



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1872A -

ANNO: 2016

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Faraci Alessio

MATERIA: Infrastrutture viarie, Esercitazioni - 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 STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**



# ESERCITAZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE

*studente:* FARACI ALESSIO 195203



$$L = 1 \cdot 18m + 12 \cdot 25m = 318 \text{ m}$$

$$C_{\max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 318}{1}} + 2} = 56,4 \approx 56 \text{ [conv/h]}$$

$$v_{ideale} = \sqrt{\frac{2 \cdot a \cdot L}{k \cdot j}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 318}{2 \cdot 3}} = 10,29 \text{ m/s}$$

## **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', un margine operativo di 1' ed un'accelerazione del convoglio pari a 0,5 m/s<sup>2</sup>.

## **SVOLGIMENTO**

$$C_{180} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{\max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{318}{180/3.6} + \frac{2 \cdot 3 \cdot (180/3.6)}{2 \cdot 1} + 2} = 22,7 \approx 22 \text{ [conv/h]}$$

$$C_{stazione} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{\max}}{2a} + t_R + t_{MO} + t_{DSA}}$$

$$t_D = \frac{v_{\max}}{a} = \frac{180/3.6}{1} = 50 \text{ sec}$$

$$t_A = \frac{v_{\max}}{a} = \frac{180/3.6}{0.5} = 100 \text{ sec}$$

$$t_{DSA} = 50 + 180 + 100 = 330 \text{ sec}$$

$$C_{stazione} = \frac{3600}{\frac{318}{180/3.6} + \frac{2 \cdot 3 \cdot (180/3.6)}{2 \cdot 1} + 2 + 60 + 330} = 6,56 \approx 6 \text{ [conv/h]}$$

$$t_{11} = \frac{5}{180} 3600 = 100 \text{ sec}$$

$$t_{22} = \frac{5}{240} 3600 = 75 \text{ sec}$$

$$t_{12} = \frac{5}{240} 3600 = 75 \text{ sec}$$

$$t_{21} = \left( \frac{5+10}{180} - \frac{10}{240} \right) 3600 = 150 \text{ sec}$$

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} 100 & 75 \\ 150 & 75 \end{bmatrix}$$

Matrice delle probabilità  $P_{ij}$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} p_1^2 & p_1 \cdot p_2 \\ p_2 \cdot p_1 & p_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.36 & 0.24 \\ 0.24 & 0.16 \end{bmatrix}$$

*verifica: la somma di tutti gli elementi della matrice deve essere uguale a 1*

$$t_{medio} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij} = p_1^2 \cdot t_{11} + p_1 p_2 \cdot t_{12} + p_2 p_1 \cdot t_{21} + p_2^2 \cdot t_{22} = 102 \text{ sec}$$

$$C = \frac{3600}{t_{med}} = \frac{3600}{102} = 35,3 \approx 35 \text{ [vel / h]}$$

*dopo la 1°h*

$$t \cdot 0.6 \cdot C = 1 \cdot 0,6 \cdot 35 = 21 \text{ [vel / h]}$$

*dopo la 2°h*

$$t \cdot 0.4 \cdot C = 1 \cdot 0,4 \cdot 35 = 14 \text{ [vel / h]}$$

---


$$35 \text{ [vel / h]}$$

> *della capacità dello spiazzale (30)*

$$t_{21} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_1} - \frac{\gamma}{v_2} \right) 3600 = 282,55 \text{ sec}$$

$$t_{31} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_1} - \frac{\gamma}{v_3} \right) 3600 = 318,5 \text{ sec}$$

$$t_{32} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_2} - \frac{\gamma}{v_3} \right) 3600 = 144 \text{ sec}$$

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} 166,2 & 108 & 90 \\ 282,5 & 108 & 90 \\ 318,5 & 144 & 90 \end{bmatrix}$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.09 & 0.18 & 0.03 \\ 0.18 & 0.36 & 0.06 \\ 0.03 & 0.06 & 0.01 \end{bmatrix}$$

$$t_{medio} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij} = 151,3 \text{ sec}$$

$$C = \frac{3600}{t_{med}} = \frac{3600}{151,3} = 23,8 \approx 23 \text{ [vel / h]}$$

$$C_{200} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{\max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{252}{200/3.6} + \frac{2 \cdot 2 \cdot (200/3.6)}{2 \cdot 1} + 3} = 30,35 \approx 30 \text{ [conv/h]}$$

$$C_{\text{stazione}, 120} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{\max}}{2a} + t_R + t_{MO} + t_{DSA}} = \frac{3600}{\frac{252}{120/3.6} + \frac{2 \cdot 2 \cdot (120/3.6)}{2 \cdot 1} + 3 + 120} = 18,2 \approx 18 \text{ [conv/h]}$$

$$C_{\text{stazione}, 200} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{\max}}{2a} + t_R + t_{MO} + t_{DSA}} = \frac{3600}{\frac{252}{200/3.6} + \frac{2 \cdot 2 \cdot (200/3.6)}{2 \cdot 1} + 3 + 120} = 15,1 \approx 15 \text{ [conv/h]}$$

## **Esercizio 2 – FERROVIE**

Calcolare la capacità teorica (pax/h) di una linea ferroviaria ad alta velocità (300 km/h) nell'ipotesi in cui sia gestita con un sistema a blocco automatico e considerando i seguenti dati:

- convoglio composto da 12 unità tra vagoni (10) e locomotori (2);
- lunghezza complessiva del convoglio pari a 200 m;
- capienza 55 posti per vagone di 1<sup>a</sup> classe (4 vagoni) e 70 posti per vagone di 2<sup>a</sup> classe (6 vagoni);
- fattore di carico del convoglio pari all'80%;
- fattore di utilizzazione medio della linea pari al 70%;
- tempo di percezione e reazione  $t_R$  pari a 3 s;
- decelerazione  $a$  di 2 m/s<sup>2</sup>;
- fattore di sicurezza  $k$  pari a 3;
- tre sezioni di blocco.

## **SVOLGIMENTO**

$$C_{300} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{\max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{200}{300/3.6} + \frac{3 \cdot 3 \cdot (300/3.6)}{2 \cdot 2} + 3} = 18,6 \approx 18 \text{ [conv/h]}$$

$$C_{\text{effettiva}} = C_{300} \cdot FU = 18 \cdot 0.7 = 12.6 \approx 12 \text{ [conv/h]}$$

$$C_{\text{pax}} = C_{\text{effettiva}} \cdot n \cdot N = 12 \cdot [(55 \cdot 4) + (70 \cdot 6)] = 7680 \text{ [pax/h]}$$

$$C_{\text{effettiva,pax}} = C_{\text{pax}} \cdot CC = 7680 \cdot 0.8 = 6144 \text{ [pax/h]}$$

$$t_{12} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_2} - \frac{\gamma}{v_1} \right) 3600 = \left( \frac{5.5 + 8.5}{245} - \frac{8.5}{280} \right) 3600 = 96,4 \text{ sec}$$

$$t_{13} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_3} - \frac{\gamma}{v_1} \right) 3600 = \left( \frac{5.5 + 8.5}{190} - \frac{8.5}{280} \right) 3600 = 156,0 \text{ sec}$$

$$t_{14} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_4} - \frac{\gamma}{v_1} \right) 3600 = \left( \frac{5.5 + 8.5}{140} - \frac{8.5}{280} \right) 3600 = 250,7 \text{ sec}$$

$$t_{23} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_3} - \frac{\gamma}{v_2} \right) 3600 = \left( \frac{5.5 + 8.5}{190} - \frac{8.5}{245} \right) 3600 = 140,4 \text{ sec}$$

$$t_{24} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_4} - \frac{\gamma}{v_2} \right) 3600 = \left( \frac{5.5 + 8.5}{140} - \frac{8.5}{245} \right) 3600 = 235,1 \text{ sec}$$

$$t_{34} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_4} - \frac{\gamma}{v_3} \right) 3600 = \left( \frac{5.5 + 8.5}{140} - \frac{8.5}{190} \right) 3600 = 198,9 \text{ sec}$$

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} 70,7 & 96,4 & 156 & 250,7 \\ 70,7 & 80,8 & 140,4 & 235,1 \\ 70,7 & 80,8 & 104,2 & 198,9 \\ 70,7 & 80,8 & 104,2 & 141,4 \end{bmatrix}$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0625 & 0,0875 & 0,05 & 0,05 \\ 0,0875 & 0,1225 & 0,07 & 0,07 \\ 0,05 & 0,07 & 0,04 & 0,04 \\ 0,05 & 0,07 & 0,04 & 0,04 \end{bmatrix}$$

$$t_{medio} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij} = 116 \text{ sec}$$

$$C = \frac{3600}{t_{med}} = \frac{3600}{116} = 31,03 \approx 31 \text{ [vel / h]}$$



$$t_{12} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_2} - \frac{\gamma}{v_1} \right) 3600 = \left( \frac{7.5 + 11.5}{220} - \frac{11.5}{300} \right) 3600 = 172,9 \text{ sec}$$

$$t_{13} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_3} - \frac{\gamma}{v_1} \right) 3600 = \left( \frac{7.5 + 11.5}{170} - \frac{11.5}{300} \right) 3600 = 264,4 \text{ sec}$$

$$t_{14} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_4} - \frac{\gamma}{v_1} \right) 3600 = \left( \frac{7.5 + 11.5}{130} - \frac{11.5}{300} \right) 3600 = 388,2 \text{ sec}$$

$$t_{23} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_3} - \frac{\gamma}{v_2} \right) 3600 = \left( \frac{7.5 + 11.5}{170} - \frac{11.5}{220} \right) 3600 = 214,2 \text{ sec}$$

$$t_{24} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_4} - \frac{\gamma}{v_2} \right) 3600 = \left( \frac{7.5 + 11.5}{130} - \frac{11.5}{220} \right) 3600 = 338 \text{ sec}$$

$$t_{34} = \left( \frac{\delta + \gamma}{v_4} - \frac{\gamma}{v_3} \right) 3600 = \left( \frac{7.5 + 11.5}{130} - \frac{11.5}{170} \right) 3600 = 282,6 \text{ sec}$$

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} 90 & 172,9 & 264,4 & 388,2 \\ 90 & 122,7 & 214,2 & 338 \\ 90 & 122,7 & 158,8 & 282,6 \\ 90 & 122,7 & 158,8 & 207,7 \end{bmatrix} \quad P_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0225 & 0,045 & 0,0525 & 0,03 \\ 0,045 & 0,09 & 0,105 & 0,06 \\ 0,0525 & 0,105 & 0,1225 & 0,07 \\ 0,03 & 0,06 & 0,07 & 0,04 \end{bmatrix}$$

$$t_{11} = \max \left( t_{11} ; o_1 \right) = \max \left( 90 ; 120 \right) = 120 \text{ sec}$$

$$t_{22} = \max \left( t_{22} ; o_2 \right) = \max \left( 122,7 ; 95 \right) = 122,7 \text{ sec}$$

$$t_{33} = \max \left( t_{33} ; o_3 \right) = \max \left( 158,8 ; 85 \right) = 158,8 \text{ sec}$$

$$t_{44} = \max \left( t_{44} ; o_4 \right) = \max \left( 207,7 ; 65 \right) = 207,7 \text{ sec}$$

$$t_{21} = \max \left( t_{21} ; o_2 \right) = \max \left( 90 ; 95 \right) = 95 \text{ sec}$$

$$t_{31} = \max \left( t_{31} ; o_3 \right) = \max \left( 90 ; 85 \right) = 90 \text{ sec}$$

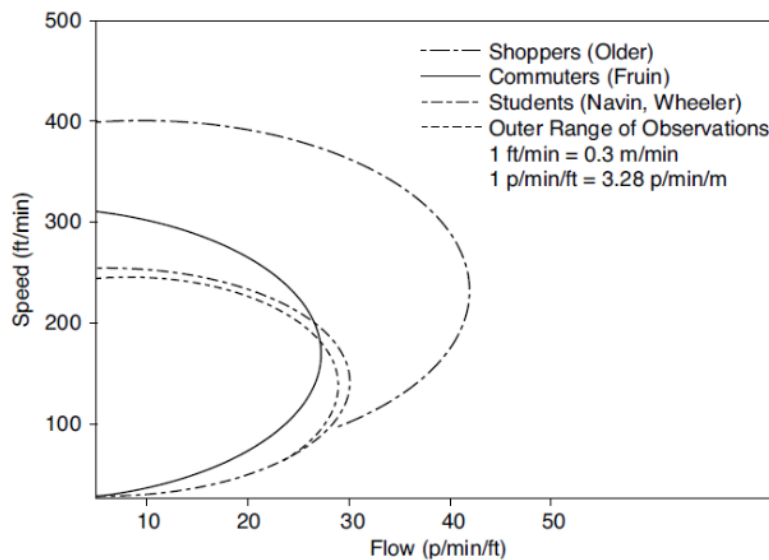
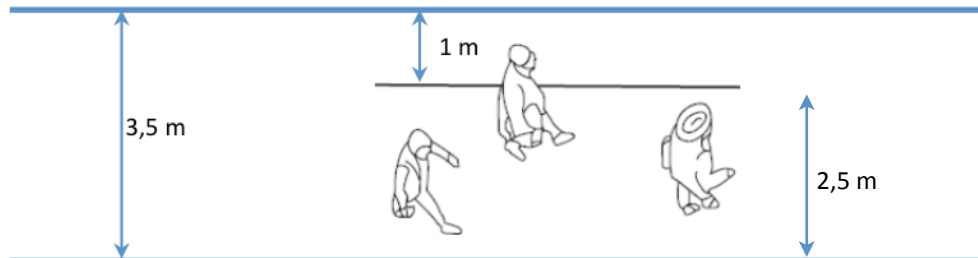
$$t_{41} = \max \left( t_{41} ; o_4 \right) = \max \left( 90 ; 65 \right) = 90 \text{ sec}$$

$$t_{32} = \max \left( t_{32} ; o_3 \right) = \max \left( 122,7 ; 85 \right) = 122,7 \text{ sec}$$

## ESERCITAZIONE #2- SQUADRE RIUNITE- 19 marzo 2015

### 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.



### SVOLGIMENTO

$$Q_{ped} = V_{ped} \cdot D_{ped}$$

$Q_{ped}$  = 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>)

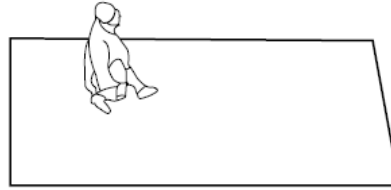
$$Q_{ped} = \frac{V_{ped}}{\frac{1}{D_{ped}}}$$

$1/D_{ped}$  = spazio disponibile per ciascun pedone (m<sup>2</sup>/ped)

**LOS A**

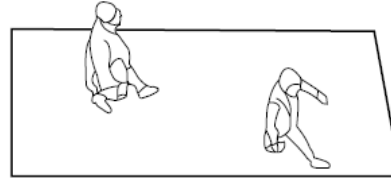
*Pedestrian Space* > 60 ft<sup>2</sup>/p *Flow Rate* ≤ 5 p/min/ft

At a walkway **LOS A**, pedestrians move in desired paths without altering their movements in response to other pedestrians. Walking speeds are freely selected, and conflicts between pedestrians are unlikely.

