

Politecnico di Torino

**Fondamenti di
Infrastrutture Viarie
Relazione esercitazioni.**

Anno Accademico 2011/2012
Corso di Fondamenti di Infrastrutture Viarie
Professore: Marco Bassani
Esercitatore: Pier Paolo Riviera
Studente: Eleonora Magnotta
Matricola: 162010

ESERCITAZIONE 5 del 24 novembre 2011

Esercizio 1

Determinare la resistenza ordinaria al moto di un autoveicolo di massa 1114 kg che viaggia ad una velocità di 100 km/h. Si supponga inoltre:

- ✚ r_{RD} : 20 [N/kN];
- ✚ δ : 1.204 [Nm⁻⁴s²] (alla temperatura di 20°C e per una pressione di 1 atm);
- ✚ S : 2.2 [m²];
- ✚ c : 0.45.

Prima di risolvere questo esercizio facciamo un richiamo teorico delle resistenze in ambito ferroviario. Di seguito è inserito un piccolo riassunto:

- Resistenze ordinarie (presenti in rettilineo e su strada pianeggiante):

- Resistenza al rotolamento $R_{RD} = P \cdot r_{RD}$;

- Resistenza dell'aria $R_a = \left(\frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2 \right) \cdot c \cdot S$.

- Resistenze addizionali:

- Resistenza dovuta alla pendenza $R_i = \pm P \cdot i$;

- Resistenza dovuta alle curve R_C .

- Inerzia:

- $\pm \frac{\beta}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$

Svolgimento:

RESISTENZA AL ROTOLAMENTO R_{RD} :

$$R_{RD} = P \cdot r_{RD} = ((1114 \cdot 9.81) / 1000) \cdot 20 = 218.57 \text{ N}$$

RESISTENZA ALL'ARIA R_A :

$$R_A = (1/2) \cdot (\delta \cdot v^2) \cdot c \cdot S = (0.5 \cdot 1.204 \cdot 27.78^2) \cdot 0.45 \cdot 2.2 = 459.86 \text{ N}$$

RESISTENZA ALL'ARIA R_{ORD} :

$$R_{ORD} = R_{RD} + R_A = 218.57 \text{ N} + 459.86 \text{ N} = 678.43 \text{ N}$$

Esercizio 2

Determinare la resistenza totale al moto di un autoveicolo di massa 1565 kg che viaggia ad una velocità di 150 km/h su di una livelletta avente pendenza del +4%. Si supponga inoltre:

- r_{RD} : 15 [N/kN];
- δ : 1.247 [Nm^{-4}s^2] (alla temperatura di 10°C e per una pressione di 1 atm);
- S : 2.2 [m^2];
- c : 0.30.

Svolgimento:

RESISTENZA AL ROTOLAMENTO R_{RD} :

$$R_{RD} = P \cdot r_{RD} = ((1565 \cdot 9.81) / 1000) \cdot 20 = 307.05 \text{ N}$$

RESISTENZA ALL' ARIA R_A :

$$R_A = (1/2) \cdot (\delta \cdot v^2) \cdot c \cdot S = (0.5 \cdot 1.204 \cdot 41.67^2) \cdot 0.30 \cdot 2.2 = 689.71 \text{ N}$$

RESISTENZA ALL' ARIA R_{ORD} :

$$R_{ORD} = R_{RD} + R_A = 307.05 \text{ N} + 689.71 \text{ N} = 996.76 \text{ N}$$

Esercizio 3

Calcolare la pendenza massima superabile alla velocità di 100 km/h su strada bagnata da un'autovettura di peso a pieno carico di 16 kN, con un peso aderente pari al 55% del peso complessivo ed una potenza pari a 60 kW.

Sono inoltre noti:

- ✚ $S = 2.2 \text{ m}^2$;
- ✚ $\delta: 1.247 \text{ [Nm}^{-4}\text{s}^2]$ (alla temperatura di 10°C e per una pressione di 1 atm);
- ✚ $c: 0.30$;
- ✚ $r_{RD}: 15 \text{ [N/kN]}$.

