



**appunti**  
www.centroappunti.it

Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1226

DATA: 27/10/2014

# APPUNTI

STUDENTE: Fachino

MATERIA: Infrastrutture Viarie + Eserc.

Prof. Bassani

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti. Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTI E NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.



**POLITECNICO  
DI TORINO**

# CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

Infrastrutture Viarie- 02BHVMC

A.A. 2013/14

Professor. Marco Bassani

## QUADERNO DELLE ESERCITAZIONI

Studente Igor Fachino



Da cui ancora si ricava la capacità: (4)

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k * j * v_{max}}{2a} + t_R}$$

Minorando la parte del denominatore che dipende dalla velocità max si trova la capacità massima o potenzialità della linea: (5)

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2kjl}{a}} + t_R}$$

Mentre la velocità massima: (6)

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 * a * L}{k * j}}$$

Nel caso in cui ci siano stazioni in mezzo si usa l'espressione: (7)

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k * j * v_{max}}{2a} + t_R + t_s}$$

$-t_s$ =tempo di sosta.

Determinare la capacità massima

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (18 + 25 \cdot 12)m}{\frac{1m}{s^2}}} + 2s} = \frac{3600}{63.77s} = 56.5 \Rightarrow 56 \text{ convogli/h}$$

Determinare la velocità ideale

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 * 1m/s^2 * 318m}{2 * 3}} = 10.30 \frac{m}{s} \Rightarrow 37.1 \frac{km}{h}$$

## Esercizio 2 – FERROVIE

Valutare la capacità della linea precedente supponendo una velocità dei convogli pari a 180 km/h, sia in assenza che in presenza di stazione sulla linea. In quest'ultimo caso si consideri un tempo di sosta pari a 3'.

**SVOLGIMENTO:**

Assenza di stazioni:

$$C = \frac{3600}{t_{med}}$$

I tempi minimi si devono calcolare attraverso le formule (1a) e (1b), se sulla pista non c'è nessun velivolo in fase di rallentamento:

$$(1a) \quad t_{min} = \frac{\delta}{v_j} \quad \text{per } v_j \geq v_i$$

$$(1b) \quad t_{min} = \frac{\delta}{v_j} + \gamma * \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \quad \text{per } v_j < v_i$$

Ove

- $\gamma$ =lunghezza del sentiero di avvicinamento

- $\delta$ =minima distanza di separazione lungo il sentiero

Se lungo la pista c'è ancora un velivolo, allora i tempi minimi risultano:

$$t_{min} = \max \left[ \frac{\delta}{v_j}; o_i \right] \quad \text{per } v_j \geq v_i$$

$$t_{min} = \max \left[ \frac{\delta}{v_j} + \gamma * \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right); o_i \right] \quad \text{per } v_j \leq v_i$$

Ove  $o_i$ , è il tempo di occupazione del velivolo che c'è ancora sulla pista.

Classe	Velocità	Percentuale
1	180 km/h	60%
2	240 km/h	40%

Bisogna costruire la matrice dei tempi minimi delle possibili successioni:

$$t_{i,j} = \frac{t_{11} \quad t_{12}}{t_{21} \quad t_{22}}$$

$$t_{11} = \frac{5m}{\frac{180km}{h}} * 3600 = 100s$$

$$t_{12} = \frac{5km}{\frac{240km}{h}} * 3600 = 75s$$

$$t_{21} = \left( \frac{5km}{\frac{180km}{h}} + 10km * \left( \frac{1}{\frac{180km}{h}} - \frac{1}{\frac{240km}{h}} \right) \right) 3600 = 150s$$

$$t_{22} = \frac{5km}{\frac{240km}{h}} 3600 = 75s$$

$$t_{21} = \left( \frac{6km}{\frac{130km}{h}} + 12km * \left( \frac{1}{\frac{130km}{h}} - \frac{1}{\frac{200km}{h}} \right) \right) * 3600 = 282.5s$$

$$t_{31} = \left( \frac{6km}{\frac{130km}{h}} + 12km * \left( \frac{1}{\frac{130km}{h}} - \frac{1}{\frac{240km}{h}} \right) \right) * 3600 = 318.5s$$

$$t_{32} = \left( \frac{6km}{\frac{200km}{h}} + 12km * \left( \frac{1}{\frac{200km}{h}} - \frac{1}{\frac{240km}{h}} \right) \right) * 3600 = 144s$$

$$t_{i,j} = \begin{matrix} 166.2 & 108 & 90 \\ 282.5 & 108 & 90 \\ 318.5 & 144 & 90 \end{matrix}$$

Si calcola il tempo medio:

$$t_{med} = \sum_{ij} P_i * P_j * t_{i,j} = 151.3s$$

Si determina la capacità:

$$C = \frac{3600}{t_{med}} = \frac{3600}{151.3} = 23.8 \Rightarrow 23 \text{ aeromobili/h}$$

Velocità	Passengeri	Classe
300	166.2	F
300	282.5	S
300	318.5	E

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k * j * v_{max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{252m}{\frac{120}{3.6} m/s} + \frac{2 * 2 * \frac{120}{3.6} m/s}{2 * 1 m/s^2} + 3s} = 46.6 = 46 \text{ convogli/h}$$

in presenza di stazioni:

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k * j * v_{max}}{2a} + t_R + t_S} = \frac{3600}{\frac{252m}{\frac{120}{3.6} m/s} + \frac{2 * 2 * \frac{120}{3.6} m/s}{2 * 1 m/s^2} + 3s + 120s} = 18.3$$

$$= 18 \text{ convogli/h}$$

Si calcola la capacità a 200 km/h:

in assenza di stazioni:

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k * j * v_{max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{252m}{\frac{200}{3.6} m/s} + \frac{2 * 2 * \frac{200}{3.6} m/s}{2 * 1 m/s^2} + 3s} = 30.3 = 30 \text{ convogli/h}$$

in presenza di stazioni:

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k * j * v_{max}}{2a} + t_R + t_S} = \frac{3600}{\frac{252m}{\frac{200}{3.6} m/s} + \frac{2 * 2 * \frac{200}{3.6} m/s}{2 * 1 m/s^2} + 3s + 120s} = 15.1$$

$$= 15 \text{ convogli/h}$$

### Esercizio 3 – AEROPORTI (in aula)

Valutare la capacità di una pista aeroportuale con la seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità (**Tabella 1**). Sono definiti la lunghezza del sentiero di avvicinamento ( $\gamma$ ) pari a 8,5 km, e la distanza minima di separazione lungo il sentiero ( $\delta$ ) è di 5,5 km.

Classe	Tipo	Velocità	Percentuale
1	Pesanti (H)	280 km/h	25%
2	Grandi (L)	245 km/h	35%
3	Piccoli 1 (S1)	190 km/h	20%
4	Piccoli 2 (S2)	140 km/h	20%

Tabella 1: Ripartizione dei velivoli in classi di velocità

SVOLGIMENTO:

Si determina la matrice dei tempi minimi:

$$t_{i,j} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{pmatrix}$$

$$t_{12} = t_{21} = t_{31} = t_{41} = \frac{5.5 \text{ km}}{280 \text{ km}} * 3600 = 70.7 \text{ s}$$

$$t_{12} = \left( \frac{5.5 \text{ km}}{245 \text{ km}} + 8.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{245 \text{ km}} - \frac{1}{280 \text{ km}} \right) \right) 3600 = 96.4 \text{ s}$$

$$t_{13} = \left( \frac{5.5 \text{ km}}{190 \text{ km}} + 8.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{190 \text{ km}} - \frac{1}{280 \text{ km}} \right) \right) 3600 = 155.9 \text{ s}$$

$$t_{14} = \left( \frac{5.5 \text{ km}}{140 \text{ km}} + 8.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{140 \text{ km}} - \frac{1}{280 \text{ km}} \right) \right) 3600 = 250.7 \text{ s}$$

$$t_{22} = t_{32} = t_{42} = \frac{5.5 \text{ km}}{245 \text{ km}} * 3600 = 80.8 \text{ s}$$

$$t_{23} = \left( \frac{5.5 \text{ km}}{190 \text{ km}} + 8.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{190 \text{ km}} - \frac{1}{245 \text{ km}} \right) \right) 3600 = 140.4 \text{ s}$$

$$t_{24} = \left( \frac{5.5 \text{ km}}{140 \text{ km}} + 8.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{140 \text{ km}} - \frac{1}{245 \text{ km}} \right) \right) 3600 = 235.1 \text{ s}$$

$$t_{33} = t_{43} = \frac{5.5 \text{ km}}{190 \text{ km}} * 3600 = 104.2 \text{ s}$$

$$t_{12} = t_{21} = t_{31} = t_{41} = \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{300 \text{ km}} * 3600}{h} = 90 \text{ s}$$

$$t_{12} = \left( \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{220 \text{ km}} + 11.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{220 \text{ km}} - \frac{1}{300 \text{ km}} \right)}{h} \right) 3600 = 172.9 \text{ s}$$

$$t_{13} = \left( \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{170 \text{ km}} + 11.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{170 \text{ km}} - \frac{1}{300 \text{ km}} \right)}{h} \right) 3600 = 264.4 \text{ s}$$

$$t_{14} = \left( \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{130 \text{ km}} + 11.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{130 \text{ km}} - \frac{1}{300 \text{ km}} \right)}{h} \right) 3600 = 388.2 \text{ s}$$

$$t_{22} = t_{32} = t_{42} = \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{220 \text{ km}} * 3600}{h} = 122.7 \text{ s}$$

$$t_{23} = \left( \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{170 \text{ km}} + 11.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{170 \text{ km}} - \frac{1}{220 \text{ km}} \right)}{h} \right) 3600 = 214.2 \text{ s}$$

$$t_{24} = \left( \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{130 \text{ km}} + 11.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{130 \text{ km}} - \frac{1}{220 \text{ km}} \right)}{h} \right) 3600 = 338 \text{ s}$$

$$t_{33} = t_{43} = \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{170 \text{ km}} * 3600}{h} = 158.8 \text{ s}$$

$$t_{34} = \left( \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{130 \text{ km}} + 11.5 \text{ km} * \left( \frac{1}{130 \text{ km}} - \frac{1}{170 \text{ km}} \right)}{h} \right) 3600 = 282.6 \text{ s}$$

$$t_{44} = \frac{\frac{7.5 \text{ km}}{130 \text{ km}} * 3600}{h} = 207.7 \text{ s}$$

La matrice dei tempi minimi è così formata:

$$t_{i,j} = \begin{bmatrix} 90 & 172.9 & 264.4 & 388.2 \\ 90 & 122.7 & 214.2 & 338 \\ 90 & 122.7 & 158.8 & 282.6 \\ 90 & 122.7 & 158.8 & 207.7 \end{bmatrix}$$

Considerando i tempi di occupazione della pista

$$t_{min} = \max \left[ \frac{\delta}{v_j}; o_i \right] \quad \text{per } v_j \geq v_i$$

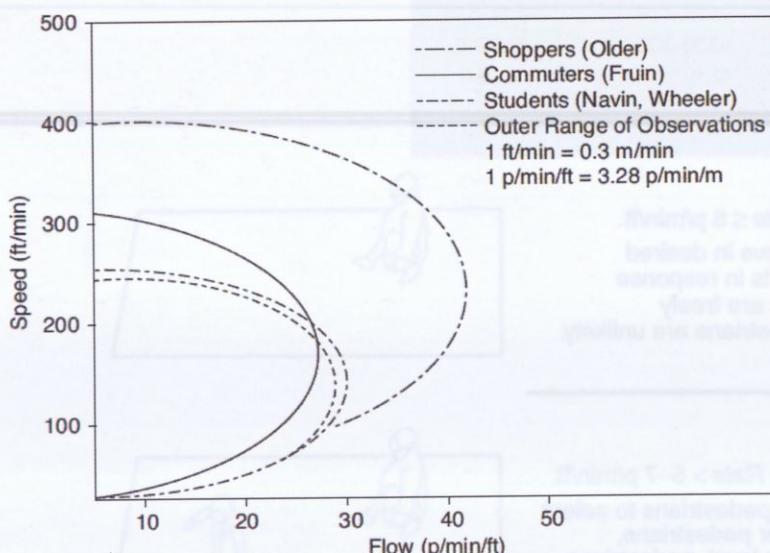
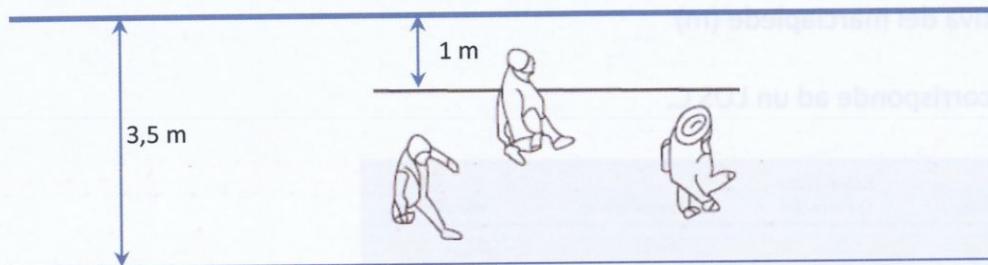
$$t_{min} = \max \left[ \frac{\delta}{v_j} + \gamma * \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right); o_i \right] \quad \text{per } v_j \leq v_i$$

Politecnico di Torino – Collegio di Ingegneria Civile  
 Infrastrutture Viarie - 02BHVMC  
 A.A. 2013/14

**ESERCITAZIONE #2**  
**(20 marzo 2014)**

**Esercizio 1 – DEFLUSSO PEDONALE E LIVELLI DI SERVIZIO**

Si consideri un segmento di marciapiede di larghezza 3,5 m, delimitato su un lato da un cordolo e sull'altro da vetrine di negozi. Considerando che la presenza delle vetrine sottrae circa 1 m alla normale circolazione dei pedoni, e che nel quarto d'ora di massimo movimento sono stati osservati 1200 pedoni, si determini il LOS nel corso del quarto d'ora di punta.



Relazione fondamentale:

$$Q_{ped} = V_{ped} * D_{ped}$$

$Q_{ped}$  = volume di pedoni (ped/min/m)

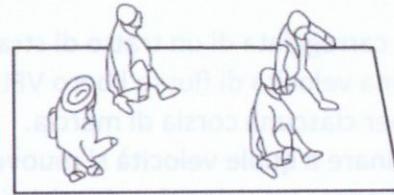
$V_{ped}$  = velocità media della corrente di pedoni (m/min)

$D_{ped}$  = densità dei pedoni (ped/m<sup>2</sup>)

### LOS D

*Pedestrian Space > 15–24 ft<sup>2</sup>/p Flow Rate > 10–15 p/min/ft*

At LOS D, freedom to select individual walking speed and to bypass other pedestrians is restricted. Cross- or reverse-flow movements face a high probability of conflict, requiring frequent changes in speed and position. The LOS provides reasonably fluid flow, but friction and interaction between pedestrians is likely.



### LOS E

*Pedestrian Space > 8–15 ft<sup>2</sup>/p Flow Rate > 15–23 p/min/ft*

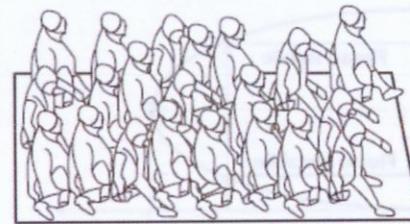
At LOS E, virtually all pedestrians restrict their normal walking speed, frequently adjusting their gait. At the lower range, forward movement is possible only by shuffling. Space is not sufficient for passing slower pedestrians. Cross- or reverse-flow movements are possible only with extreme difficulty. Design volumes approach the limit of walkway capacity, with stoppages and interruptions to flow.



### LOS F

*Pedestrian Space ≤ 8 ft<sup>2</sup>/p Flow Rate varies p/min/ft*

At LOS F, all walking speeds are severely restricted, and forward progress is made only by shuffling. There is frequent, unavoidable contact with other pedestrians. Cross- and reverse-flow movements are virtually impossible. Flow is sporadic and unstable. Space is more characteristic of queued pedestrians than of moving pedestrian streams.



Note: 1 ft<sup>2</sup>/p = 0.09 m<sup>2</sup>/p; 1 p/min/ft = 3.3 p/min/m

$$-\frac{V^2}{VFL} * D_c + V * D_c - Q = 0$$

$$V_{1,2} = \frac{D_c \pm \sqrt{D_c^2 - \frac{4D_c Q}{VFL}}}{\frac{2D_c}{VFL}} =$$

$$V_{1,2} = \frac{76.67 \pm \sqrt{76.67^2 - 4 * 76.67 * \frac{1200}{120}}}{2 * \frac{76.67}{120}} = \begin{cases} 101.3 \frac{km}{h} \text{ flusso stabile, non saturo} \\ 18.5 \frac{km}{h} \text{ flusso instabile, soprasaturo} \end{cases}$$

$$02.0 = \frac{1000}{200 * \frac{1}{120}} = \frac{120}{200} = 0.6$$

Il 1 mese la linea è stata a 2.5 km/h con un traffico di 1200 veicoli/h. Il traffico è cresciuto di 1000 veicoli/h. Il traffico massimo è di 18 km/h.