**LOS B**

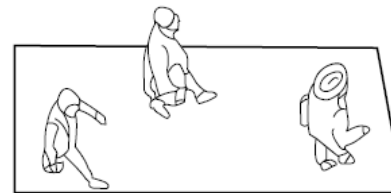
*Pedestrian Space* > 40–60 ft<sup>2</sup>/p *Flow Rate* > 5–7 p/min/ft

At **LOS B**, there is sufficient area for pedestrians to select walking speeds freely, to bypass other pedestrians, and to avoid crossing conflicts. At this level, pedestrians begin to be aware of other pedestrians, and to respond to their presence when selecting a walking path.

**LOS C**

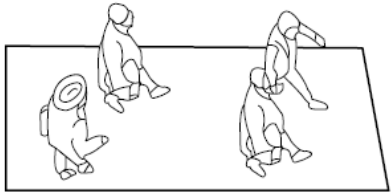
*Pedestrian Space* > 24–40 ft<sup>2</sup>/p *Flow Rate* > 7–10 p/min/ft

At **LOS C**, space is sufficient for normal walking speeds, and for bypassing other pedestrians in primarily unidirectional streams. Reverse-direction or crossing movements can cause minor conflicts, and speeds and flow rate are somewhat lower.

**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

$$Q - D_C V + \frac{D_C}{VFL} V^2 = 0 \quad V_{1,2} = \frac{D_C \pm \sqrt{D_0^2 - 4 \frac{D_C}{VFL}}}{2 \frac{D_C}{VFL}}$$

$$V_{CR} = \frac{VFL}{2} = \frac{120}{2} = 60 \frac{km}{h} \quad D_{CR} = \frac{Q_{CR}}{V_{CR}} = \frac{2300}{60} = 38.33 \frac{km}{h} \quad D_C = 2D_{CR} = 2 \cdot 38.33 = 76.7 \frac{km}{h}$$

$$V_{1,2} = \frac{76.7 \pm \sqrt{76.7^2 - 4 \frac{76.7 \cdot 1200}{120}}}{2 \frac{76.7}{120}} = \begin{cases} V_1 = 101.3 \text{ km/h} \\ V_2 = 18.5 \text{ km/h} \end{cases}$$

### **Esercizio 3 – FATTORE DELL'ORA DI PUNTA**

Si considerino due strade entrambi aventi un traffico nell'ora di punta (VHP) pari a 1800 veh/h. La prima strada è caratterizzata da 600 veicoli nel quarto d'ora più trafficato, mentre la seconda da 500. Si determini il fattore dell'ora di punta (PHF) nei due casi.

#### **SVOLGIMENTO**

$$PHF = \frac{VHP}{4 \cdot V_{15,\max}} = \begin{cases} PHF_1 = \frac{1800}{4 \cdot 600} = 0.75 \\ PHF_2 = \frac{1800}{4 \cdot 500} = 0.9 \end{cases}$$

### **Esercizio 4 – FATTORE DELL'ORA DI PUNTA**

Calcolare il fattore dell'ora di punta e il tasso di flusso di una strada il cui numero di veicoli transanti nei quattro quarti d'ora di riferimento è il seguente:

- 16.30 – 16.45 = 1200 veicoli/15'
- 16.45 – 17.00 = 1400 veicoli/15'
- 17.00 – 17.15 = 1100 veicoli/15'
- 17.15 – 17.30 = 1300 veicoli/15'

#### **SVOLGIMENTO**

$$PHF = \frac{VHP}{4 \cdot V_{15,\max}} = \frac{(1200 + 1400 + 1100 + 1300)}{4 \cdot 1400} = 0.892$$

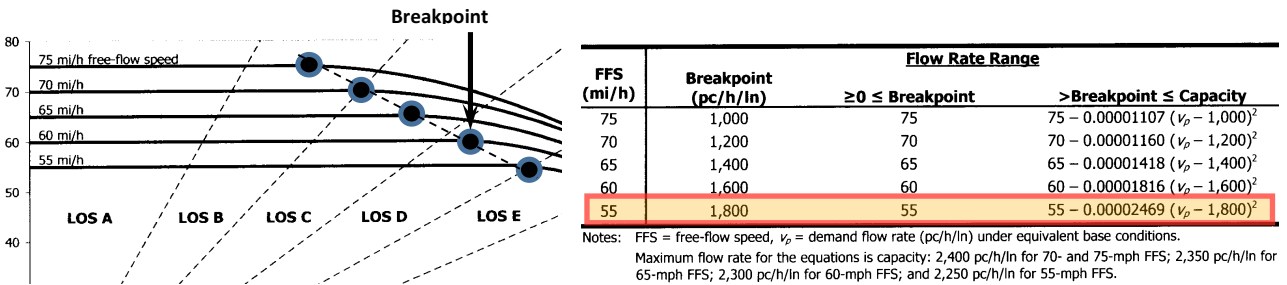
$$TF = \frac{VH}{PHF} = 4 \cdot V_{15,\max} = 4 \cdot 1400 = 5600 \text{ v/h}$$

3. Calcolo  $v_p$ :

$$V_p \text{ (pc/h/ln)} = \frac{V \text{ (v/h)}}{\text{PHF} \cdot N \cdot f_{hv} \cdot f_p} = \frac{TF}{N \cdot f_{HV} \cdot f_p} = \frac{4 \cdot V_{15, \max}}{N \cdot f_{HV} \cdot f_p} = \frac{3500}{0.95 \cdot 2 \cdot 0.93 \cdot 1} = 1981 \text{ pc/h/ln}$$

4. Calcolo di S

$$S \text{ (mi/h)} = 55 - 0.00002469 \cdot (v_p - 1,800)^2 = 54.19 \text{ mi/h}$$



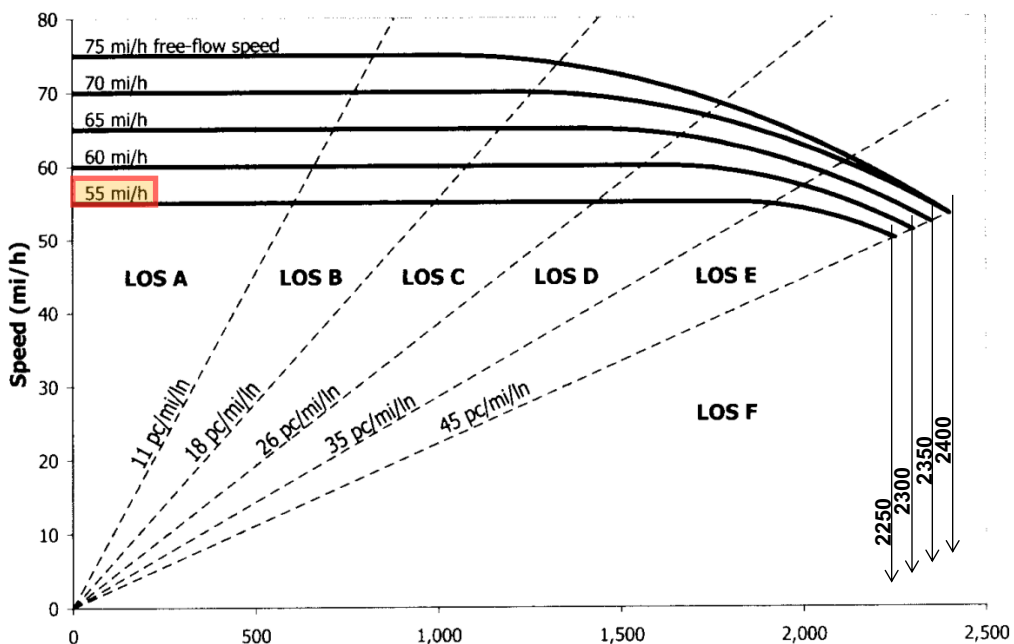
5. Calcolo della densità:

$$D \text{ (pc/mi/ln)} = TF \text{ (pc/h/ln)} / S \text{ (mi/h)} = \frac{V_p}{S} = \frac{1981}{54.19} = 36.56 \text{ pc/mi/ln}$$

6. Calcolo del LOS (LdS):

$$\text{LOS} = E$$

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



**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:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.15(1.5 - 1)} = 0.93$$

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

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.15(2.5 - 1)} = 0.816$$

Upgrade (%)	Length (mi)	Proportion of Trucks and Buses								
		2%	4%	5%	6%	8%	10%	15%	20%	≥25%
≤2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
>2-3	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.50-0.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.75-1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>1.00-1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
>3-4	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	>0.50-0.75	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.75-1.00	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	>1.00-1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
>4-5	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.50-0.75	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.75-1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
>5-6	0.00-0.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.30-0.50	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.50-0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>0.75-1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
>6	0.00-0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	1.0
	>0.25-0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	>0.30-0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	>0.50-0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	>0.75-1.00	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
>1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0	

**Exhibit 11-11**  
PCEs for Trucks and Buses  
( $E_T$ ) on Upgrades

Note: Interpolation for percentage of trucks and buses is recommended to the nearest 0.1.

## ESERCITAZIONE #2- SQUADRE SEPARATE - 24 marzo 2015

### Esercizio 1 – ANALISI DI UN TRATTO DI STRADA EXTRAURBANA DI CATEGORIA C1 – CLASSE 1

Una strada extraurbana secondaria di classe I su terreno collinare è interessata da un volume dell'ora di punta di 500 veicoli, con il 15% di traffico pesante e il 5% di traffico turistico. La distribuzione del traffico nell'ora di punta è pari a 40/60 tra le due corsie con un PHF pari a 0,88.

Si determini il livello di servizio della strada nelle due direzioni sapendo che:

- lunghezza del tratto esaminato 16 km;
- 40% di tracciato con sorpasso impedito;
- Velocità di base del flusso libero BVFL (BFFS) pari a 95 km/h;
- larghezza delle corsie 3,75 m, larghezza delle banchine 1,5 m;
- 13 accessi per km.

Conversione delle unità di misura dell'esercizio:

Lunghezza del tratto in esame: 16 km = 16 km / 1,61 km/mi = 9.94 mi

Velocità di base del flusso libero: 95 km/h = 95 km/h / 1,61 km/mi = 59.0 mi/h

Larghezza delle corsie: 3,75 m = 3,75 m / 0,305 m/ft = 12.3 ft

Larghezza delle banchine: 1,5 m = 1,5 m / 0,305 m/ft = 4.92 ft

Densità degli accessi: 13 a/km = 13 a/km · 1,61 km/mi = 21 a/mi

### SVOLGIMENTO

#### 1. Calcolo della FFS (VFL):

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 59.0 - 1.3 - 5.5 = 52.5 \text{ mi/h}$$

#### **Exhibit 15-7**

Adjustment Factor for Lane and Shoulder Width ( $f_{LS}$ )

Lane Width (ft)	Shoulder Width (ft)			
	≥0 <2	≥2 <4	≥4 <6	≥6
≥9 <10	6.4	4.8	3.5	2.2
≥10 <11	5.3	3.7	2.4	1.1
≥11 <12	4.7	3.0	1.7	0.4
≥12	4.2	2.6	1.3	0.0

#### **Exhibit 15-8**

Adjustment Factor for Access-Point Density ( $f_A$ )

Access Points per Mile (Two Directions)	Reduction in FFS (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
40	10.0

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

#### 2. Calcolo del volume di traffico (VH) e del tasso di flusso (TF o $v_{vph}$ ) nelle due direzioni:

$$VH_d = 0,4 \cdot VH = 0.4 \cdot 500 = 200 \text{ v/h}$$

$$v_{vph,d} = VH/PHF = 200/0.88 = 228 \text{ v/h}$$

$$VH_o = 0,6 \cdot VH = 0.6 \cdot 500 = 300 \text{ v/h}$$

$$v_{vph,o} = VH/PHF = 300/0.88 = 341 \text{ v/h}$$

#### 3. Calcolo di $f_G$ (per la pendenza) per il calcolo di ATS nelle due direzioni:

$$\text{Direzione "d", } f_G = 0.77$$

$$\text{Direzione "o", } f_G = 0.86$$

**Exhibit 15-15**  
ATS Adjustment Factor for  
No-Passing Zones ( $f_{no,ATS}$ )

Opposing Demand Flow Rate, $v_o$ (pc/h)	Percent No-Passing Zones				
	≤ 20	40	60	80	100
<b>FFS ≥ 65 mi/h</b>					
≤100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1,000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1,200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1,400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥1,600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
<b>FFS = 60 mi/h</b>					
≤100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1,000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1,200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1,400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
<b>FFS = 55 mi/h</b>					
≤100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1,000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1,200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1,400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
<b>FFS = 50 mi/h</b>					
≤100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1,000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1,200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1,400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1,600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
<b>FFS ≤ 45 mi/h</b>					
≤100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1,000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1,200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1,400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥1,600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Note: Interpolation of  $f_{no,ATS}$  for percent no-passing zones, demand flow rate, and FFS to the nearest 0.1 is recommended.

8. Calcolo del  $ATS_d$  e  $ATS_o$ :

$$ATS_d = FFS - 0,00776 \cdot (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{NP,ATS,d} = 52.2 - 0.00776(351+466) - 1.5 = 44.5 \text{ mi/h}$$

$$ATS_o = FFS - 0,00776 \cdot (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{NP,ATS,o} = 52.2 - 0.00776(351+466) - 1.8 = 44.1 \text{ mi/h}$$

9. Calcolo di  $f_G$  (per la pendenza) per il calcolo di PTSF:

Direzione "d",  $f_G = 0.81$

Direzione "o",  $f_G = 0.87$

**Exhibit 15-16**  
PTSF Grade Adjustment Factor  
( $f_{G,PTSF}$ ) for Level Terrain, Rolling  
Terrain, and Specific Downgrades

Directional Demand Flow Rate, $v_{veh}$ (veh/h)	Level Terrain and Specific Downgrades		Rolling Terrain
≤100	1.00		0.73
200	1.00		0.80
300	1.00		0.85
400	1.00		0.90
500	1.00		0.96
600	1.00		0.97
700	1.00		0.99
800	1.00		1.00
≥900	1.00		1.00

Note: Interpolation to the nearest 0.01 is recommended.



**Exhibit 15-21**  
No-Passing-Zone Adjustment  
Factor ( $f_{NP,PTSF}$ ) for  
Determination of PTSF

Total Two-Way Flow Rate, $v = v_d + v_o$ (pc/h)	Percent No-Passing Zones					
	0	20	40	60	80	100
<b>Directional Split = 50/50</b>						
≤200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1,400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2,000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2,600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3,200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
<b>Directional Split = 60/40</b>						
≤200	11.0	30.6	41.0	51.2	52.3	53.5
400	14.6	36.1	44.8	53.4	55.0	56.3
600	14.8	36.9	44.0	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1,400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2,000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
2,600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
<b>Directional Split = 70/30</b>						
≤200	9.9	28.1	38.0	47.8	48.5	49.0
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47.0
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1,400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2,000	7.3	9.7	11.7	13.3	14.0	14.5
<b>Directional Split = 80/20</b>						
≤200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4.0	24.5	31.3	38.1	39.1	40.0
800	3.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1,400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2,000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
<b>Directional Split = 90/10</b>						
≤200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6
400	0.0	20.2	28.3	36.3	36.7	37.0
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
1,400	-1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

Note: Straight-line interpolation of  $f_{NP,PTSF}$  for percent no-passing zones, demand flow rate, and directional split is recommended to the nearest 0.1.