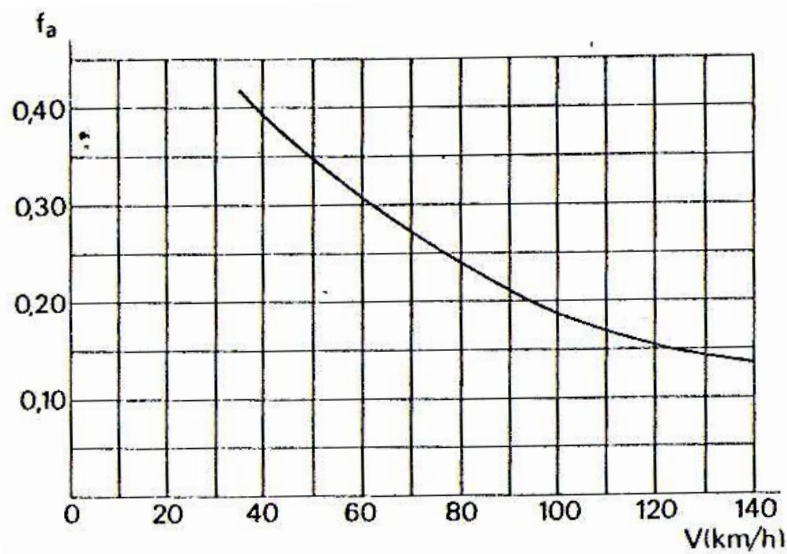


Figura 1: Coefficiente di aderenza f_a in funzione della velocità del veicolo

Prima di risolvere questo esercizio facciamo un richiamo teorico. Di seguito sarà inserito un piccolo riassunto:

- In funzione della potenza del motore $\rightarrow T = W/v$:

$$i_{\max, W} = \frac{\frac{W_{\max}}{v} - \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2}{P} - r_{RD} - \frac{\beta}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

- In funzione della massimo valore di aderenza disponibile $\rightarrow T = f_a \cdot P_a$:

$$i_{\max, f_a} = \frac{f_a \cdot P_a - \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2}{P} - r_{RD} - \frac{\beta}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$



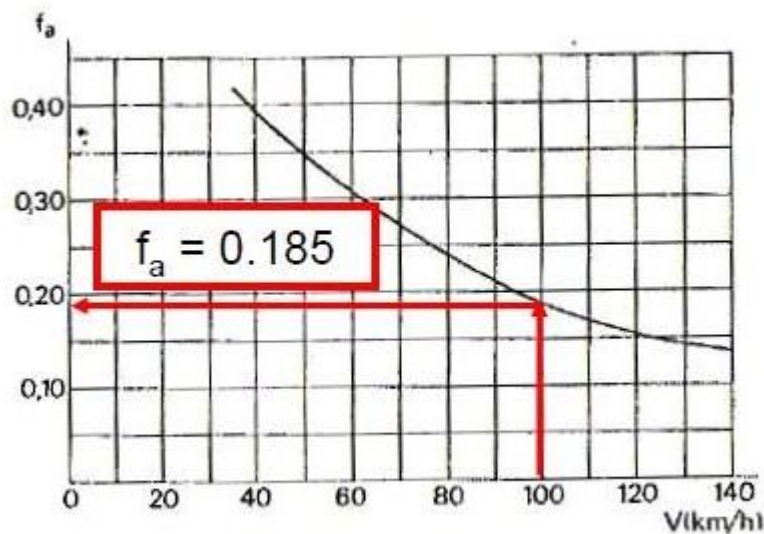
$$i_{\max} = \min(i_{\max, W}, i_{\max, f_a})$$

Svolgimento:

CALCOLO DELLA PENDENZA MASSIMA SUPERABILE DA UN VEICOLO IN FUNZIONE DELLA POTENZA DEL MOTORE → $T = W/v$:

$$i_{MAX_w} = \frac{\frac{W_{MAX}}{v} - \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2}{P} - r_{RD} = \frac{\frac{6000}{27.78} - \frac{1}{2} \cdot 1.247 \cdot 0.30 \cdot 2.2 \cdot 27.78^2}{16000} - \frac{15}{1000} = 0.100$$

