

ARST S.p.A.

Interventi di manutenzione delle linee TPL Macomer - Nuoro, Sassari - Alghero e della linea Metropolitana di Sassari

PROGETTO ESECUTIVO

progettista: Ing. Gianni Pirino

Supporto tecnico-operativo
alla progettazione: Ing. Francesca Bianchi
Geom. Paolo Atzori
Geom. Massimo Dettori
Geom. Claudio Pireddu

OPERE DI ARMAMENTO FERROVIARIO

OGGETTO:
Circolare velocità massime d'orario

NOME-FILE

SCALA:

REV.	MODIFICHE	DATA	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	EMISSIONE	06/2018	F.BIANCHI		

TAVOLA:

D_900_03

CIRCOLARE VELOCITA' MASSIME D'ORARIO

1- PREMESSA.

Esigenze di redditività delle infrastrutture impongono che le velocità massime d'orario dei treni siano effettivamente le più elevate consentite dalla linea.

Tuttavia i criteri di calcolo delle velocità, pur facendo parte della tradizionale cultura tecnica ferroviaria, non sono mai stati completamente normalizzati, il che consente un certo margine di discrezionalità e, quindi, un'applicazione non univoca, ed a volte non ottimale, dei criteri stessi. Inoltre, si verificano malintesi per l'uso di termini tecnici il cui significato non è stato formalmente definito.

Scopo, quindi, della presente circolare è quello di supplire alle suddette carenze dando, nel contempo, criteri uniformi su una materia così importante.

2- CAMPO DI APPLICAZIONE

Le norme della presente circolare si applicano a tutte le linee della rete A.R.S.T. S.p.A.

3- SIMBOLI ED UNITA' DI MISURA

Nelle, presenti norme sono utilizzati i seguenti simboli e relative unità di misura:

t : tempo	sec
V : velocità	km/h
g : accelerazione di gravità	9.81 m/sec ²
Anc: accelerazione non compensata	m/sec ²
h : sopraelevazione	mm
I : insufficienza di sopraelevazione	mm
E : eccesso di sopraelevazione	mm
R : raggio di curvatura	m
L : lunghezza del raccordo parabolico	m
S : distanza di appoggio delle ruote	1010 mm
Ψ : contraccollo	m/sec ³
W: velocità di rotazione	rad/sec
P : pendenza di rampa dei raccordi	‰
g : sghembo del binario	‰

4- ACCELERAZIONE NON COMPENSATA

E' la differenza tra l'accelerazione centrifuga $V^2/[3.6)^2 \cdot R]$ e la componente centripeta dell'accelerazione di gravità gh/S dovuta alla sopraelevazione del binario.

Si fa notare che:

- Il sistema di unità di misura adottato non è omogeneo; infatti, per consuetudine e comodità, la velocità è misurata in km/h anziché in m/s; alcune lunghezze sono misurate in metri (R,L) ed altre in millimetri (h,I,E); infine le pendenze sono misurate in millesimi anziché essere

esprese con un numero decimale. Ciò spiega il coefficiente $3.6^2 = 12.96$ che figura nella 1ª formula, come pure gli altri coefficienti numerici inseriti nelle formule che seguono.

- l'inclinazione trasversale del binario, anche con la massima sopraelevazione ammessa (110 mm), è sufficientemente piccola da rendere trascurabili le differenze tra l'angolo, il suo seno e la sua tangente.

Ciò rende ragione della formula semplificata gh/S usata per esprimere la componente centripeta dell'accelerazione di gravità, in luogo dell'esatta $g \cdot \tan(\arcsen h/S)$.

- sui raccordi parabolici il valore di R è quello "locale" del punto dove si trova il veicolo. In ogni caso R è ricavabile dalla misura della freccia f relativa ad una corda arbitraria C , con la formula

$$R = C^2 / 8f$$

Assumendo per S e g i valori indicati al punto 3, cioè 1010 mm e 9.81 m/sec^2 , si ottiene:

$$Anc = V^2 / (12.96 \cdot R) - h / 103$$

L'accelerazione non compensata può anche essere espressa in termini di insufficienza o eccesso di sopraelevazione, come appresso precisato:

4.1-Insufficienza di sopraelevazione

Se l'accelerazione centrifuga $V^2 / (12.96 \cdot R)$ è maggiore della componente centripeta dell'accelerazione di gravità gh/S , cioè se $Anc > 0$, si chiama insufficienza (o difetto) di sopraelevazione l'incremento I che occorrerebbe dare ad h per annullare Anc ; quindi I è definito dalla

$$V^2 / (12.96 R) - (h+I) / 103$$

da cui:

$$I = 103 Anc = 7.948 V^2 / R - h$$

4.2-Eccesso di sopraelevazione

Se invece l'accelerazione centrifuga è inferiore alla componente centripeta dell'accelerazione di gravità, cioè se

Anc è negativa (il che ovviamente può accadere solo per circolazioni a velocità molto minore di quella per la quale sono state calcolate le sopraelevazioni) si chiama eccesso di sopraelevazione il decremento E che occorrerebbe dare ad h per annullare Anc . Risulta:

$$E = -103 Anc = h - 7.948 V^2 / R$$

5- PENDENZA DI RAMPA

Si definisce pendenza di rampa P dei raccordi parabolici tra rettilineo e curva, il rapporto tra la sopraelevazione della curva e la lunghezza del raccordo:

$$P = h / L$$

Analogamente nei raccordi parabolici tra curve consecutive di raggio diverso (policentriche) aventi sopraelevazione pari rispettivamente a h_1 e h_2 sarà:

$$P = (h_1 - h_2) / L$$

Data l'estrema tortuosità dei tracciati e la presenza di vincoli che non consentono grandi spostamenti dell'asse ferroviario si verificherà l'impossibilità di inserire raccordi parabolici di lunghezza adeguata ovvero si potranno avere curve prive di raccordi di transizione.

Nei casi in cui le curve siano dotate di raccordi di transizione di lunghezza adeguata, la rampa di

sopraelevazione si svilupperà lungo i raccordi planimetrici; nel caso in cui le curve risultino prive di raccordo di transizione, la rampa di sopraelevazione si svilupperà interamente nel tratto in rettilineo, nel tratto adiacente al punto di tangenza tra curva e rettilineo; se il raccordo di transizione esiste, ma è di lunghezza insufficiente a contenere la rampa di sopraelevazione, questa, in particolari circostanze, sconfinerà nel tratto in rettilineo per la parte che non può essere contenuta nel raccordo di transizione.

Pertanto in queste circostanze, per determinare la pendenza di rampa ($P = h / L$) si farà riferimento alla lunghezza della rampa di sopraelevazione che, quindi, non coinciderà col raccordo planimetrico.

6- SGHEMBO

Si definisce sghembo su base b il rapporto tra la variazione di sopraelevazione su due sezioni di binario distanti b e b stesso.-

$$g = (h_1 - h_2) / b$$

E' evidente che la pendenza della rampa e lo sghembo sono geometricamente la stessa cosa; tuttavia conviene mantenere distinte le due dizioni, intendendosi con la prima una caratteristica "fisiologica" del binario e con la seconda la somma algebrica della pendenza di rampa (ove esistente) più quella dovuta alle difettosità del binario.

7- VELOCITA' DI ROTAZIONE (DI ROLLIO)¹

E' la velocità angolare con cui un veicolo, considerato rigido e di lunghezza trascurabile, ruota, nel piano perpendicolare alla direzione del moto, attorno al punto di appoggio sulla rotaia bassa, per effetto del progressivo innalzamento (o abbassamento) della rotaia esterna del raccordo parabolico. Si ha:

$$W = hV/[3,6 S L] = P V/3.636$$

ovvero, nei raccordi tra curva con sopraelevazione h_1 e curva con sopraelevazione h_2 (policentriche)

$$W = (h_1 - h_2)V/3,6 S L = PV/3.636$$

8- CONTRACCOLPO

Si definisce contraccollo (o scossa) il rapporto tra la variazione dell'accelerazione non compensata ed il tempo in cui avviene detta variazione.

In un raccordo parabolico di lunghezza L , percorso alla velocità costante V , l'accelerazione non compensata cresce linearmente dal valore zero al valore massimo A_{nc} nel tempo $(3.6*L/V)$ che il veicolo impiega a percorrere il raccordo stesso.

Pertanto risulta:

$$\Psi = V A_{nc}/(3.6 L)$$

Analogamente, nel caso di raccordo parabolico tra due curve di raggio diverso, indicata con ΔA_{nc} la differenza tra le accelerazioni non compensate che competono

1 In un veicolo in movimento su un piano orizzontale si definisce "rollio" la rotazione attorno ad un asse parallelo al vettore velocità; "beccheggio" la rotazione attorno ad un asse orizzontale e perpendicolare al vettore velocità; "imbardata" la rotazione attorno ad un asse verticale.

alle due curve, si avrà

$$\Psi = V \Delta \text{Anc} / (3.6 L)$$

Esistono sulla rete A.R.S.T. S.p.A. casi di curve consecutive di raggio leggermente diverso, non raccordate. In tal caso il contraccollo (teoricamente infinito) si calcola convenzionalmente come se esistesse un raccordo di 10 m.

Il valore così calcolato non si discosta sensibilmente da quello che si ottiene con misure strumentali, poiché vari fenomeni (effetto combinato dei due carrelli, giochi, molleggi, etc) contribuiscono ad attenuare i contraccolli di breve durata.

In proposito si precisa che le grandezze cinematiche di cui ai punti 4, 7, 8 sono definite a livello del rodiggio. Qualora si volessero calcolare i corrispondenti valori a livello della cassa occorrerebbe tener conto del cosiddetto coefficiente di "souplesse" del veicolo considerato.

9- VELOCITA' LIMITE IN CURVA: (VL)

Nella nomenclatura generale viene definita velocità limite in curva quella velocità che determina un'accelerazione non compensata di 0.8 m/sec^2 con una sopraelevazione (reale o ipotizzata) di 110 mm.

Dalla formula $\text{Anc} = V^2 / (12.96R) - h/103$ di cui al punto 4, ponendo $h=110 \text{ mm}$ ed $\text{Anc}=0.8 \text{ m/sec}^2$

si ricava : $VL = 4.92 \sqrt{R}$

Nei tracciati esistenti, caratterizzati dalla presenza di curve molto ravvicinate che limitano fortemente la possibilità di inserimento di raccordi di transizione di lunghezza adeguata, con conseguente limitazione della sopraelevazione, si è reso necessario introdurre una variazione al significato di Velocità Limite.

La Velocità Limite in curva è definita come la massima velocità di percorrenza della curva assumendo come valori di $\text{Anc}=0.8 \text{ m/sec}^2$ e come sopraelevazione h quella realmente assegnata alla curva stessa, determinata mediante la formula $h=L \cdot p$.

Da quanto detto ne deriva che per il calcolo della velocità limite non può essere applicata la formula semplificata su esposta $VL=4.92\sqrt{R}$, ma si dovrà applicare la formula $VL=3.6\sqrt{((h/103)+\text{Anc}) \cdot R}$

9.1 -Arrotondamenti

Le velocità, calcolate come sopra sono arrotondate ciascuna, in eccesso o in difetto, al più vicino multiplo di 5 km/h.

E' quindi, di norma, consentito quale conseguenza dell'arrotondamento in eccesso, superare i limiti cinematici assunti a base di calcolo. Tuttavia, poiché su curve di piccolo raggio tale valore può essere di entità non trascurabile, andranno valutati gli effetti almeno nei punti più delicati (binari in condizioni non ottimali, travate metalliche, scambi etc.)

10- VELOCITA' DI TRACCIATO (Vt)

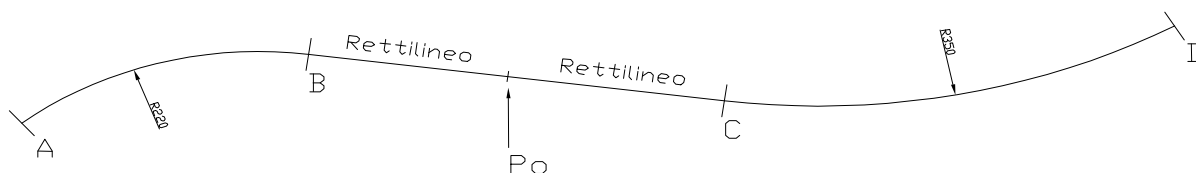
Su una predeterminata tratta si definisce velocità di tracciato la velocità limite della curva di raggio minore.

Se nella tratta considerata non esistono curve la velocità di tracciato è teoricamente infinita.

Nelle linee ferroviarie ARST il valore massimo di velocità ammesso è pari a 100 km/h.

Dalla definizione consegue che la velocità di tracciato in un punto della linea non è univocamente determinata, ma dipende dalla tratta cui il punto stesso è considerato appartenente.

Ad esempio si immagini un'estesa di binario con due curve di raggio 220 e 350 m, con sopraelevazione pari a 110 mm e quindi con velocità limite di 70 e 90 Km/h rispettivamente, separate da un rettilineo.



La velocità di tracciato nel punto P_o sarà pari a 100 km/h (velocità massima ammessa nelle linee ARST S.p.A.) se l'estesa viene divisa nelle tratte AB+BC+CD: sarà invece pari a 90 km/h (velocità limite della tratta CD) se l'estesa viene divisa nelle tratte AB + BD ; sarà infine, di 70 km/h (velocità limite della tratta AB) se l'intera estesa AD viene considerata come un'unica tratta.

L'esempio illustra l'importanza di una oculata suddivisione della linea in tratte, operazione per la quale non possono darsi regole fisse, ma occorre esperienza e buon senso, dovendosi contemperare le contrastanti esigenze su ottenere la massima velocità di tracciato e su evitare un eccessivo frazionamento delle velocità stesse, frazionamento penalizzato dalle fasi di accelerazione e decelerazione, particolarmente sulle linee percorse da treni con basso rapporto potenza/peso. Vanno, comunque, rispettate le seguenti norme:

- La lunghezza minima della tratta non può essere inferiore a 500 m;²
- Quando non vengano apposte le tabelle di velocità, è necessario che i punti di variazione di velocità capitino in corrispondenza di impianti facilmente individuabili dal personale di macchina (FV, CC, ponte, cippo chilometrico, scambio estremo, segnale etc.)

11- VELOCITA' MASSIME D'ORARIO

Le velocità, calcolate come indicato al punto 10, possono essere ridotte:

- a) Per il tipo e le condizioni dell'armamento;
- b) Per lo stato del corpo stradale quali rilevati cedevoli, massicciate inquinate, etc. Non costituisce, invece, motivo di limitazione di velocità il fatto che il ballast sia costituito da pietrisco calcareo;
- c) Per la mancanza di riferimenti topografici delle curve (picchetti e/o pioli) e della

² In casi particolari, legati ad esigenze d'esercizio, A.R.S.T. potrà adottare valori diversi della "lunghezza minima della tratta".

conseguente maggiore difficoltà a mantenere la corretta geometria del binario;

d) Per la non idoneità delle opere d'arte sotto binario a sopportare elevate azioni dinamiche;

e) Per il rispetto di norme regolamentari (segnalamento di 2^a categoria, distanze tra segnali di avviso e di 1^a categoria, presenza di P.L. semaforizzati o aperti e incustoditi, mancanza dei dispositivi di ripetizione in macchina dei segnali, etc.);

f) Eccezionalmente, per la presenza, in deroga, di ostacoli fissi ineliminabili che eccederebbero il profilo minimo degli ostacoli;

g) Quando le effettive velocità di tutti, o quasi tutti, i treni sono di fatto sensibilmente inferiori a quelle che sarebbero ammesse dalla linea.

In tal caso è opportuno abbassare le velocità di tracciato per evitare che i treni circolino sempre, o quasi sempre, in eccesso di sopraelevazione.

Le velocità che risultano dopo le suddette eventuali riduzioni sono le "**VELOCITA' MASSIME D'ORARIO**", comunemente chiamate "**velocità di fiancata**", essendo quelle indicate (o da indicare) sulle fiancate degli orari di servizio.

12- SOPRAELEVAZIONI IN CURVA

Si calcola, con riferimento alle velocità di fiancata, con

la formula $h = (7.95 V_0^2/R) - 82.44$

La formula deriva dall'aver fissato, per ciascuna curva, Anc pari a 0.8 m/sec²

Il valore di h così ottenuto si arrotonda al centimetro più vicino. Tale arrotondamento può comportare un errore massimo di 5 mm, che, per quanto detto al punto 4, corrisponde ad una variazione dell'accelerazione non compensata

$$\Delta \text{ Anc} = 5 / 103 = 0.048 \text{ m/sec}^2$$

13- RACCORDI PARABOLICI

Per le attuali caratteristiche di tracciato della rete ferroviaria A.R.S.T. capiterà frequentemente che il raccordo parabolico, e non la curva circolare, costituiranno l'elemento limitativo ad un aumento di velocità in quanto non consentono di inserire la sopraelevazione massima ammessa. In tal caso va sempre esaminata la possibilità di una correzione di tracciato che allunghi il raccordo parabolico. L'entità di tale correzione può essere calcolata con la formula

$$Y = (L_2^2 - L_1^2) / 24 R$$

che dà lo spostamento Y del binario verso l'interno curva in conseguenza di un aumento della lunghezza del raccordo parabolico da L₁ a L₂.

L'allungamento del raccordo parabolico può, talvolta, comportare soltanto spostamenti molto piccoli del binario e quindi oneri modesti, ampiamente giustificati dai vantaggi ottenibili.

14- FONTI

Le norme della presente circolare sono desunte dalla normativa “VELOCITA' MASSIME D'ORARIO” L.41.343.7.1 del 21.04.1987 dell'Ente Ferrovie dello Stato adeguando i valori della sopraelevazione, la distanza di appoggio delle ruote ed eliminando argomenti non applicabili o non essenziali.

15- DISPOSIZIONI ATTUATIVE

Sono abrogate tutte le disposizioni incompatibili.

Sommario

1- PREMESSA.....	2
2- CAMPO DI APPLICAZIONE.....	2
3- SIMBOLI ED UNITA' DI MISURA.....	2
4- ACCELERAZIONE NON COMPENSATA.....	2
4.1-Insufficienza di sopraelevazione.....	3
4.2-Eccesso di sopraelevazione.....	3
5- PENDENZA DI RAMPA.....	3
6- SGHEMBO.....	4
7- VELOCITA' DI ROTAZIONE (DI ROLLIO).....	4
8- CONTRACCOLPO.....	4
9- VELOCITA' LIMITE IN CURVA: (VL).....	5
9.1 -Arrotondamenti.....	5
10- VELOCITA' DI TRACCIATO (V_t).....	5
11- VELOCITA' MASSIME D'ORARIO.....	6
12- SOPRAELEVAZIONI IN CURVA.....	7
13- RACCORDI PARABOLICI.....	7
14- FONTI.....	8
15- DISPOSIZIONI ATTUATIVE.....	8