### Esercizio 8 - EQUAZIONE DELLA DIFERENZA DI VELOCITÀ

Calcolare il traffico dell'ora di punta di un giorno di lavoro.

$$\begin{aligned} 12.50 - 12.50 &= 0 \\ 12.45 - 12.45 &= 0 \\ 12.15 - 12.15 &= 0 \end{aligned}$$

$$V_A - V_B = \Delta V$$

$$V_A - V_B = \Delta V$$

### SVOLGIMENTO:

Il traffico HV il giorno è  $12.50 + 12.50 + 12.45 + 12.45 + 12.15 + 12.15 = 72.00$  veicoli/h.

$$12.50 = 0001 + 0011 + 0001 + 0001 = HV$$

Il traffico HV il giorno è  $12.50 + 12.50 + 12.45 + 12.45 + 12.15 + 12.15 = 72.00$  veicoli/h.

$$V_A - V_B = \Delta V = 200 \text{ km/h}$$

### ESERCIZIO 9 - SVOLGIMENTO

$$528.0 = \frac{2000}{200 * \frac{1}{120}} = 312$$

## Esercizio #5 – AUTOSTRADA URBANA ESISTENTE

Un'autostrada urbana esistente è costituita da due carreggiate con due corsie ciascuna. Le caratteristiche geometriche sono le seguenti:

- corsie di larghezza 3,3 m e banchine di larghezza 60 cm;
- densità di 4,5 rampe per km di autostrada;
- terreno collinare.

Il volume orario direzionale nell'ora di punta è pari a 3500 v/h. Calcolare il livello di servizio dell'autostrada assumendo un PHF pari a 0,95 e sapendo che il traffico di mezzi commerciali è pari al 5%.

Conversione delle unità di misura dell'esercizio:

Larghezza delle corsie:  $3,3 \text{ m} = 3,3 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 10.82 \text{ ft} = L_c$

Larghezza delle banchine:  $0,6 \text{ m} = 0,6 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 1.97 \cong 2 \text{ ft} = L_b$

Densità delle rampe:  $4,5 \text{ r/km} = 4,5 \text{ r/km} \cdot 1,61 \text{ km/mi} = 7.25 \text{ r/mi} = \text{TRD}$

Svolgimento:

1. Calcolo della FFS (VFL):

$$\text{FFS} = 75,4 - f_{LW} - f_{LC} - 3,22 \text{ TRD}^{0,84} = 75,4 - 6,6 - 2,4 - 3,22 * 7,25^{0,84} = 49,39 \text{ mi/h} \cong 50 \text{ mi/h}$$

Exhibit 11-8 Adjustment to FFS for Average Lane Width	Average Lane Width (ft)		Reduction in FFS, $f_{LW}$ (mi/h)	
	$\geq 12$		0.0	
	$\geq 11-12$		1.9	
	$\geq 10-11$		6.6	

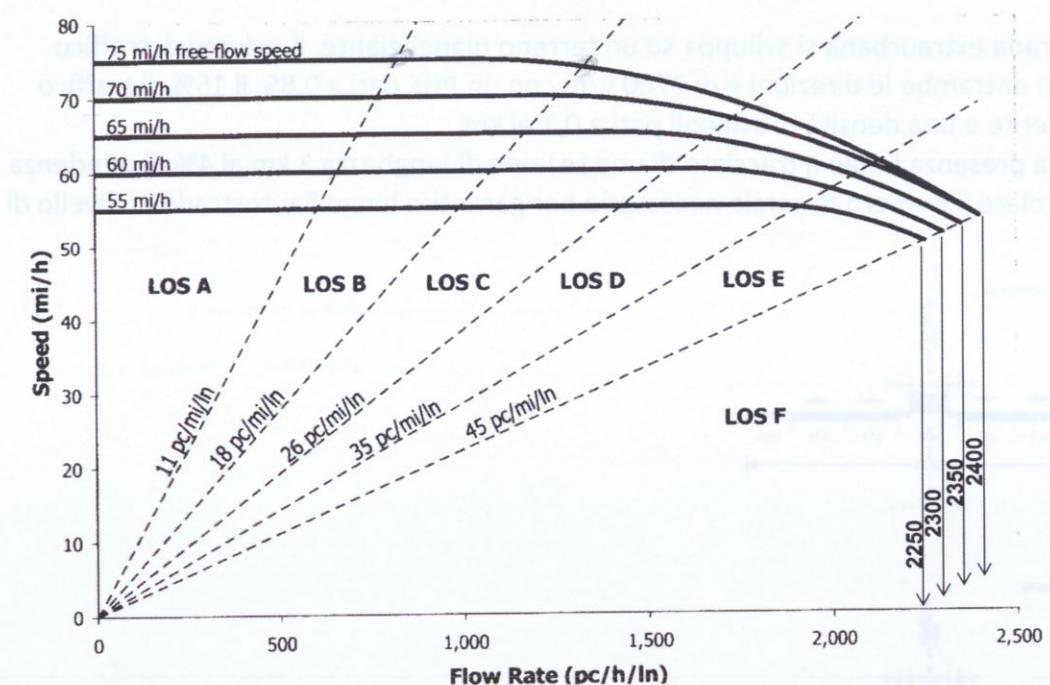
Exhibit 11-9 Adjustment to FFS for Right- Side Lateral Clearance, $f_{LC}$ (mi/h)	Right-Side Lateral Clearance (ft)	Lanes in One Direction			
		2	3	4	$\geq 5$
	$\geq 6$	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.6	0.4	0.2	0.1
	4	1.2	0.8	0.4	0.2
	3	1.8	1.2	0.6	0.3
	2	2.4	1.6	0.8	0.4
	1	3.0	2.0	1.0	0.5
	0	3.6	2.4	1.2	0.6

2. Calcolo di  $f_{HV}$ : coefficiente che permette di convertire il numero di veicoli in numero di autovetture equivalenti.

I coefficiente  $E_T$  ed  $E_R$  sono funzioni crescenti in base alla morfologia del terreno.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.05 * (2.5 - 1)} = 0.93$$

Con  $P_T$  si definisce la % di "mezzi pesanti", mentre  $P_R$  è la % di "mezzi ricreativi".



Right-Side Lateral Clearance (ft)	Lanes in One Direction			
	2	3	4	$\geq 5$
$\geq 6$	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.6	0.4	0.2	0.1
4	1.2	0.8	0.4	0.2
3	1.8	1.2	0.6	0.3
2	2.4	1.6	0.8	0.4
1	3.0	2.0	1.0	0.5
0	3.6	2.4	1.2	0.6

Da tabella:

$$f_{LW} = 0,0$$

$f_{LC} = 0,0$  indipendentemente dal numero di corsi che si progettano

$$FFS = 75,4 - f_{LW} - f_{LC} - 3,22 \text{ TRD}^{0,84} = (75,4 - 0,0 - 0,0 - 3,22 \cdot 0,161^{0,84}) \text{ mi/h} = 74,70 \text{ mi/h}$$

2. Calcolo di  $f_{HV}$  per il tratto pianeggiante:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,15 \cdot (1,5 - 1)} = 0,93$$

Exhibit 11-10	PCEs for Heavy Vehicles in General Terrain Segments	Vehicle	PCE by Type of Terrain		
			Level	Rolling	Mountainous
		Trucks and buses, $E_T$	1.5	2.5	4.5
		RVs, $E_R$	1.2	2.0	4.0

3. Calcolo di  $f_{HV}$  per il tratto in discesa:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,15 \cdot (1,5 - 1)} = 0,93$$

Si considera il tratto in discesa come il tratto pianeggiante.

Per il calcolo di  $E_T$  in discesa il manuale suggerisce di utilizzare la tabella 11-10.

Exhibit 11-10	PCEs for Heavy Vehicles in General Terrain Segments	Vehicle	PCE by Type of Terrain		
			Level	Rolling	Mountainous
		Trucks and buses, $E_T$	1.5	2.5	4.5
		RVs, $E_R$	1.2	2.0	4.0

4. Calcolo di  $f_{HV}$  per il tratto in salita:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,15 \cdot (2,5 - 1)} = 0,816$$

Il valore di  $E_T$  è determinato dalla tabella 11-11.

Si entra con la pendenza  $i = 4\%$ .  $\rightarrow$  lunghezza del tratto in salita = 3 km = 3km / 1.61 km/mi = 1.875 mi  $\rightarrow$  infine la proporzione dei Mezzi Pesanti = 0.15 %

Politecnico di Torino – Collegio di Ingegneria Civile  
Infrastrutture Viarie - 02BHVMC  
A.A. 2013/14

**ESERCITAZIONE #2**  
**(25 marzo 2014)**

**Esercizio #1 – AUTOSTRADA URBANA ESISTENTE IN AMMODERNAMENTO**

Per un'autostrada urbana esistente è previsto un intervento di riqualificazione geometrica (1.possibilità di rivedere l'andamento piano-altimetrico; 2.modificare la sezione trasversale) e di potenziamento funzionale (inserimento di ulteriore corsia/e).

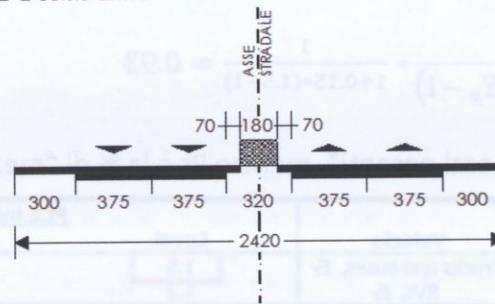
Attualmente, essa è costituita da due carreggiate con due corsie ciascuna. Le caratteristiche sono le seguenti:

- corsie di larghezza 3,3 m e banchine di larghezza 1,80 m;
- densità di 3,5 rampe per km di autostrada;
- terreno pianeggiante;
- traffico di mezzi commerciali è pari al 15%;
- volume orario direzionale nell'ora di punta è pari a 3000 v/h;
- PHF pari a 0,92.

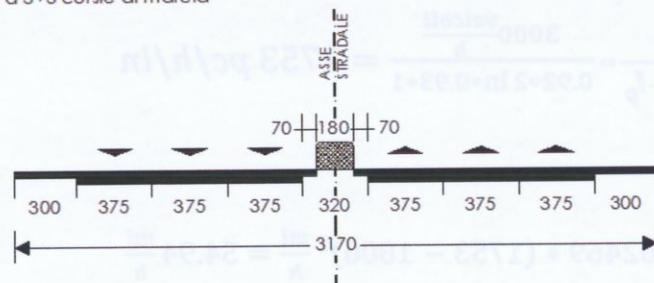
Dopo aver determinato l'attuale livello di servizio, si chiede di progettare la nuova sezione trasversale assumendo un livello di servizio C considerando un aumento del volume orario direzionale, a lavori di ammodernamento ultimati, del 15% rispetto all'attuale.

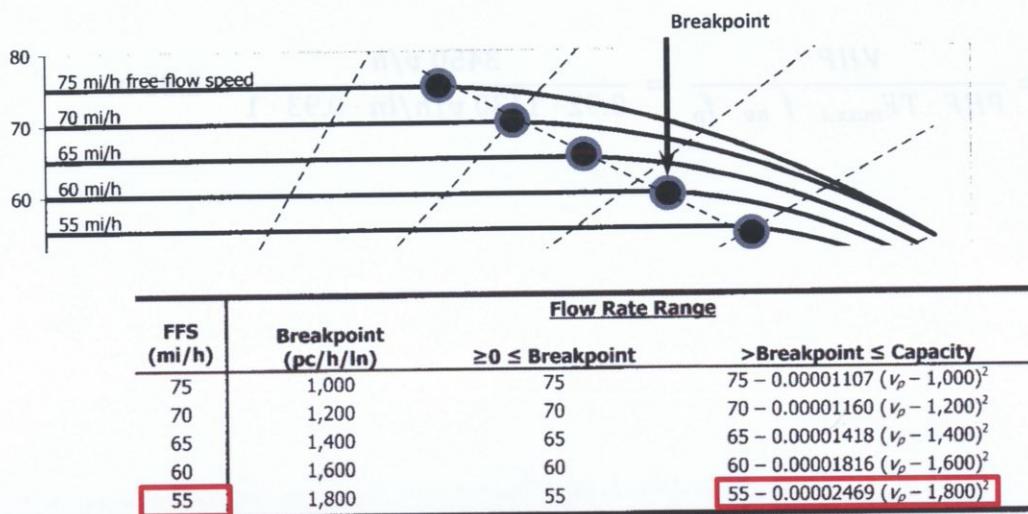
**Sezioni tipologiche di autostrada urbana secondo DM. 6792/2001**

Soluzione base a 2+2 corsie di marcia



Soluzione a 3+3 corsie di marcia





Notes: FFS = free-flow speed,  $\nu_p$  = demand flow rate (pc/h/ln) under equivalent base conditions.  
Maximum flow rate for the equations is capacity: 2,400 pc/h/ln for 70- and 75-mph FFS; 2,350 pc/h/ln for 65-mph FFS; 2,300 pc/h/ln for 60-mph FFS; and 2,250 pc/h/ln for 55-mph FFS.

## 5. Calcolo della densità:

$$D (\text{pc/mi/ln}) = \text{TF} (\text{pc/h/ln}) / S (\text{mi/h}) = \frac{1753 \text{ pc/h/ln}}{54.94 \text{ mi/h}} = 31.91 \text{ pc/mi/ln}$$

## 6. Calcolo del LOS (LdS):

LOS = LOS D Livello di Servizio basso. Autostrada necessiterebbe di una corsia in più.  
Bisognerebbe RIPROGETTARE l'intera infrastruttura al fine di aumentare il Livello di Servizio richiesto. Ossia LOS C

LOS	Density (pc/mi/ln)
A	$\leq 11$
B	$> 11-18$
C	$> 18-26$
D	$> 26-35$
E	$> 35-45$
F	Demand exceeds capacity $> 45$

## Progetto del Livello di Servizio:

## 7. Calcolo del Numero di corsie:

Tabella con gli  $\text{TF}_{\text{max},i}$

FFS	LOS				
	A	B	C	D	E
mi/h					
75	820	<b>1310</b>	1750	2110	2400
70	770	<b>1250</b>	1690	2080	2400
65	710	<b>1170</b>	1630	2030	2350
60	660	<b>1080</b>	1560	2010	2300
55	600	<b>990</b>	1430	1900	2250

**Politecnico di Torino – Collegio di Ingegneria Civile**  
**Infrastrutture Viarie - 02BHVMC**  
**A.A. 2013/14**

**ESERCITAZIONE #3**  
**(27 marzo 2014)**

**Esercizio #1 – Resistenze ordinarie in ambito stradale**

Determinare le resistenze ordinarie di un'autovettura di massa pari a  $897 \text{ kg}_m$  che viaggia alla velocità costante di 130 km/h. Si adottino i seguenti valori:

- $r_{RD} = 15 \text{ N/kN}$ ;
- $\delta = 1,247 \text{ Nm}^{-4} \text{s}^2$  (temperatura di  $10^\circ\text{C}$  e pressione di 1 atm);
- $S = 2,4 \text{ m}^2$ ;
- $c = 0,35$ .

**SVOLGIMENTO:**

Le resistenze ordinarie presenti in rettilineo su via pianeggiante sono:

$$1 - \text{Resistenza al rotolamento } R_{RD} = P * r_{RD}$$

Con  $P = m * g$  = peso del veicolo

$r_{RD}$  = resistenza specifica a rotolamento

$$2 - \text{Resistenza aerodinamica } R_{a,s} = p * c * S = \frac{1}{2} * \delta * v^2 * c * S$$

$p$  = pressione cinetica

$c$  = coefficiente di resistenza aerodinamica dell'autoveicolo

$S$  = area della proiezione della superficie investita su un piano normale alla direzione del moto.

$$r_{RD} = 15 \text{ N/kN}$$

$$\delta = 1,247 \text{ Nm}^{-4} \text{s}^2 \text{ (temperatura di } 10^\circ\text{C e pressione di 1 atm)}$$

$$S = 2,4 \text{ m}^2$$

$$c = 0,35$$

$$m = 897 \text{ kg}_f$$

$$v = 130 \text{ km/h}$$

$$R_{RD} = P * r_{RD}$$

$$R_{RD} = m * g * r_{RD}$$

$$R_{RD} = \left( 897 \text{ kg} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} * \frac{10^{-3} \text{ KN}}{\text{N}} \right) * \frac{15 \text{ N}}{\text{KN}} = 132 \text{ N}$$

$$R_{a,s} = \frac{1}{2} * \delta * v^2 * c * S$$

$$R_a = \frac{1}{2} * 1,247 \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^4} * \left( \frac{130}{3,6} \right)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} * 0,35 * 2,4 \text{ m}^2 =$$

$$R_{a,s} = 683 \text{ N}$$

### SVOLGIMENTO:

Dati:

$V=160 \text{ km/h}$

$m_L=89000 \text{ kg}$

$m_v=36000 \text{ kg}$

Siccome il locomotore è elettrico:

$a_L=2,5 \text{ N/kN}$

$b_L=0,00030$

Tipi 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 $\text{m}^2$ , K = 0,45 per 2 elementi, K = 0,65 per 3 elementi, K = 0,71 per 4 elementi.		