### 15. Calcolo del BPTSF nelle due direzioni

$$\text{Direzione "d", } BPTSF_d = 100 \left( 1 - e^{-a_d \cdot v_d^{b_d, PTSF}} \right) = 100 \left( 1 - e^{-0.0025 \cdot 315^{0.909}} \right) = 37.3 \%$$

$$\text{Direzione "o", } BPTSF_o = 100 \left( 1 - e^{-a_o \cdot v_o^{b_o, PTSF}} \right) = 100 \left( 1 - e^{-0.0018 \cdot 453^{0.952}} \right) = 45.6 \%$$

### 16. Calcolo del PTSF nelle due direzioni

$$\text{Direzione "d", } PTSF_d = BPTSF_d + f_{NP, PTSF, d} \cdot \left( \frac{v_{d, PTSF}}{v_{d, PTSF} + v_{o, PTSF}} \right) = 37.3 + 35.1 \left( \frac{315}{315 + 453} \right) = 51.7 \%$$

$$\text{Direzione "o", } PTSF_o = BPTSF_o + f_{NP, PTSF, o} \cdot \left( \frac{v_{o, PTSF}}{v_{d, PTSF} + v_{o, PTSF}} \right) = 45.6 + 35.1 \left( \frac{453}{315 + 453} \right) = 66.30 \%$$

## **Esercizio 2 – AUTOSTRADA URBANA ESISTENTE IN AMMODERNAMENTO**

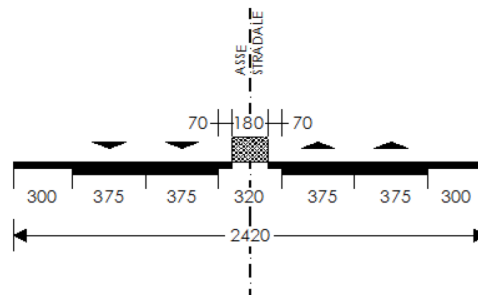
Per una autostrada urbana esistente è previsto un intervento di riqualificazione geometrica e di potenziamento funzionale.

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

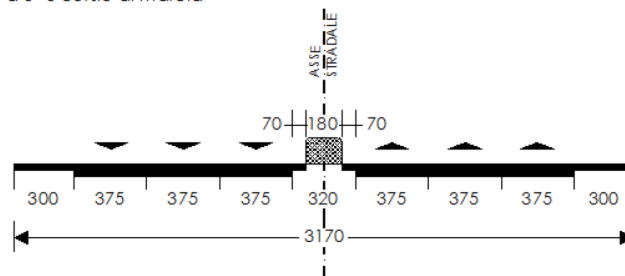
- corsie di larghezza 3,3 m e banchine di larghezza 180 cm;
- densità di 3,5 rampe per km di autostrada;
- terreno pianeggiante;
- traffico di mezzi commerciali è pari al 15%;
- volume orario direzionale nell'ora di punta è pari a 3000 v/h;
- PHF pari a 0,92.

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.

Soluzione base a 2+2 corsie di marcia



Soluzione a 3+3 corsie di marcia



## **SVOLGIMENTO**

### Conversione delle unità di misura:

$$\text{Larghezza corsie} = 3.3 \text{ m} = 3.3 \text{ m} / 0.305 \text{ m/ft} = 10.82 \text{ ft}$$

$$\text{Larghezza banchine} = 1.8 \text{ m} = 1.8 / 0.305 \text{ m/ft} = 5.9 \text{ ft}$$

$$\text{Densità rampe} = 3.5 \text{ r/km} = 3.5 \text{ r/km} \cdot 1,61 \text{ km/mi} = 5.64 \text{ r/mi} = \text{TRD}$$

6. Calcolo del LOS (Lds):

LOS = D

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

Per un'autostrada urbana in Italia si assumono i seguenti dati:

Larghezza corsia : 3.75 m = 3.75 / 0.305 = 12.3 ft

Larghezza banchina : 3 m = 3 / 0.305 = 9.84 ft

**Exhibit 11-8**  
Adjustment to FFS for Average Lane Width

Average Lane Width (ft)	Reduction in FFS, $f_{LW}$ (mi/h)
≥12	0.0
≥11-12	1.9
≥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	≥5
≥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

7. Calcolo della FFS (VFL)

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22 \text{ TRD}^{0.84} = 75.4 - 3.22 \cdot 5.64^{0.84} = 61.6 \text{ mi/h}$$

8. Calcolo del numero di corsie N

$V_{P,max,i}$					
FFS	LOS				
	A	B	C	D	E
75	820	1310	1750	2110	2400
70	770	1250	1690	2080	2400
65	710	1170	1630	2030	2350
60	660	1080	1560	2010	2300
55	600	990	1430	1900	2250

LOS = C       $VHP = VHP_{iniz} + (0.15 \cdot VHP_{iniz}) = 3000 + (0.15 \cdot 3000) = 3450 \text{ v/h}$

$$N = \frac{VHP(v/h)}{PHF \cdot V_{P,max,j} (pc/h/ln) \cdot f_{hw} \cdot f_p} = \frac{3450}{0.92 \cdot 1560 \cdot 0.93 \cdot 1} = 2.6 \text{ pc/h/ln}$$

Nella nuova sezione si devono adottare **3 corsie** per senso di marcia lungo tutto il tracciato

$$r_{ORD,LOC} = a + b \cdot v^2 = 2.5 + 0.0003 \cdot 160^2 = 10.18 \text{ N / kN}$$

$$r_{ORD,VAG} = a + b \cdot v^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot 160^2 = 6.08 \text{ N / kN}$$

$$P_{LOC} = \frac{m_{LOC} \cdot g}{1000} = \frac{89000 \cdot 9.81}{1000} = 873.09 \text{ kN}$$

$$P_{VAG} = \frac{(n_p \cdot m_p + m_{VAG}) \cdot g}{1000} = \frac{(82 \cdot 80 + 36000) \cdot 9.81}{1000} = 417.51 \text{ kN}$$

$$R_{ROD,CONV} = n_{LOC} \cdot P_{LOC} \cdot r_{ORD,LOC} + n_{VAG} \cdot P_{VAG} \cdot r_{ORD,VAG} = \\ = 1 \cdot 89000 \cdot 10.18 + 12 \cdot 36000 \cdot 6.08 = 39369.9 \text{ N}$$

$$P_{CONV} = n_{LOC} \cdot P_{LOC} + n_{VAG} \cdot P_{VAG} = 5883.3 \text{ kN}$$

$$r_{ORD} = \frac{R_{ORD,CONV}}{P_{CONV}} = \frac{39369.9}{5883.3} = 6.69 \text{ N / kN}$$

### **Esercizio 3 – PRESTAZIONI IN AMBITO FERROVIARIO**

In ogni sezione di carico di una linea ferroviaria ordinaria che si sviluppa su un territorio montano, sono presenti curve planimetriche di raggio 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:  $m = 89.000 \text{ kg}_m$ ,  $W = 3.600 \text{ kW}$ ;
- 12 vagoni a pieno carico:  $m_{vuoto} = 36.000 \text{ kg}_m/\text{vagone}$ , 82 posti, 2 carrelli;
- $V = 120 \text{ km/h}$ ;
- si supponga che tutto il peso del locomotore sia aderente.

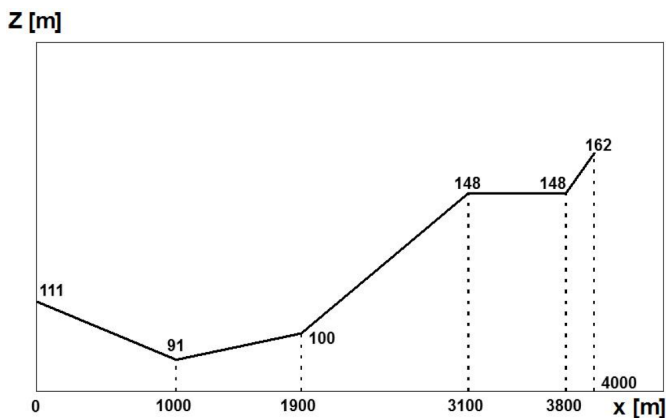
Grado di prestazione	$i+r_c$	Grado di prestazione	$i+r_c$	Grado di prestazione	$i+r_c$	Grado di prestazione	$i+r_c$
1	4,5	9	9,2	17	17	25	27,8
2	5	10	10	18	18,4	26	29,3
3	5,5	11	11	19	19,8	27	30,8
4	6	12	12	20	20,9	28	32,5
5	6,5	13	12,9	21	21,9	29	34,2
6	7	14	13,8	22	22,7	30	37,5
7	7,7	15	14,6	23	24,6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

### Esercizio 4 - PRESTAZIONI SULLE LIVELLETTE STRADALI

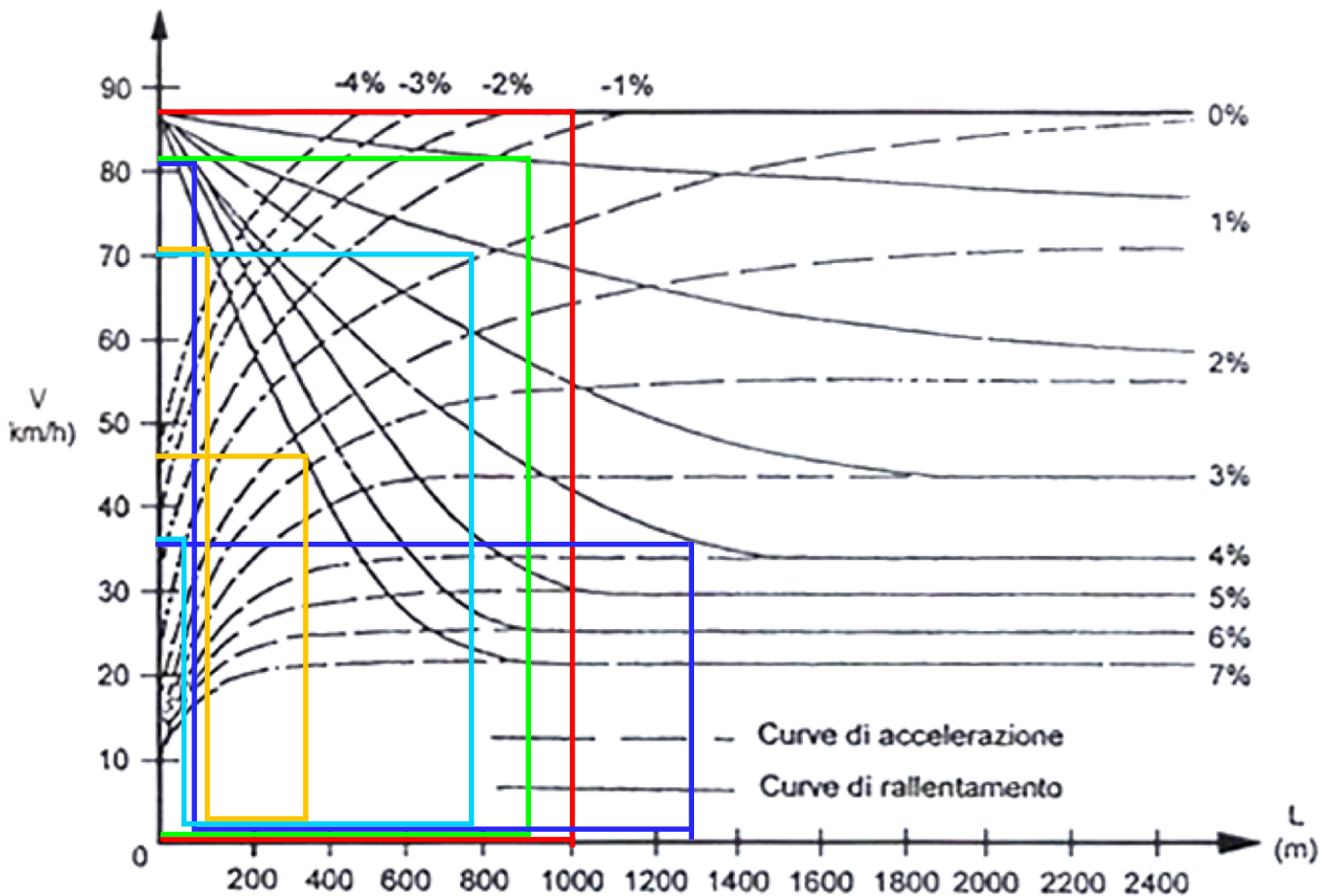
Di un tratto di strada di categoria C, di cui si conosce l'andamento altimetrico, si deve valutare se sia necessario inserire una corsia di arrampicamento. A questo proposito è assunto come veicolo di progetto uno avente una potenza specifica di 0,55 W/N e di cui è nota la velocità iniziale di 40 km/h. Si rediga il diagramma delle velocità del veicolo di progetto utilizzando il metodo grafico

### SVOLGIMENTO

$$i = \frac{Q_f - Q_i}{L}$$



	L [m]	Q <sub>i</sub> [m]	Q <sub>f</sub> [m]	i [-]	v <sub>i</sub>	v <sub>f</sub>
i <sub>1</sub>	1000	111	91	-0,02	40	87
i <sub>2</sub>	900	91	100	0,01	87	81
i <sub>3</sub>	1200	100	148	0,04	81	36
i <sub>4</sub>	700	148	148	0,00	36	70
i <sub>5</sub>	200	148	162	0,07	70	47



**Esercizio 5 – SPAZIO DI ARRESTO**

Un veicolo di peso 14 kN viaggia a una velocità costante di 95 km/h. Calcolare la distanza di frenatura nel caso stia percorrendo una livelletta con pendenza positiva del 3% ( $i = 3\%$ ) in condizioni di 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

Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente,  $f_e$

**SVOLGIMENTO**

$$d_f = \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]} = \frac{\left(\frac{95}{3.6}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \cdot [0.3 + 0.03]} = 107.55 \text{ m}$$

## **Esercizio 2 – RESISTENZE ORDINARIE IN AMBITO FERROVIARIO**

Determinare le resistenze ordinarie di un treno merci costituito da un locomotore elettrico di massa 120.000 kg<sub>m</sub> e da 50 carri vuoti di massa pari a 25.000 kg<sub>m</sub>/carro (Tabella 1). Si supponga inoltre che il treno viaggi alla velocità costante di 100 km/h.