CALCOLO DELLA PENDENZA MASSIMA SUPERABILE DA UN VEICOLO IN FUNZIONE DEL MASSIMO VALORE DI ADERENZA DISPONIBILE → $T = F_A \cdot P_A$:



$$i_{MAX_{f_a}} = \frac{f_a \cdot P_a - \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2}{P} - r_{RD} = \frac{0.185 \cdot 8800 - (0.5 \cdot 1.247 \cdot 0.30 \cdot 2.2 \cdot 27.78^2)}{16000} - \frac{15}{1000} = 0.067$$

Il valore della pendenza massima superabile da un veicolo di ottiene considerando il valore minimo delle pendenze che si sono calcolate. Cioè in funzione della potenza del motore e in funzione dell'aderenza disponibile.

Quindi avremo:

$$i_{MAX} = \min (i_{MAX_w} ; i_{MAX_{f_a}}) = \min (0.100 ; 0.067) = 0.067 \cdot 100 = 6.7\%$$

Esercizio 4

In ogni sezione di carico di una linea ferroviaria ordinaria, collocata su di un terreno montano, è presente una curva planimetrica di $R = 500$ m. Per un grado di prestazione pari a **25**, determinare il numero di locomotori necessari per un convoglio avente le seguenti caratteristiche:

- ✚ locomotore/i elettrico veloce: $m = 89000$ kg_m, $W = 3600$ kW;
- ✚ 12 vagoni a pieno carico: $m_{vuoto} = 36000$ kg_m, 82 posti, 2 carrelli;
- ✚ $V = 120$ km/h.

Tipo di veicolo	1000 · a	1000 · b
Locomotore elettrico veloce	2,5	0,00030
Locomotore elettrico merci	3,0	0,00050
Carri merci pieni	2,5	0,00040
Carri merci vuoti	2,5	0,00100
Vagoni a 2 assi	2,5	0,00040
Vagoni a 2 carrelli	2,5	0,00014
Elettrotreni articolati (Breuer)	1,5	$\frac{0,005 \cdot SK}{P}$
V in km/h, P in t, S in m ² , K = 0,45 per 2 elementi, K = 0,65 per 3 elementi, K = 0,71 per 4 elementi.		

Tabella 1: parametri a e b per il calcolo delle resistenze ordinarie in ambito ferroviario

Svolgimento:

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00030 \cdot 120^2 = 6.82 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{ord, vagoni} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot 120^2 = 4.52 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{locomotore} = (89000 \cdot 9.81) / 1000 = 873.09 \text{ kN}$$

$$P_{vagoni} = (36000 \cdot 9.81 + 82 \cdot 70 \cdot 9.81) / 1000 = 409.47 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord, convoglio} = 1 \cdot 873.09 \cdot 6.82 + 12 \cdot 409.47 \cdot 4.52 = 28164.13 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA PENDENZA LONGITUDINALE CHE DEVE ESSERE SUPERATA:

Grado di prestazione	$i+r_c$	Grado di prestazione	$i+r_c$	Grado di prestazione	$i+r_c$	Grado di prestazione	$i+r_c$
1	4,5	9	9,2	17	17	25	27,8
2	5	10	10	18	18,4	26	29,3
3	5,5	11	11	19	19,8	27	30,8
4	6	12	12	20	20,9	28	32,5
5	6,5	13	12,9	21	21,9	29	34,2
6	7	14	13,8	22	22,7	30	37,5
7	7,7	15	14,6	23	24,6	31	40,5
8	8,4	16	15,8	24	25,7		

CALCOLO DELLA RESISTENZA IN CURVA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_c = M / (R - n) = 650 / (500 - 55) = 1.46 \text{ N / kN} \rightarrow \text{VAN ROCKL}$$

CALCOLO DELLA PENDENZA DA SUPERARE:

$$i_c = r_c + i \rightarrow i_c - r_c = 27.8 - 1.46 = 26\text{‰}$$

CALCOLO DELLA POTENZA NECESSARIA (E DEL NUMERO DI LOCOMOTORI):