Siccome i vagoni sono a due carrelli:

$a_V=2,5 \text{ N/kN}$

$b_V=0,00014$

Locomotore:

$$r_{OF,L} = 2,5 + 0,0003 * V^2 = 2,5 + 0,0003 * 160^2$$

$$r_{OF,L} = 10,18 \frac{N}{kN}$$

Vagoni:

$$r_{OF,L} = 2,5 + 0,00014 * V^2 = 2,5 + 0,00014 * 160^2$$

$$r_{OF,L} = 6,08 \frac{N}{kN}$$

$$P_L = m_L * g = \frac{89000 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}}{1000 \frac{N}{kN}} = 873,1 \text{ kN}$$

$$P_v = (m_v + m_p * n_p) * g = \frac{(36000 + 80 * 82) \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}}{1000 \frac{N}{kN}} = 417,5 \text{ kN}$$

La resistenza totale si calcola:

$$R_{OF} = r_{OF,L} * P_L * n_L + r_{OF,V} * P_V * n_V$$

$$R_{ord} = 10,18 \frac{N}{kN} * 89000 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} * +6,08 \frac{N}{kN} * (36000 \text{ kg} + 80 \text{ kg} * 82) * 9,81 \frac{m}{s^2} * 12$$

$$R_{OF} = 39369,9 \text{ N}$$

E la resistenza specifica totale:

$$P = m * g = (36000 \text{ kg} + 82 * 80 \text{ kg}) * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 417514 \text{ N} = 417,5 \text{ KN}$$

Dalla tabella ricavo, in base al grado di prestazione, la livelletta fittizia:

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		

Il grado di prestazione è 25 quindi dalla tabella possiamo considerare un valore della livelletta fittizia  $(i + r_c) = 27,8 \text{ N/KN} = 27,8 \%$

La resistenza specifica in curva è

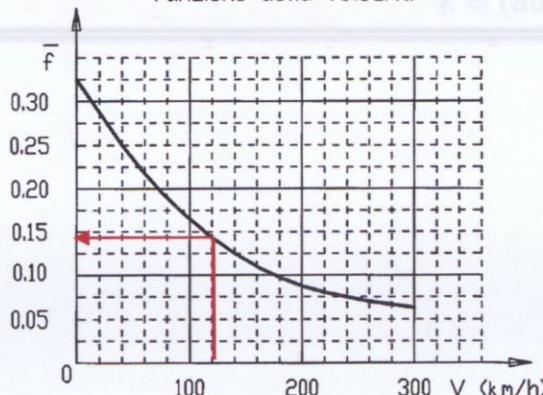
$$r_c = \frac{m}{R - n} = \frac{650}{500 - 55} = 1,46 \text{ N/KN}$$

La pendenza si determina allora come

$$i_f = r_c + i$$

$$i = i_f - r_c = 27,8 - 1,45 = 26,3 \text{ N/KN}$$

Coefficiente di aderenza ruota-rotella in funzione della velocità



Il fattore di aderenza  $f_a = 0,14$

Il peso aderente  $P_a$  risulta essere il peso del locomotore.

$$T = R_{rd} + R_a + R_l + R_c = R_{ORD} + R_l + R_c$$

$$\frac{n_{loc} * W_{loc}}{v_{loc}} = n_{loc} * P_{loc} * r_{ORD,loc} + n_{vag} * P_{vag,loc} * r_{ORD,vag} + P_{tot} * r_f$$

$$n'_{loc} = \frac{n_{vag} * P_{vag} * (r_{OF,V} + i + r_c)}{\frac{W}{v} - P_{Loc} * (r_{OF,L} + i + r_c)} \text{ in termini di potenza}$$

#### Esercizio #4 – Prestazioni sulle livellette stradali

Di un tratto di strada di categoria C, di cui si conosce l'andamento altimetrico (Figura 1), si deve valutare se sia necessario inserire una corsia di arrampicamento. A questo proposito è assunto come veicolo di progetto uno avente una potenza specifica di 0,55 W/N e di cui è nota la velocità iniziale di 40 km/h.

Si rediga il diagramma delle velocità del veicolo di progetto in entrambe le direzioni utilizzando il metodo grafico (Figura 2).

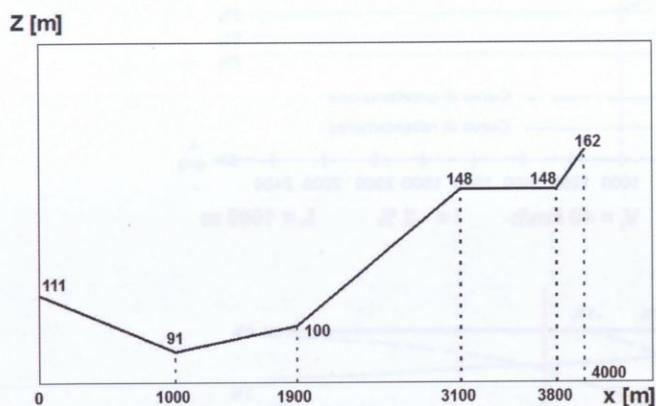


Figura 1: andamento altimetrico

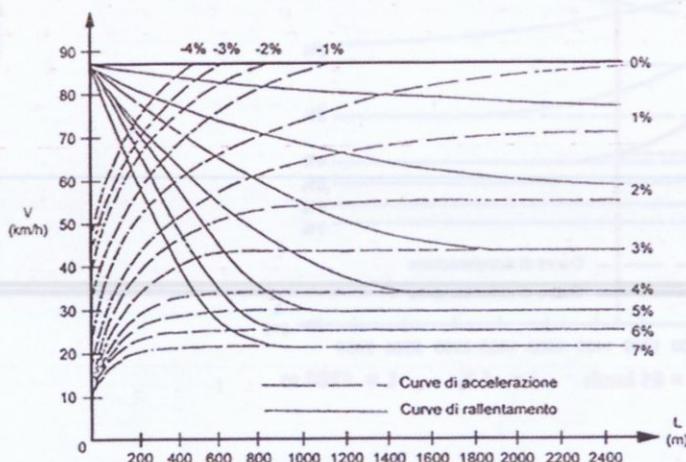
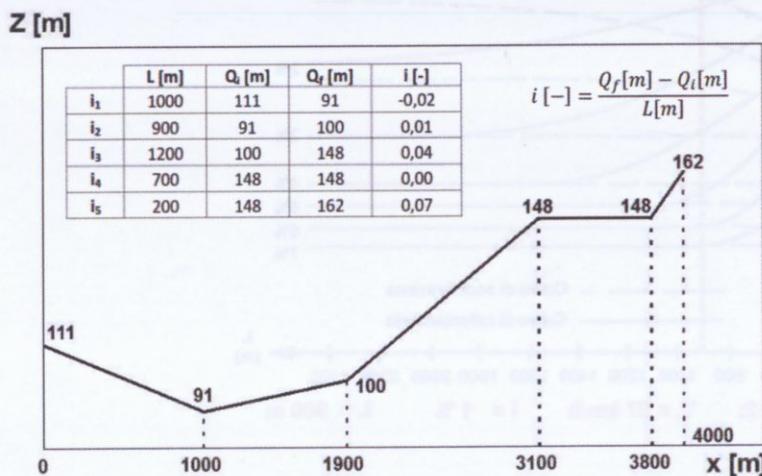
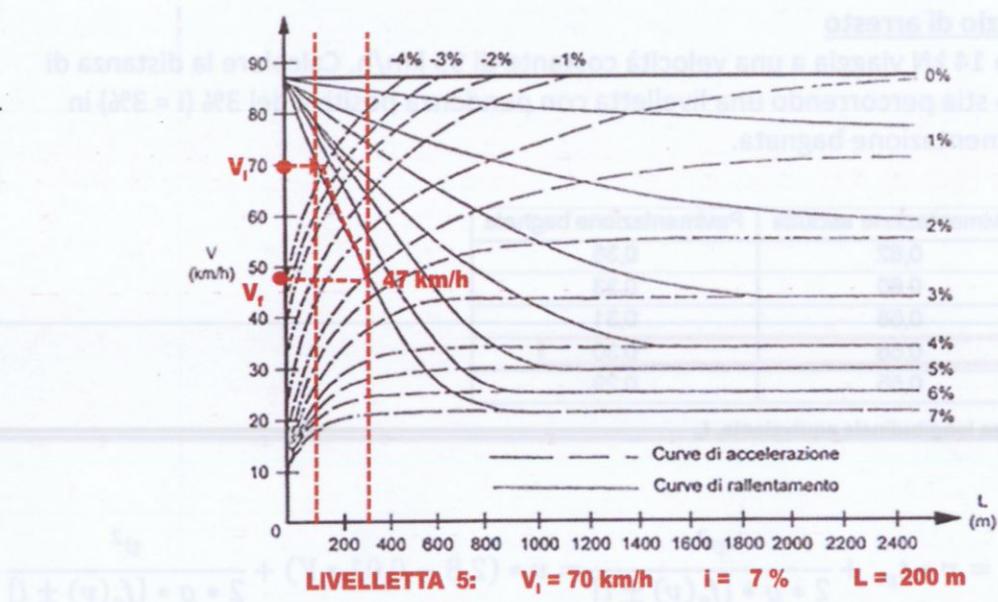
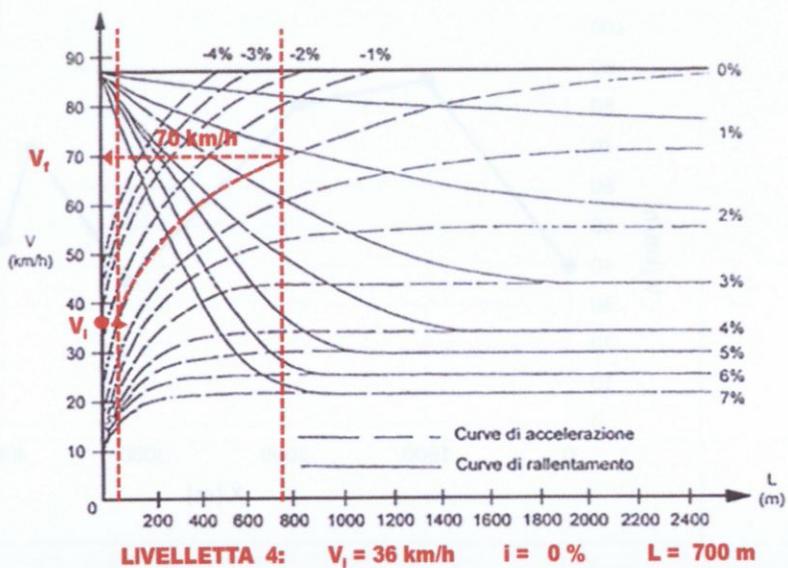


Figura 2: Abaco per  $W/N = 0,55$

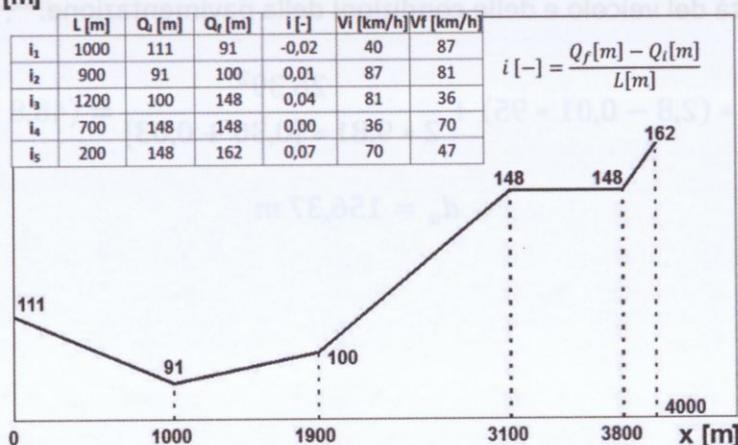




**Z [m]**

	$L \text{ [m]}$	$Q_i \text{ [m]}$	$Q_f \text{ [m]}$	$i \text{ [-]}$	$V_i \text{ [km/h]}$	$V_f \text{ [km/h]}$
$i_1$	1000	111	91	-0,02	40	87
$i_2$	900	91	100	0,01	87	81
$i_3$	1200	100	148	0,04	81	36
$i_4$	700	148	148	0,00	36	70
$i_5$	200	148	162	0,07	70	47

$$i \text{ [-]} = \frac{Q_f \text{ [m]} - Q_i \text{ [m]}}{L \text{ [m]}}$$



Politecnico di Torino – Collegio di Ingegneria Civile  
Infrastrutture Viarie - 02BHVMC  
A.A. 2013/14

ESERCITAZIONE #3  
(1 aprile 2014)

**Esercizio #1 – Resistenze ordinarie in ambito stradale**

Determinare le resistenze ordinarie di un mezzo pesante di massa pari a  $3400 \text{ kg}_m$  che viaggia alla velocità costante di 80 km/h. Si supponga inoltre:

- $r_{RD} = 30 \text{ N/kN}$ ;
- $\delta = 1,204 \text{ Nm}^{-4} \text{s}^2$  (temperatura di  $20^\circ\text{C}$  e pressione di 1 atm);
- $S = 10,7 \text{ m}^2$ ;
- $C = 0,90$ .

Si determini inoltre l'andamento delle resistenze complessive per il medesimo veicolo per pendenze di livelletta comprese tra -5 e +5% (per intervalli di 1%).

**SVOLGIMENTO:**

Resistenza al rotolamento  $R_{RD} = P * r_{RD} = m * g * r_{RD}$

Resistenza aerodinamica  $R_a = p * c * S = \frac{1}{2} * \delta * v^2 * c * S$

Determino le resistenze ordinarie come somma del contributo della deformabilità al rotolamento e delle resistenze aerodinamiche:

$$P = (3400 * 9.81) \text{ N} = 33.35 \text{ KN}$$

$$R_{RD} = 33.35 * 30 = 1000.6 \text{ N}$$

$$R_a = \frac{1}{2} c * \delta * s * v^2 = \frac{1}{2} * 1.204 * \left(\frac{80}{3.6}\right)^2 * 0.9 * 10.7 = 2862.8 \text{ N}$$

$$R_{ord} = R_{RD} + R_a = 3863.5 \text{ N}$$

Determino le resistenze complessive come somma del contributo delle resistenze ordinarie e delle resistenze alla livelletta:

$$\text{Resistenze totali } R_{tot} = R_{ord} + R_l$$

$$\text{Resistenze alla livelletta } R_l = P * i$$

i [%]	R <sub>l</sub> [N]	R <sub>tot</sub> [N]
-5	-1667,5	2196,0
-4	-1334,0	2529,5
-3	-1000,5	2863,0
-2	-667,0	3196,5
-1	-333,5	3530,0

### Esercizio #3 – Prestazioni in ambito ferroviario

Su una linea ferroviaria in progetto si suppone la circolazione di due tipi di convoglio a differenti velocità:

*Treno passeggeri:*

- locomotore elettrico veloce:  $m = 89.000 \text{ kg}_m$ ,  $W = 6.600 \text{ kW}$ ;
- 12 vagoni a pieno carico:  $m_{\text{vuoto}} = 36.000 \text{ kg}_m/\text{vagone}$ , 100 posti (considerare 80 kg a passeggero), 2 carrelli;
- $V = 160 \text{ km/h}$ .

*Treno merci:*

- locomotore/i elettrico merci:  $m = 72.000 \text{ kg}_m$ ,  $W = 3.600 \text{ kW}$ ;
- 35 carri merci a pieno carico:  $m = 40.000 \text{ kg}_m/\text{carro}$ ;
- $V = 120 \text{ km/h}$ .

Determinare la massima pendenza superabile per il convoglio passeggeri e il numero di locomotori richiesti al convoglio merci per superare la medesima livellata. Ai fini dello svolgimento, si consideri sia la condizione limite legata alla potenza, sia quella legata all'aderenza.

Tipo di veicolo	a [N/kN]	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  $\text{m}^2$ , K = 0,45 per 2 elementi, K = 0,65 per 3 elementi, K = 0,71 per 4 elementi.