### **SVOLGIMENTO**

LOCOMOTORE :  $a = 3,0$     $b = 0.0005$

CARRI VUOTI :  $a = 2.5$     $b = 0.001$

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 m <sup>2</sup> , K = 0,45 per 2 elementi, K = 0,65 per 3 elementi, K = 0,71 per 4 elementi.		

$$r_{ORD,LOC} = a + b \cdot v^2 = 3 + 0.0005 \cdot 100^2 = 8 \text{ N / kN}$$

$$r_{ORD,CAR} = a + b \cdot v^2 = 2.5 + 0.001 \cdot 100^2 = 12.5 \text{ N / kN}$$

$$P_{LOC} = \frac{m_{LOC} \cdot g}{1000} = \frac{120000 \cdot 9.81}{1000} = 1177.2 \text{ kN}$$

$$P_{CAR} = \frac{m_{CAR} \cdot g}{1000} = \frac{25000 \cdot 9.81}{1000} = 245.25 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_{ROD,CONV} &= n_{LOC} \cdot P_{LOC} \cdot r_{ORD,LOC} + n_{CAR} \cdot P_{CAR} \cdot r_{ORD,CAR} = \\ &= 1 \cdot 1177.2 \cdot 8 + 50 \cdot 245.25 \cdot 12.5 = 162698.85 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_{CONV} = n_{LOC} \cdot P_{LOC} + n_{CAR} \cdot P_{CAR} = 13439.7 \text{ kN}$$

$$r_{ORD} = \frac{R_{ORD,CONV}}{P_{CONV}} = \frac{162698.85}{13439.7} = 12.1 \text{ N / kN}$$

$$r_{ORD,LOC} = a + b \cdot v^2 = 2.5 + 0.0003 \cdot 160^2 = 10,18 \text{ N / kN}$$

$$r_{ORD,VAG} = a + b \cdot v^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot 160^2 = 6,1 \text{ N / kN}$$

$$P_{LOC} = \frac{m_{LOC} \cdot g}{1000} = \frac{89000 \cdot 9.81}{1000} = 873,09 \text{ kN}$$

$$P_{VAG} = \frac{(n_p \cdot m_p + m_{VAG}) \cdot g}{1000} = \frac{(100 \cdot 80 + 36000) \cdot 9.81}{1000} = 431,64 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_{ORD,TP} &= n_{LOC} \cdot P_{LOC} \cdot r_{ORD,LOC} + n_{VAG} \cdot P_{VAG} \cdot r_{ORD,VAG} = \\ &= 1 \cdot 873,09 \cdot 10,18 + 12 \cdot 431,64 \cdot 6,1 = 40484,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_{TP} = n_{LOC} \cdot P_{LOC} + n_{VAG} \cdot P_{VAG} = 6053,77 \text{ kN}$$

$$r_{ORD,TP} = \frac{R_{ORD,TP}}{P_{TP}} = \frac{40484,1}{6053,77} = 6,7 \text{ N / kN}$$

$$i_{\max} = \min(i'_{\max}, i''_{\max})$$

$$i'_{\max} = \frac{W_{\max}}{P_{TP}} - r_{ORD,TP} = \frac{6600 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}}{6052,77 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}} - 6,7 \frac{\text{N}}{10^3 \cdot \text{N}} = 0,018 = 18\%$$

$$i''_{\max} = \frac{f_a \cdot P_a}{P_{TP}} - r_{ORD,TP} = \frac{f_a \cdot P_{LOC}}{P_{TP}} - r_{ORD,TP} = \frac{0,1125 \cdot 873,09 \text{ kN}}{6053,77 \text{ kN}} - 6,7 \frac{\text{N}}{10^3 \cdot \text{N}} = 0,0093 \cong 9\%$$

$$i_{\max} = \min(0.018, 0.0093) = 9\%$$



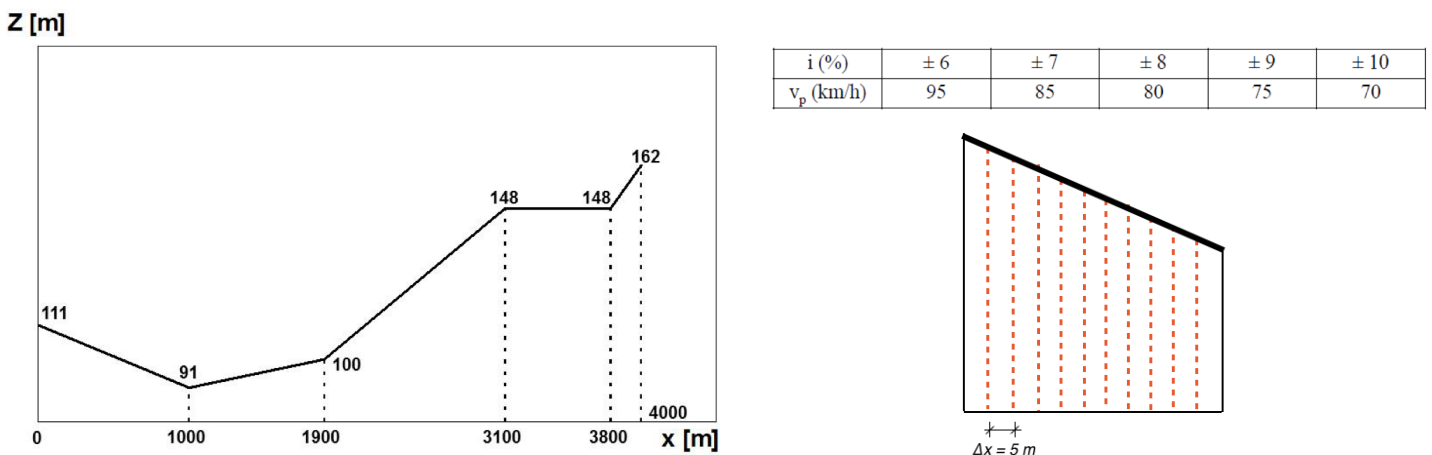
### Esercizio 4 – PRESTAZIONI SULLE LIVELLETTE STRADALI

Di un tratto di strada di categoria C si conosce l'andamento altimetrico (Figura 2), 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 sono anche noti:

- $r_{RD} = 30 \text{ N/kN}$  (valore costante da assumere nei calcoli indipendentemente dalla velocità);
- $m = 56.000 \text{ kg}_m$ ;
- $S = 6 \text{ m}^2$ ;
- $c = 0,9$ ;
- $\delta = 1,204 \text{ [Nm}^{-4}\text{s}^2]$  ( $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $p = 1 \text{ bar}$ );
- $\beta = 1,1$ .

Si rediga il diagramma delle velocità del veicolo di progetto utilizzando l'equazione della trazione risolta con il metodo delle differenze finite, considerando che il tratto di strada è affrontato a una velocità iniziale di 40 km/h. (Opzionale: direzione opposta, da sinistra verso destra)

### SVOLGIMENTO



$r_{RD}$ [N/N]	m [kg]	P [N]	S [m <sup>2</sup> ]	c	$\delta$ [Nm <sup>-4</sup> s <sup>2</sup> ]	$\beta$	W/P [W/N]	v <sub>i</sub> [m/s]	g [m/s <sup>2</sup> ]	$\Delta x$ [m]
0,03	56000	549360	6	0,9	1,204	1,1	0,55	11,11	9,81	5

$$i = \frac{Q_f - Q_i}{L}$$

$$r_{ORD} = r_R + r_a = r_R + \frac{R_a}{P} = r_R + \frac{\frac{1}{2} \delta c S v^2}{P}$$

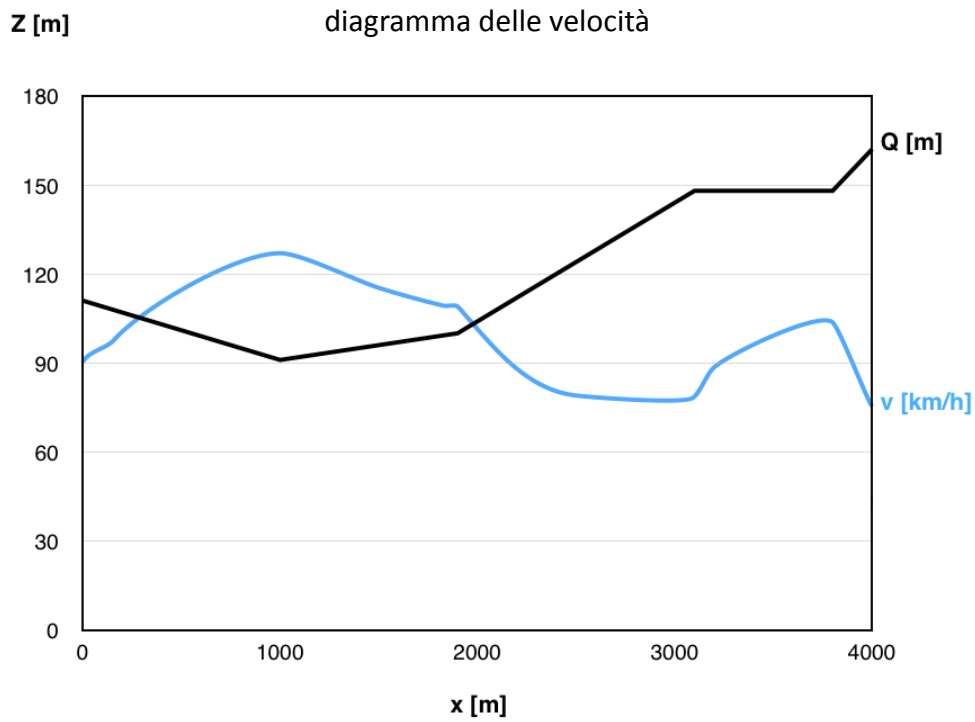
$$v_{i+1} = \frac{g}{\beta \cdot v_i^2} \cdot \left[ \frac{W}{P} - v_i \cdot (i + r_{ORD}) \right] \cdot \Delta x + v_i$$

	L [m]	Q <sub>i</sub> [m]	Q <sub>f</sub> [m]	i [-]	v <sub>i</sub>	v <sub>i+1</sub>
i <sub>1</sub>	1000	111	91	-0,02	40	77,06
i <sub>2</sub>	900	91	100	0,01	77,06	58,14
i <sub>3</sub>	1200	100	148	0,04	58,14	28,14
i <sub>4</sub>	700	148	148	0,00	28,14	53,97
i <sub>5</sub>	200	148	162	0,07	53,97	25,35

395	16,73	0,0317	16,79	60,43
400	16,79	0,0317	16,84	60,63
405	16,84	0,0317	16,90	60,83
410	16,90	0,0317	16,95	61,03
415	16,95	0,0317	17,01	61,23
420	17,01	0,0317	17,06	61,42
425	17,06	0,0317	17,12	61,62
430	17,12	0,0317	17,17	61,81
435	17,17	0,0317	17,22	62,00
440	17,22	0,0318	17,27	62,19
445	17,27	0,0318	17,33	62,37
450	17,33	0,0318	17,38	62,56
455	17,38	0,0318	17,43	62,74
460	17,43	0,0318	17,48	62,92
465	17,48	0,0318	17,53	63,10
470	17,53	0,0318	17,58	63,28
475	17,58	0,0318	17,63	63,46
480	17,63	0,0318	17,68	63,64
485	17,68	0,0318	17,73	63,81
490	17,73	0,0319	17,77	63,98
495	17,77	0,0319	17,82	64,16
500	17,82	0,0319	17,87	64,33
505	17,87	0,0319	17,92	64,50
510	17,92	0,0319	17,96	64,67
515	17,96	0,0319	18,01	64,83
520	18,01	0,0319	18,06	65,00
525	18,06	0,0319	18,10	65,16
530	18,10	0,0319	18,15	65,33
535	18,15	0,0319	18,19	65,49
540	18,19	0,0320	18,24	65,65
545	18,24	0,0320	18,28	65,81
550	18,28	0,0320	18,33	65,97
555	18,33	0,0320	18,37	66,13
560	18,37	0,0320	18,41	66,29
565	18,41	0,0320	18,46	66,44
570	18,46	0,0320	18,50	66,60
575	18,50	0,0320	18,54	66,75
580	18,54	0,0320	18,58	66,90
585	18,58	0,0320	18,63	67,05
590	18,63	0,0321	18,67	67,20
595	18,67	0,0321	18,71	67,35
600	18,71	0,0321	18,75	67,50
605	18,75	0,0321	18,79	67,65
610	18,79	0,0321	18,83	67,80
615	18,83	0,0321	18,87	67,94
620	18,87	0,0321	18,91	68,09
625	18,91	0,0321	18,95	68,23
630	18,95	0,0321	18,99	68,37
635	18,99	0,0321	19,03	68,52
640	19,03	0,0321	19,07	68,66
645	19,07	0,0322	19,11	68,80
650	19,11	0,0322	19,15	68,94
655	19,15	0,0322	19,19	69,08
660	19,19	0,0322	19,23	69,21
665	19,23	0,0322	19,26	69,35
670	19,26	0,0322	19,30	69,49
675	19,30	0,0322	19,34	69,62
680	19,34	0,0322	19,38	69,76
685	19,38	0,0322	19,41	69,89
690	19,41	0,0322	19,45	70,03
695	19,45	0,0322	19,49	70,16
700	19,49	0,0322	19,52	70,29
705	19,52	0,0323	19,56	70,42
710	19,56	0,0323	19,60	70,55
715	19,60	0,0323	19,63	70,68
720	19,63	0,0323	19,67	70,81
725	19,67	0,0323	19,70	70,94
730	19,70	0,0323	19,74	71,06
735	19,74	0,0323	19,77	71,19
740	19,77	0,0323	19,81	71,32
745	19,81	0,0323	19,84	71,44
750	19,84	0,0323	19,88	71,57
755	19,88	0,0323	19,91	71,69
760	19,91	0,0323	19,95	71,81
765	19,95	0,0324	19,98	71,93
770	19,98	0,0324	20,02	72,06
775	20,02	0,0324	20,05	72,18
780	20,05	0,0324	20,08	72,30
785	20,08	0,0324	20,12	72,42
790	20,12	0,0324	20,15	72,54
795	20,15	0,0324	20,18	72,66