Per il calcolo della potenza necessaria facciamo una piccola dimostrazione per far capire da dove arriva la formula finale:

$$T = P \cdot \left(r_r \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2$$

Da qui poi ricaviamo:

$$T = P \cdot \left(r_r \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2 \Rightarrow \frac{T}{P} = r_{ord} \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{W}{P \cdot v} = r_{ord} + i + r_c \Rightarrow W = (r_{ord} + i + r_c) \cdot P \cdot v$$

Applichiamo ora questa formula:

$$W = (r_{ord} + i + r_c) \cdot P \cdot v = [(4.87 / 1000) + (26.3 / 1000) + (1.46 / 1000)] \cdot (1 \cdot 873.09 + 12 \cdot 409.47) \cdot 1000 \cdot (120 / 3.6) = 6294 \text{ kW} \rightarrow \text{servono 2 locomotori.}$$

VERIFICA:**CALCOLO DELLE RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:**

$$r_{\text{ord, locomotore}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00030 \cdot 120^2 = 6.82 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{\text{ord, vagone}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot 120^2 = 4.52 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{\text{ord, convoglio}} = 2 \cdot 873.09 \cdot 6.82 + 12 \cdot 409.47 \cdot 4.52 = 3411.60 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{\text{ord, convoglio}} = 3411.60 / (2 \cdot 873.09 + 12 \cdot 409.47) = 5.12 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{\text{MAX}} = \frac{W_{\text{MAX}}}{P \cdot v} - r_{\text{ord}} - r_{\text{c}} = \frac{2 \cdot 3600 \cdot 1000}{(2 \cdot 873.09 + 12 \cdot 409.47) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{120}{3.6}\right)} - \frac{5.12}{1000} - \frac{1.46}{1000} = 25.9\text{‰}$$

$$25.9 \text{ ‰} < 26.3 \text{ ‰}$$

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLE RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{\text{ord, locomotore}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00030 \cdot 120^2 = 6.82 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{\text{ord, vagone}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot 120^2 = 4.52 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{\text{ord, convoglio}} = 40073.07 / (3 \cdot 873.09 + 12 \cdot 409.47) = 5.32 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{\text{MAX}} = \frac{W_{\text{MAX}}}{P \cdot v} - r_{\text{ord}} - r_{\text{c}} = \frac{3 \cdot 3600 \cdot 1000}{(3 \cdot 873.09 + 12 \cdot 409.47) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{120}{3.6}\right)} - \frac{5.32}{1000} - \frac{1.46}{1000} = 36.2 \text{ ‰}$$

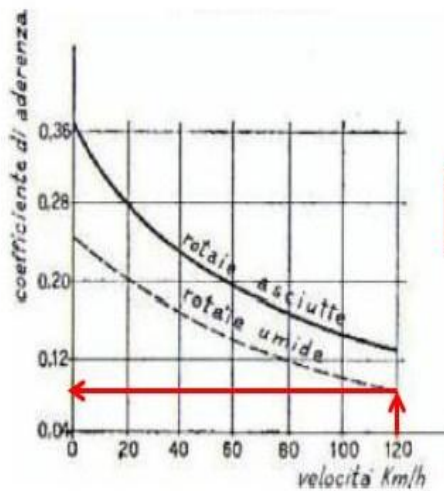
$$36.2 \text{ ‰} > 26.3 \text{ ‰}$$

Per il convoglio dato, per poter circolare sulla tratta avente grado di prestazione 25, sono necessari 3 locomotori. È opportuno effettuare una ulteriore verifica, ovvero valutare la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotai.