Tabella 1: Coefficienti equazione binomia per veicoli ferroviari

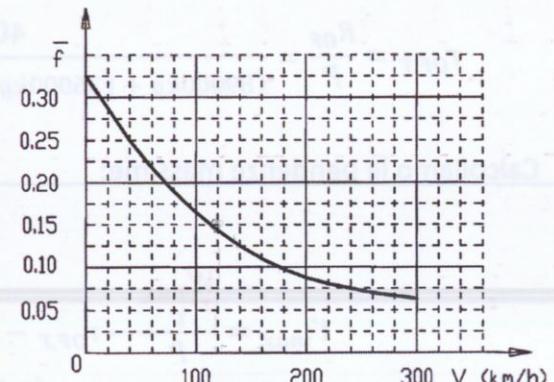


Figura 1: Coefficiente ruota-rotaia in funzione della velocità

#### SVOLGIMENTO:

PARTE 1: Determinare la massima pendenza superabile per il convoglio passeggeri:

Dati del convoglio di passeggeri:

$$W = 6600 \text{ kW}$$

$$V = 160 \text{ km/h}$$

$$m_L = 89000 \text{ kg}$$

$$m_v = 36000 \text{ kg}/100 \text{ posti}$$

$$m_{\text{passeggeri}} = 80 \text{ kg}$$

Siccome il locomotore è elettrico:

$$a_L = 2,5 \text{ N/kN}$$

$$b_L = 0,00030$$

Siccome i vagoni sono a due carrelli:

$$a_v = 2,5 \text{ N/kN}$$

$$V = 120 \text{ km/h}$$

$$m_L = 72000 \text{ kg}$$

$$m_v = 40000 \text{ kg}$$

Siccome il locomotore è elettrico merci:

$$a_L = 3 \text{ N/kN}$$

$$b_L = 0,00050$$

Siccome i vagoni sono carri merci pieni:

$$a_v = 2,5 \text{ N/kN}$$

$$b_v = 0,0004$$

Locomotore:  $r_{OF,L} = 3 + 0,0005 * V^2$

$$r_{OF,L} = 3 + 0,0005 * 120^2$$

$$r_{OF,L} = 10,2 \text{ N/kN}$$

Vagoni:

$$r_{OF,V} = 2,5 + 0,0004 * V^2$$

$$r_{OF,V} = 2,5 + 0,0004 * 120^2$$

$$r_{OF,V} = 8,26 \text{ N/kN}$$

Calcoliamo il numero di locomotori necessari:

$$n'_L = \frac{n_v * P_v * (r_{OF,V} + i + r_c)}{\frac{W}{v} - P_L * (r_{OF,L} + i + r_c)} = \frac{35 * 40 * 9,81 * (8,26 + 6,02)}{\frac{3600 * 1000 * 3,6}{120} - 72 * 9,81 * (8,26 + 6,02)}$$

$$n'_L = 2,03$$

$$n''_L = \frac{n_v * P_v * (r_{OF,V} + i + r_c)}{P_a * f_a - P_L * (r_{OF,L} + i + r_c)} = \frac{35 * 40 * 9,81 * (8,26 + 6,02)}{72000 * 9,81 * 0,112 - 72 * 9,81 * (8,26 + 6,02)}$$

$$n''_L = 2,84$$

Il numero di locomotori minimi necessario è pari al massimo dei valori calcolati approssimato per eccesso:

$$n_{L,min} = (2,03; 2,84) = 3 \text{ locomotori}$$

38000 &lt; x &lt; 4000

0,07

-0,07

**Percorrendo da sinistra verso destra:**

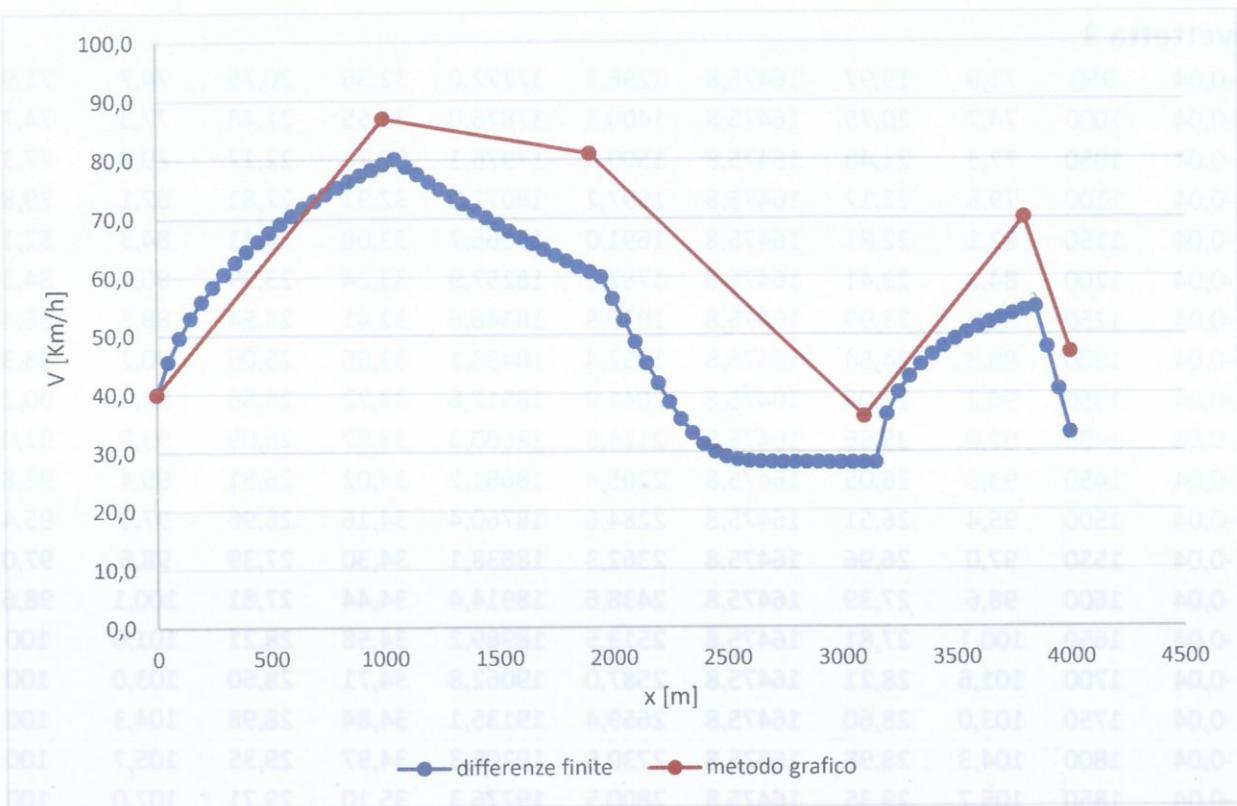
i	x	Vi	vi	R rd	R a	R ord	r ord	vi+1	Vi+1
[-]	[m]	[km/h]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N/kN]	[m/s]	[km/h]

**Livettetta 1**

-0,02	0	40,0	11,11	16475,8	401,3	16877,1	30,73	12,67	45,6
-0,02	50	45,6	12,67	16475,8	521,6	16997,3	30,95	13,81	49,7
-0,02	100	49,7	13,81	16475,8	619,9	17095,7	31,13	14,74	53,0
-0,02	150	53,0	14,74	16475,8	705,9	17181,6	31,29	15,52	55,9
-0,02	200	55,9	15,52	16475,8	783,4	17259,1	31,43	16,21	58,4
-0,02	250	58,4	16,21	16475,8	854,5	17330,2	31,56	16,83	60,6
-0,02	300	60,6	16,83	16475,8	920,5	17396,3	31,68	17,38	62,6
-0,02	350	62,6	17,38	16475,8	982,4	17458,2	31,79	17,89	64,4
-0,02	400	64,4	17,89	16475,8	1040,8	17516,6	31,90	18,36	66,1
-0,02	450	66,1	18,36	16475,8	1096,1	17571,9	32,00	18,80	67,7
-0,02	500	67,7	18,80	16475,8	1148,8	17624,5	32,09	19,21	69,1
-0,02	550	69,1	19,21	16475,8	1199,1	17674,8	32,18	19,59	70,5
-0,02	600	70,5	19,59	16475,8	1247,2	17723,0	32,27	19,95	71,8
-0,02	650	71,8	19,95	16475,8	1293,5	17769,2	32,36	20,29	73,0
-0,02	700	73,0	20,29	16475,8	1338,0	17813,7	32,44	20,61	74,2
-0,02	750	74,2	20,61	16475,8	1380,8	17856,6	32,51	20,92	75,3
-0,02	800	75,3	20,92	16475,8	1422,2	17898,0	32,59	21,21	76,4
-0,02	850	76,4	21,21	16475,8	1462,2	17938,0	32,66	21,49	77,4
-0,02	900	77,4	21,49	16475,8	1500,9	17976,7	32,73	21,75	78,3
-0,02	950	78,3	21,75	16475,8	1538,4	18014,2	32,80	22,01	79,2
-0,02	1000	79,2	22,01	16475,8	1574,8	18050,6	32,87	22,26	80,1

**Livettetta 2**

0,01	1050	80,1	22,26	16475,8	1610,1	18085,9	32,93	21,89	78,8
0,01	1100	78,8	21,89	16475,8	1557,8	18033,5	32,84	21,53	77,5
0,01	1150	77,5	21,53	16475,8	1506,9	17982,6	32,74	21,17	76,2
0,01	1200	76,2	21,17	16475,8	1457,4	17933,2	32,65	20,82	75,0
0,01	1250	75,0	20,82	16475,8	1409,5	17885,3	32,57	20,48	73,7
0,01	1300	73,7	20,48	16475,8	1363,1	17838,8	32,48	20,14	72,5
0,01	1350	72,5	20,14	16475,8	1318,2	17793,9	32,40	19,80	71,3
0,01	1400	71,3	19,80	16475,8	1274,8	17750,6	32,32	19,48	70,1
0,01	1450	70,1	19,48	16475,8	1233,0	17708,7	32,25	19,15	69,0
0,01	1500	69,0	19,15	16475,8	1192,7	17668,5	32,17	18,84	67,8
0,01	1550	67,8	18,84	16475,8	1154,0	17629,8	32,10	18,54	66,7
0,01	1600	66,7	18,54	16475,8	1116,9	17592,7	32,03	18,24	65,7
0,01	1650	65,7	18,24	16475,8	1081,4	17557,2	31,97	17,95	64,6
0,01	1700	64,6	17,95	16475,8	1047,4	17523,2	31,91	17,67	63,6
0,01	1750	63,6	17,67	16475,8	1015,0	17490,8	31,85	17,40	62,6
0,01	1800	62,6	17,40	16475,8	984,2	17459,9	31,79	17,14	61,7
0,01	1850	61,7	17,14	16475,8	954,9	17430,7	31,74	16,89	60,8
0,01	1900	60,8	16,89	16475,8	927,1	17402,9	31,69	16,65	59,9



Percorrendo da destra verso sinistra:

i	X	Vi	vi	R rd	R a	R ord	r ord	vi+1	Vi+1	Vi
[-]	[m]	[km/h]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N/kN]	[m/s]	[km/h]	[km/h]

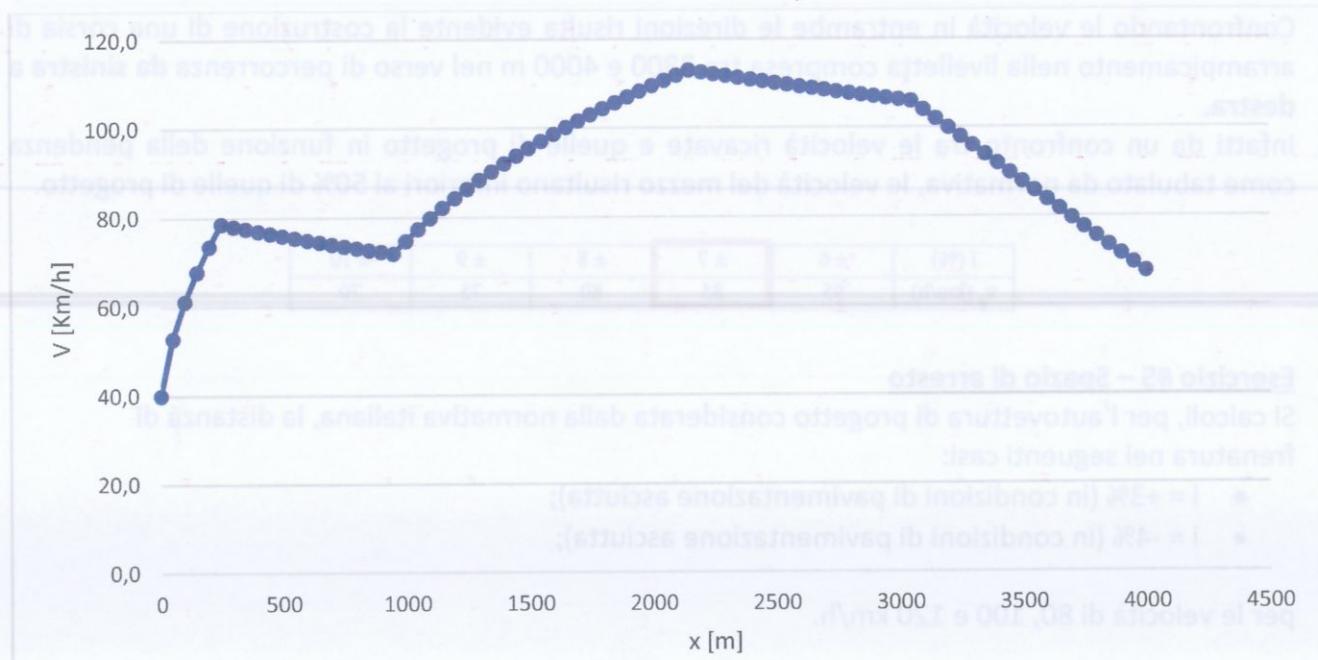
#### Livettetta 5

-0,07	0	40,0	11,11	16475,8	401,3	16877,1	30,73	14,67	52,8	40,0
-0,07	50	52,8	14,67	16475,8	699,8	17175,6	31,27	16,99	61,2	52,8
-0,07	100	61,2	16,99	16475,8	938,1	17413,9	31,71	18,84	67,8	61,2
-0,07	150	67,8	18,84	16475,8	1154,1	17629,9	32,10	20,43	73,5	67,8
-0,07	200	73,5	20,43	16475,8	1356,8	17832,5	32,47	21,84	78,6	73,5

#### Livettetta 4

0	250	78,6	21,84	16475,8	1550,0	18025,7	32,82	21,68	78,0	78,6
0	300	78,0	21,68	16475,8	1527,9	18003,7	32,78	21,53	77,5	78,0
0	350	77,5	21,53	16475,8	1506,5	17982,3	32,74	21,38	77,0	77,5
0	400	77,0	21,38	16475,8	1485,8	17961,5	32,71	21,23	76,4	77,0
0	450	76,4	21,23	16475,8	1465,6	17941,4	32,67	21,09	75,9	76,4
0	500	75,9	21,09	16475,8	1446,1	17921,8	32,63	20,95	75,4	75,9
0	550	75,4	20,95	16475,8	1427,1	17902,9	32,60	20,82	74,9	75,4
0	600	74,9	20,82	16475,8	1408,8	17884,5	32,57	20,69	74,5	74,9
0	650	74,5	20,69	16475,8	1391,0	17866,8	32,53	20,56	74,0	74,5
0	700	74,0	20,56	16475,8	1373,8	17849,6	32,50	20,43	73,6	74,0
0	750	73,6	20,43	16475,8	1357,2	17833,0	32,47	20,31	73,1	73,6
0	800	73,1	20,31	16475,8	1341,2	17816,9	32,44	20,19	72,7	73,1
0	850	72,7	20,19	16475,8	1325,7	17801,4	32,41	20,08	72,3	72,7
0	900	72,3	20,08	16475,8	1310,7	17786,5	32,39	19,97	71,9	72,3

0,02	3150	101,9	28,32	16475,8	2606,6	19082,4	34,75	27,76	99,9	100
0,02	3200	99,9	27,76	16475,8	2505,3	18981,0	34,56	27,20	97,9	99,9
0,02	3250	97,9	27,20	16475,8	2405,6	18881,3	34,38	26,64	95,9	97,9
0,02	3300	95,9	26,64	16475,8	2307,6	18783,3	34,20	26,08	93,9	95,9
0,02	3350	93,9	26,08	16475,8	2211,3	18687,1	34,03	25,52	91,9	93,9
0,02	3400	91,9	25,52	16475,8	2116,9	18592,7	33,85	24,95	89,8	91,9
0,02	3450	89,8	24,95	16475,8	2024,3	18500,1	33,69	24,39	87,8	89,8
0,02	3500	87,8	24,39	16475,8	1933,6	18409,4	33,52	23,82	85,8	87,8
0,02	3550	85,8	23,82	16475,8	1844,9	18320,7	33,36	23,26	83,7	85,8
0,02	3600	83,7	23,26	16475,8	1758,2	18234,0	33,20	22,69	81,7	83,7
0,02	3650	81,7	22,69	16475,8	1673,6	18149,4	33,05	22,12	79,6	81,7
0,02	3700	79,6	22,12	16475,8	1591,2	18066,9	32,90	21,56	77,6	79,6
0,02	3750	77,6	21,56	16475,8	1511,0	17986,7	32,75	21,00	75,6	77,6
0,02	3800	75,6	21,00	16475,8	1433,0	17908,8	32,61	20,44	73,6	75,6
0,02	3850	73,6	20,44	16475,8	1357,5	17833,3	32,47	19,88	71,6	73,6
0,02	3900	71,6	19,88	16475,8	1284,5	17760,2	32,34	19,32	69,6	71,6
0,02	3950	69,6	19,32	16475,8	1213,9	17689,7	32,21	18,78	67,6	69,6
0,02	4000	67,6	18,78	16475,8	1146,1	17621,9	32,09	18,24	65,6	67,6



