

Parte I: Meccanica della locomozione ed armamento

1) **Meccanica della locomozione:**

equazione del moto, resistenze al moto, dinamica del veicolo, andamento planoaltimetrico, sopraelevazione in curva, accelerazione non compensata

2) **Armamento:**

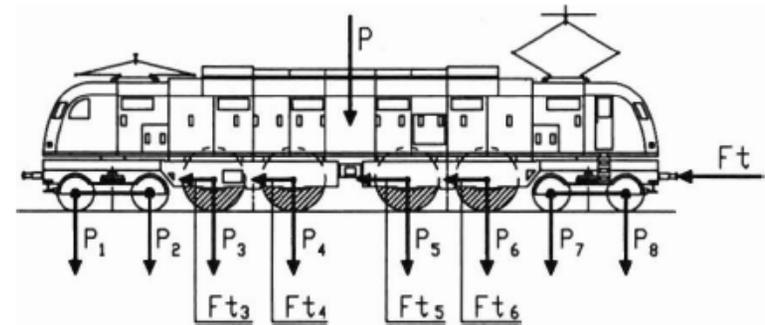
geometria del binario, rotaie, traverse, massicciata, sistemi di posa ed attacchi, rapporto tra rodiggio e binario, deviatori (semplice, doppio, inglese).



Condizioni di moto di un veicolo terrestre

Un veicolo terrestre, che realizza il moto attraverso la capacità di trasmettere alla via forze orizzontali, trasmette al terreno:

- attraverso **tutte le ruote**, un sistema di **forze verticali** la cui somma \mathbf{P} è il **peso** totale del veicolo;
- attraverso le sole **ruote motrici**, un sistema di forze orizzontali la cui somma \mathbf{F}_t è la **forza di trazione**.



$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$$

$$F_t = F_{t3} + F_{t4} + F_{t5} + F_{t6} \quad P_a = P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

○ Ruote portanti ● Ruote motrici

Le ruote collegate al motore vengono definite **ruote motrici**, quelle non collegate si definiscono **ruote portanti**, il peso \mathbf{P}_a che grava sulle ruote motrici è chiamato **peso aderente**.

$$\mathbf{P} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$$

$$\mathbf{F}_t = F_{t3} + F_{t4} + F_{t5} + F_{t6}$$

$$\mathbf{P}_a = P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

Aderenza

La forza orizzontale che ciascuna ruota trasmette al terreno è proporzionale alla forza verticale (**P**) che grava su di essa e può essere incrementata fino a quando viene mantenuto il contatto tra ruota e terreno, per poi crollare assumendo il valore dell'attrito radente (o di slittamento) quando tale contatto viene a mancare.

Si definisce **aderenza (limite di aderenza F_{ad})** la massima forza orizzontale trasmettibile tra ruota e via ovvero si ha aderenza fino a quando nel punto di contatto la velocità relativa tra ruota e terreno è nulla. Essa rappresenta il limite superiore della **forza di trazione**.

$$F_{ad} = f P \quad F_t \leq F_{ad}$$

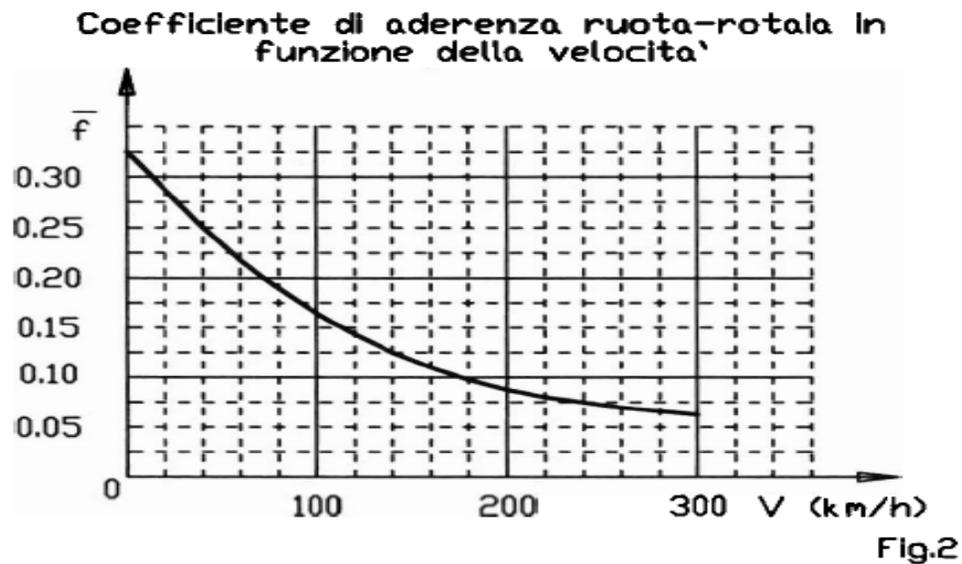
con ***f*** definito **coefficiente di aderenza**.