Per il passo successivo facciamo un piccolo richiamo teorico:

$$\frac{T}{P} = r_{ord} \pm i + r_c \Rightarrow i_{max} = \frac{f_a \cdot P_a}{P} - r_{ord} - r_c$$

Supponiamo che tutto il peso dei locomotori sia aderente e di trovarci in condizioni di rotaia asciutta



$$f_a = 0.09$$

Avremo di conseguenza che il valore della pendenza massima superabile sarà:

$$i_{MAX} = \frac{f_a \cdot P_a}{P} - r_{ord} - r_c = \frac{0.09 \cdot 3 \cdot 873.09 \cdot 1000}{(3 \cdot 873.09 + 12 \cdot 409.47) \cdot 1000} - \frac{5.32}{1000} - \frac{1.46}{1000} = 24.5 \text{ ‰}$$

$$24.5 \text{ ‰} < 26.3 \text{ ‰}$$

Tenendo in considerazione l'aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia le prestazioni richieste non vengono soddisfatte utilizzando tre locomotori (ripetendo entrambe le analisi con 4 locomotori le due richieste vengono soddisfatte).

Esercizio 5

In ogni sezione di carico di una linea ferroviaria ordinaria, collocata su di un terreno montano, è presente una curva planimetrica di $R = 400$ m. Per un grado di prestazione pari a **20**, determinare il numero di locomotori necessari per un convoglio avente le seguenti caratteristiche:

- ✚ locomotore/i elettrico merci: $m = 72000$ kg_m, $W = 3000$ kW;
- ✚ 20 carri merci pieni: 4 assi, $m_{\text{asse}} = 18000$ kg_m;
- ✚ $V = 100$ km/h.

Svolgimento:

Tipo di veicolo	$1000 \cdot a$	$1000 \cdot b$
Locomotore elettrico veloce	2,5	0,00030
Locomotore elettrico merci	3,0	0,00050
Carri merci pieni	2,5	0,00040
Carri merci vuoti	2,5	0,00100
Vagoni a 2 assi	2,5	0,00040
Vagoni a 2 carrelli	2,5	0,00014
Elettrotreni articolati (Breuer)	1,5	$\frac{0,005 \cdot SK}{P}$
V in km/h, P in t, S in m ² , K = 0,45 per 2 elementi, K = 0,65 per 3 elementi, K = 0,71 per 4 elementi.		K

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{\text{ord, locomotore}} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{\text{ord, vagone}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{\text{locomotore}} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{\text{vagone}} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{\text{ord, convoglio}} = 1 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 97472.16 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{\text{ord, convoglio}} = 97472.16 / (706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.57 \text{ N / kN}$$

Dato che abbiamo un grado di prestazione 20 a questo grado corrisponde $i + r_c = 20.9$.

CALCOLO DELLA RESISTENZA IN CURVA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_c = M / (R - n) = 650 / (400 - 55) = 1.88 \text{ N / kN} \rightarrow \text{VAN ROCKL}$$

CALCOLO DELLA PENDENZA DA SUPERARE:

$$i_c = r_c + i \rightarrow i_c - r_c = 20.9 - 1.88 = 19.02 \text{ ‰}$$

CALCOLO DELLA POTENZA NECESSARIA (E DEL NUMERO DI LOCOMOTORI):

Per il calcolo della potenza necessaria facciamo una piccola dimostrazione per far capire da dove arriva la formula finale:

$$T = P \cdot \left(r_r \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2$$

Da qui poi ricaviamo:

$$T = P \cdot \left(r_r \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2 \Rightarrow \frac{T}{P} = r_{ord} \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}$$

↓

$$\frac{W}{P \cdot v} = r_{ord} + i + r_c \Rightarrow W = (r_{ord} + i + r_c) \cdot P \cdot v$$

Applichiamo ora questa formula:

$$W = (r_{ord} + i + r_c) \cdot P \cdot v = [(6.57 / 1000) + (19.02 / 1000) + (1.88 / 1000)] \cdot (1 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot (100 / 3.6) = 11319.84 \text{ kW} \rightarrow \text{servono 2 locomotori.}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{ord, vagone} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord, convoglio} = 2 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 103122.72 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{\text{ord, convoglio}} = 103122.72 / (2 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.636 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{\text{MAX}} = \frac{W_{\text{MAX}}}{P \cdot v} - r_{\text{ord}} - r_{\text{C}} = \frac{2 \cdot 3000 \cdot 1000}{(2 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.636}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 5.38 \text{ ‰}$$