### Svolgimento:

Lo spazio di arresto è dato dal contributo di spazio di percezione a reazione del guidatore sommato all'effettivo spazio di frenatura del veicolo.

$$S_a = S_{pr} + S_f = v * t_{pr} + \frac{v^2}{2 * g * [f_e(v) \pm i]}$$

Spazio di percezione a reazione

$$S_{pr} = v * t_{pr} = v * (2.8 - 0.01V)$$

Spazio di frenatura

$$S_f = \frac{v^2}{2 * g * [f_e(v) \pm i]}$$

#### **1a. Velocità 80 km/h e pendenza 3%**

Calcolo il tempo di reazione

$$t_{reazione} = 2.8 - 0.01 * V = 2.8 - 0.01 * 80 = 2s$$

Calcolo ora lo spazio di reazione

$$S_{reazione} = t_{reazione} * v = 2 * \left(\frac{80}{3.6}\right) = 44.44 m$$

Calcolo il fattore equivalente

$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} * \delta * C * s * v^2}{\beta * P_a} = \frac{0.3 + \left(\frac{20}{100}\right)}{1.1} + \frac{0.5 * 1.5 * 0.35 * 2.1 * \left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{1.1 * 0.5 * 1250 * 9.81} = 0.32$$

Calcolo quindi lo spazio di frenata

$$S_{frenata} = \frac{v^2}{2 * g * (f_e + i)} = \frac{\left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{2 * 9.81 * (0.32 + 0.03)} = 71.91 m$$

Quindi lo spazio di arresto vale:

$$S_{arresto} = S_{reazione} + S_{frenata} = 44.44 + 71.91 = 116.35 m$$

#### **1b. Velocità 80 km/h e pendenza -4%**

Rispetto al caso di prima cambia solo lo spazio di frenata essendo diversa la pendenza

$$S_{frenata} = \frac{v^2}{2 * g * (f_e + i)} = \frac{\left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{2 * 9.81 * (0.32 - 0.04)} = 89.9 m$$

Quindi lo spazio di arresto vale:

$$S_{arresto} = S_{reazione} + S_{frenata} = 44.44 + 89.90 = 134.34 m$$

$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} * \delta * C * s * v^2}{\beta * P_a} = \frac{0.21 + \left(\frac{20}{100}\right)}{1.1} + \frac{0.5 * 1.5 * 0.35 * 2.1 * \left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{1.1 * 0.5 * 1250 * 9.81} = 0.46$$

Calcolo quindi lo spazio di frenata

$$s_{frenata} = \frac{v^2}{2 * g * (f_e + i)} = \frac{\left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{2 * 9.81 * (0.46 + 0.03)} = 115.57 \text{ m}$$

Quindi lo spazio di arresto vale:

$$s_{farresto} = s_{reazione} + s_{frenata} = 53.3 + 115.57 = 168.87 \text{ m}$$

### 3b. Velocità 120 km/h e pendenza -4%

Procedo al calcolo del quarto caso, velocità uguale a 100 km/h e pendenza -4%.

Rispetto al caso di prima cambia solo lo spazio di frenata essendo diversa la pendenza

$$s_{frenata} = \frac{v^2}{2 * g * (f_e + i)} = \frac{\left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{2 * 9.81 * (0.46 - 0.04)} = 134.84 \text{ m}$$

Quindi lo spazio di arresto vale:

$$s_{farresto} = s_{reazione} + s_{frenata} = 53.3 + 134.84 = 188.14 \text{ m}$$

### 3c. Velocità 120 km/h e pendenza -4% pavimentazione bagnata

Coefficiente di aderenza trasversale viene ricalibrato  $f_{bagnato} = 0.80 * f$

Calcolo il fattore equivalente

$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} * \delta * C * s * v^2}{\beta * P_a} = \frac{0.21 * 0.8 + \left(\frac{20}{100}\right)}{1.1} + \frac{0.5 * 1.5 * 0.35 * 2.1 * \left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{1.1 * 0.5 * 1250 * 9.81} = 0.43$$

Calcolo quindi lo spazio di frenata

$$s_{frenata} = \frac{v^2}{2 * g * (f_e + i)} = \frac{\left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{2 * 9.81 * (0.4 - 0.04)} = 145.2 \text{ m}$$

Quindi lo spazio di arresto vale:

$$s_{farresto} = s_{reazione} + s_{frenata} = 53.3 + 145.2 = 198.5 \text{ m}$$

Per determinare il coefficiente di aderenza trasversale nei vari casi si è fatto riferimento all'abaco.

**Esercizio #1 – Occupazione di mezzi pesanti**

Individuare la larghezza minima della corsia della rampa di cappio di uno svincolo autostradale interessata dal passaggio di un autoarticolato avente le caratteristiche tecniche riportate in Figura

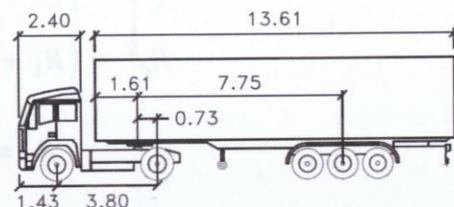


Figura 1: autoarticolato a tre assi

Si supponga che l'asse sterzante segua una traiettoria di raggio  $R$  pari a 40 m, e che il veicolo abbia una larghezza  $L_R = L = 255$  cm.

**Svolgimento:**

La fascia di ingombro la si calcola come:

$$B = R_e - R_i$$

I raggi interno ed esterno si individuano:

-Fascia di ingombro dei veicoli pesanti a tre assi:

$$\begin{cases} \left( R_i + \frac{L_R}{2} \right)^2 + D_R^2 = R_1^2 & (1) \\ \left( R_1 + \frac{L}{2} \right)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 & (2) \\ R_1^2 + D^2 = R^2 & (3) \end{cases}$$

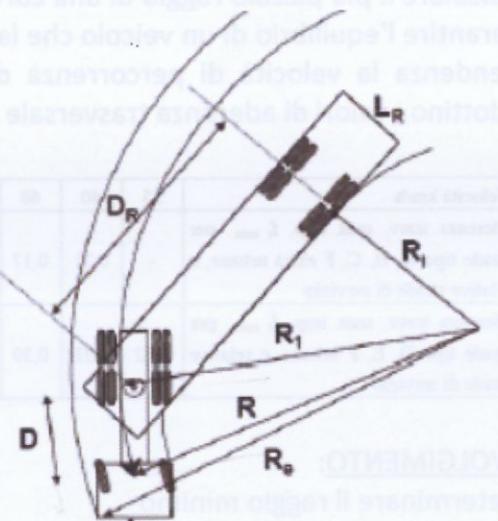
$$R = 40 \text{ m}$$

$$D_R = 7,75 - 0,73 = 7,02 \text{ m}$$

$$L_R = L = 2,55 \text{ m}$$

$$D = 3,80 - 0,73 = 3,07 \text{ m}$$

$$S_A = 1,61 + 0,73 = 2,34 \text{ m}$$



$$R = \frac{v^2}{g * \tan\alpha + g * f_{a,T}}$$

$$R = \frac{19,44^2}{9,81 * 0,07 + 9,81 * 0,15}$$

$$R = 175,19 \text{ m}$$

Determinare la velocità di percorrenza

$$R = 330 \text{ m}$$

$$\tan\alpha = 0,07$$

Si ipotizza una velocità di percorrenza  $v = 100 \text{ km/h}$  per determinare il fattore di aderenza trasversale. Questo perché  $F_{a,T}$  è  $f(v)$ .

- $V1 = 100 \text{ km/h} \Rightarrow f_{a,T} = 0,11$

$$v = \sqrt{R * g * (\tan\alpha + f_{a,T})}$$

$$v = \sqrt{330 * 9,81 * (0,07 + 0,11)} = 24,14 \text{ m/s} = 86,9 \text{ km/h}$$

- $V2 = 86,9 \text{ km/h} \Rightarrow f_{a,T} = 0,11 + (0,13 - 0,11) * \frac{100-86,9}{100-80} = 0,123$  interpolando linearmente

$$v = \sqrt{330 * 9,81 * (0,07 + 0,123)} = 24,99 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$$

- $V3 = 90 \text{ km/h} \Rightarrow f_{a,T} = 0,11 + (0,13 - 0,11) * \frac{100-90}{100-80} = 0,12$  interpolando linearmente

$$v = \sqrt{330 * 9,81 * (0,07 + 0,12)} = 24,80 \text{ m/s} = 89,28 \text{ km/h}$$

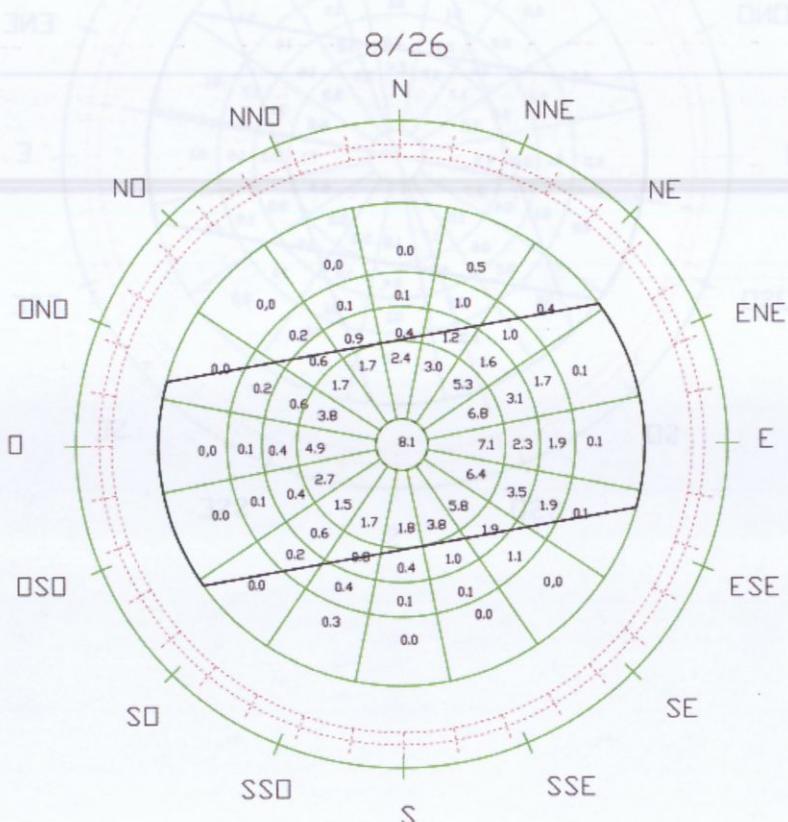
### Esercizio #3 – Orientamento di una pista di volo

Individuare l'orientamento della pista di volo di un aeroporto avente i dati sui venti riportati in **Tabella 1**. Si supponga che le norme aeronautiche fissino il valore limite del vento trasversale a 24 km/h.

Per la stessa area aeroportuale, nel caso in cui non sia rispettata le limitazione stabilita dall'ICAO sulla percentuale di utilizzo della pista principale individuata in precedenza (96%):

1. individuare l'orientamento della pista ausiliaria nonché la percentuale di operatività complessiva dello scalo nell'ipotesi di costruzione di entrambe le piste;
2. verificare se il limite operativo stabilito dall'ICAO possa essere ottenuto variando la lunghezza della pista principale.

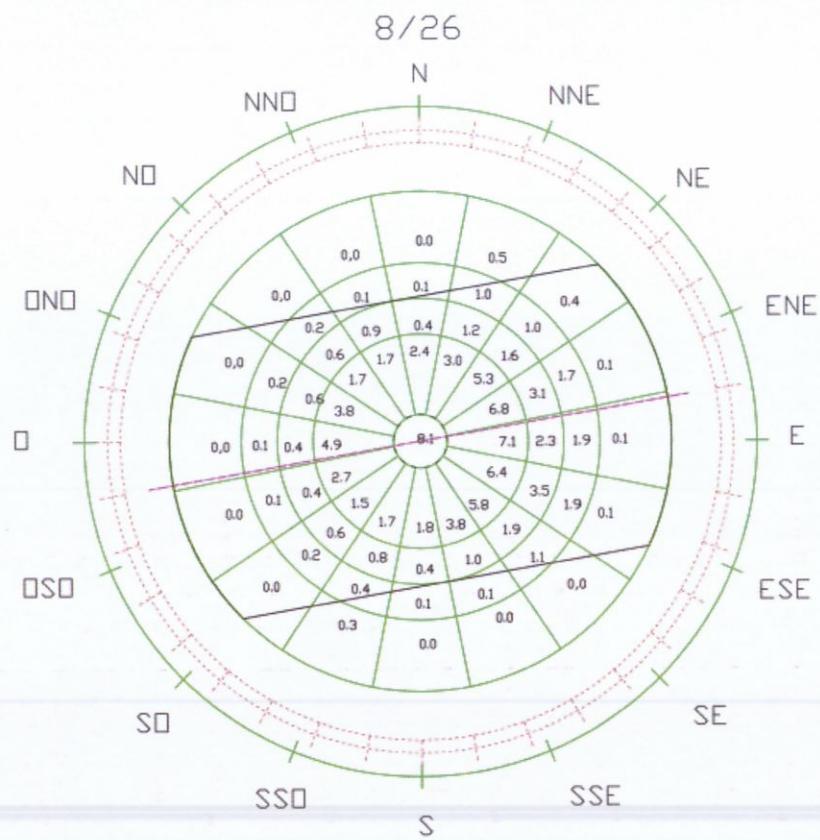
Direzione dell'asse pista	Percentuale di utilizzo [%]
0/18	80.9
1/19	83.0
2/20	83.9
3/21	84.3
4/22	86.1
5/23	87.6
6/24	88.5
7/25	89.8
<b>8/26</b>	<b>91.3</b>
9/27	91.2
10/28	91.0
11/29	90.0
12/30	87.0
13/31	86.8
14/32	85.9
15/33	84.3
16/34	83.3
17/35	83.0



La pista di direzione dell'asse 8/26 ha la percentuale maggiore corrispondente a 91.3 %. Il valore non soddisfa il valore di 96% di tempo di utilizzo della pista imposto dalle norme ICAO (international civil aviation organization). Occorre quindi indagare sull'inserimento di una pista ausiliaria affinché il tempo di utilizzo congiunto delle due piste soddisfi la norma ICAO.

Nell'ipotesi di costruire un'unica pista si può aumentare la lunghezza di pista caratteristica. Così operando è garantita la possibilità di decollo anche con venti trasversali di intensità maggiore, passando da una velocità di vento limite di 24 km/h a 32 km/h.

La pista di direzione dell'asse 8/26 presenta una percentuale di utilizzazione pari a 97,8%. Tale percentuale soddisfa la norma ICAO.