Aderenza

L'aderenza, che è proporzionale al peso che insiste sulla ruota, dipende:

- dalla **velocità** (fig.2),
- dalla natura della via,
- dal materiale di cui è costituita la ruota,
- dalle condizioni di pulizia ed umidità delle superfici a contatto.



Coefficienti di aderenza per superfici asciutte e pulite

FERROVIA	Trazione elettrica assi accoppiati	0,25 – 0,30
	Trazione elettrica assi liberi	0,20
	Trazione Diesel assi accoppiati	0,20
	Trazione Diesel assi liberi	0,167
	Trazione a vapore	0,167
STRADA	Asfalto	0,65 – 0,70
	Calcestruzzo liscio	0,65 – 0,70
	Calcestruzzo ruvido	0,80 – 0,85

In campo ferroviario, dove il coefficiente di aderenza acciaio-acciaio è modesto, si sono moltiplicati gli assi motori dei mezzi di trazione e si è in presenza da sempre di infrastrutture con basse pendenze ad ampi raggi di curvatura, mentre nel mondo stradale, dove si può contare su un più alto coefficiente di aderenza, un asse motore è sufficiente a trasmettere la necessaria forza di trazione e si possono superare pendenze maggiori.

Differenza fondamentale: spazio di frenatura



Resistenza al moto

Disporre di un determinato valore della Forza di Trazione F_t è condizione necessaria ma non sufficiente per il moto. Occorre infatti che essa sia superiore al complesso R_t delle resistenze che si oppongono al moto, in modo da imprimere al veicolo un'accelerazione capace di fargli raggiungere una determinata velocità:

$$F_t = R_t + (P/g) a$$

dove:

- R_t è la somma di tutte le resistenze al moto;
- P è il peso del veicolo;
- g è l'accelerazione di gravità;
- a è l'accelerazione impressa al veicolo

Tradizionalmente il complesso delle resistenze al moto si considera somma della **resistenza in rettilineo ed in orizzontale** (forze che si oppongono al moto nei meccanismi interni al veicolo stesso, nei contatti ruota-rotaia, e nel contatto veicolo-mezzo in cui si muove) e **resistenza per accidentalità della via** (pendenze e curve).

$$R_t = \text{Resistenza in rettilineo} + \text{resistenze accidentali (pendenze e curve)}$$

Resistenza in rettilineo ed in orizzontale

La **resistenza in rettilineo ed in orizzontale** (\mathbf{R}_0) è la somma dell'attrito:

- perno della ruota-cuscinetto: \mathbf{R}_1 ;
- ruota-strada: \mathbf{R}_2 ;
- dell'aria nella quale il veicolo si muove: \mathbf{R}_m (a 300 km/h la \mathbf{R}_m rappresenta il 90-96% della \mathbf{R}_0)

$$\mathbf{R}_0 = \mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2 + \mathbf{R}_m$$

Normalmente, potendosi in prima approssimazione considerare tali resistenze proporzionali al peso, ci si riferisce alle resistenze specifiche:

$$r_0 = \mathbf{R}_0/\mathbf{P}; \quad r_1 = \mathbf{R}_1/\mathbf{P}; \quad r_2 = \mathbf{R}_2/\mathbf{P}; \quad r_m = \mathbf{R}_m/\mathbf{P}$$

Resistenza in rettilineo ed in orizzontale

La diffusione dei cuscinetti a rulli nell'accoppiamento cassa-sala montata, l'adozione delle lunghe rotaie saldate e di un binario meno deformabile grazie al maggior peso di rotaie e traverse rendono prudentziali le formule adottate dalle Ferrovie dello Stato:

- per i treni viaggiatori

$$r_0 = 1,94 + 2,65 (V/100)^2 \quad \text{daN/t}$$

- per i treni merci

$$r_0 = 2,04 + 5,01 (V/100)^2 \quad \text{daN/t}$$

con V che è la velocità in km/h.