5.38 ‰ < 19.02 ‰ → servono tre locomotori

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{\text{ord, locomotore}} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{\text{ord, vazione}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{\text{locomotore}} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{\text{vazione}} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{\text{ord, convoglio}} = 3 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 108773.28 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{\text{ord, convoglio}} = 108773.28 / (3 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.696 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{\text{MAX}} = \frac{W_{\text{MAX}}}{P \cdot v} - r_{\text{ord}} - r_{\text{C}} = \frac{3 \cdot 3000 \cdot 1000}{(3 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.696}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 11.37 \text{ ‰}$$

11.37 ‰ < 19.02 ‰ → servono quattro locomotori

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{\text{ord, locomotore}} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{\text{ord, vazione}} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{\text{locomotore}} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{\text{vazione}} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord,convoglio} = 4 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 114423.84 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{ord,convoglio} = 114423.84 / (4 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.75 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{MAX} = \frac{W_{MAX}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_C = \frac{4 \cdot 3000 \cdot 1000}{(4 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.75}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 16.85 \text{ ‰}$$

16.85 ‰ < 19.02 ‰ → servono cinque locomotori

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{ord, vagoni} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{locomotore} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{vagoni} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord,convoglio} = 5 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 120074.4 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{ord,convoglio} = 120074.4 / (5 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.8 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{MAX} = \frac{W_{MAX}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_C = \frac{5 \cdot 3000 \cdot 1000}{(5 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.8}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 21.90 \text{ ‰}$$

21.90 ‰ > 19.02 ‰

Per il convoglio dato, per poter circolare sulla tratta avente grado di prestazione 20, sono necessari 5 locomotori. È opportuno effettuare una ulteriore verifica, ovvero valutare la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotai.

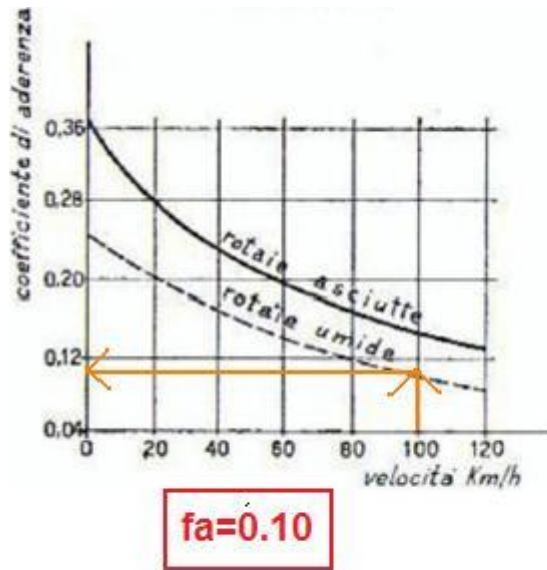


Figura 2: Coefficiente di aderenza f_a in ambito ferroviario

Supponiamo che tutto il peso dei locomotori sia aderente e di trovarci in condizioni di rotaia bagnata.

Avremo di conseguenza che il valore della pendenza massima superabile sarà:

$$i_{MAX} = \frac{f_a \cdot P_a}{P} - r_{ord} - r_c = \frac{0.10 \cdot 5 \cdot 706.32 \cdot 1000}{(5 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000} - \frac{6.8}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 11.32 \text{ ‰}$$

$$11.32 \text{ ‰} < 19.02 \text{ ‰} \rightarrow \text{servono 6 locomotori}$$

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{ord, vazione} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{locomotore} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{vazione} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord, convoglio} = 6 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 125724.96 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{ord, convoglio} = 125724.96 / (6 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.85 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{MAX} = \frac{W_{MAX}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_C = \frac{6 \cdot 3000 \cdot 1000}{(6 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.85}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 26.55 \text{ ‰}$$

$$26.55 \text{ ‰} > 19.02 \text{ ‰}$$

Per il convoglio dato, per poter circolare sulla tratta avente grado di prestazione 20, sono necessari 6 locomotori. È opportuno effettuare una ulteriore verifica, ovvero valutare la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia.

Il valore della pendenza massima superabile sarà:

$$i_{MAX} = \frac{f_a \cdot P_a}{P} - r_{ord} - r_C = \frac{0.10 \cdot 6 \cdot 706.32 \cdot 1000}{(6 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000} - \frac{6.85}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 14.34 \text{ ‰}$$

$$14.34 \text{ ‰} < 19.02 \text{ ‰} \rightarrow \text{servono 7 locomotori.}$$

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{ord, vagone} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{locomotore} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{vagone} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord, convoglio} = 7 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 131375.52 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{ord, convoglio} = 131375.52 / (7 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.89 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{MAX} = \frac{W_{MAX}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_C = \frac{7 \cdot 3000 \cdot 1000}{(7 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.89}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 30.87 \text{ ‰}$$

$$30.87 \text{ ‰} > 19.02 \text{ ‰}$$

Per il convoglio dato, per poter circolare sulla tratta avente grado di prestazione 20, sono necessari 6 locomotori. È opportuno effettuare una ulteriore verifica, ovvero valutare la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia.

Il valore della pendenza massima superabile sarà:

$$i_{MAX} = \frac{f_a \cdot P_a}{P} - r_{ord} - r_C = \frac{0.10 \cdot 7 \cdot 706.32 \cdot 1000}{(7 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000} - \frac{6.89}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 17.15 \text{ ‰}$$

17.15 ‰ < 19.02 ‰ → servono 8 locomotori

Bisogna aumentare il numero di locomotori e procedere con un' ulteriore verifica.

CALCOLO DELLA RESISTENZE ORDINARIE PER UNITA' DI PESO DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 3 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \text{ [N/kN]}$$

$$r_{ord, vagone} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \text{ [N/kN]}$$

CALCOLO DEI PESI DEI SINGOLI ELEMENTI:

$$P_{locomotore} = (72000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

$$P_{vagone} = (4 \cdot 18000 \cdot 9.81) / 1000 = 706.32 \text{ kN}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER IL CONVOGLIO:

$$R_{ord, convoglio} = 8 \cdot 706.62 \cdot 8 + 20 \cdot 706.32 \cdot 6.5 = 137026.08 \text{ N}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ORDINARIA TOTALE PER UNITA' DI PESO DEL CONVOGLIO:

$$r_{ord, convoglio} = 137026.08 / (8 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) = 6.93 \text{ N / kN}$$

CALCOLO DELLA MASSIMA PENDENZA SUPERABILE CON IL NUOVO CONVOGLIO:

$$i_{MAX} = \frac{W_{MAX}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_C = \frac{8 \cdot 3000 \cdot 1000}{(8 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{3.6}\right)} - \frac{6.93}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 34.88 \text{ ‰}$$

34.88 ‰ > 19.02 ‰

Per il convoglio dato, per poter circolare sulla tratta avente grado di prestazione 20, sono necessari 6 locomotori. È opportuno effettuare una ulteriore verifica, ovvero valutare la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia.

Il valore della pendenza massima superabile sarà:

$$i_{MAX} = \frac{f_a \cdot P_a}{P} - r_{ord} - r_C = \frac{0.10 \cdot 8 \cdot 706.32 \cdot 1000}{(8 \cdot 706.32 + 20 \cdot 706.32) \cdot 1000} - \frac{6.93}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 19.76 \text{ ‰}$$

Siamo arrivati a convergenza, poiché entrambe le condizioni sono soddisfatte.

Esercizio 6

Un'automobile del peso di 138 kN percorre una strada di categoria C alla velocità di 95 km/h. Calcolare lo spazio di arresto nei seguenti casi:

- discesa al 3%;
- salita al 2%,

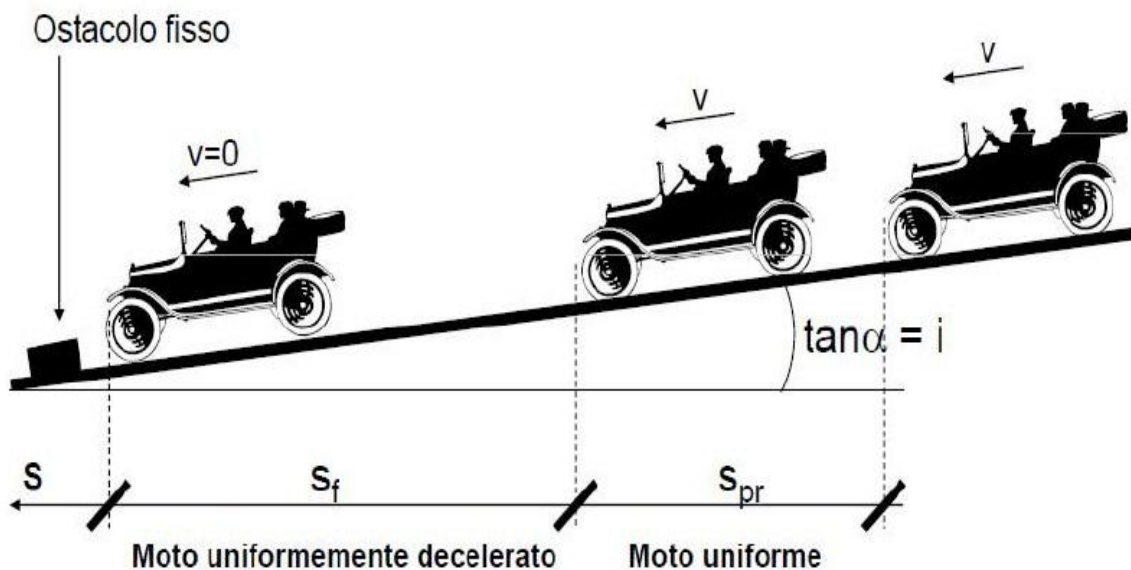
sia in condizioni di pavimentazione asciutta che pavimentazione bagnata.

Velocità [km/h]	Pavimentazione asciutta	Pavimentazione bagnata
50	0,62	0,36
65	0,60	0,33
80	0,58	0,31
95	0,56	0,30
110	0,55	0,29

Tabella 2: Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente f_e .

Prima di iniziare la risoluzione del problema facciamo un richiamo teorico:

$$d_a = d_{PR} + d_f = v \cdot t_{PR} + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]} = v \cdot (2.8 - 0.01 \cdot V) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]}$$



Svolgimento:

DISCESA AL 3% E STRADA ASCIUTTA:

$$d_a = v \cdot (2.8 - 0.01 \cdot V) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e \cdot (v) \pm i]} = \frac{95}{3.6} \cdot (2.8 - 0.01 \cdot 95) + \frac{\left(\frac{95}{3.6}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.56 - 0.03)} = 115.8 \text{ m}$$

DISCESA AL 3% E STRADA BAGNATA:

$$d_a = v \cdot (2.8 - 0.01 \cdot v) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e \cdot (v) \pm i]} = \frac{95}{3.6} \cdot (2.8 - 0.01 \cdot 95) + \frac{\left(\frac{95}{3.6}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.30 - 0.03)} = 180.3 \text{ m}$$

SALITA AL 2% E STRADA ASCIUTTA:

$$d_a = v \cdot (2.8 - 0.01 \cdot v) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e \cdot (v) \pm i]} = \frac{95}{3.6} \cdot (2.8 - 0.01 \cdot 95) + \frac{\left(\frac{95}{3.6}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.56 + 0.02)} = 110.0 \text{ m}$$

SALITA AL 2% E STRADA BAGNATA:

$$d_a = v \cdot (2.8 - 0.01 \cdot v) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e \cdot (v) \pm i]} = \frac{95}{3.6} \cdot (2.8 - 0.01 \cdot 95) + \frac{\left(\frac{95}{3.6}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.30 + 0.02)} = 159.7 \text{ m}$$