SVOLGIMENTO:

a)

$$R = 35 \text{ m}$$

$$D = 7,20 \text{ m}$$

$$L = 2,175 \text{ m}$$

$$S_A = 2,20 \text{ m}$$

$$\left( R_i + \frac{L}{2} \right)^2 + D^2 = R^2$$

$$R_i = \sqrt{R^2 - D^2} - \frac{L}{2}$$

$$R_i = 33,16 \text{ m}$$

$$(R_i + L)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2$$

$$R_e = \sqrt{(R_i + L)^2 + (D + S_A)^2}$$

$$R_e = 36,56 \text{ m}$$

$$B = R_e - R_i = 3,40 \text{ m}$$

b)

$$R = 35 \text{ m}$$

$$D_R = 12,22 \text{ m}$$

$$L = L_R = 2,50 \text{ m}$$

$$D = 3,33 \text{ m}$$

$$S_A = 1,53 \text{ m}$$

$$R_1^2 + D^2 = R^2$$

$$R_1^2 = R^2 - D^2$$

$$R_1 = 34,84 \text{ m}$$

$$\left( R_1 + \frac{L}{2} \right)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2$$

$$R_e^2 = \left( R_1 + \frac{L}{2} \right)^2 + (D + S_A)^2$$

$$R_e^2 = 36,42 \text{ m}$$

$$\left( R_i + \frac{L_R}{2} \right)^2 + D_R^2 = R_1^2$$

$$R_i = \sqrt{R_1^2 - D_R^2} - \frac{L_R}{2}$$

$$R_i = \sqrt{{R_3}^2 - {D_R}^2} - \frac{L_R}{2}$$

$$R_i = 32,92 \text{ m}$$

$$B = R_e - R_i = 3,56 \text{ m}$$

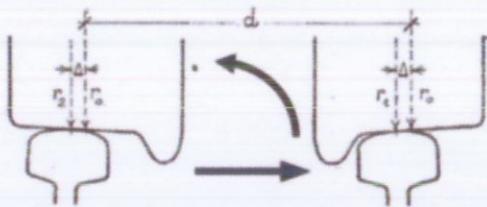
### Esercizio #2 – Raggio minimo ferroviario (in aula)

Individuare il raggio minimo di una linea ferroviaria a scartamento ordinario (1435 mm) considerando come veicolo di progetto un locomotore E.633 avente diametro delle ruote pari a 1040 mm e passo dei carrelli di 2150 mm. Sia inoltre  $\Delta$  pari a 20 mm.

#### SVOLGIMENTO:

L'utilizzo di raggi superiori a un valore minimo deriva dalla necessità di:

-Evitare lo strisciamento ruota-rotaia sul bordino:



$$R_{min} = \frac{r_0 - \Delta * \tan \gamma}{2 * \Delta * \tan \gamma} * d$$

Ove:

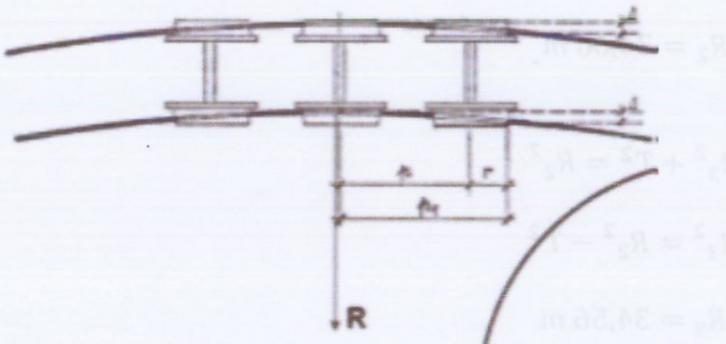
- $\Delta$  è la massima esclusione della sala montata

- $\tan \gamma$  è la conicità della ruota

- $d$  è lo scartamento del binario

- $r_0$  è il raggio della ruota

-Consentire l'inserimento dei carrelli



$$R_{min} = \frac{p_1^2}{2 * \Delta}$$

Il raggio minimo da adottare sarà il massimo valore tra i due valori così determinati

$$\text{Min} (R'_{\min}, R''_{\min}) = \begin{cases} R'_{\min} = \frac{(r - \Delta \tan \gamma) d}{2 \Delta \tan \gamma} = \frac{\left(\frac{1250}{2} \text{ mm} - 20 * \frac{1}{20} \text{ mm}\right) * 1,5 \text{ m}}{2 * 20 * \frac{1}{20} \text{ mm}} = 468 \text{ m} \\ R''_{\min} = \frac{p_1^2}{2 \Delta} = \frac{3475^2 \text{ mm}}{2 * 20 \text{ mm}} = 301890,625 \text{ mm} = 301,891 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Min} (R'_{\min}, R''_{\min}) = R''_{\min} = 301,891 \text{ m}$$

- linea ferroviaria a scartamento ridotto

$$d = 950 \text{ mm}$$

$$r_0 = 750/2 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2100 \text{ mm}$$

$$\Delta = 15 \text{ mm}$$

$$\tan \gamma = 1/20 = 0,05$$

Procedo con il calcolo di

$$p_1 = p + r_0 = 2100 \text{ mm} + \frac{750}{2} \text{ mm} = 2475 \text{ mm}$$

Per successivamente procedere nel calcolo del Raggio minimo

$$\text{Min} (R'_{\min}, R''_{\min}) = \begin{cases} R'_{\min} = \frac{(r - \Delta \tan \gamma) d}{2 \Delta \tan \gamma} = \frac{\left(\frac{750}{2} \text{ mm} - 15 * \frac{1}{20} \text{ mm}\right) * 993 \text{ mm}}{2 * 15 * \frac{1}{20} \text{ mm}} = 247753,5 \text{ mm} = 247,754 \text{ m} \\ R''_{\min} = \frac{p_1^2}{2 \Delta} = \frac{2475^2 \text{ mm}}{2 * 15 \text{ mm}} = 2041875,5 \text{ mm} = 204,188 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Min} (R'_{\min}, R''_{\min}) = R''_{\min} = 204,188 \text{ m}$$

#### Esercizio #4 – Progetto di curve stradali

Calcolare la pendenza trasversale e il raggio di una curva per una velocità di progetto di 120 km/h. Determinare inoltre la velocità al limite di sbandamento e di ribaltamento di una curva avente raggio pari a 675 m e una pendenza identica a quella su determinata. A tale scopo si adottino i seguenti valori: altezza del baricentro (h) pari a 0,5 m, carreggiata del veicolo (2s) pari a 1,8 m.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trass. max imp. $f_t$ max per strade tipo A, B, C, F extra urbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trass. max imp. $f_t$ max per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

SVOLGIMENTO:

Dati:

$$v = 120 \text{ km/h}$$

$$\tan \alpha = 0,07 = 7\%$$

dalla seguente formula

$$\frac{v^2}{R} = g(\tan \alpha + f_t)$$

$$H_{max} = (e + j) * \frac{v_{max}^2}{v_{max}^2 - v_{min}^2} - j$$

È necessario scegliere quattro delle sei variabili per poter stabilire le caratteristiche geometriche fondamentali dell'infrastruttura ferroviaria.

-Si possono ricavare i valori di difetto (j) e di eccesso (e) di sopraelevazione a partire dai valori di accelerazione centripeta non compensata ( $a_{c,nc}$ ) e di ipercompensazione ( $a'_c$ ):

$$j = \frac{a_{c,nc}}{g} * d$$

$$e = \frac{a'_c}{g} * d$$

$$V_{max} = 180 \text{ km/h};$$

$$V_{min} = 90 \text{ km/h};$$

$$a_{c,nc} = 0,6 \text{ m/s}^2;$$

$$a'_c = 0,65 \text{ m/s}^2$$

$$j = \frac{a_{c,nc}}{g} * d = \frac{0,6}{9,81} * 1500 = 92 \text{ mm}$$

$$e = \frac{a'_c}{g} * d = \frac{0,65}{9,81} * 1500 = 99 \text{ mm}$$

$$R_{min} = \frac{v_{max}^2 - v_{min}^2}{g * (e + j)} * d = \frac{50^2 - 25^2}{9,81 * (99 + 92)} * 1500 = 1508,932 \text{ m}$$

$$H_{max} = (e + j) * \frac{v_{max}^2}{v_{max}^2 - v_{min}^2} - j = (92 + 99) * \frac{50^2}{50^2 - 25^2} - 92 = 162 \text{ mm}$$

### Esercizio #6 – Progetto di curve ferroviarie

Individuare il raggio minimo  $R_{min}$  e la sopraelevazione massima  $H_{max}$  di una linea ferroviaria avente le seguenti caratteristiche:

- $V_{max} = 200 \text{ km/h};$
- $V_{min} = 120 \text{ km/h};$
- $a_{c,nc} = 0,8 \text{ m/s}^2;$
- $a'_c = 0,6 \text{ m/s}^2.$

#### Svolgimento:

$$V_{max} = 200 \text{ km/h};$$

$$V_{min} = 120 \text{ km/h};$$

$$a_{c,nc} = 0,8 \text{ m/s}^2;$$

$$a'_c = 0,6 \text{ m/s}^2$$

$$j = \frac{a_{c,nc}}{g} * d = \frac{0,8}{9,81} * 1500 = 0,122 \text{ m} = 122 \text{ mm}$$

**Politecnico di Torino – Collegio di Ingegneria Civile**  
**Infrastrutture Viarie - 02BHVMC**  
**A.A. 2013/14**  
**ESERCITAZIONE #5**  
**10 aprile 2014**

**Esercizio #1**

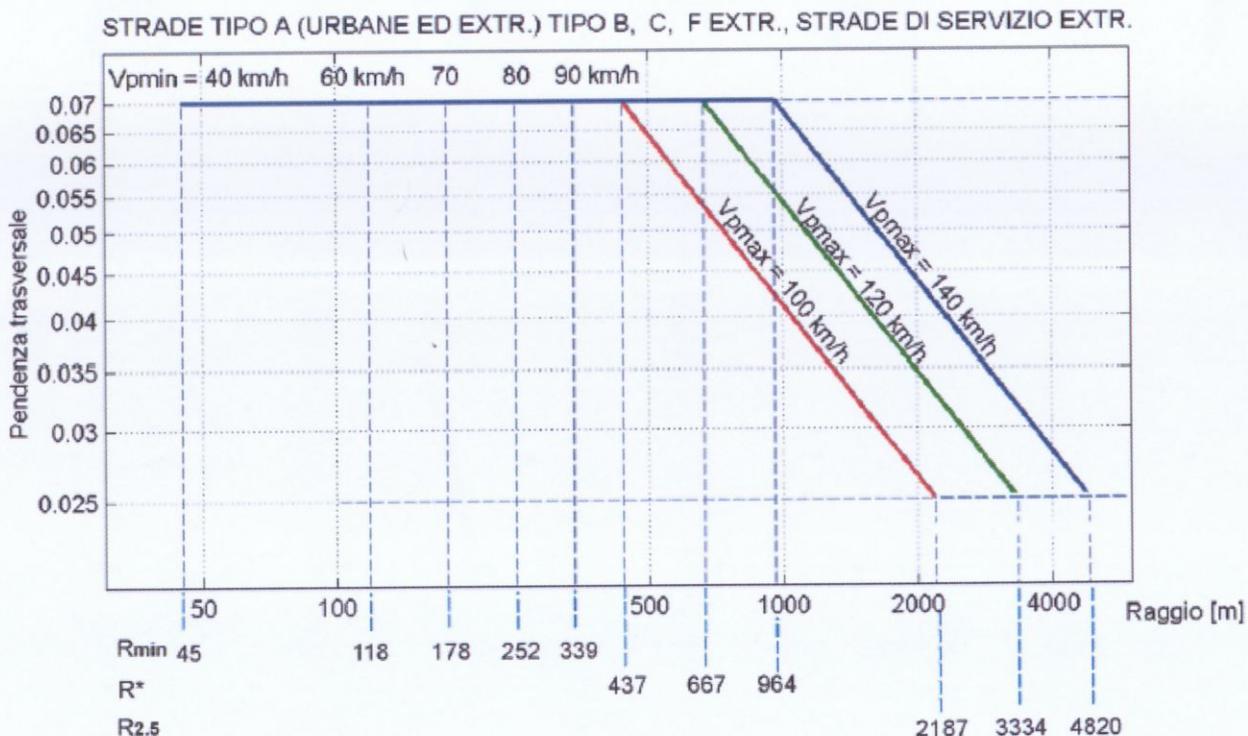
Di un tratto di strada di categoria C2 (intervallo delle velocità di progetto 60-100 km/h), è noto il tracciato planimetrico sintetizzato in **Tabella 1**:

Elemento	Tipo	R [m]	L [m]	A [m]
1	rettifilo	$\infty$	155	-
2	clotoide	-	130	210
3	cerchio	340	77	-
4	clotoide	-	130	210
5	clotoide	-	98	210
6	cerchio	450	98	-
7	clotoide	-	98	210
8	rettifilo	$\infty$	163	-
9	clotoide	-	130	210
10	cerchio	340	83	-
11	clotoide	-	85	183
12	cerchio	250	71	-

**Tabella 1. Caratteristiche geometriche degli elementi costituenti il tracciato planimetrico**

Si chiede di:

- disegnare il diagramma delle curvature,
- disegnare e verificare in base ai criteri del DM. 6792/2001 (norma tecnica italiana) il diagramma delle velocità.



Tratto 1: rettifilo, Tratto 2: clotoide di transizione, Tratto 3: cerchio, Tratto 4-5: clotoide flesso, Tratto 6: clotoide, Tratto 7: clotoide di transizione, Tratto 8: rettifilo, Tratto 9: clotoide di transizione, Tratto 10: cerchio, Tratto 11: clotoide di continuità, Tratto 12: cerchio

Procedo al calcolo delle  $D_T$  necessarie al tracciamento del diaframma delle velocità

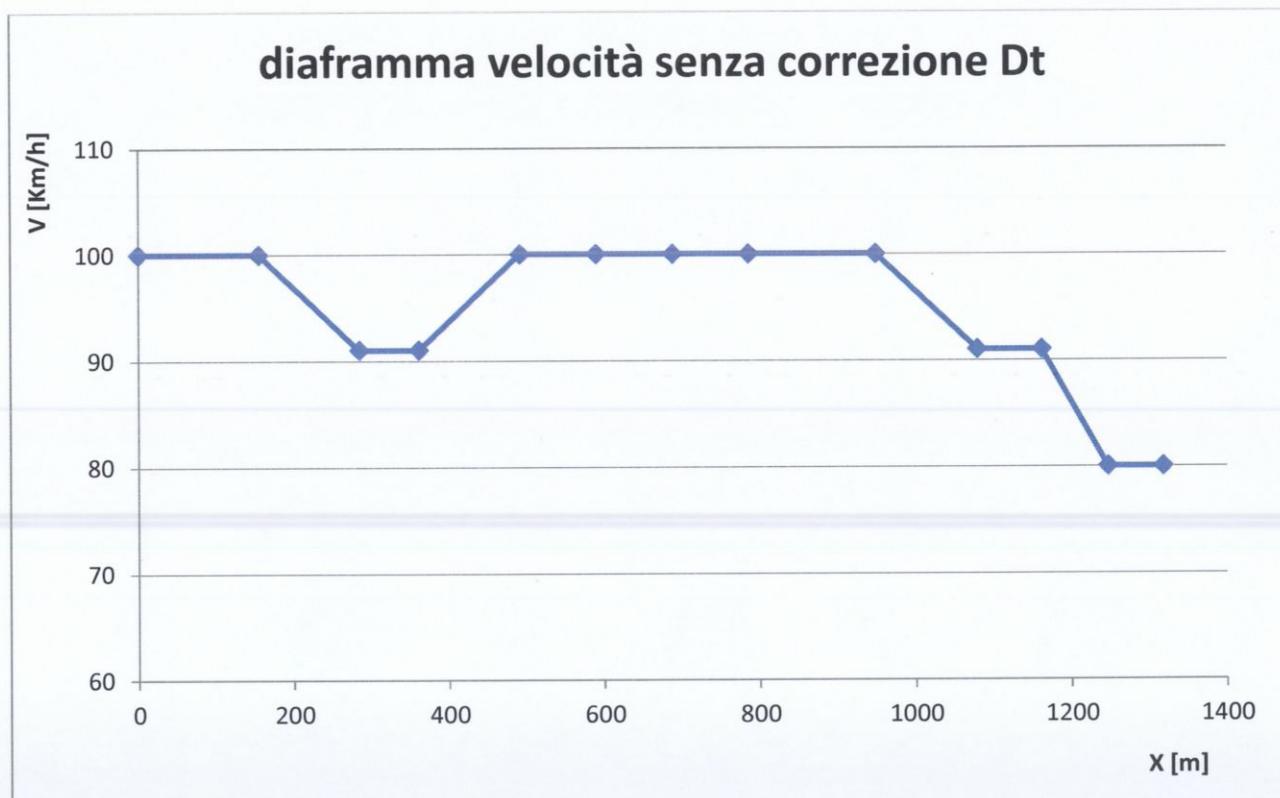
Per i tratti 2, 4, 9 ho:

$$D'_T = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 * a} = \frac{\left(\frac{100}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{91}{3.6}\right)^2}{2 * 0.8} = 82.90 \text{ m}$$

Per il tratto 11 ho:

$$D''_T = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 * a} = \frac{\left(\frac{91}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{2 * 0.8} = 90.7 \text{ m}$$