Tali formule non sono rappresentative del fenomeno per velocità superiori ai 140-150 km/h quando non è possibile non tener conto delle caratteristiche aerodinamiche dei convogli.



Resistenza in rettilineo ed in orizzontale

Per velocità superiori ai 140-150 km/h il valore di r_0 viene espresso in funzione della velocità con espressioni del tipo:

$$r_0 = a + b v + c v^2$$

dove a , b e c sono grandezze opportunamente scelte in funzione della natura dei veicoli e dei convogli.

Inoltre l'accesso del mondo ferroviario alle alte velocità ha imposto l'approfondimento degli studi relativi al moto del treno in galleria al fine di determinarne la resistenza addizionale. In tutte le campagne sperimentali, quale che sia il materiale rotabile (Ale, ETR 500, treno merci, ecc...) il rapporto tra resistenza in galleria e quella all'aperto è risultato, alle alte velocità, 1,7÷1,8.

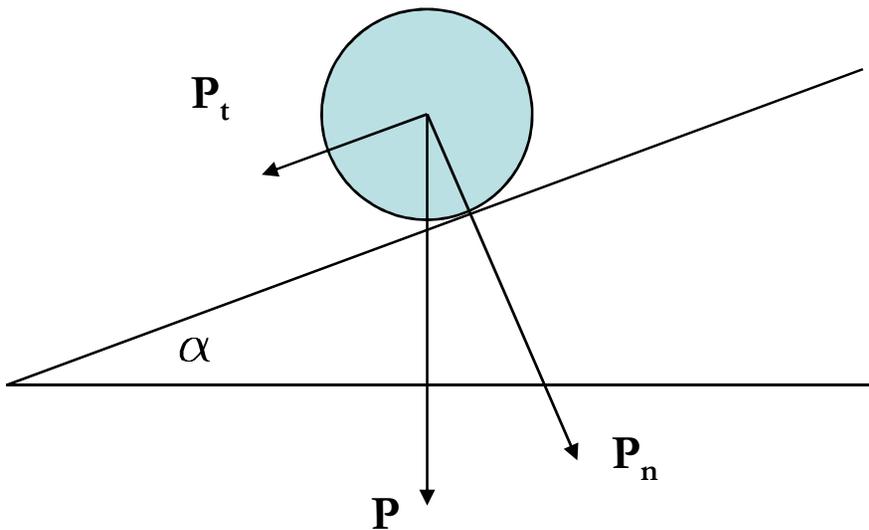


Resistenze accidentali (pendenze e curve)

La resistenza per pendenza (resistenza al moto in salita)

Il movimento in salita di un corpo privo di attrito poggiante su di un piano inclinato con pendenza i ($\tan\alpha$) è possibile se si applica ad esso una forza superiore a

$$P_t = P \sin \alpha$$



Potendosi confondere per piccoli valori di α , caratteristici di una linea ferroviaria, il seno con la tangente, la resistenza al moto per la presenza di una pendenza vale:

$$R_i = P \tan \alpha = P i$$

Resistenze accidentali (pendenze e curve)

La resistenza in curva

Ai fini della progettazione della linea viene accettata la proporzionalità fra la resistenza R_c che il veicolo incontra percorrendo una curva ed il suo peso P secondo un coefficiente r_c (**resistenza specifica in curva**) che diminuisce con l'aumentare del raggio della curva:

$$R_c = P r_c$$

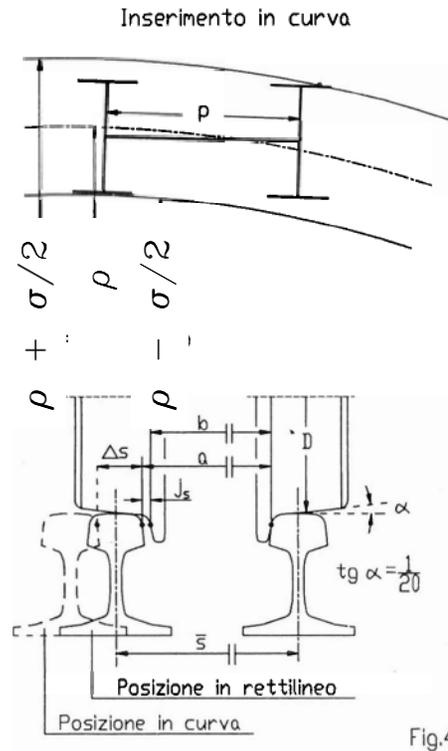


Fig.4

Resistenza specifica in curva (r_c)