1395	18,78	0,0321	18,75	67,50
1400	18,75	0,0321	18,72	67,39
1405	18,72	0,0321	18,69	67,28
1410	18,69	0,0321	18,66	67,17
1415	18,66	0,0321	18,63	67,07
1420	18,63	0,0321	18,60	66,96
1425	18,60	0,0320	18,57	66,85
1430	18,57	0,0320	18,54	66,74
1435	18,54	0,0320	18,51	66,64
1440	18,51	0,0320	18,48	66,53
1445	18,48	0,0320	18,45	66,42
1450	18,45	0,0320	18,42	66,32
1455	18,42	0,0320	18,39	66,21
1460	18,39	0,0320	18,36	66,11
1465	18,36	0,0320	18,33	66,00
1470	18,33	0,0320	18,30	65,90
1475	18,30	0,0320	18,28	65,79
1480	18,28	0,0320	18,25	65,69
1485	18,25	0,0320	18,22	65,58
1490	18,22	0,0320	18,19	65,48
1495	18,19	0,0320	18,16	65,38
1500	18,16	0,0320	18,13	65,27
1505	18,13	0,0319	18,10	65,17
1510	18,10	0,0319	18,07	65,07
1515	18,07	0,0319	18,05	64,96
1520	18,05	0,0319	18,02	64,86
1525	18,02	0,0319	17,99	64,76
1530	17,99	0,0319	17,96	64,66
1535	17,96	0,0319	17,93	64,56
1540	17,93	0,0319	17,91	64,46
1545	17,91	0,0319	17,88	64,36
1550	17,88	0,0319	17,85	64,26
1555	17,85	0,0319	17,82	64,16
1560	17,82	0,0319	17,79	64,06
1565	17,79	0,0319	17,77	63,96
1570	17,77	0,0319	17,74	63,86
1575	17,74	0,0319	17,71	63,76
1580	17,71	0,0319	17,68	63,67
1585	17,68	0,0319	17,66	63,57
1590	17,66	0,0318	17,63	63,47
1595	17,63	0,0318	17,60	63,37
1600	17,60	0,0318	17,58	63,28
1605	17,58	0,0318	17,55	63,18
1610	17,55	0,0318	17,52	63,09
1615	17,52	0,0318	17,50	62,99
1620	17,50	0,0318	17,47	62,89
1625	17,47	0,0318	17,44	62,80
1630	17,44	0,0318	17,42	62,71
1635	17,42	0,0318	17,39	62,61
1640	17,39	0,0318	17,37	62,52
1645	17,37	0,0318	17,34	62,42
1650	17,34	0,0318	17,31	62,33
1655	17,31	0,0318	17,29	62,24
1660	17,29	0,0318	17,26	62,15
1665	17,26	0,0318	17,24	62,05
1670	17,24	0,0318	17,21	61,96
1675	17,21	0,0318	17,19	61,87
1680	17,19	0,0317	17,16	61,78
1685	17,16	0,0317	17,14	61,69
1690	17,14	0,0317	17,11	61,60
1695	17,11	0,0317	17,09	61,51
1700	17,09	0,0317	17,06	61,42
1705	17,06	0,0317	17,04	61,33
1710	17,04	0,0317	17,01	61,24
1715	17,01	0,0317	16,99	61,15
1720	16,99	0,0317	16,96	61,06
1725	16,96	0,0317	16,94	60,98
1730	16,94	0,0317	16,91	60,89
1735	16,91	0,0317	16,89	60,80
1740	16,89	0,0317	16,87	60,71
1745	16,87	0,0317	16,84	60,63
1750	16,84	0,0317	16,82	60,54
1755	16,82	0,0317	16,79	60,46
1760	16,79	0,0317	16,77	60,37
1765	16,77	0,0317	16,75	60,29
1770	16,75	0,0317	16,72	60,20
1775	16,72	0,0317	16,70	60,12
1780	16,70	0,0317	16,68	60,03
1785	16,68	0,0316	16,65	59,95
1790	16,65	0,0316	16,63	59,87
1795	16,63	0,0316	16,61	59,79

2295	9,35	0,0305	9,29	33,46
2300	9,29	0,0305	9,24	33,26
2305	9,24	0,0305	9,19	33,07
2310	9,19	0,0305	9,13	32,88
2315	9,13	0,0305	9,08	32,70
2320	9,08	0,0305	9,04	32,53
2325	9,04	0,0305	8,99	32,36
2330	8,99	0,0305	8,94	32,19
2335	8,94	0,0305	8,90	32,03
2340	8,90	0,0305	8,85	31,87
2345	8,85	0,0305	8,81	31,72
2350	8,81	0,0305	8,77	31,58
2355	8,77	0,0305	8,73	31,43
2360	8,73	0,0305	8,69	31,30
2365	8,69	0,0304	8,66	31,16
2370	8,66	0,0304	8,62	31,04
2375	8,62	0,0304	8,59	30,91
2380	8,59	0,0304	8,55	30,79
2385	8,55	0,0304	8,52	30,68
2390	8,52	0,0304	8,49	30,57
2395	8,49	0,0304	8,46	30,46
2400	8,46	0,0304	8,43	30,36
2405	8,43	0,0304	8,41	30,26
2410	8,41	0,0304	8,38	30,16
2415	8,38	0,0304	8,35	30,07
2420	8,35	0,0304	8,33	29,98
2425	8,33	0,0304	8,31	29,90
2430	8,31	0,0304	8,28	29,82
2435	8,28	0,0304	8,26	29,74
2440	8,26	0,0304	8,24	29,67
2445	8,24	0,0304	8,22	29,60
2450	8,22	0,0304	8,20	29,53
2455	8,20	0,0304	8,18	29,46
2460	8,18	0,0304	8,17	29,40
2465	8,17	0,0304	8,15	29,34
2470	8,15	0,0304	8,13	29,28
2475	8,13	0,0304	8,12	29,23
2480	8,12	0,0304	8,10	29,17
2485	8,10	0,0304	8,09	29,12
2490	8,09	0,0304	8,08	29,08
2495	8,08	0,0304	8,06	29,03
2500	8,06	0,0304	8,05	28,99
2505	8,05	0,0304	8,04	28,95
2510	8,04	0,0304	8,03	28,91
2515	8,03	0,0304	8,02	28,87
2520	8,02	0,0304	8,01	28,83
2525	8,01	0,0304	8,00	28,80
2530	8,00	0,0304	7,99	28,77
2535	7,99	0,0304	7,98	28,74
2540	7,98	0,0304	7,97	28,71
2545	7,97	0,0304	7,97	28,68
2550	7,97	0,0304	7,96	28,65
2555	7,96	0,0304	7,95	28,63
2560	7,95	0,0304	7,94	28,60
2565	7,94	0,0304	7,94	28,58
2570	7,94	0,0304	7,93	28,56
2575	7,93	0,0304	7,93	28,53
2580	7,93	0,0304	7,92	28,51
2585	7,92	0,0304	7,92	28,50
2590	7,92	0,0304	7,91	28,48
2595	7,91	0,0304	7,91	28,46
2600	7,91	0,0304	7,90	28,44
2605	7,90	0,0304	7,90	28,43
2610	7,90	0,0304	7,89	28,41
2615</				



	L [m]	Q <sub>i</sub> [m]	Q <sub>f</sub> [m]	i [-]	v <sub>i</sub>	v <sub>f</sub>
i <sub>5</sub>	200	148	162	0,07	53,97	25,35

Valutazione del tratto a pendenza del 7% :

- velocità veicolo di progetto:  $\approx 25$  km/h
- velocità di confronto da normativa: 85 km/h

50% di 85 km/h = 42.5 km/h > 25 km/h

La corsia di arrampicamento risulta essere necessaria poichè la velocità del veicolo di progetto si riduce a meno del 50% di quella dell'autovettura di confronto da normativa.

(  $v = [m/s]$  ;  $V = [km/h]$  )

$$d_a = d_{pr} + d_f = v \cdot t_{pr} + \frac{v^2}{2g (f_e(v) \pm i)} = (2,8 - 0,01 \cdot V) \cdot v + \frac{v^2}{2g (f_e(v) \pm i)}$$

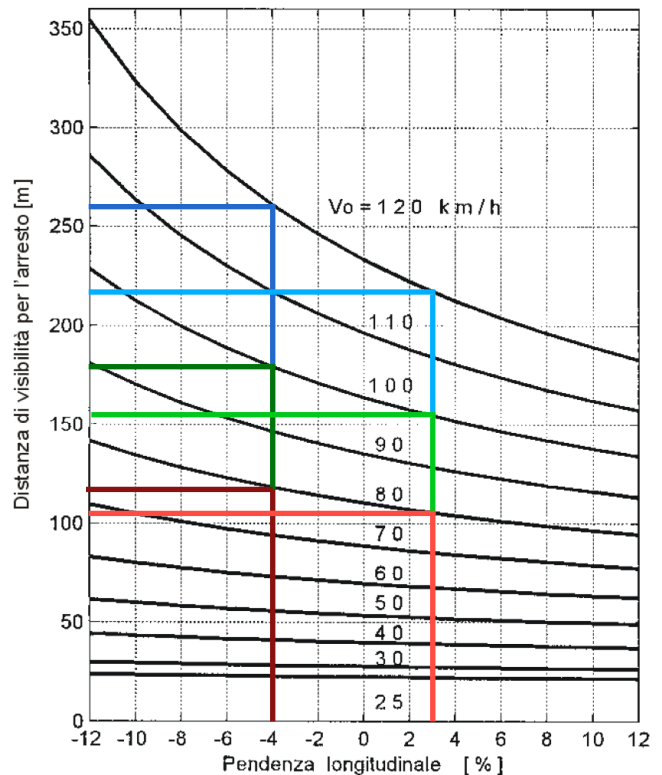
$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{1}{2} \frac{\delta c S v^2}{\beta \cdot P_a}$$

v [km/h]	v [m/s]	f <sub>e</sub> [-]	d <sub>a</sub> [m] (i = -4%)	d <sub>a</sub> [m] (i = 3%)
80	22,23	0,32	133,82	116,04
100	27,28	0,30	194,33	163,64
120	33,33	0,28	290,53	236,74

valori ricavati dagli abachi della normativa

v [km/h]	d <sub>a</sub> [m] (i = -4%)	d <sub>a</sub> [m] (i = 3%)
80	120	105
100	180	155
120	260	220

PER LE ALTRE STRADE



$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{2,55}{2}\right)^2 + 7,75^2 = R_i^2 \\ \left(R_i + \frac{2,55}{2}\right)^2 + (3,80 + 1,43)^2 = R_e^2 \\ 40^2 = R_i^2 + 3,80^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_i = 39,82 \\ (R_i + 1,275)^2 + 60,06 = 1585,63 \\ (39,82 + 1,275)^2 + 27,353 = R_e^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_i = 39,82 \\ R_e = 41,43 \\ R_i^2 + 2,55R_i - 1523,94 = 0 \end{cases}$$

$$R_i = \frac{-2,55 \pm \sqrt{6102,26}}{2} = 37,78$$

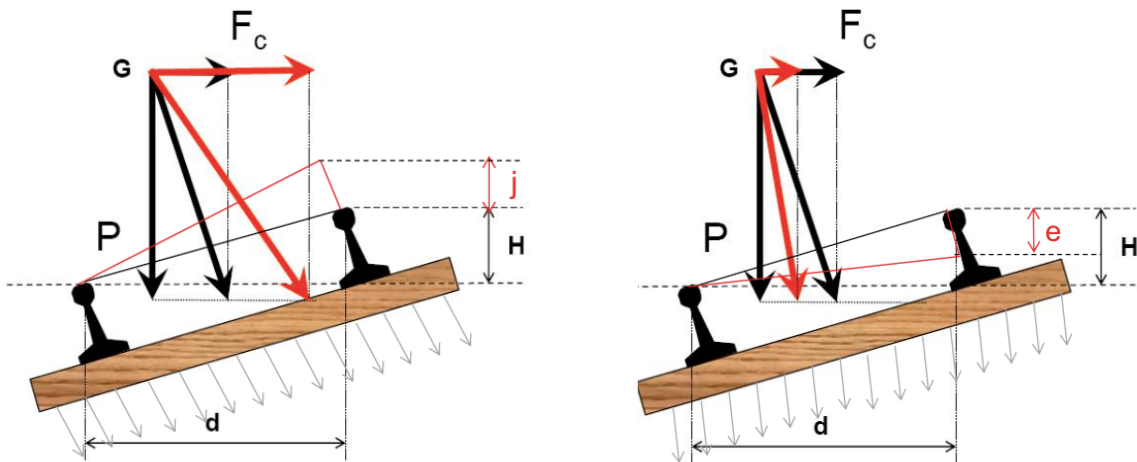
$$B = R_e - R_i = 41,43 - 37,78 = 3,65 \text{ m}$$

La larghezza minima della corsia della rampa di cappio dunque è di 3,65 m

## **Esercizio 2 – PROGETTO DI CURVE STRADALI**

Calcolare il più piccolo raggio di una curva circolare con pendenza trasversale pari al 7% in grado di garantire l'equilibrio di un veicolo che la percorre a 70 km/h. Determinare inoltre per la medesima pendenza la velocità di percorrenza di una curva di raggio 330 m. Nel dimensionamento, si adottino i valori di aderenza trasversale fissati dalla normativa italiana.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. 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 trasv. 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**

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

$$a'_{c} = g \cdot \frac{e}{d} \rightarrow e = d \cdot \frac{a'_{c}}{g}$$

$a_{c,nc}, a'_{c}$	$j, e$
0,4 m/s <sup>2</sup>	61,1 mm
0,6 m/s <sup>2</sup>	91,7 mm
0,65 m/s <sup>2</sup>	99,4 mm
0,8 m/s <sup>2</sup>	122,3 mm
1,0 m/s <sup>2</sup>	152,9 mm

$$j = 91,7 \text{ mm} = 0,0917 \text{ m}$$

$$e = 99,4 \text{ mm} = 0,0994 \text{ m}$$

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

$$R_{min} = \frac{v_{max}^2 - v_{min}^2}{g \cdot (e + j)} \cdot d$$

$$d = \frac{j \cdot g}{a_{c,nc}} = \frac{91,7 \cdot 9,81}{0,6} = 1500 \text{ mm} = 1,5 \text{ m}$$

$$v_{max} = 180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/s}$$

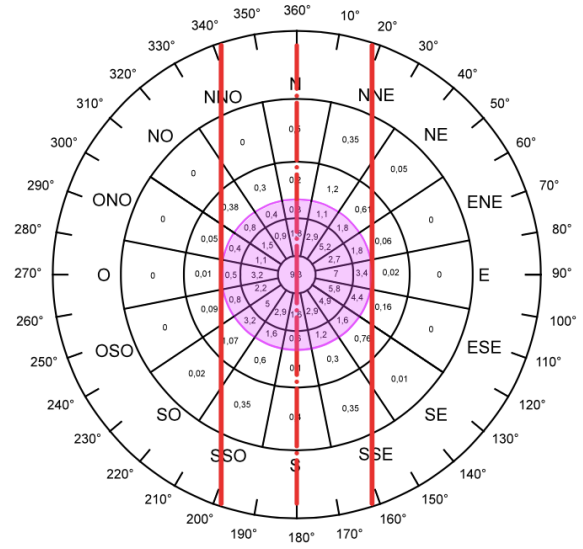
$$v_{min} = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$$

$$H_{max} = (0,0917 + 0,0994) \frac{50^2}{50^2 - 25^2} - 0,0994 = 0,1554 \text{ m} = 155,4 \text{ mm}$$

$$R_{min} = \frac{50^2 - 25^2}{9,81 \cdot (0,0917 + 0,0994)} \cdot 1,5 = 1500,25 \text{ m}$$