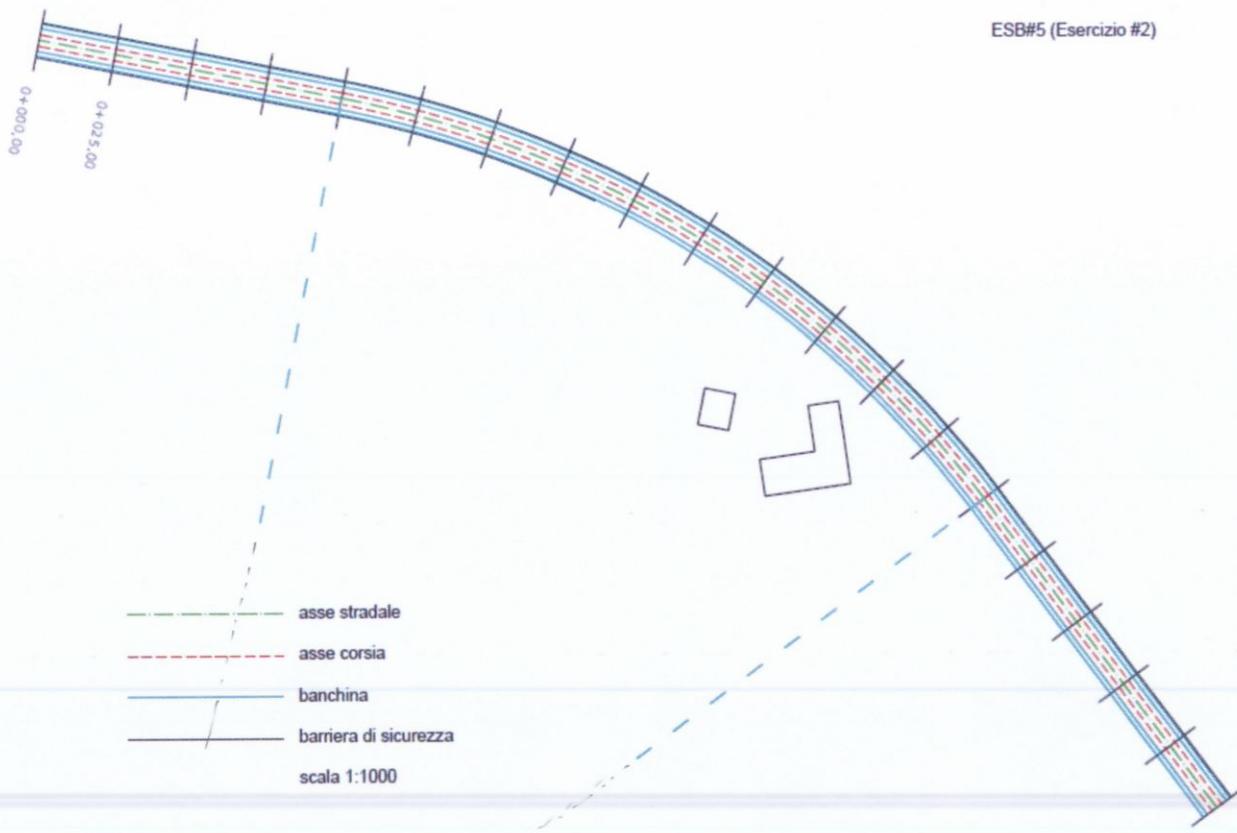
In base ai calcoli effettuati ottengo il seguente diagramma delle velocità



## Esercizio #2

Sia data la porzione di strada di categoria C ( $60 \div 100 \text{ km/h}$ ) di **Figura 1**.

Supponendo un'altezza della barriera di sicurezza pari a 75 cm e di 10 m per il caseggiato, si rappresenti il diagramma di visibilità disponibile e quello necessario ai fini dell'arresto e del sorpasso (si supponga una pendenza longitudinale nulla). Si conduca la verifica solo in una direzione e per la corsia più penalizzata dalla presenza degli ostacoli.



**Figura 1. Tracciato planimetrico**

### SVOLGIMENTO:

Essendo il raggio della curva pari a 340 m. Dal diagramma delle velocità si suppone che la velocità di percorrenza della curva sia di 90 km/h.

Nel passaggio dal rettilineo alla curva la distanza di transizione risulta essere

$$D_T = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 * a} = \frac{\left(\frac{100}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{90}{3.6}\right)^2}{2 * 0.8} = 91.63 \text{ m}$$

La "distanza di sorpasso da garantire" è determinata in funzione della velocità:

$$d_a = 20 * v \\ d_a = 20 \text{ s} * \frac{100 \text{ m}}{3.6 \text{ s}} = 555.56 \text{ m}$$

$$d_a = 20 \text{ s} * \frac{98 \text{ m}}{3.6 \text{ s}} = 544.44 \text{ m}$$

$$d_a = 20 \text{ s} * \frac{96 \text{ m}}{3.6 \text{ s}} = 533.33 \text{ m}$$

Elaboro i dati con excel

progressiva	v	ds garantire	ds disponibile	f eq	da garantire	da disponibile
[m]	[km/h]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]
0,000+00	100	555,56	332,35	0,297	182,605	160,4
0,025+00	98	544,44	309,3	0,298	176,329	139,3
0,050+00	96	533,33	287,7	0,299	170,187	120,5
0,075+00	93	516,67	267,7	0,301	161,222	101,4
0,100+00	90	500,00	247,4	0,303	152,549	96,22
0,125+00	90	500,00	247,4	0,303	152,549	93,34
0,150+00	90	500,00	229,9	0,303	152,549	96,5
0,175+00	90	500,00	216,7	0,303	152,549	152
0,200+00	90	500,00	207,9	0,303	152,549	600
0,225+00	90	500,00	222,1	0,303	152,549	600
0,250+00	90	500,00	600	0,303	152,549	600
0,275+00	90	500,00	600	0,303	152,549	600
0,300+00	90	500,00	600	0,303	152,549	600
0,325+00	90	500,00	600	0,303	152,549	600
0,350+00	90	500,00	600	0,303	152,549	600
0,375+00	93	516,67	600	0,301	161,222	600
0,400+00	96	533,33	600	0,299	170,187	600
0,425+00	98	544,44	600	0,298	176,329	600
0,450+00	100	555,56	600	0,297	182,605	600
0,475+00	100	555,56	600	0,297	182,605	600
0,500+00	100	555,56	600	0,297	182,605	600

Dai dati elaborati in tabella posso ricavare i relativi grafici (vedi pagina seguente)



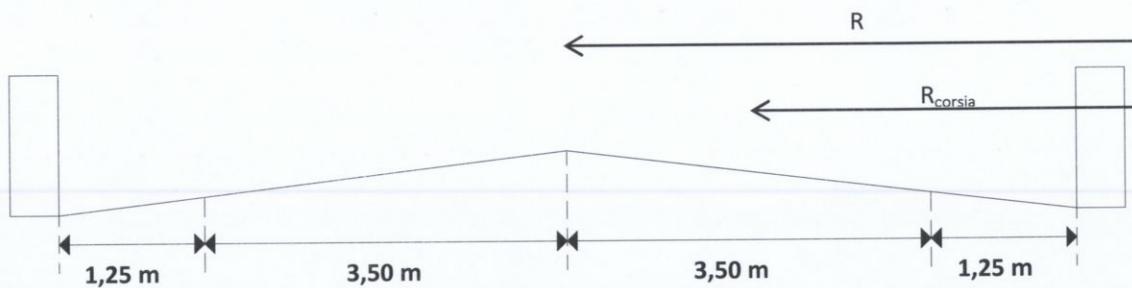
Nei tratti in cui la distanza di arresto disponibile è inferiore a quella da garantire si può intervenire imponendo un limite di velocità.

**ESERCITAZIONE #5**  
**15 aprile 2014**

**Esercizio #1**

Sia data una strada di categoria C2 ( $60 \div 100$  km/h). Si supponga la sezione stradale di **Figura 1** delimitata lateralmente da barriere di sicurezza ed avente pendenza longitudinale nulla.

Nell'ipotesi di presenza di utente e ostacolo nel tratto circolare di un raccordo planimetrico, si individui il raggio di tracciamento in grado di garantire la visibilità per la distanza di arresto. Si determini, inoltre, quale debba essere la larghezza della banchina affinché sia garantita la visibilità per l'arresto per un raggio di tracciamento pari a 500 m.



**Figura 1: Sezione stradale**

**SVOLGIMENTO:**

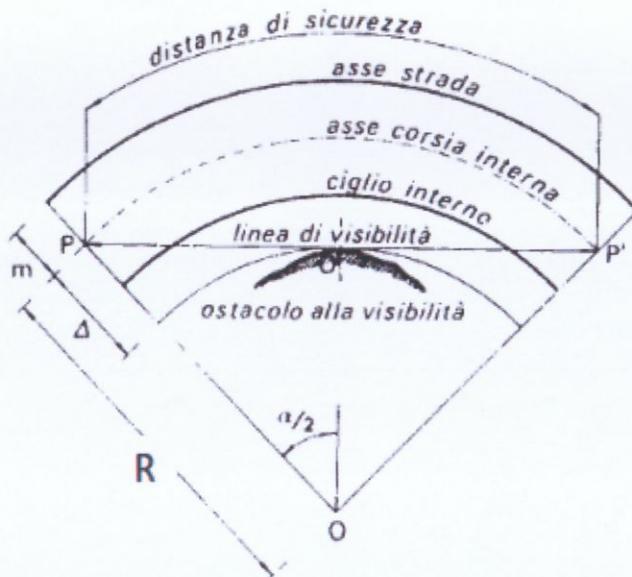
Il raggio della corsia si determina come:

$$(1) \quad R_{corsia} - \frac{d_a}{2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{\Delta}{R_{corsia}}\right)} \geq 0$$

In conseguenza il raggio di tracciamento si determina come:

$$R = R_{corsia} + \frac{c}{2}$$

L'obiettivo è quindi esprimere tutte le variabili in funzione del raggio corsia. Tramite una ricerca iterativa si annullerà il primo termine dell'equazione (1) con valori differenti del raggio di corsia.



### 3. Relazione tra velocità e coefficiente di aderenza equivalente:

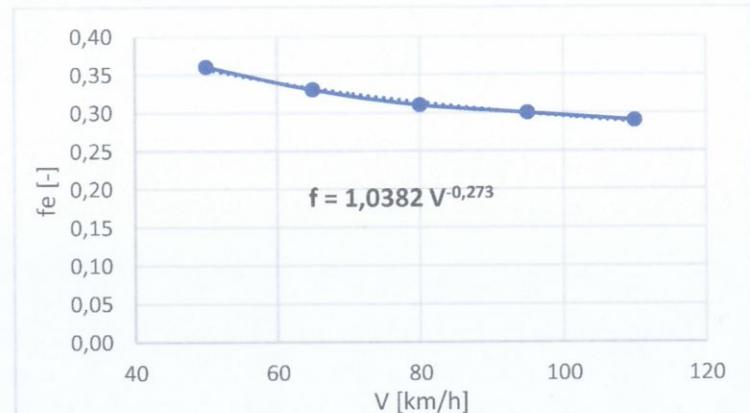
Analizzando la condizione più sfavorevole, ossia il caso della pavimentazione bagnata, si ricava la relazione tra Velocità e Coefficiente di aderenza equivalente:

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

Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente,  $f_e$

V	f <sub>e</sub>
[km/h]	[-]
50	0,36
65	0,33
80	0,31
95	0,30
110	0,29

$$f_e = 1,0382062 \cdot V^{-0,2730227}$$



### 4. La distanza di arresto da garantire lungo il tratto di curva di cui si vuole conoscere il raggio è pari a:

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

### 5. Relazione tra raggio di tracciamento e raggio corsia:

$$R = R_{corsia} + \frac{c}{2}$$

### 6. Calcolo del raggio della corsia interna che verifica la visibilità (il primo membro dell'equazione è quello indicato nella tabella con il termine 1°M):

$$R_{corsia} - \frac{d_a}{2 \cdot \arccos \left( 1 - \frac{\Delta}{R_{corsia}} \right)} \geq 0$$

### 7. Calcolo del raggio planimetrico di tracciamento. Per la strada di categoria C2 si ha la seguente tabella:

Si calcola il valore di  $R$  tale per cui si verifica l'annullamento del primo membro. Ciò può avvenire con processo iterativo, che con i fogli elettronici può essere risolto ricorrendo alla funzione "ricerca obiettivo" o "risolutore".

### 8. Calcolo di $b^*$ : poiché l'ostacolo alla visibilità è posto a filo banchina: $b^* = \Delta - \frac{c}{2}$

### 9. Valutazione dell'incremento della larghezza $\Delta b$ della banchina: $\Delta b = b^* - b$

ESERCITAZIONE #6

17 aprile 2014

**Esercizio #1**

Data la clostoide rappresentata in Figura 1, noti il parametro  $A$ ,  $\tau_1$  e  $R_2$  (vedi **Tabella 1**) determinare: il raggio  $R_1$ , l'angolo di deviazione  $\tau_2$ , le lunghezze  $s_1$  e  $s_2$  degli archi di clostoide  $\overline{OP_1}$  e  $\overline{OP_2}$ , la lunghezza  $L$  dell'arco di clostoide  $\overline{P_1P_2}$ , le coordinate cartesiane dei punti  $P_1$ ,  $P_2$  e dei centri di curvatura  $M_1$ ,  $M_2$ , gli scostamenti  $\Delta R_1$  e  $\Delta R_2$ .

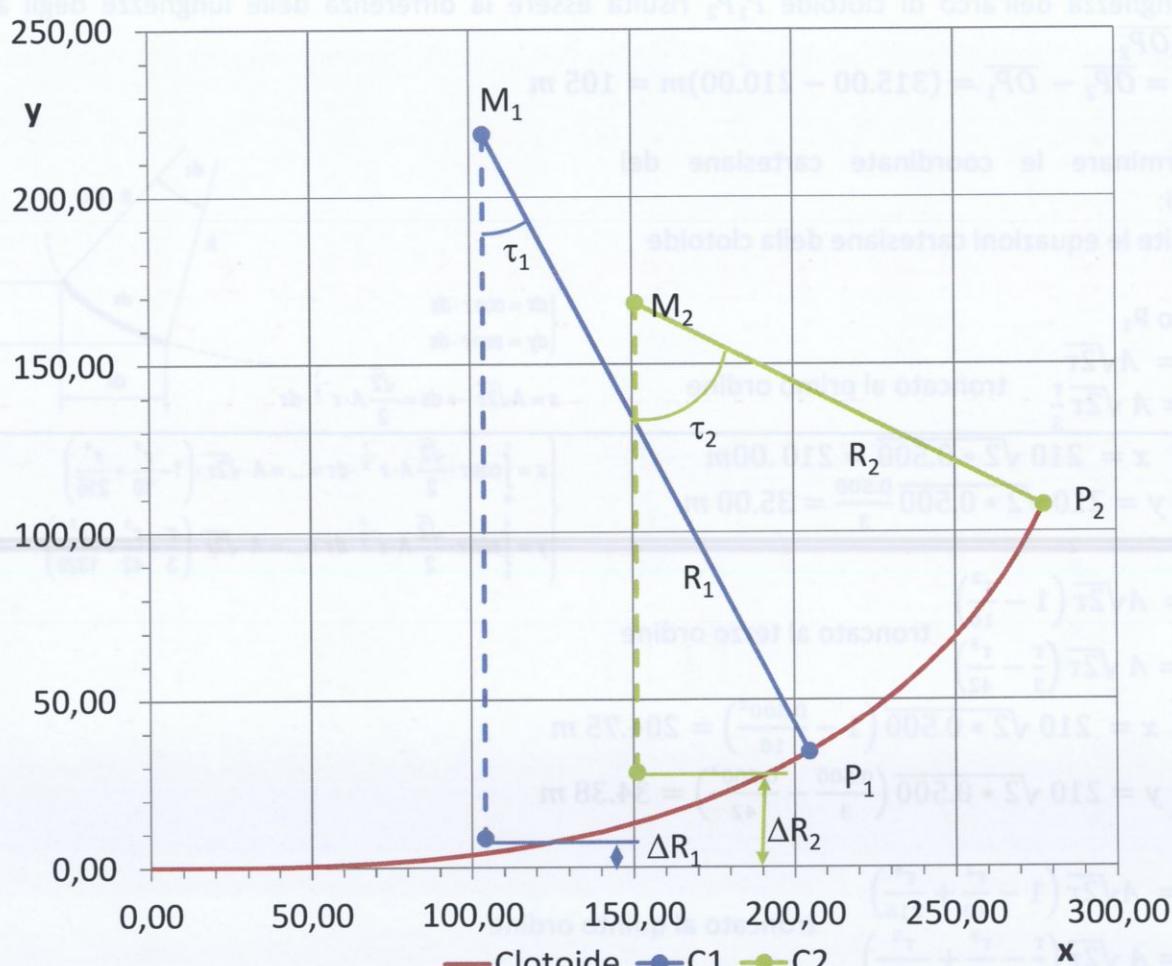


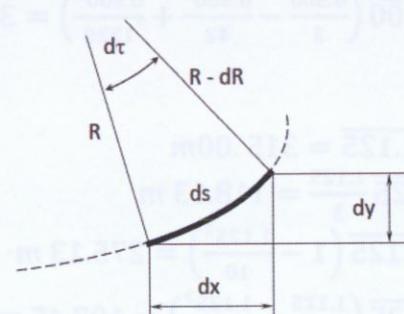
Figura 1: Arco di clostoide di parametro  $A = 210$  m