Raggio ρ (m)	1000	900	800	700	600
r_c (kg/t)	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20
Raggio ρ (m)	500	400	300	250	200
r_c (kg/t)	1,50	2,00	2,80	3,40	4,20

I gradi di prestazione

Pendenza compensata

E' la somma del complesso delle resistenze per accidentalità della via (r_a) ed il valore della pendenza (i):

$$i_c = r_a + i$$

Le linee ferroviarie sono suddivise, in ciascuno dei due sensi di marcia, in **sezioni di carico** (di circa due km), lungo le quali la **pendenza compensata** è \leq ad uno stabilito valore.

A tali sezioni viene attribuito un **grado di prestazione** contrassegnato da un numero crescente in relazione alla presenza nel tratto considerato, di livellette in salita di maggiore pendenza e curve di raggio più stretto.

GRADO	i_c (kg/t)								
1	4,5	8	8,4	15	14,6	22	22,7	29	34,2
2	5,0	9	9,2	16	15,8	23	24,6	30	37,5
3	5,5	10	10,0	17	17,0	24	25,7	31	40,5
4	6,0	11	11,0	18	18,4	25	27,8		
5	6,5	12	12,0	19	19,8	26	29,8		
6	7,0	13	12,9	20	20,9	27	30,8		
7	7,7	14	13,8	21	21,9	28	32,5		



Il tracciato della linea ferroviaria

Una linea ferroviaria consegue l'obiettivo di consentire il rispetto dell'equazione del moto

$$\mathbf{F}_t = \mathbf{R}_t + (\mathbf{P}/g) \mathbf{a} \quad \text{ovvero} \quad \mathbf{F}_t = \mathbf{f} \quad (\text{raggio di curvatura, pendenza})$$

Sul piano orizzontale il **tracciato** è caratterizzato dall'**andamento planimetrico**:

- rettilinei
- curve circolari (il raggio di curvatura costituisce l'elemento condizionante la velocità max di una linea)
- curve di transizione (servono a raccordare, sul piano orizzontale, il tratto rettilineo alla curva circolare – sono finalizzate al comfort di viaggio)

mentre sul piano verticale il **tracciato** è caratterizzato dall'**andamento altimetrico**:

- livellette (rette caratterizzate dalla lunghezza e dalla pendenza)
- raccordi cilindrici (curve circolari che raccordano le livellette)



P.G.O.S.



PREFAZIONE GENERALE all'Orario di Servizio

EDIZIONE 1964

RISTAMPA 2007

aggiornata con

U.S. n. 1/1965 - 14/1965 - 18/1965 - 26/1967 - 56/1967 - 87/1967
17/1968 - 34/1968 - 35/1968 - 43/1969 - 51/1969 - 63/1969 - 85/1969
109/1969 - 16/1970 - 24/1970 - 38/1970 - 15/1971 - 28/1972 - 16/1973
26/1973 - 46/1973 - 14/1974 - 49/1976 - 15/1977 - 38/1978 - 6/1981
16/1982 - 14/1983 - 45/1983 - 18/1984 - 6/1985 - 22/1985 - 15/1986
8/1987 - 4/1988 - 2/1989 - 5/1991 - 24/1992 - 26/1994 - 13/1997
Disp. 06/2002 - 10/2002 - 30/2002 - 35/2002 - 43/2002
26/2003 - 10/2004 - 12/2004 - 19/2004 - 38/2004 - 24/2004
3/2005 - 7/2005 - 18/2005 - 49/2005 - 67/2005 - 11/2006 - 20/2006
75/2005 - 22/2006 - 26/2006 - 30/2006



P.G.O.S. – Art. 37 – Gradi di prestazione

PARTE SECONDA

NORME TECNICHE DI ESERCIZIO

CAPITOLO IV

GRADI DI PRESTAZIONE PRESTAZIONE DELLE LOCOMOTIVE E DELLE AUTOMOTRICI - MASSA DEI TRENI

Art. 37

GRADI DI PRESTAZIONE

1. Ogni linea, a seconda della resistenza che oppone alla trazione dei treni per le sue caratteristiche altimetriche e planimetriche, è divisa, in ciascuno dei due sensi di marcia, in **sezioni di carico** alle quali viene attribuito un **grado di prestazione** contrassegnato da una cifra araba.