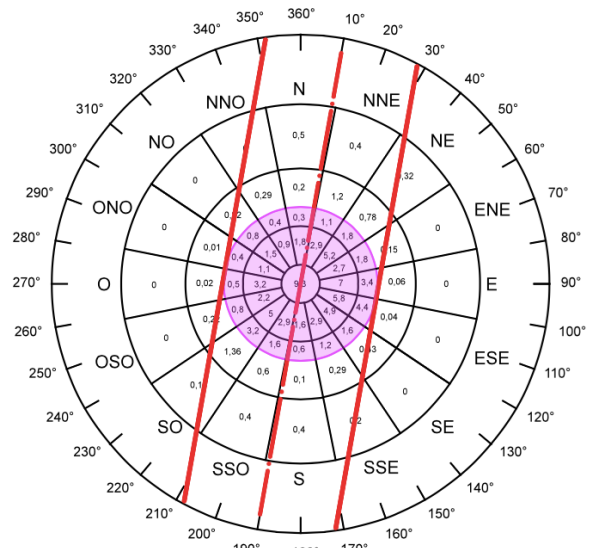
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 36/18

36 / 18	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,2	0,5	2,8
NNE	2,9	1,1	1,2	0,35	5,55
NE	5,2	1,8	0,61	0,05	7,66
ENE	2,7	1,8	0,06	0	4,56
E	7	3,4	0,02	0	10,42
ESE	5,8	4,4	0,16	0	10,36
SE	4,9	1,6	0,76	0,01	7,27
SSE	2,9	1,2	0,3	0,35	4,75
S	1,6	0,6	0,1	0,4	2,7
SSO	2,9	1,6	0,6	0,35	5,45
SO	5	3,2	1,07	0,02	9,29
OSO	2,2	0,8	0,09	0	3,09
O	3,2	0,5	0,01	0	3,71
ONO	1,1	0,4	0,05	0	1,55
NO	1,5	0,8	0,38	0	2,68
NNO	0,9	0,4	0,3	0	1,6
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>5,91</b>	<b>2,03</b>	<b>92,74</b>



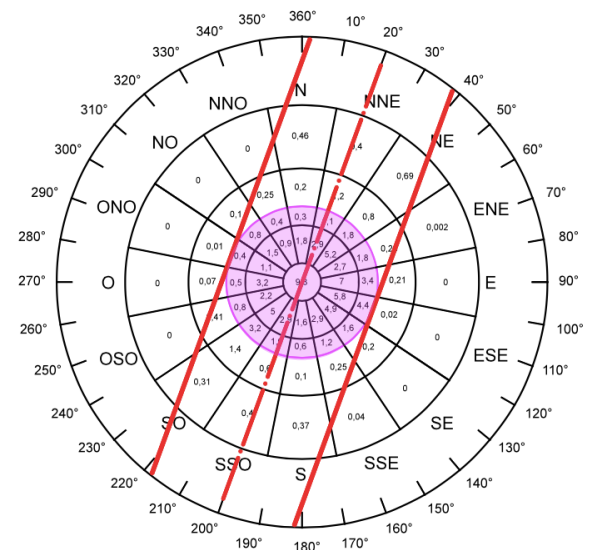
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 1/19

1 / 19	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,2	0,5	2,8
NNE	2,9	1,1	1,2	0,4	5,6
NE	5,2	1,8	0,78	0,32	8,1
ENE	2,7	1,8	0,15	0	4,65
E	7	3,4	0,06	0	10,46
ESE	5,8	4,4	0,04	0	10,24
SE	4,9	1,6	0,43	0	6,93
SSE	2,9	1,2	0,29	0,2	4,59
S	1,6	0,6	0,1	0,4	2,7
SSO	2,9	1,6	0,6	0,4	5,5
SO	5	3,2	1,36	0,14	9,7
OSO	2,2	0,8	0,22	0	3,22
O	3,2	0,5	0,02	0	3,72
ONO	1,1	0,4	0,01	0	1,51
NO	1,5	0,8	0,22	0	2,52
NNO	0,9	0,4	0,29	0	1,59
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>5,97</b>	<b>2,36</b>	<b>93,13</b>



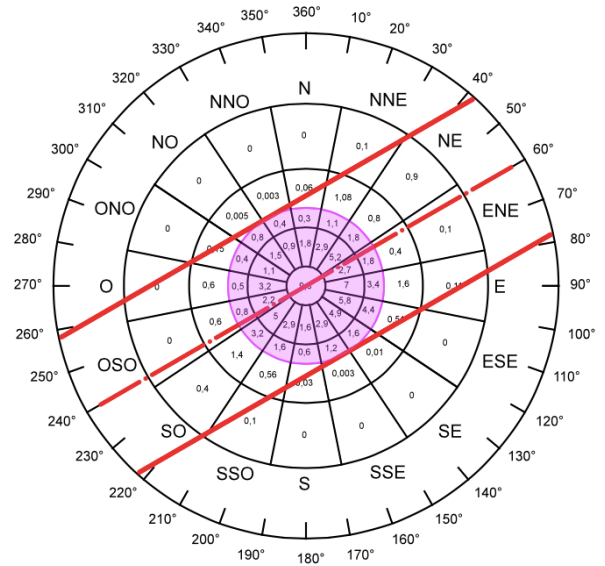
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 2/20

2 / 20	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,2	0,46	2,76
NNE	2,9	1,1	1,2	0,4	5,6
NE	5,2	1,8	0,8	0,69	8,49
ENE	2,7	1,8	0,28	0,002	4,782
E	7	3,4	0,21	0	10,61
ESE	5,8	4,4	0,02	0	10,22
SE	4,9	1,6	0,2	0	6,7
SSE	2,9	1,2	0,25	0,04	4,39
S	1,6	0,6	0,1	0,37	2,67
SSO	2,9	1,6	0,6	0,4	5,5
SO	5	3,2	1,4	0,31	9,91
OSO	2,2	0,8	0,41	0	3,41
O	3,2	0,5	0,07	0	3,77
ONO	1,1	0,4	0,01	0	1,51
NO	1,5	0,8	0,1	0	2,4
NNO	0,9	0,4	0,25	0	1,55
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>6,1</b>	<b>2,67</b>	<b>93,57</b>



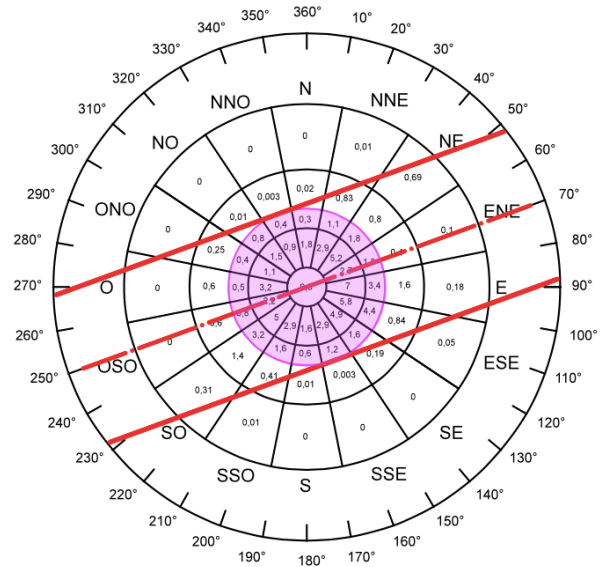
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 6/24

6 / 24	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,06	0	2,16
NNE	2,9	1,1	1,08	0,1	5,18
NE	5,2	1,8	0,8	0,9	8,7
ENE	2,7	1,8	0,4	0,1	5
E	7	3,4	1,6	0,11	12,11
ESE	5,8	4,4	0,51	0	10,71
SE	4,9	1,6	0,01	0	6,51
SSE	2,9	1,2	0,003	0	4,103
S	1,6	0,6	0,03	0	2,23
SSO	2,9	1,6	0,56	0,1	5,16
SO	5	3,2	1,4	0,4	10
OSO	2,2	0,8	0,6	0	3,6
O	3,2	0,5	0,6	0	4,3
ONO	1,1	0,4	0,15	0	1,65
NO	1,5	0,8	0,005	0	2,305
NNO	0,9	0,4	0,003	0	1,303
Calma					9,3
TOTALE	51,6	23,9	7,81	1,71	94,32



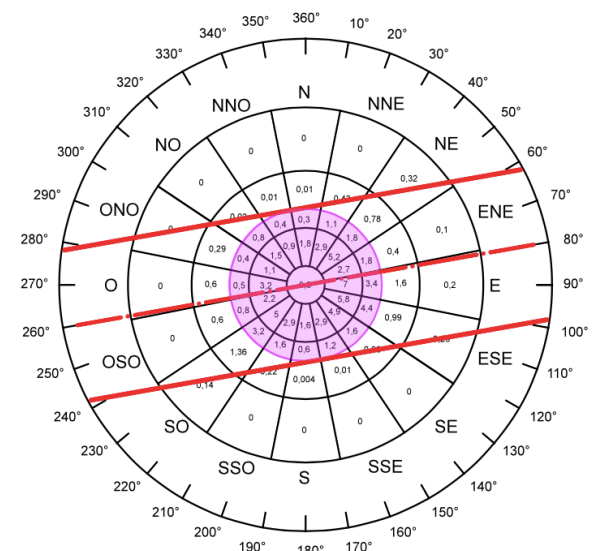
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 7/25

7 / 25	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,02	0	2,12
NNE	2,9	1,1	0,83	0,001	4,831
NE	5,2	1,8	0,8	0,69	8,49
ENE	2,7	1,8	0,4	0,1	5
E	7	3,4	1,6	0,18	12,18
ESE	5,8	4,4	0,84	0,05	11,09
SE	4,9	1,6	0,19	0	6,69
SSE	2,9	1,2	0,003	0	4,103
S	1,6	0,6	0,01	0	2,21
SSO	2,9	1,6	0,41	0,01	4,92
SO	5	3,2	1,4	0,31	9,91
OSO	2,2	0,8	0,6	0	3,6
O	3,2	0,5	0,6	0	4,3
ONO	1,1	0,4	0,25	0	1,75
NO	1,5	0,8	0,01	0	2,31
NNO	0,9	0,4	0,003	0	1,303
Calma					9,3
TOTALE	51,6	23,9	7,97	1,34	94,11



Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 8/26

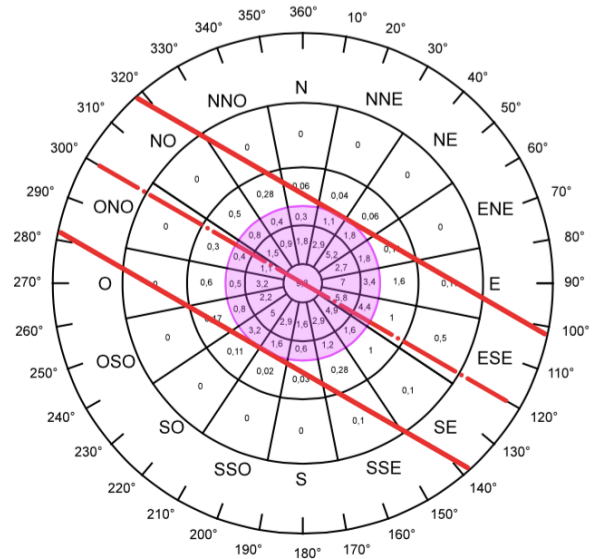
8 / 26	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,01	0	2,11
NNE	2,9	1,1	0,43	0	4,43
NE	5,2	1,8	0,78	0,32	8,1
ENE	2,7	1,8	0,4	0,1	5
E	7	3,4	1,6	0,2	12,2
ESE	5,8	4,4	0,99	0,23	11,42
SE	4,9	1,6	0,36	0	6,86
SSE	2,9	1,2	0,01	0	4,11
S	1,6	0,6	0,004	0	2,204
SSO	2,9	1,6	0,22	0	4,72
SO	5	3,2	1,36	0,14	9,7
OSO	2,2	0,8	0,6	0	3,6
O	3,2	0,5	0,6	0	4,3
ONO	1,1	0,4	0,29	0	1,79
NO	1,5	0,8	0,2	0	2,5
NNO	0,9	0,4	0,01	0	1,31
Calma					9,3
TOTALE	51,6	23,9	7,86	0,99	93,65





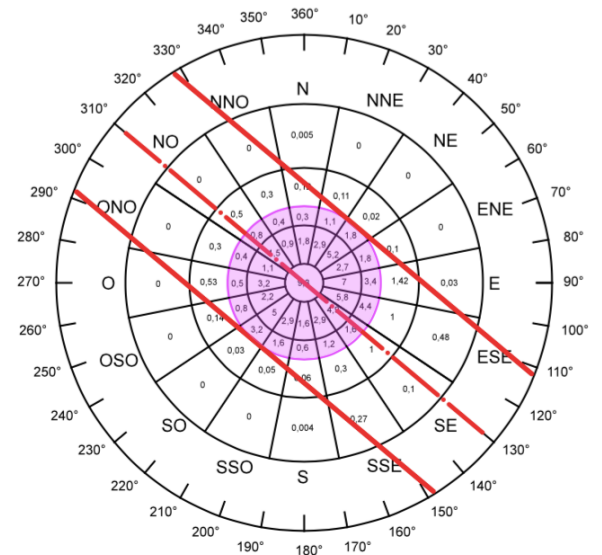
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 12/30

12 / 30	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,06	0	2,16
NNE	2,9	1,1	0,04	0	4,04
NE	5,2	1,8	0,06	0	7,06
ENE	2,7	1,8	0,11	0	4,61
E	7	3,4	1,6	0,11	12,11
ESE	5,8	4,4	1	0,5	11,7
SE	4,9	1,6	1	0,1	7,6
SSE	2,9	1,2	0,28	0,1	4,48
S	1,6	0,6	0,03	0	2,23
SSO	2,9	1,6	0,02	0	4,52
SO	5	3,2	0,11	0	8,31
OSO	2,2	0,8	0,17	0	3,17
O	3,2	0,5	0,6	0	4,3
ONO	1,1	0,4	0,3	0	1,8
NO	1,5	0,8	0,5	0	2,8
NNO	0,9	0,4	0,28	0	1,58
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>6,16</b>	<b>0,81</b>	<b>91,77</b>



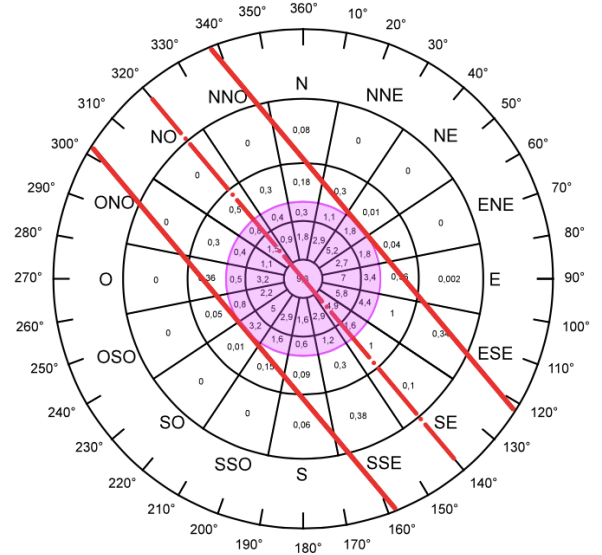
Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 13/31

13 / 31	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,12	0,005	2,225
NNE	2,9	1,1	0,11	0	4,11
NE	5,2	1,8	0,02	0	7,02
ENE	2,7	1,8	0,1	0	4,6
E	7	3,4	0,142	0,03	10,572
ESE	5,8	4,4	1	0,48	11,68
SE	4,9	1,6	1	0,1	7,6
SSE	2,9	1,2	0,3	0,27	4,67
S	1,6	0,6	0,06	0,004	2,264
SSO	2,9	1,6	0,05	0	4,55
SO	5	3,2	0,03	0	8,23
OSO	2,2	0,8	0,14	0	3,14
O	3,2	0,5	0,53	0	4,23
ONO	1,1	0,4	0,3	0	1,8
NO	1,5	0,8	0,5	0	2,8
NNO	0,9	0,4	0,3	0	1,6
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>4,70</b>	<b>0,89</b>	<b>90,39</b>

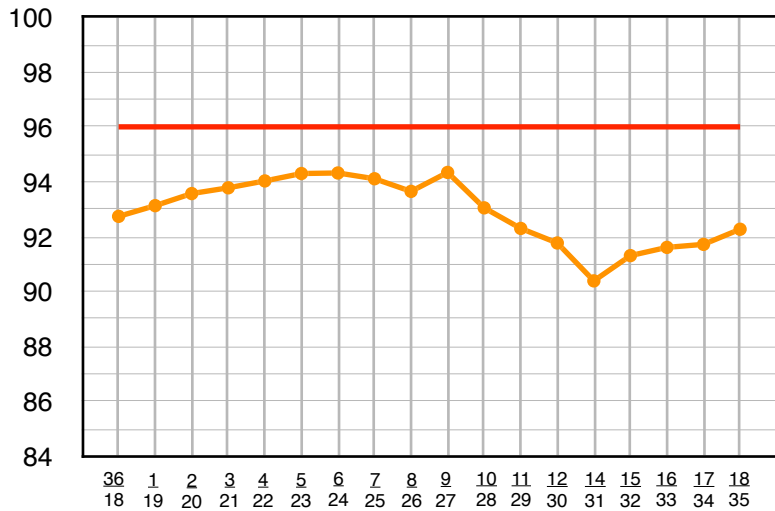


Calcolo della percentuale di utilizzo pista nella direzione 14/32

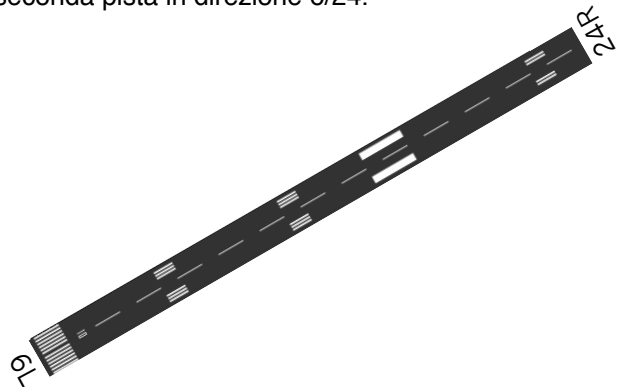
14 / 32	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,18	0,08	2,36
NNE	2,9	1,1	0,3	0	4,3
NE	5,2	1,8	0,01	0	7,01
ENE	2,7	1,8	0,04	0	4,54
E	7	3,4	0,96	0,002	11,362
ESE	5,8	4,4	1	0,34	11,54
SE	4,9	1,6	1	0,1	7,6
SSE	2,9	1,2	0,3	0,38	4,78
S	1,6	0,6	0,09	0,06	2,35
SSO	2,9	1,6	0,15	0	4,65
SO	5	3,2	0,01	0	8,21
OSO	2,2	0,8	0,05	0	3,05
O	3,2	0,5	0,36	0	4,06
ONO	1,1	0,4	0,3	0	1,8
NO	1,5	0,8	0,5	0	2,8
NNO	0,9	0,4	0,3	0	1,6
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>5,55</b>	<b>0,96</b>	<b>91,31</b>



Direzione asse pista	Percentuale di utilizzo [%]
36/18	92,74
1/19	93,13
2/20	93,57
3/21	93,78
4/22	94,03
5/23	94,30
6/24	94,32
7/25	94,11
8/26	93,65
9/27	94,34
10/28	93,05
11/29	92,30
12/30	91,77
13/31	90,39
14/32	91,31
15/33	91,61
16/34	91,72
17/35	92,27

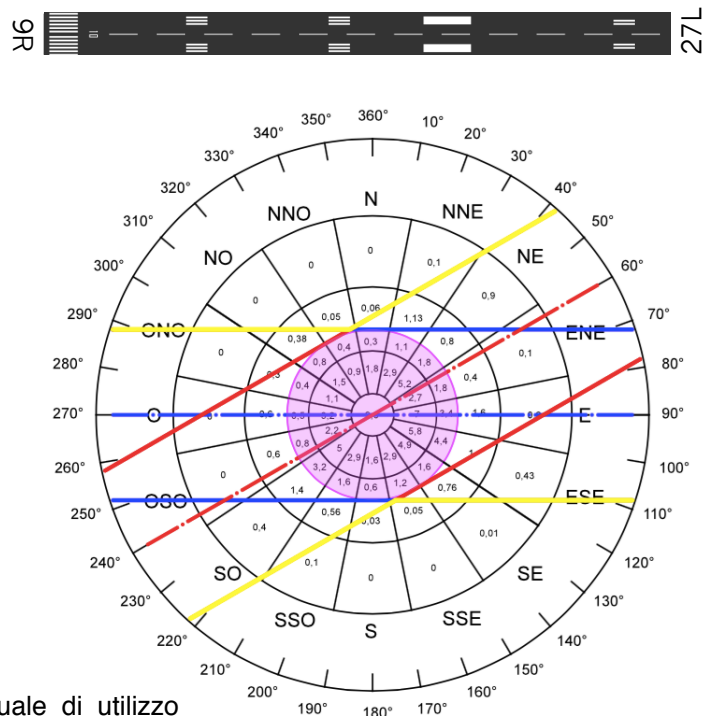


Considerando la direzione 9/27 (in cui risulta maggiore la somma dei valori che ricadono nella fascia) la percentuale di utilizzo risulta essere inferiore del valore di 96% previsto dai vincoli normativi ICAO, quindi dovrà essere costruita una seconda pista in direzione 6/24.



Calcolo della percentuale di utilizzo complessivo con le due piste

TOT	6 ÷ 18 [km/h]	18 ÷ 24 [km/h]	24 ÷ 36 [km/h]	36 ÷ 54 [km/h]	TOTALE
N	1,8	0,3	0,06	0	2,16
NNE	2,9	1,1	1,13	0,1	5,23
NE	5,2	1,8	0,8	0,9	8,7
ENE	2,7	1,8	0,4	0,1	5
E	7	3,4	1,6	0,2	12,2
ESE	5,8	4,4	1	0,43	11,63
SE	4,9	1,6	0,76	0,01	7,27
SSE	2,9	1,2	0,05	0	4,15
S	1,6	0,6	0,03	0	2,23
SSO	2,9	1,6	0,56	0,1	5,16
SO	5	3,2	1,4	0,4	10
OSO	2,2	0,8	0,6	0	3,6
O	3,2	0,5	0,6	0	4,3
ONO	1,1	0,4	0,3	0	1,8
NO	1,5	0,8	0,38	0	2,68
NNO	0,9	0,4	0,05	0	1,35
Calma					9,3
<b>TOTALE</b>	<b>51,6</b>	<b>23,9</b>	<b>9,72</b>	<b>2,24</b>	<b>96,76</b>



Con la costruzione di una seconda pista la percentuale di utilizzo risulta essere del 96,76%, valore superiore del valore previsto dai vincoli normativi ICAO (96%).

$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{2,17}{2}\right)^2 + 7,2^2 = 35^2 \\ (R_i + 2,175)^2 + (7,2 + 2,2)^2 = R_e^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} (R_i + 1,0875)^2 + 51,84 = 1225 \\ R_i^2 + 2,175R_i - 1171,98 = 0 \end{cases}$$

$$R_i = \frac{-2,175 \pm \sqrt{4692,65}}{2} = 33,16$$

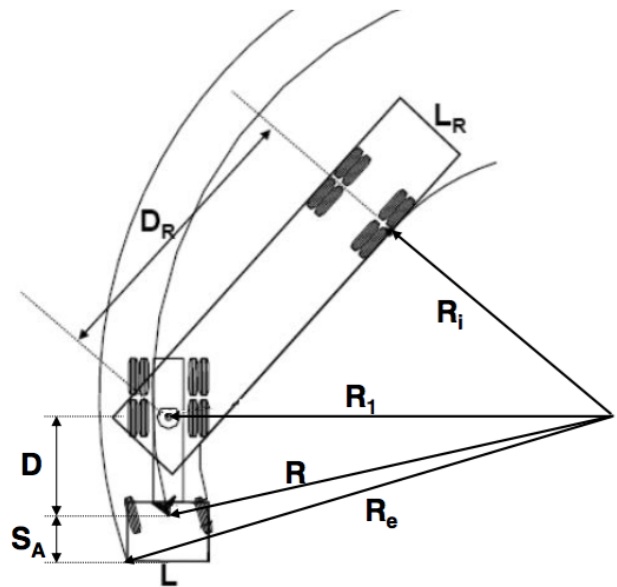
$$\begin{cases} R_i = 33,16 \\ R_e^2 = 1099,58 + 4,731 + 144,25 + 88,36 \rightarrow R_e = 36,56 \end{cases}$$

$$B = R_e - R_i = 36,56 - 33,16 = 3,4 \text{ m}$$

- veicolo a tre assi

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

$$B = R_e - R_i$$



$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{2,5}{2}\right)^2 + 12,22^2 = R_1^2 \\ \left(R_i + \frac{2,5}{2}\right)^2 + (3,33 + 1,53)^2 = R_e^2 \\ 35^2 = R_1^2 + 3,33^2 \end{cases}$$

### **Esercizio 2 – RAGGIO MINIMO FERROVIARIO**

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**

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

$$R_{\min} = \frac{\frac{1040}{2} - 20 \cdot 0,05}{2 \cdot 20 \cdot 0,05} \cdot 1500 = 389,25 \text{ m}$$

$$\Delta \cong \frac{p_1^2}{2R} \rightarrow R = \frac{p_1^2}{2\Delta} = \frac{\left(2150 + \frac{1040}{2}\right)^2}{2 \cdot 20} = 178,22 \text{ m}$$

### **Esercizio 3 – RAGGIO MINIMO FERROVIARIO**

Individuare il raggio minimo di:

- una linea ferroviaria a scartamento ordinario (1435 mm) percorsa da un locomotore E.656 avente diametro delle ruote pari a 1250 mm e passo dei carrelli di 2850 mm;
- una linea a scartamento ridotto (950 mm) percorsa da un elettrotreno ETR 001-118 avente diametro delle ruote pari a 750 mm, passo dei carrelli da 2100 mm e distanza fra i punti di contatto ruota-rotaia sul piano orizzontale di 993 mm.

Sia inoltre  $\Delta$  pari a 20 mm per la linea a scartamento normale e 15 mm per quella a scartamento ridotto.

#### **SVOLGIMENTO**

- linea ferroviaria 1:

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

$$R_{\min} = \frac{\frac{1250}{2} - 20 \cdot 0,05}{2 \cdot 20 \cdot 0,05} \cdot 1500 = 468 \text{ m}$$

$$\Delta \cong \frac{p_1^2}{2R} \rightarrow R = \frac{p_1^2}{2\Delta} = \frac{\left(2850 + \frac{1250}{2}\right)^2}{2 \cdot 20} = 301,89 \text{ m}$$

• sbandamento:

$$\frac{v^2}{R} = g \cdot (f_{a,T} + \tan \alpha) \quad \rightarrow \quad v_{sband} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{a,T} + \tan \alpha)}$$

v [km/h]	f <sub>a,t</sub> (v) [-]	V <sub>sband</sub> [km/h]
40	0,21	155,0
60	0,17	143,5
80	0,13	131,0
100	0,11	124,3
120	0,10	120,8
140	0,09	117,2

• ribaltamento:

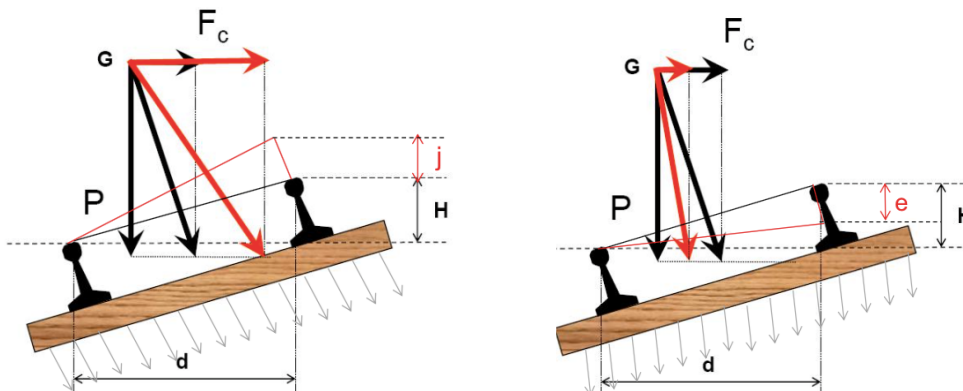
$$\frac{v^2}{R} = g \cdot \left( \frac{s}{h} + \tan \alpha \right)$$

$$v_{ribal} = \sqrt{R \cdot g \cdot \left( \frac{s}{h} + \tan \alpha \right)} = \sqrt{675 \cdot 9,81 \cdot \left( \frac{0,9}{0,5} + 0,07 \right)} \cdot 3,6 = 400,6 \text{ km/h}$$

### **Esercizio 5 – PROGETTO DI CURVE FERROVIARIE**

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

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



## ESERCITAZIONE #5 - SQUADRE RIUNITE - 16 aprile 2015

### Esercizio 1

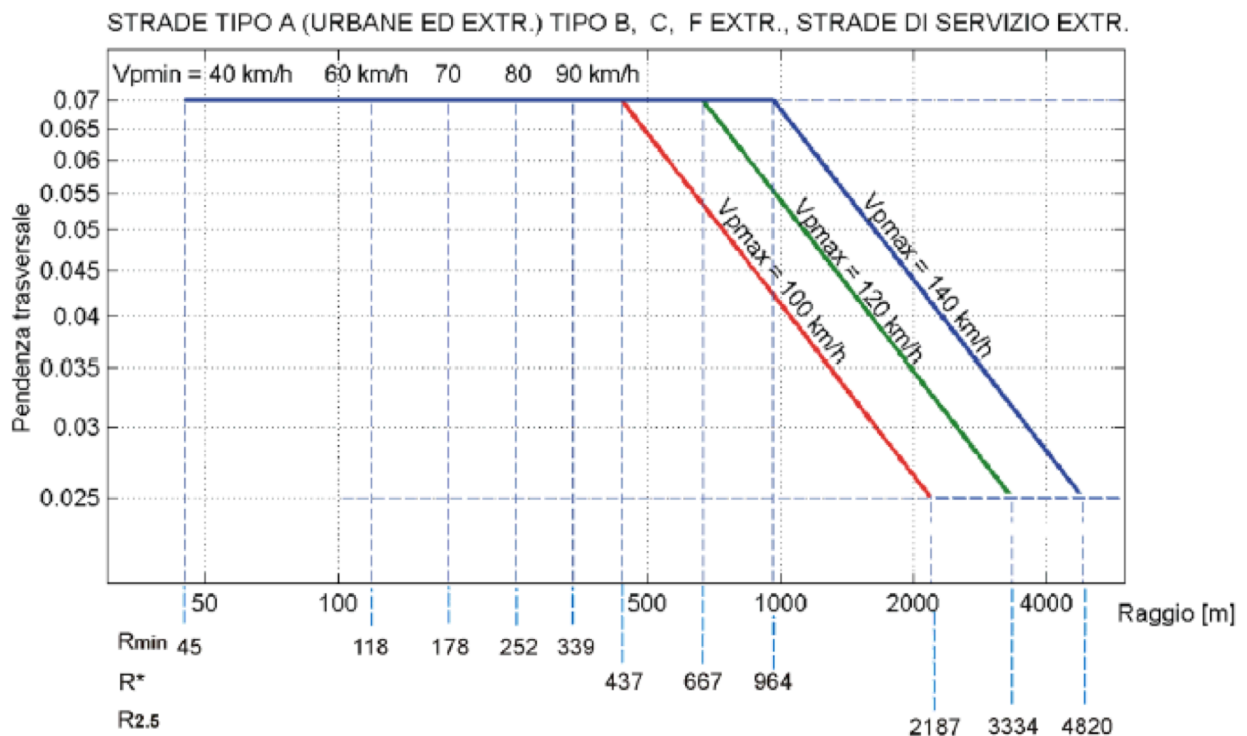
Di un tratto di strada di categoria C2 (intervallo delle velocità di progetto 60-100 km/h), è noto il tracciato planimetrico sintetizzato in **Tabella 1**:

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.

