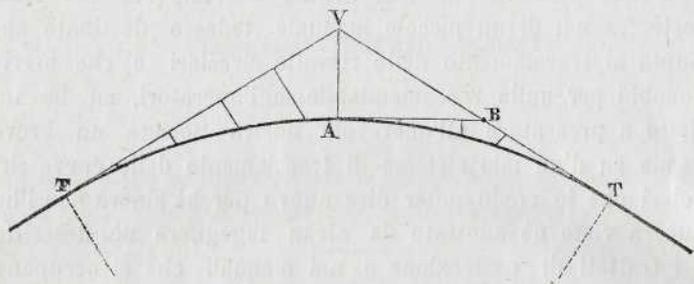
Onde mettere ben in evidenza i pregi ch'io attribuisco al mio, credo opportuno un rapido cenno dei principali sistemi attualmente in uso, ed una analisi di confronto dei rispettivi vantaggi ed inconvenienti nelle varie circostanze di terreno su cui cade il tracciamento.

Questi sistemi, a parer mio, si possono dividere nei due seguenti gruppi. — Il primo comprende tutti quelli che hanno per base le sole due linee fra cui si deve eseguire il raccordamento o tutt'al più una terza intercalata fra queste due.

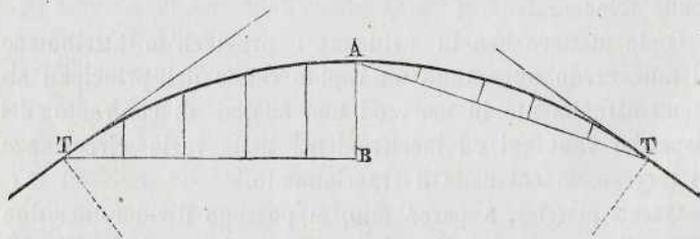
Il secondo invece comprende quei sistemi che si appog-

giano pel tracciamento della curva ad un poligono di molti lati che seconda l'andamento della curva stessa.

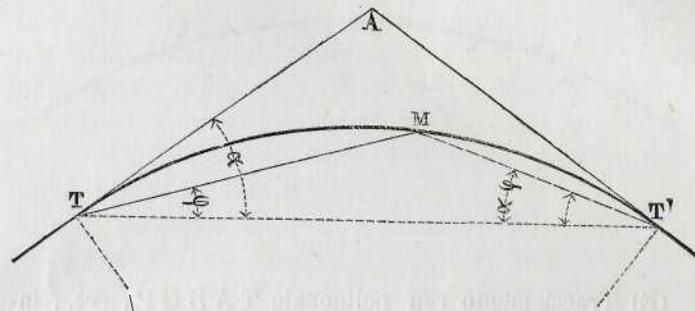
Appartengono al primo gruppo i seguenti:

Fig. 1^a

(A) Tracciamento con coordinate ortogonali aventi per origine il punto di tangenza T, per asse dell' ascisse la tangente TV od una sotto-tangente AB e per asse delle ordinate il raggio condotto al punto che serve di origine delle coordinate (Fig. 1^a).

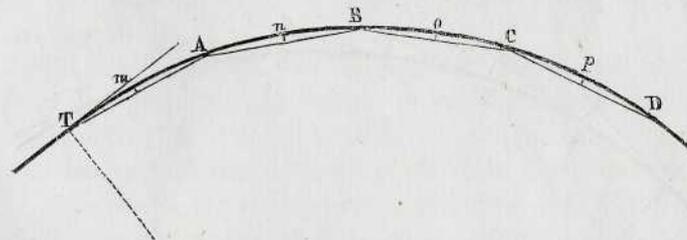
Fig. 2^a

(B) Tracciamento con coordinate ortogonali aventi per origine il punto di tangenza T, per asse delle ascisse la corda TB che unisce i due punti di tangenza, oppure quella che va dal punto di tangenza T al punto di metà curva A e per asse delle ordinate una perpendicolare alla corda (Fig. 2^a).

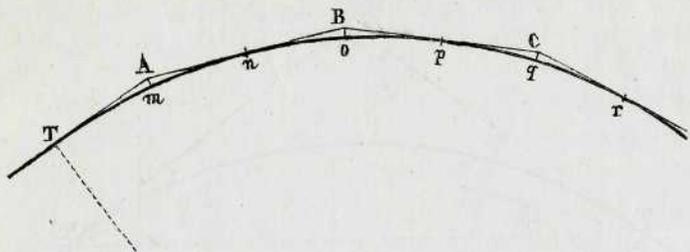
Fig. 3^a

(C) Tracciamento per intersecazione che consiste nel collocare un punto qualunque M della curva coll'incontro di due visuali condotte dai due punti di tangenza T e T' e facienti colla corda che li riunisce angoli tali che la loro somma sia eguale all'angolo fatto dalla corda stessa con uno degl'allineamenti TA (Fig. 3^a).

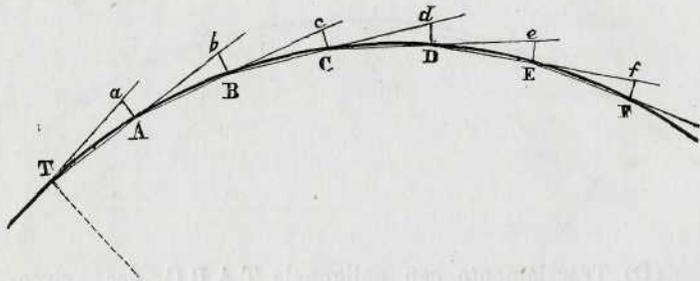
Al secondo gruppo appartengono i seguenti sistemi:

Fig. 4^a

(D) Tracciamento con poligonale TABC, ecc., circoscritta alla curva (Fig. 4^a). Ogni lato del poligono d'ordinario comprende due elementi di curva, intendendo per elemento la porzione mn compresa fra due punti qualunque m ed n , sicché una metà dei punti di curva resta determinata dal punto di mezzo di ogni lato del poligono e gli altri cadono ai vertici della poligonale, sulla bisettrice dell'angolo.

Fig. 5^a

(E) Tracciamento con poligonale TABCD, ecc., inscritta alla curva (Fig. 5^a). Anche in questo sistema ogni lato del poligono d'ordinario sottende due elementi di curva, perciò i punti cadono gli uni sui vertici stessi della poligonale, e gli altri sono collocati con perpendicolari innalzate sulle metà dei lati del poligono. In entrambi questi sistemi i lati del poligono si tracciano col sussidio di un goniometro collocato in stazione in tutti i suoi vertici.

Fig. 6^a

(F) Sistema detto inglese che consiste nel tracciare un poligono inscritto alla curva TABCDE, ecc., di cui ogni lato ne sottende un solo elemento (Fig. 6^a). I lati, ad eccezione del primo, si tracciano col prolungare il lato precedente di una quantità stabilita dal calcolo e coll'elevare all'estremità di questo prolungamento un'ordinata.

Il mio sistema appartiene al secondo gruppo; ha, cioè, come nei tre ultimi sistemi ora descritti, per base del tracciamento una poligonale che asseconda la curva; ha però una specialità caratteristica che ben lo distingue dai medesimi e che consiste nell'essere la poligonale di base né iscritta, né circoscritta alla curva, ma bensì intersecante la medesima in ogni suo lato, come è chiaramente indicato dalla Figura 7^a, Tavola 1^a.

I lati del poligono nei tracciamenti allo scoperto comprendono quattro elementi di curva ed hanno perciò una lunghezza doppia di quelli dei sistemi (A) ed (E) e quadrupla dei lati del sistema inglese.

Il distacco della poligonale dal punto di tangenza si fa col disporre il primo lato in modo che faccia coll'allineamento prolungato lo stesso angolo L che sottende al centro l'elemento di curva di lunghezza s . — I lati successivi (le cui lunghezze sono date dal calcolo mercé le formole riportate in seguito) si tracciano con successive stazioni di goniometro fatte nei vertici della poligonale. — Durante la stazione si traccia la bisettrice dell'angolo al vertice su cui si fa la stazione e così si colloca a posto il punto di curva corrispondente.

Nel fare la misurazione dei lati della poligonale, si collocano a posto gli altri punti, di cui due cadono sul lato stesso (vedi Fig. 7^a), ed il terzo va stabilito con una brevissima perpendicolare elevata sulla metà del lato stesso.

Ecco ora le formole esatte che servono al calcolo dei vari elementi necessari al tracciato, quando sono dati il raggio e la lunghezza del tratto od elemento di curva compreso fra due punti, la quale lunghezza, qualunque sia il sistema che si vuol adottare, conviene sempre ritenere di un numero intero di metri, e meglio ancora, se la natura del tracciamento lo permette, di un numero intero di decimetri.

Tracciamento di curve allo scoperto

(Vedi fig. 7^a)

Formole esatte:

Dati R ed s

$$\text{Incognite } \alpha = \frac{s \cdot 180}{\pi R}$$

$$\beta = 4 \alpha.$$

$$a = R \cdot \text{sen } \alpha.$$

$$b = R \cos \alpha \text{ Tang. } 2 \alpha - \varphi.$$

$$c = R (1 - \cos \alpha).$$

$$d = R \left(\frac{\cos \alpha}{\cos 2 \alpha} - 1 \right)$$

Oltre alle formole esatte ora accennate, io ho ricavato altresì le seguenti approssimate.

Formole approssimate:

Dati R ed s

$$\text{Incognite } \alpha = \text{Arco sen } \frac{s}{R}.$$

$$\beta = 4 \alpha.$$

$$a = s.$$

$$b = s.$$

$$c = \frac{s^2}{2R}.$$

$$d = 3 c.$$

NB. Queste formole approssimate non si possono sostituire alle formole esatte se non quando il rapporto $\frac{R}{s}$ è maggiore di 20.

Tavola degli elementi necessari al tracciamento nel caso di $s = 20^m$ e per varii valori di R

R	s	α			B			a	b	c	d
		m	m	o	'	"	o	'	"	m	m
100	20	11	27	33	45	50	12	19,87	21,57	1,99	6,41
150	20	7	38	22	30	33	28	19,94	20,67	1,33	4,11
200	20	5	43	46	22	55	06	19,97	20,37	0,99	3,05
250	20	4	33	01	18	20	05	19,98	20,23	0,80	2,42
300	20	3	49	11	15	16	44	19,99	20,16	0,67	2,01
350	20	3	16	27	13	05	46	19,99	20,12	0,57	1,73
400	20	2	51	53	11	27	33	19,99	20,09	0,50	1,51
450	20	2	32	47	10	11	09	19,99	20,07	0,44	1,33
500	20	2	17	31	9	10	02	20,00	20,05	0,40	1,20
550	20	2	05	00	8	20	02	20,00	20,04	0,36	1,09
600	20	1	54	35	7	38	22	20,00	20,03	0,33	1,00
700	20	1	38	13	6	32	53	20,00	20,02	0,29	0,87
800	20	1	25	57	5	43	46	20,00	20,02	0,25	0,75
900	20	1	16	24	5	05	35	20,00	20,02	0,22	0,66
1000	20	1	08	45	4	35	01	20,00	20,01	0,20	0,60

Tracciamento di curve in Galleria

(Vedi fig. 8)

Formole — Dati R ed s (colla condizione $z < g$).

Incognite:

$$\alpha = \frac{s \times 180}{\pi R} \gamma = 3 \alpha \quad \beta = 8 \alpha.$$

$$m = R (\cos 3 \alpha \text{ tang } 4 \alpha - \text{sen } 3 \alpha).$$

$$n = R \cdot \text{sen } \alpha.$$

$$p = R (\text{sen } 2 \alpha - \text{sen } \alpha).$$

$$q = R \cdot (\text{sen } 3 \alpha - \text{sen } 2 \alpha).$$

$$u = R \left(\frac{\cos 3 \alpha}{\cos 4 \alpha} - 1 \right)$$

$$x = R (\cos 2 \alpha - \cos 3 \alpha).$$

$$y = R (\cos \alpha - \cos 3 \alpha).$$

$$z = R (1 - \cos 3 \alpha).$$

Tabelle degli elementi necessari al tracciamento di gallerie in curva (piccola sezione) per vari valori di R

R	s	α			γ			β			m	n	p	q	u	x	y	z
		0	'	"	0	'	"	0	'	"								
400	8,00	1 08	45	3 26	16	9 10	02	8,02	8,00	8,00	8,00	7,99	0,56	0,40	0,64	0,72		
500	9,00	1 01	53	3 05	38	8 15	02	9,02	9,00	9,00	8,99	0,57	0,41	0,65	0,73			
600	10,00	0 57	18	2 51	53	7 38	22	10,02	10,00	10,00	9,99	0,58	0,42	0,67	0,75			
700	11,00	0 54	01	2 42	04	7 12	10	11,02	11,00	11,00	10,99	0,60	0,44	0,69	0,78			
800	12,00	0 51	34	2 34	42	6 52	31	12,02	12,00	12,00	11,99	0,63	0,45	0,72	0,81			
900	13,00	0 49	40	2 28	59	6 37	18	13,02	13,00	13,00	12,99	0,66	0,47	0,75	0,85			
1000	14,00	0 48	08	2 24	23	6 25	02	14,02	14,00	14,00	13,99	0,69	0,49	0,78	0,88			

Mercé queste formole, si possono calcolare con somma speditezza e senza sussidio alcuno di tavole logaritmiche, tutti gli elementi necessari al tracciamento, purché si abbia l'avvertenza di non dare all'elemento di curva compreso fra due punti una lunghezza maggiore di un ventesimo del raggio, perché altrimenti si commetterebbe un errore troppo grave e non trascurabile.

La semplicità di queste formole approssimate e la facilità di ritenerle a memoria, costituiscono, a mio avviso, uno dei più bei pregi di questo sistema, e devono renderlo, sotto quest'aspetto, tanto comodo quanto il sistema inglese, cui molti ingegneri danno la preferenza appunto perché esso pure, come è noto, ha formole approssimate molto comode e semplici.

Enumerati così tutti i sistemi di tracciamenti di curve risolte circolari, ed indicato in che consiste il mio, credo far cosa utile accennandone i pregi ed i difetti, ed indicando quali sono le circostanze in cui ciascuno di essi può riescire più vantaggioso.

In terreno poco accidentale, piano e scoperto, il miglior sistema è senza dubbio quello di coordinate ortogonali sulle tangenti; se la curva è molto estesa, le ordinate prossime alla metà curva riescono troppo lunghe, è conveniente in tal caso ricorrere ad una sottotangente; così pure il sistema di coordinate ortogonali sulla corda che sottende tutta la curva 0 su quelle che sottendono la metà curva, è convenientissimo quando alle favorevoli circostanze ora accennate, di terreno piano e scoperto, va unito un grave ostacolo in prossimità del vertice della curva, come di frequente succede nelle linee di riviera per le curve che volgono la convessità al mare. Essi hanno però entrambi il difetto di necessitare l'uso di tavole preventivamente calcolate, senza di che richiedono un tempo lunghissimo pel calcolo degli elementi; hanno inoltre il difetto di richiedere per ogni punto collocato tre operazioni, di cui due lineari ed una angolare; e perciò, ritenuto che le probabilità d'errore sono propor-

zionate al numero delle osservazioni, si ha con questi sistemi una probabilità assai notevole di commettere errori.

Oltre a ciò, man mano che il tracciamento si scosta dal punto di tangenza, la lunghezza delle ordinate va crescendo, e perciò, oltre alla maggior lentezza dell'operazione, si incontra minor approssimazione nel risultato, perchè l'entità degli errori assoluti, sia lineari che angolari, è proporzionata alla lunghezza dell'operazione.

Perché riesca più chiaro il confronto fra questi due sistemi che sono molto in uso col mio, noterò che per stabilire, per esempio, numero 7 punti di una curva di raggio 400 metri con metri 20 per distanza fra due punti, col sistema di coordinate ortogonali sulla tangente occorre fra asse ed ordinate la misurazione di metri 206,67, e col sistema di coordinate ortogonali sulla corda, la misurazione di metri 237,40, mentre col mio sistema non occorre di misurare in complesso che una lunghezza complessiva di metri 142,74, cioè, solo tre metri circa in più dello sviluppo della curva.

Si noti ancora che in entrambi i sistemi a coordinate ortogonali per ogni punto occorre la misura di un angolo che si fa d'ordinario collo squadra agrimensoria, e perciò nell'esempio ora citato sono sette gli angoli a misurare, mentre col mio sistema si hanno quattro soli angoli per sette punti, e di questi ancora due sono angoli retti per innalzare ordinate lunghe soltanto un mezzo metro e che perciò si possono costruire come d'ordinario si fa in simili casi col semplice impiego delle canne metriche messe in croce.

In terreno molto accidentato o coperto di piante i sistemi del primo gruppo non sono convenienti perché o richiedono troppa fatica, o necessitano molti tagli di piante fuori dell'asse stradale, tagli che sono affatto inutili per le operazioni di costruzione e servono solo a far nascere litigi coi proprietari dei fondi.

In questi casi di terreno molto accidentato o coperto il mio sistema ha sui suoi rivali del secondo gruppo il gran-

dissimo vantaggio di avere lati di lunghezza doppia, e perciò minori cause di errori e maggior approssimazione nei risultati.

Inoltre è chiaro che la poligonale di base nel mio sistema mentre gode del vantaggio ora accennato di aver lati molto lunghi ciò nonostante si allontana pochissimo dalla curva a tracciare ed ha perciò sotto questo aspetto nulla da invidiare ai sistemi di poligonale inscritta, poligonale circoscritta od inglese.

Infine su questi sistemi del secondo gruppo il mio ha una decisa superiorità in tutti quei casi già accennati più sopra in cui le linee di tracciamento non devono escire da una zona molto ristretta avente per asse la curva stessa a tracciare, come per esempio nella posa dell'armamento in trincee o su rilevati di ragguardevole altezza o più specialmente nel tracciamento di gallerie.

In quest'ultimo caso poi richiedendosi più che in altri molta approssimazione è conveniente il dare ai lati del poligono di base la massima lunghezza onde diminuirne il numero. Questa massima lunghezza si ottiene col far sì che i lati del poligono siano quasi tangenti alla parete convessa della galleria ed i vertici tocchino quasi la parete concava lasciando solo quello spazio che è necessario per collocare l'istromento.

Si arriva completamente a questo bel risultato, col mio sistema, col solo far sì che il tratto di curva esterno al poligono sia di lunghezza tripla del tratto interno, come è indicato nella Fig. 8 (Tav. 2^a) cui si riferiscono le formole indicate a pagina 61.

Col sistema di tracciamento per intersezione di visuali condotte dai punti di tangenza non starò a far confronti perché poche sono le circostanze in cui questo sistema può riescire utile e non è, ch'io mi sappia, impiegato come sistema usuale da nessun ingegnere di ferrovie.

Onde rendere se possibile questo mio lavoro utile ai miei colleghi, e sapendo per esperienza che gl'ingegneri sono molto

amanti dei calcoli fatti e poco delle formole per quanto comode e facili a calcolare esse siano, io ho ricavati gli elementi che occorrono pel tracciamento delle curve che più spesso s'incontrano nelle costruzioni ferroviarie ed ho in ciò fare contemplati i due casi di tracciato allo scoperto e tracciato di galleria in piccola sezione ed ho consegnati questi elementi nei due quadri a pagina 61 e 62.

Con ciò io credo di aver reso completo, per quanto era in mio potere, questo piccolo lavoro cui darò termine osservando che il sistema di cui ho sinora discorso ha già ottenuta la sanzione della pratica in parecchi lavori di studio e di costruzione, fra cui citerò, perché il più recente, la posa dell'armamento nella ferrovia ligure occidentale, sezione di Oneglia, eseguita da un giovane nostro collega.

Torino, 3 ottobre 1871.

Ingegnere VINCENZO SOLDATI.