I gradi di prestazione sono 31 e sono indicati in apposita colonna delle fiancate principali dell' Orario di servizio in corrispondenza dell'inizio dei singoli tratti.

Il grado 1 si riferisce alle linee o tratti di linea pianeggianti o in discesa.

Gli altri gradi, in ordine progressivo, sono attribuiti alle linee o tratti di linea con resistenza alla trazione via via crescente in relazione alle livellette in salita ed alle curve.

2. Per determinati tratti di linea con brevi livellette di acclività superiore a quella caratteristica del tratto stesso, il grado di prestazione è rappresentato da un numero ed un indice, in basso a destra (esempio 3₂) il numero definisce il **grado di prestazione principale** caratteristico del tratto più esteso, mentre l'indice definisce il **grado di prestazione sussidiario** relativo ai tratti più acclivi e di breve estensione.



P.G.O.S. – Art. 38 – Prestazione delle locomotive

Art. 38

— 60 —

(Disp. 38/2004)

Art. 38

PRESTAZIONE DELLE LOCOMOTIVE

1. La **prestazione** di una locomotiva è il carico in tonnellate che essa può rimorchiare od eventualmente spingere, su un determinato tratto di linea, garantendo il rispetto dell'orario programmato.

2. La **prestazione massima** di una locomotiva è il carico in tonnellate che essa può rimorchiare od eventualmente spingere su un determinato tratto di linea, garantendo dopo l'arresto la ripresa della corsa da ogni punto con un minimo valore di accelerazione.

Il **valore** della prestazione massima è riportato su apposite tabelle suddivise in sezioni di carico ed inserite nei Fascicoli Linea/ Fascicoli Orario. Rispetto ai valori riportati nelle tabelle è ammessa un' eccedenza di 5 t che si ritiene trascurabile.

3. Su alcune sezioni di carico, individuate nei Fascicoli Linea/Fascicoli Orario dal simbolo «*» la prestazione massima assegnata alle locomotive è calcolata tenendo conto del posizionamento dei segnali e dei punti di normale arresto dei treni. In questi casi, per la stessa sezione di carico, sono riportati per ogni locomotiva nei Fascicoli Linea/Fascicoli Orario due valori di prestazione massima. Il primo valore garantisce la ripresa della corsa solo dai punti anzidetti. Il secondo valore, riportato in corsivo sotto il primo, garantisce la ripresa della corsa da ogni punto del tratto di linea considerato.

4. Nel caso in cui sulle sezioni contrassegnate dal richiamo «*» debba essere istituito un rallentamento o un abbassamento archetti programmato, le Unità periferiche comunicheranno alle Imprese Ferroviarie interessate, per il periodo previsto, l'adozione delle prestazioni massime riportate in corsivo nelle tabelle dei Fascicoli Linea/Fascicoli Orario.

5. La prestazione delle locomotive diesel che alimentano la condotta alta tensione dei veicoli deve essere opportunamente ridotta in relazione alle caratteristiche dei mezzi di trazione.

6. Sulle linee dove il personale dei treni interviene nel controllo degli incroci, nei relativi Fascicoli Orario è riportata la «velocità di impostazione» con la quale è calcolato l'orario di ogni treno e che consente al personale di condotta di rispettare l'orario programmato.



P.G.O.S. – Tabella 20

TABELLA 20

Massima massa rimorchiata ammessa dalla resistenza degli organi di attacco - Treni di materiale ordinario trainato da locomotive e senza locomotive attive in coda

GRADI DI PRESTAZIONE															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MASSIMA MASSA RIMORCHIABILE IN DECATONNELLATE															
250	250	250	250	244	235	224	214	203	194	183	173	166	158	152	145

GRADI DI PRESTAZIONE															
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
MASSIMA MASSA RIMORCHIABILE IN DECATONNELLATE															
137	130	123	118	114	111	104	101	95	90	87	83	80	74	69	