**SVOLGIMENTO:**

determinare il raggio  $R_1$ :

$$\tau = \frac{A^2}{2 \cdot R^2}$$

$$\Rightarrow R_1 = \sqrt{\frac{A^2}{2 \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{210^2}{2 \cdot 0.500}} \text{ m} = 210.00 \text{ m}$$



$$R \cdot d\tau = ds$$

$$d\tau = \frac{s \cdot ds}{A^2}$$

$$\int_0^{\tau} d\tau = \int_0^s \frac{s \cdot ds}{A^2}$$

$$\tau = \frac{s^2}{2 \cdot A^2} = \frac{A^2}{2 \cdot R^2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = 210 \sqrt{2 * 1.125} \left( 1 - \frac{1.125^2}{10} + \frac{1.125^4}{216} \right) = 277.40 \text{ m} \\ y = 210 \sqrt{2 * 1.125} \left( \frac{1.125}{3} - \frac{1.125^3}{42} + \frac{1.125^5}{1320} \right) = 107.87 \text{ m} \end{cases}$$

determinare i centri di curvatura:

$M_1$

$$\begin{cases} x_M = x - R \cdot \sin \tau \\ y_M = y + R \cdot \cos \tau \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_M = 204.81 - 210.00 \cdot \sin 0.500 = 104.13 \text{ m} \\ y_M = 34.38 + 210.00 \cdot \cos 0.500 = 218.67 \text{ m} \end{cases}$$

$M_2$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_M = 277.40 - 140.00 \cdot \sin 1.125 = 151.08 \text{ m} \\ y_M = 107.87 + 140.00 \cdot \cos 1.125 = 168.23 \text{ m} \end{cases}$$

determinare gli scostamenti:

$$\Delta R = \frac{A^4}{24 R^3} \text{ soluzione approssimata}$$

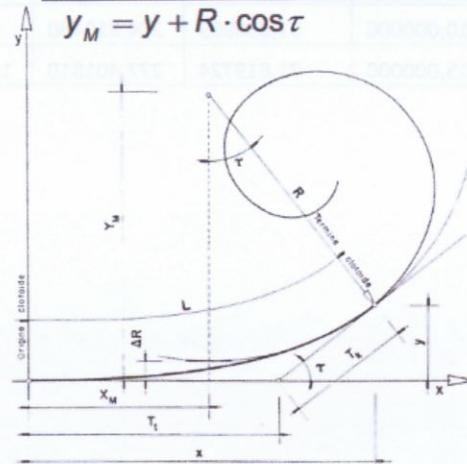
$$\Delta R_1 = \frac{210^4}{24 \cdot 210^3} = 8.75 \text{ m}$$

$$\Delta R_2 = \frac{210^4}{24 \cdot 140^3} = 29.53 \text{ m}$$

Coordinate del centro della curva ( $x_M, y_M$ ):

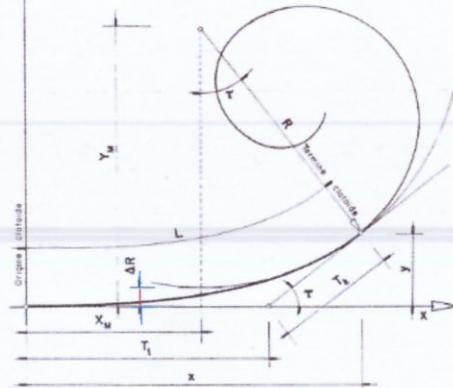
$$x_M = x - R \cdot \sin \tau \cong A \cdot \sqrt{2\tau} - R\tau$$

$$y_M = y + R \cdot \cos \tau$$



Scostamento cerchio-rettifilo ( $\Delta R$ ):

$$\Delta R = y_M - R = y + R \cdot (\cos \tau - 1) = \dots \cong \frac{A^4}{24 \cdot R^3}$$



Riassumendo i valori calcolati:

	$\tau$ [rad]	$\tau^c$ [grad]	R [m]	S [m]	$x_P$ [m]	$y_P$ [m]	$x_M$ [m]	$y_M$ [m]	$\Delta R$ [m]
1	0.500	31.830989	210.00	210.00	204.81	34.38	104.13	218.67	8.75
2	1.125	71.619724	140.00	315.00	277.40	107.87	151.08	168.23	29.53

La verifica delle coordinate dei punti  $P_1$  e  $P_2$ , dei centri di curvatura  $M_1$ ,  $M_2$  e degli scostamenti  $\Delta R_1$  e  $\Delta R_2$  può essere effettuata tramite la TABELLA della CLOTOIDE UNITARIA.

In corrispondenza dell'angolo di deviazione  $\tau^c$ , misurato in centigradi(o gon) oppure della lunghezza dell'arco  $s$  rispetto all'origine si risale alle coordinate cartesiane.

Tutte le misure riferite alle lunghezze essendo riferite alla CLOTOIDE UNITARIA devono essere scalate secondo il fattore di scala A.

Da tabella CLOTOIDE UNITARIA  $n = 1$ :

si leggono i valori di

$$s_1' = s_1 / A = 210 / 210 = 1.000 \text{ m}$$

$$s_2' = s_2 / A = 315 / 210 = 1.500 \text{ m}$$

## Esercizio #2

Verificare, per il tratto di strada di categoria C2 (intervallo delle velocità di progetto 60-100 km/h) di cui alla **Tabella 1**:

- la corrispondenza dei valori di raggio, lunghezza e fattore di scala nei tratti a raggio variabile;
- la correttezza dei fattori di scala in base alle prescrizioni contenute nel DM. 6792/2001.

Elemento	Tipo	R [m]	L [m]	A [m]
1	rettifilo	$\infty$	155	-
2	clotoide	-	130	210
3	Cerchio	(-) 340	77	-
4	clotoide	-	130	210
5	clotoide	-	98	210
6	cerchio	450	98	-
7	clotoide	-	98	210
8	rettifilo	$\infty$	163	-
9	Clotoide	-	130	210
10	Cerchio	(-) 340	83	-
11	Clotoide	-	85	183
12	Cerchio	(-) 250	71	-

**Tabella 1. Caratteristiche geometriche degli elementi costituenti il tracciato planimetrico**

### SVOLGIMENTO:

La verifica della COERENZA GEOMETRICA è effettuata tramite la verifica del valore del FATTORE DI SCALA "A" calcolato tramite l'equazione della clotoide e il valore effettivamente adottato.

Equazione della clotoide:

$$R * s^n = A^{n+1}$$

Con  $n = 1$  e  $s = L$

$$R * L = A^2$$

$$A = \sqrt{R * L}$$

Per le CLOTOIDI DI TRANSIZIONE(CT) e le CLOTOIDI DI FLESSO(CF) la verifica avviene tramite la valutazione della lunghezza "L" dell'elemento clotoide considerato e il raggio "R" della curva che raccorda, facendo attenzione se la clotoide segue o precede la curva.

$$R_{curva} * L_{clotoide} = A_{clotoide}^2$$

Caso diverso per le CLOTOIDI di CONTINUITA(CC). In tal caso essendo un arco di clotoide si devono valutare entrambi i raggi di cerchio delle curve raccordate.

$$\begin{cases} R_1 * s_0 = A^2 \\ R_2 * s = A^2 \end{cases}$$

$$A = \sqrt{\frac{L}{\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)}}$$

Nel caso di CLOTOIDI di CONTINUITA

$$A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{B * (q_i - q_f)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \frac{\Delta i}{100}}}$$

3. visibilità del raccordo a raggio variabile

$$A \geq A_{min} = \frac{R}{3}$$

4. visibilità del raccordo circolare

$$A \leq A_{max} = R$$

B = larghezza trasversale della carreggiata. Per una strada di categoria C2 a carreggiata unica, una corsia per senso di marcia, la larghezza L = 3,50 m

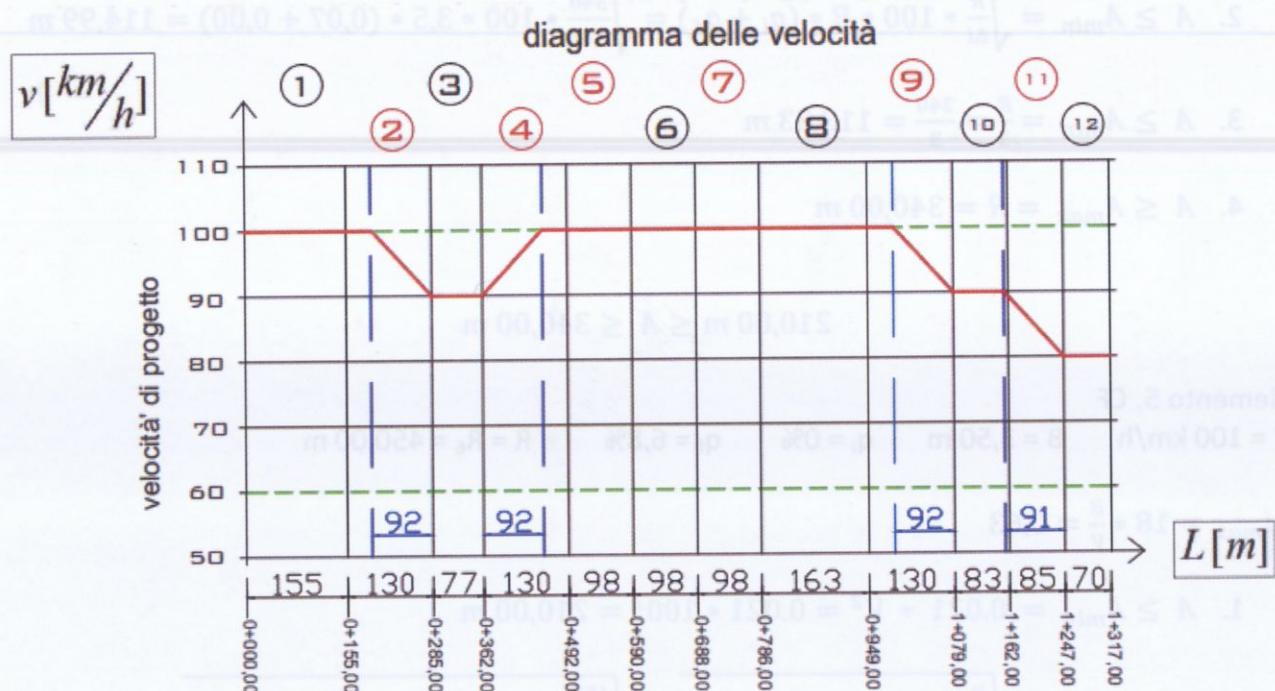
$q_i, q_f$  = pendenza trasversale iniziale e finale. Valori letti dall'abaco di progetto in funzione del raggio. In particolare

se $R_{min} \leq R \leq R^*$	$q = q_{max} = 7\%$
se $R \geq R^*$	$q_{min}(2,5\%) \leq q \leq q_{max}(7\%)$

$\Delta i$  = massima sovrapendenza

$$\Delta i_{max} = 18 * \frac{B}{V}$$

V = massima velocità di percorrenza sulla clostoide. Dato acquisito dal diagramma delle velocità.



Il valore del FATTORE di SCALA "A" che verifica le prescrizioni contenute nel DM. 6792/2001 va scelto affinchè:

$$\max(A_{min}) \leq A \leq A_{max}$$

### Elemento 7. CT

$$V = 100 \text{ km/h} \quad B = 3,50 \text{ m} \quad q_i = 6,8\% \quad q_f = 2,5\% \quad R = R_6 = 450,00 \text{ m}$$

$$\Delta i_{max} = 18 * \frac{B}{V} = 0,63$$

$$1. \quad A \geq A_{min} = 0,021 * V^2 = 0,021 * 100^2 = 210,00 \text{ m}$$

$$2. \quad A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i} * 100 * B * (q_i + q_f)} = \sqrt{\frac{450}{0,63} * 100 * 3,5 * (0,068 + 0,025)} = 152,48 \text{ m}$$

$$3. \quad A \geq A_{min} = \frac{R}{3} = \frac{450}{3} = 150,00 \text{ m}$$

$$4. \quad A \leq A_{max} = R = 450,00 \text{ m}$$

$$210,00 \text{ m} \leq A \leq 450,00 \text{ m}$$

### Elemento 9. CT

$$V = 100 \text{ km/h} \quad B = 3,50 \text{ m} \quad q_i = 2,5\% \quad q_f = 7\% \quad R = R_3 = 340,00 \text{ m}$$

$$\Delta i_{max} = 18 * \frac{B}{V} = 0,63$$

$$1. \quad A \geq A_{min} = 0,021 * V^2 = 0,021 * 100^2 = 210,00 \text{ m}$$

$$2. \quad A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i} * 100 * B * (q_i + q_f)} = \sqrt{\frac{340}{0,63} * 100 * 3,5 * (0,07 + 0,025)} = 133,96 \text{ m}$$

$$3. \quad A \geq A_{min} = \frac{R}{3} = \frac{340}{3} = 113,33 \text{ m}$$

$$4. \quad A \leq A_{max} = R = 340,00 \text{ m}$$

$$210,00 \text{ m} \leq A \leq 340,00 \text{ m}$$

### Elemento 11. CC

$$V = 90,31 \text{ km/h} \quad B = 3,50 \text{ m} \quad q_i = 2,5\% \quad q_f = 7\% \quad R = R_3 = 340,00 \text{ m}$$

Poiché la DISTANZA di TRANSIZIONE per l'accesso all'elemento 12 è superiore alla lunghezza della clostoide di continuità si ipotizza che la velocità inizi a diminuire nell'elemento 10.

Tramite un'interpolazione lineare si ha:

$$D_T = 90,71 \text{ m} \quad L = 85,00 \text{ m} \quad V_f = 80,00 \text{ km/h} \quad V = 91,00 \text{ km/h}$$

$$V_i = 91,00 - \frac{(90,71 - 85,00)}{90,71} * (91,00 - 80,00) = 90,31 \text{ km/h}$$

Adoperando la formula della distanza di transizione

$$V_i = \sqrt{85,00 * 2 * 0,8 + \left(\frac{80,00}{3,6}\right)^2 * 3,6} = 90,35 \text{ km/h}$$

ESERCITAZIONE #6  
 (29 aprile 2014)

**Esercizio #1**

Si vuole realizzare una strada di categoria A (autostrada extraurbana, intervallo di velocità di progetto 90 ÷ 140 km/h, **Figura 1**):

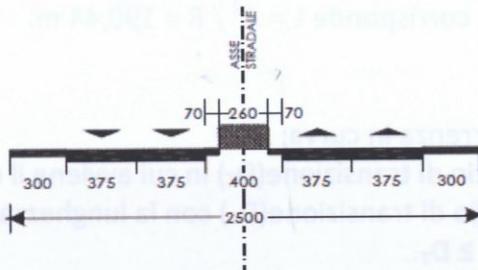


Figura 1: Sezione tipo A

Dimensionare, progettare e tracciare per punti una clostoide di transizione che dovrà raccordare un rettilineo di lunghezza 400 m con una curva circolare di raggio 900 m. Dopo aver individuato i limiti su A stabiliti dalla norma tecnica, si utilizzi un fattore di scala pari a 414 m verificando il soddisfacimento degli stessi limiti di normativa.

**Svolgimento:**

Raccordo tra RETTIFILO e CURVA.

1. Velocità di percorrenza del rettilineo di  $V = V_{max} = 140 \text{ km/h}$  e pendenza trasversale  $q_i = 2,5\%$ ;
2. Dato il raggio  $R = 900 \text{ m}$  inferiore a  $R^*$  la pendenza trasversale  $q_f = q_{max} = 7\%$  dagli abachi di progetto.

Ipotizzando che sulla CLOTOIDE la velocità massima sia pari a  $V = 140 \text{ km/h}$  si calcolano i valori limite imposti dalle prescrizioni contenute nel DM. 6792/2001 per il FATTORE di SCALA "A".

$$V = 140 \text{ km/h} \quad B = 7,50 \text{ m} \quad q_i = 2,5\% \quad q_f = 7\% \quad R = 900,00 \text{ m}$$

$$\Delta i_{max} = 18 * \frac{B}{V} = 0,96$$

$$1. \quad A \geq A_{min} = 0,021 * V^2 = 0,021 * 140^2 = 411,60 \text{ m}$$

$$2. \quad A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i} * 100 * B * (q_i + q_f)} = 257,88 \text{ m}$$

$$3. \quad A \geq A_{min} = \frac{R}{3} = 300,00 \text{ m}$$

$$4. \quad A \leq A_{max} = R = 900,00 \text{ m}$$

$$411,60 \text{ m} \leq A \leq 900,00 \text{ m}$$

Dovendo soddisfare i vincoli geometrici la lunghezza della clostoide può variare tra: