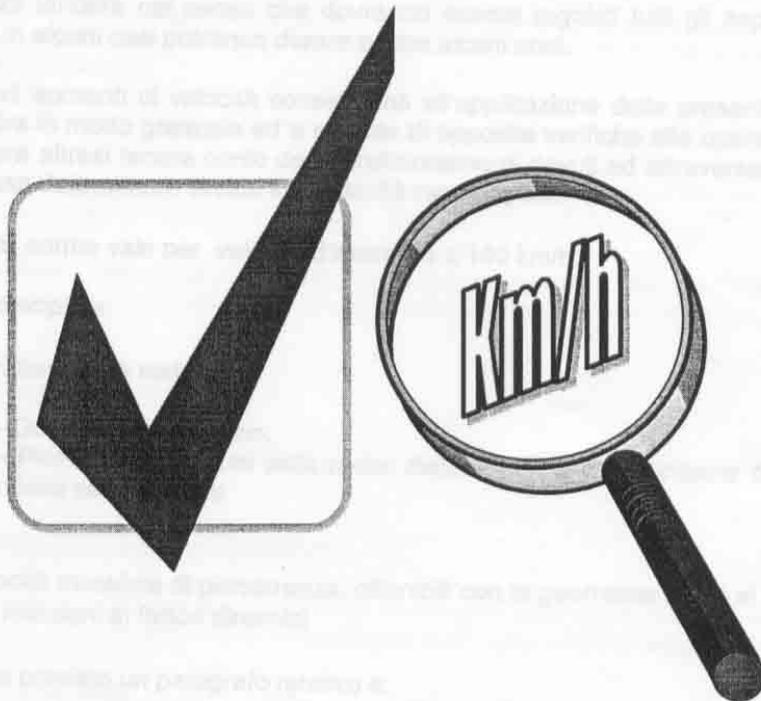


TRASPORTE METROPOLITANO E REGIONALE  
**Progetto FGCG**

STAFF SERVIZI TECNICI DI TRASPORTO  
STAFF INFRASTRUTTURE



**Normativa per le Ferrovie Italiane a scartamento di 950 mm:**

*Geometria del binario*  
*Profilo e dimensioni della ruota*  
*Velocità massime di percorrenza*

NORMA VEL. N.1  
Firenze, Milano 1.12.98

## Premessa

La presente disciplina è volta a regolare in modo organico gli aspetti salienti dell'accoppiamento ruota-rotaia delle ferrovie a scartamento ridotto (950 mm.) italiane, tendendo a superare (unificando) l'attuale frammentazione normativa tra le varie Gestioni, ed anche i vari aspetti della materia, che non facilita la costruzione delle economie di scala ed anzi spesso introduce incertezze interpretative ed inconvenienti tecnici.

La norma entra immediatamente in vigore e sopprime tutte quelle precedenti ed eventualmente in contrasto con la presente; tuttavia essa deve essere considerata come un obiettivo a cui tendere nel senso che dovranno essere regolati tutti gli aspetti della transizione, che in alcuni casi potranno durare anche alcuni anni.

Gli eventuali aumenti di velocità conseguenti all'applicazione della presente norma dovranno avvenire in modo graduale ed a seguito di apposite verifiche alle opere d'arte e alla sede. Si dovrà altresì tenere conto dei condizionamenti dovuti ad attraversamenti ed a quant'altro possa determinare vincoli alla velocità raggiungibile.

La presente norma vale per velocità d'esercizio  $\leq 140$  km/h.

La norma disciplina:

A - Caratteristiche statiche:

A.1 - Geometria del binario;

A.2 - Profilo e dimensioni della ruota; distanza fra le facce interne delle due ruote della sala montata

B - Velocità massime di percorrenza, ottenibili con la geometria di cui al punto A e in relazioni ai fattori dinamici

Infine è stato previsto un paragrafo relativo a:

C - Fonti e definizioni tecniche

## A - CARATTERISTICHE STATICHE

### A.1 - Geometria del binario a scartamento ridotto

#### A.1.1 Scartamento e controrotaia

Lo scartamento del binario in rettilineo è fissato in 950 mm. La tolleranza ammessa è contenuta nei limiti  $-2 +5$  mm. L'eventuale controrotaia deve essere posta a 55 mm (distanza fra i funghi interni di rotaia e controrotaia). Tali misure, in curva, variano come dalla seguente tabella:

Raggio della curva [m]	Scartamento [mm]	Tolleranze [mm]	Controrotaia (1)
> 650	950	-2 +5	55
650 ÷ 551	955	-2 +5	60
550 ÷ 451	960	-2 +5	65
450 ÷ 351	965	-2 +5	70
350 ÷ 251	970	-2 +5	75
250 ÷ 151	975	-2 +5	80
< 150	980	-2 +5	85

(1) I valori si riferiscono a controrotaie utilizzate sui P.L. e nei punti singolari della linea (viadotto, curve strette su tracciato pericoloso, etc.). Per quanto riguarda gli scambi si deve far riferimento al piano di posa dello specifico deviatio

L'uso della controrotaia resta comunque obbligatorio nei seguenti casi:

- Scambi
- PL

Nei casi particolari l'adozione della controrotaia è demandata a ciascuna Direzione di Esercizio, che può anche, motivatamente, proporre di modificare la distanza fra rotaia e controrotaia.

#### **A.1.2 Sopraelevazione**

La massima sopraelevazione ammissibile in curva viene fissata a 110 mm. Si veda la nota in calce al punto B.2

#### **A.1.3 Raccordo verticale (cilindrico)**

Il raggio dei raccordi verticali (cilindrici) deve essere non inferiore a 2000 m. Non è ammesso sovrapporre il raccordo di sopraelevazione con il raccordo verticale (cilindrico).

#### **A.1.4 Picchettazione**

I picchetti di riferimento, in prossimità delle curve, devono essere posti ad una distanza di almeno un metro dal bordo interno della più vicina rotaia e devono distare tra loro non meno di 10 metri. Si deve effettuare la verifica periodica del mantenimento di posizione reciproca tra rotaia e picchetto.

#### **A.1.5 Pendenza di rampa (valori limite)**

Nei raccordi di sopraelevazione la massima pendenza di rampa ammessa viene fissata al 1,5‰; sono ammesse, tuttavia, in situazioni particolari pendenze di rampa fino al 3‰. In tal caso dovranno essere osservate le limitazioni di velocità (nonché degli altri valori) di cui ai punti seguenti.

Per la definizione puntuale di pendenza di rampa vedi punto C.3.2.

**A.1.6 Sghembo (valori limite)**

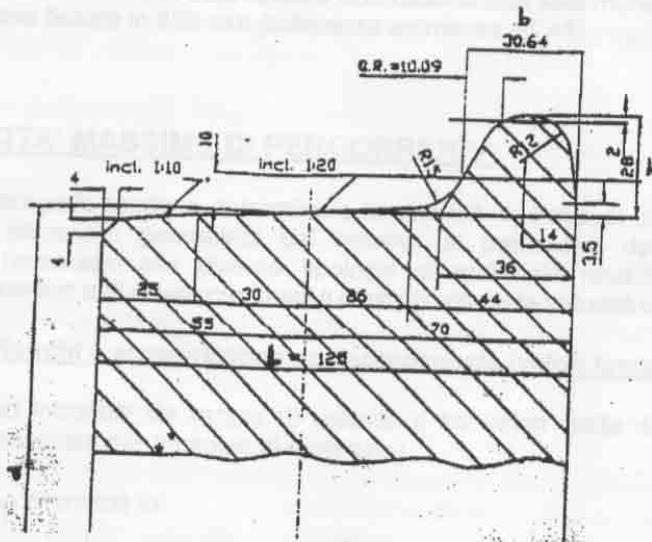
Su base 3 metri il massimo sghembo ammesso viene fissato in modo ASSOLUTAMENTE INDEROGABILE al 3 ‰

Per la definizione puntuale di sghembo (e la sua differenza con la pendenza di rampa) vedi punto C.3.3

**A.2 – Profilo e dimensioni della ruota e distanza tra le facce interne delle ruote**

**A.2.1 Profilo e dimensioni della ruota**

Viene definito in questo paragrafo il profilo della superficie esterna dei cerchioni o ruote monoblocco, finita di lavorazione, per ruote di materiale rotabile a scartamento ridotto.



Diametro d [mm]	Larghezza L [mm]
700 ÷ 800	125

Dove:

**d** → rappresenta il valore nominale del diametro esterno della ruota in corrispondenza del circolo di rotolamento.

**L** → rappresenta la larghezza a nuovo della ruota finita di lavorazione.

Durante l'esercizio ferroviario va garantito che le misure di seguito riportate non dovranno mai andare al di fuori dei valori indicati:

-	Groschezza del bordino	[mm]	<b>b</b> ≥ 20
-	Altezza del bordino	[mm]	28 ≤ <b>h</b> ≤ 36
-	Quota $Q_r$ (2)	[mm]	<b>Q<sub>r</sub></b> ≥ 5

(2) La quota  $Q_r$  va verificata ogni volta che il profilo viene ritornito a nuovo, anche se con misure della groschezza bordino inferiore a quella finita di lavorazione; infatti nella tornitura in economia, in funzione del profilo base, è possibile ottenere profili con minor groschezza del bordino, allo scopo di risparmiare materiale.

#### **A.2.2 Distanza fra le facce interne delle due ruote di una sala montata**

La distanza fra le facce interne delle due ruote di una sala montata, misurata sull'assile, viene fissata in 880 mm (tolleranza ammessa -1 +1).

### **B – VELOCITA' MASSIME DI PERCORRENZA**

Tale paragrafo tende a determinare le velocità di tratta di una rete ferroviaria in relazione ai parametri geometrici del binario, al parametro dell'accelerazione non compensata (associato alle diverse tipologie di materiale rotabile), nonché ad altri parametri di comfort e di sicurezza, quali il contraccolpo e la velocità di sollevamento.

#### **B.1 Ranghi e accelerazione non compensata (valori limite)**

Vengono introdotti tre ranghi di velocità e tre valori limite di Accelerazione non compensata (associati alle tipologie di materiale).

Di norma circolano in:

- rango A – tutti i treni merci con valori di  $A_{nc}$  fino a 0,6 m/sec<sup>2</sup>
- rango B – tutti i treni viaggiatori con valori di  $A_{nc}$  fino a 0,8 m/sec<sup>2</sup>
- rango C – tutti i treni viaggiatori composti con materiale leggero e con carrelli di tipo moderno (sospensioni a molla elicoidale) con valori di  $A_{nc}$  fino a 1,0 m/sec<sup>2</sup>

Per la definizione puntuale di Accelerazione non compensata vedi punto C.3.1

## B.2 Velocità di rango

La velocità massima consentita è definita dalla formula:

$$V = 3,6\sqrt{R(A_{nc} + 0,00962h)}$$

Viene di seguito riportata una tabella che, applicando la suddetta formula, definisce le massime velocità di rango in relazione a:

- Accelerazione non compensata
- Sopraelevazione
- Raggio della curva

Sopraelevazione	Rango A ( $A_{nc}=0,6$ )	Rango B ( $A_{nc}=0,8$ )	Rango C ( $A_{nc}=1$ )
h=110	4,64 $\sqrt{R}$	4,90 $\sqrt{R}$	5,16 $\sqrt{R}$
h=100	4,50 $\sqrt{R}$	4,77 $\sqrt{R}$	5,04 $\sqrt{R}$
h=65	3,98 $\sqrt{R}$	4,30 $\sqrt{R}$	4,59 $\sqrt{R}$

Per visualizzare le velocità massime in funzione dei diversi raggi di curvatura e della sopraelevazione di 110 mm (con pendenza di rampa fino a 1.5‰), si veda la tabella in appendice.

Le velocità così calcolate, devono poi essere arrotondate, per eccesso o per difetto al più prossimo multiplo di 5 Km/h, scegliendo quello successivo se il risultato matematico supera di 2.5 km/h il multiplo precedente.

Le velocità massime non possono comunque superare, nelle situazioni di rampa superiori a 1,5‰, con materiale rotabile in rango C, i seguenti valori:

1.5‰+2.0‰	2.0‰+2.5‰	2.5‰+3.0‰
V = 100 km/h	V = 90 km/h	V = 75 km/h

Inoltre, le velocità calcolate non devono determinare un contraccolpo superiore a 0.70 m/sec<sup>3</sup> e una velocità di sollevamento superiore a 80 mm/sec, come riportato nei punti B.3 e B.4.

### B.2 Nota (sopraelevazione curve limitrofe)

Nel caso di tratta con curve limitrofe, poste a breve distanza una dall'altra, la velocità di percorrenza, quando non condizionata da altri fattori (sghebbi, punti singolari, etc.), sarà determinata dalla curva a raggio minimo, per la quale si suppone una sopraelevazione massima (per il calcolo della velocità si adotterà la formula di cui al punto B.2).

Pertanto la sopraelevazione delle altre curve dovrà limitarsi alla misura in grado di garantire il mantenimento della velocità in quel modo calcolata, seguendo il criterio in uso a FS che assume una relazione di proporzionalità diretta fra  $A_{nc}$  e sopraelevazione (o, che è la stessa cosa, una relazione di proporzionalità inversa fra raggio di curvatura e sopraelevazione a velocità costante).

### **B.3 Contraccolpo (valori limite)**

Il contraccolpo, definito come rapporto tra la variazione dell'accelerazione non compensata ed il tempo in cui questa avviene fornisce un valore legato al comfort di marcia. L'espressione matematica risulta essere:

$$\Psi = V * A_{nc} * p / (3,6 * h)$$

La seguente tabella contiene gli aspetti qualitativi in relazione a vari valori del contraccolpo.

Indice di comfort	Contraccolpo $\Psi$ [m/sec <sup>3</sup> ]
Molto buono	0.30
Buono	0.45
Accettabile	0.70

Per la definizione puntuale di contraccolpo vedi punto C.3.4

### **B.4 Velocità di sollevamento (valori limite)**

La velocità di sollevamento è definita come la velocità verticale della ruota esterna del veicolo che percorre il raccordo di sopraelevazione

$$V_s = p V / 3.6$$

Anche in questo caso la tabella indica degli indici di comfort:

Indice di comfort	Velocità di sollevamento [mm/sec]
Buono	< 40
Accettabile	80

Per la definizione puntuale di velocità di sollevamento vedi punto C.3.6

### **B.5 Lunghezza di tratta e indicazione di velocità**

La lunghezza minima di una tratta non può essere inferiore a 2.000 metri.

La lunghezza di ciascuna tratta (con relative velocità) deve essere fissata, oltre che nel rispetto di tutte quante le condizioni di cui sopra, anche in relazione a particolari situazioni della linea, quali ad esempio:

- a) tipo e condizioni dell'armamento;
- b) stato del corpo stradale (rilevati cedevoli, massicciate inquinate etc.);
- c) idoneità delle opere d'arte sottobinario a sopportare elevate azioni dinamiche;
- d) curva e/o gruppi di curve di raggio inferiore o con sopraelevazione minore rispetto alle curve limitrofe;
- e) passaggi a livello aperti e incustoditi;
- f) tratte limitrofe alle stazioni;
- g) punti singolari della tratta o delle stazioni;

h) pendenza

Ad ogni variazione di velocità (determinata dal passaggio da una tratta all'altra) dovrà corrispondere una segnalazione riportata in fiancata all'orario di servizio e su apposite paline poste in opera a distanza di frenatura dal punto di variazione, se in diminuzione. In aumento dovrà essere riportata sull'orario di servizio e potrà essere coincidente con punti singolari della linea facilmente individuabili. In quest'ultimo caso, l'uso di della palinatura resta facoltativo.

Le velocità di tratta, rispetto a quelle della tratta precedente, non possono subire variazioni in diminuzione superiori a 60 Km/h.

Per la definizione puntuale di velocità di tratta vedi punto C.3.7.

## C - FONTI E DEFINIZIONI TECNICHE.

### C.1 Fonti

La presente Norma è stata elaborata adottando i criteri di cui alle normative "Velocità massime d'orario" L.41.343.7.1. del 21/4/1987; modificando i valori di scartamento e di distanza d'appoggio delle ruote ed eliminando i paragrafi e gli argomenti ritenuti non applicabili ed essenziali.

Inoltre si è tenuto conto, in relazione alla fattispecie non regolamentate dalle normative di cui sopra, di altre fonti FS (v. testo di Istruzione Professionale "Caratteristiche geometriche e termica del binario" ed. 1965 e successive) nonché delle positive esperienze maturate dalle singole Gestioni che adottano lo scartamento ridotto.

Per i riferimenti teorici e per il glossario delle definizioni è stato utilizzato il testo "Impianti ferroviari- Tecnica ed Esercizio" dell'Ing. Lucio Mayer (CIFI 1970 e seguenti), nonché il testo "La sovrastruttura ferroviaria" degli Ingg. Lanni-Bono-Focacci (CIFI ed.1997)

### C.2 Simboli ed unità di misura

Simbolo	Descrizione	Valore	Unità di misura
t	Tempo		sec
V	Velocità		Km/h
g	Accelerazione di gravità	9,81	m/sec <sup>2</sup>
A <sub>nc</sub>	Accelerazione non compensata		m/sec <sup>2</sup>
h	Sopraelevazione		mm
R	Raggio di curvatura		m
l	Lunghezza del raccordo parabolico		m
s	Distanza d'appoggio fra le ruote*	1020	mm
Ψ	Contraccolpo		m/sec <sup>3</sup>

$\omega$	Velocità di rotazione		Rad/sec
$V_s$	Velocità di sollevamento		mm/sec
$p$	Pendenza di rampa dei raccordi		‰
$\gamma$	Sghembo del binario		‰

\*Tale dato (1020 mm) è rilevato dai valori delle sale montate previste dalla presente norma (distanza tra le facce interne delle ruote presa sull'assile + [distanza del circolo di rotolamento dalla faccia interna della ruota • 2] = 880 + [70 • 2] = 1020

### **C.3 Definizioni:**

#### **C.3.1 Accelerazione non compensata**

Si definisce accelerazione non compensata la differenza fra l'accelerazione centrifuga  $[(V^2)/(3,6^2 \cdot R)]$  e la componente centripeta della accelerazione di gravità (g·h/s) dovuta alla sopraelevazione della rotaia

$$A_{nc} = [(V^2)/(3,6^2 R)] - (g \cdot h/s)$$

Dove 3,6 è il fattore di conversione da m/s a Km/h; assumendo g ed s i valori indicati al punto 2 si ottiene

$$A_{nc} = [(V^2)/(12,96 R)] - (9,81 h/1.020) \quad e$$

$$A_{nc} = [(V^2)/(12,96 R)] - 0,00962 \cdot h$$

Sui raccordi parabolici il valore di R è quello "locale", del punto in cui si trova il veicolo.

#### **C.3.2 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 ad  $h_1$  ed  $h_2$  sarà:

$$p = (h_1 - h_2)/l$$

#### **C.3.3 Sghembo**

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

$$\gamma = (h_1 - h_2)/b$$

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

\*Ovviamente, essendo lo sghembo massimo ammissibile pari al 3‰, si dovrà prestare una particolare attenzione alla manutenzione del binario nei raccordi di sopraelevazione, soprattutto quando la pendenza di rampa si avvicina (o raggiunge da sola) il 3‰. E' evidente che in tali casi la difettosità del binario deve essere contenuta al massimo (o addirittura essere nulla) al fine di non superare in nessun caso il 3‰ consentito.

### **C.3.4 Contraccolpo**

Si definisce contraccolpo (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  $(3,6 \cdot l/V)$  che il veicolo impiega a percorrere il raccordo stesso.

Pertanto risulta:

$$\Psi = V \cdot A_{nc} / (3,6 \cdot l)$$

Analogamente, nel caso di raccordo parabolico tra due curve di raggio diverso, indicate con  $\Delta A_{nc}$  la differenza tra le accelerazioni non compensate che competono alle due curve, si avrà:

$$\Psi = V \cdot \Delta A_{nc} / (3,6 \cdot l)$$

Nei casi di curve consecutive di raggio leggermente diverso, non raccordate, il contraccolpo (teoricamente infinito), si calcola convenzionalmente come se esistesse un raccordo di dieci metri.

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, ecc.) contribuiscono ad attenuare i contraccolpi di breve durata.

In proposito si precisa che tutte le grandezze cinematiche sono definite a livello di rodiggio.

Qualora si volessero calcolare i corrispondenti valori a livello della cassa, occorrerebbe tenere conto del cosiddetto coefficiente di "souplesse" del veicolo considerato.

### **C.3.5 Velocità di rotazione (di rollo)**

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 d'appoggio sulla rotaia bassa, per effetto del progressivo innalzamento (o abbassamento) della rotaia esterna del raccordo parabolico. Si ha:

$$\omega = h \cdot V / (3,6 \cdot s \cdot l) = p \cdot V / (3672) \quad (h/l = p \text{ pendenza di rampa})$$

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

$$\omega = (h_1 - h_2) \cdot V / (3.6 \cdot s \cdot l) = p \cdot V / 3672$$

### C.3.6 Velocità di Sollevamento

Rappresenta la componente verticale della velocità con la quale si muove la ruota esterna percorrendo il raccordo di sopraelevazione.

$$V_s = p \cdot V / 3.6$$

### C.3.7 Velocità di tratta

Su una linea ferroviaria si definisce velocità di tratta la velocità limite che soddisfa tutte le condizioni geometriche e di punti singolari della tratta stessa in relazione al rango di velocità del materiale.

**Norma transitoria:**

I Direttori di Esercizio delle varie ferrovie sono tenuti a presentare il piano di rientro nella presente norma entro sei mesi dalla data di emissione. Entro tale data sono tenuti altresì a segnalare eventuali casi in cui si renda necessaria una deroga, motivandola in modo efficace ed opportuno.

Le costruzioni di nuove linee (o i rifacimenti integrali di parte di linee esistenti), nonché di nuovo materiale rotabile, dovranno inderogabilmente (già dalla fase di progettazione) rispettare la disciplina prevista dalla presente norma.

**Appendice: Tabella delle velocità massime in Km/h**

E' riportata di seguito una tabella riportanti le velocità massime in funzione dei raggi di curvatura e della sopraelevazione (110 mm), rispettivamente per i ranghi di velocità A, B e C.

I valori riportati sono ottenuti attraverso il calcolo matematico, al netto degli arrotondamenti e degli altri fattori limitativi.

Fra l'altro, nei casi in cui la pendenza di rampa supera il valore di 1,5‰, si dovrà sempre osservare quanto previsto al punto B.2.

velocità massima in Km/h

Raggio (m)	Velocità A (Km/h)	Velocità B (Km/h)	Velocità C (Km/h)
100	110	100	90
125	115	105	95
150	120	110	100
175	125	115	105
200	130	120	110
250	140	130	120
300	150	140	130
350	160	150	140
400	170	160	150
450	180	170	160
500	190	180	170
600	200	190	180
700	210	200	190
800	220	210	200
900	230	220	210
1000	240	230	220
1200	250	240	230
1400	260	250	240
1600	270	260	250
1800	280	270	260
2000	290	280	270
2500	300	290	280
3000	310	300	290
3500	320	310	300
4000	330	320	310
4500	340	330	320
5000	350	340	330
6000	360	350	340
7000	370	360	350
8000	380	370	360
9000	390	380	370
10000	400	390	380

Velocità massime in Km/h			
Sopraelevazione h=110 mm			
Raggio	Anc=0,6 m/sec <sup>2</sup>	Anc=0,8 m/sec <sup>2</sup>	Anc=1,0 m/sec <sup>2</sup>
metri	Km/h	Km/h	Km/h
80	41	44	46
100	46	49	52
120	50	54	57
140	54	58	61
160	58	62	65
180	62	66	69
200	65	69	73
220	68	73	77
240	71	76	80
260	74	79	83
280	77	82	86
300	80	85	89
320	82	88	92
340	85	90	95
360	87	93	98
380	90	96	101
400	92	98	103
420	94	100	106
440	96	103	108
460	99	105	111
480	101	107	113
500	103	110	115
520	105	112	118
540	107	114	120
560	109	116	122
580	111	118	124
600	113	120	126
620	115	122	128
640	116	124	131
660	118	126	133
680	120	128	135
700	122	130	137
720	123	131	138
740	125	133	140
760	127	135	142
780	128	137	144
800	130	139	146
820	132	140	148
850	134	143	150
900	138	147	155
950	142	151	159
1000	145	155	163

## Velocity Limit:

$$a_c = \frac{v^2}{R} - \frac{h}{10z}$$

Para  $h = 160$  e  $a_c = 0,6 \text{ m/sec}^2$  a  $h_0$ :

$$V = 3,6 \sqrt{R \left( \frac{160}{10z} + 0,6 \right)} = 3,6 \sqrt{R (2,1686)} = 3,6 \times 1,4726 \sqrt{R} = 5,30 \sqrt{R}$$

Para  $h = 100$  e  $a_c = 0,6$

$$V = 3,6 \sqrt{R \left( \frac{100}{10z} + 0,6 \right)} = 3,6 \sqrt{R (1,58)} = 3,6 \times 1,2569 \sqrt{R} = 4,52 \sqrt{R}$$