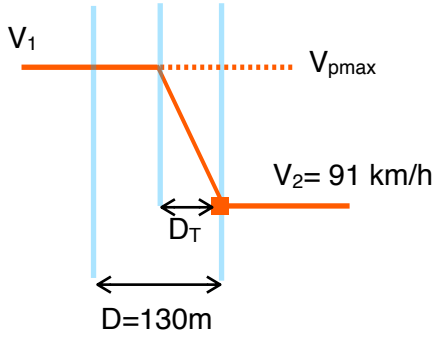


$$D_T = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 \cdot a} \text{ [m]} \quad (a = 0,8)$$

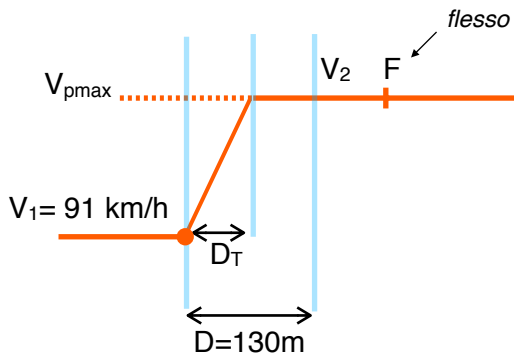
**SIMBOLI NORMATIVA**

-  *inizio accelerazione*
-  *fine decelerazione*

• TRATTO 1-3 = TRATTO 8-10



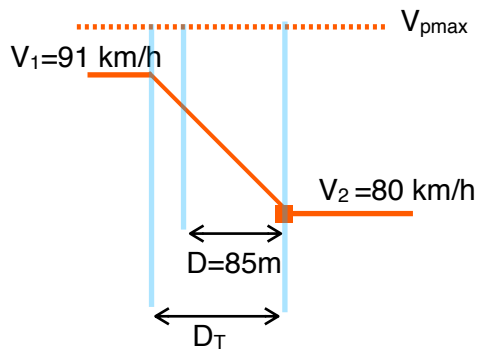
• TRATTO 3-FLESSO



**Dt**

Elemento	D <sub>t</sub> [m]
1-3	82,9
3-Flesso	82,9
Flesso-6	0
6-8	0
8-10	82,9
10-12	90,7

• TRATTO 10-12



## ESERCITAZIONE #5 - SQUADRE SEPARATE - 21 aprile 2015

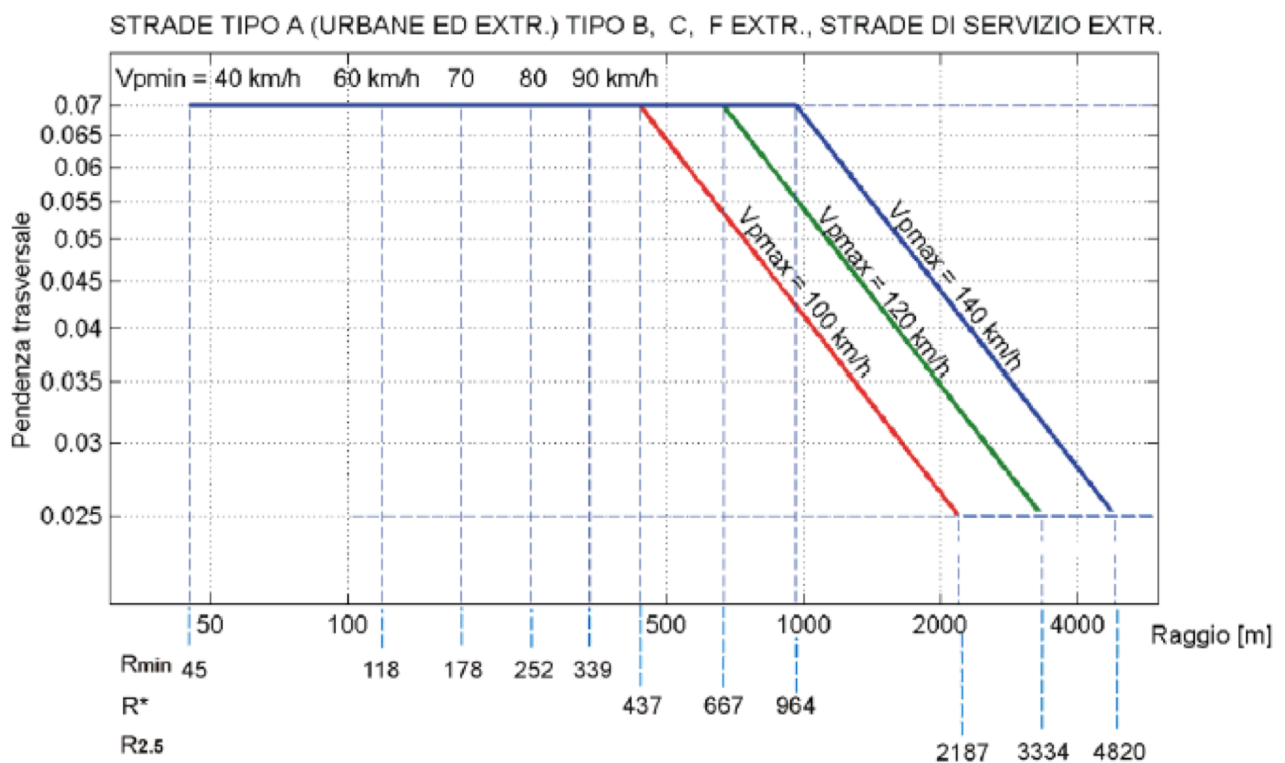
### Esercizio 1

Di un tratto di strada di categoria A (intervallo delle velocità di progetto 90-140 km/h), è noto il tracciato planimetrico sintetizzato in **Tabella 1**.

Elemento	Tipo	R [m]	L [m]	A [m]
1	rettifilo	$\infty$	100	-
2	clotoide	-	247	450
3	cerchio	820	200	-
4	clotoide	-	158	360
5	clotoide	-	194	360
6	cerchio	667	150	-
7	clotoide	-	101	450
8	cerchio	1000	150	-
9	clotoide	-	168	450
10	cerchio	546	100	-

Sapendo che la prima curva è sinistrorsa, 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.



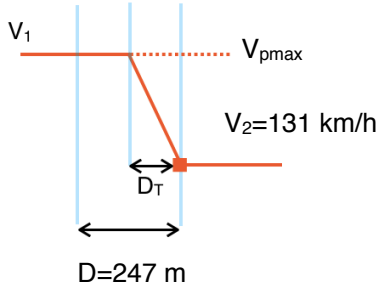


$$D_T = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 \cdot a} \text{ [m]} \quad (a = 0,8)$$

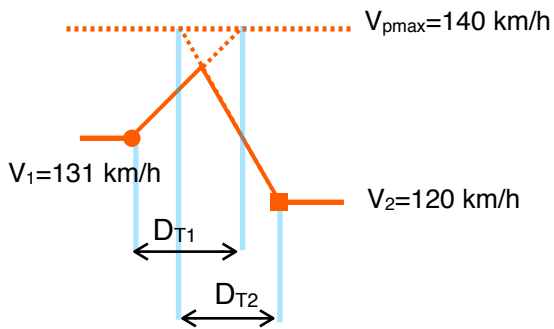
**SIMBOLI NORMATIVA**

-  *inizio accelerazione*
-  *fine decelerazione*

• TRATTO 2-3



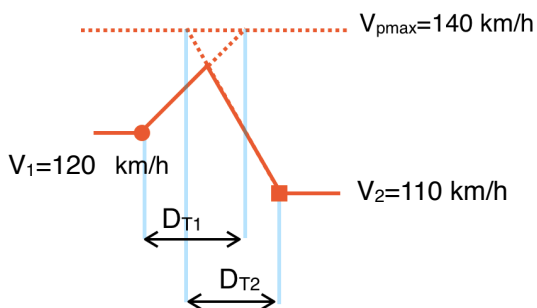
• TRATTO 3-5



**D<sub>t</sub>**

Elemento	D <sub>t</sub> [m]
2-3	117,6
3-4	117,6
4-5	250,8
7-8	250,8
8-10	361,7

• TRATTO 7-10



## Esercizio 2

Studiare il profilo di velocità della strada extraurbana a una carreggiata di cui è noto l'andamento della curvatura, avendo noti:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R^*}, \quad \frac{1}{R_2} < \frac{1}{R^*}, \quad \frac{1}{R_3} > \frac{1}{R^*}$$

Per una  $V_{p,max}$  di 100 km/h, sono richiesti inoltre:

- il valore di  $R^*$  secondo le prescrizioni della norma tecnica vigente;

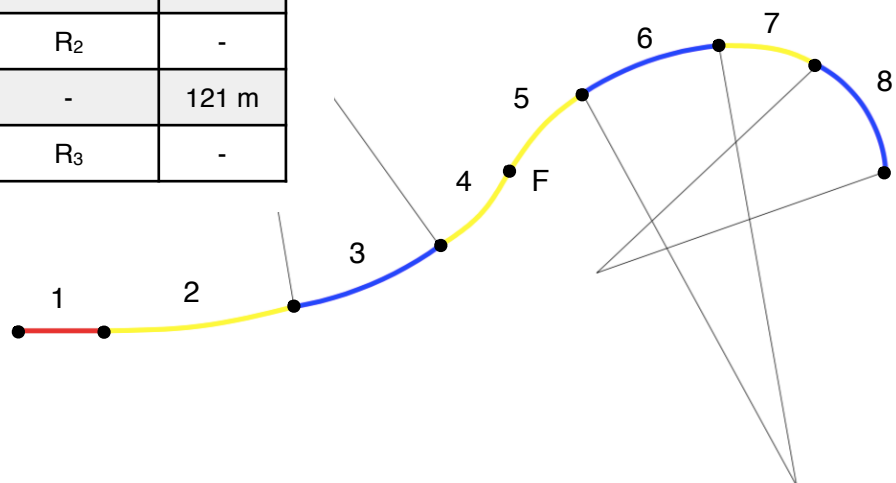
avendo noti:

- $L_{C3} = 121$  m
- $R_2 = R^* + 100$  m
- $R_3 = R^* - 50$  m

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. 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 trasv. 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

ELEMENTO	TIPO	R [m]	L [m]
1	rettilineo	$\infty$	-
2	clotoide	-	-
3	cerchio	$R_1$	-
4	clotoide	-	-
5	clotoide	-	-
6	cerchio	$R_2$	-
7	clotoide	-	121 m
8	cerchio	$R_3$	-

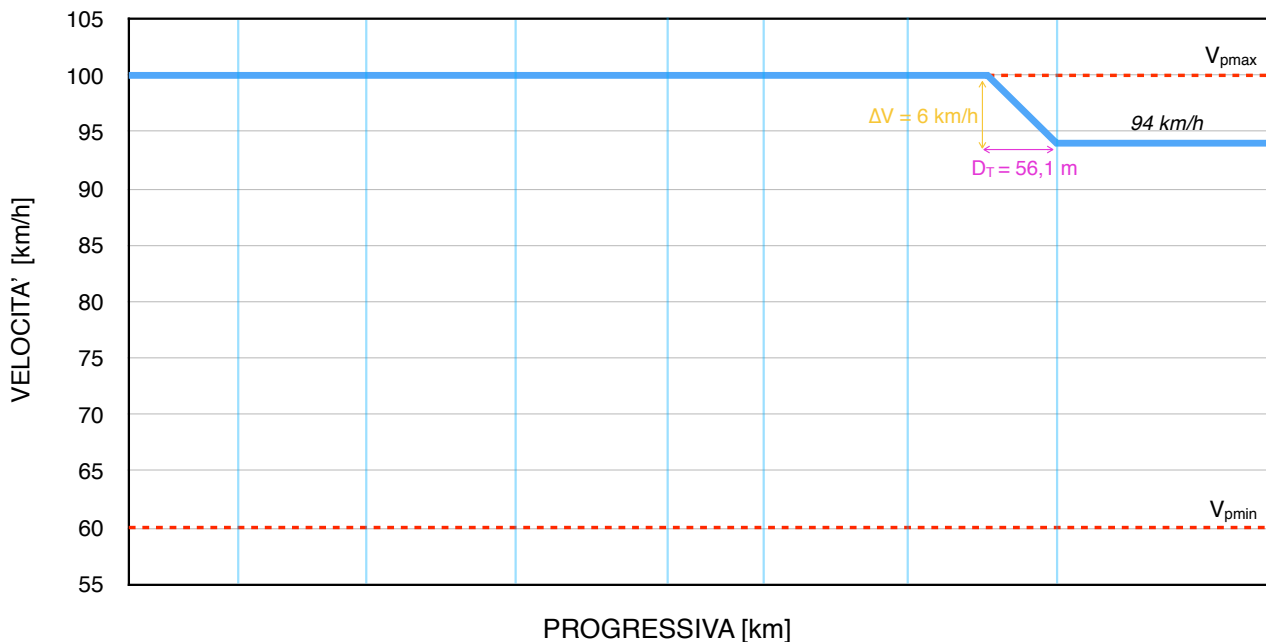
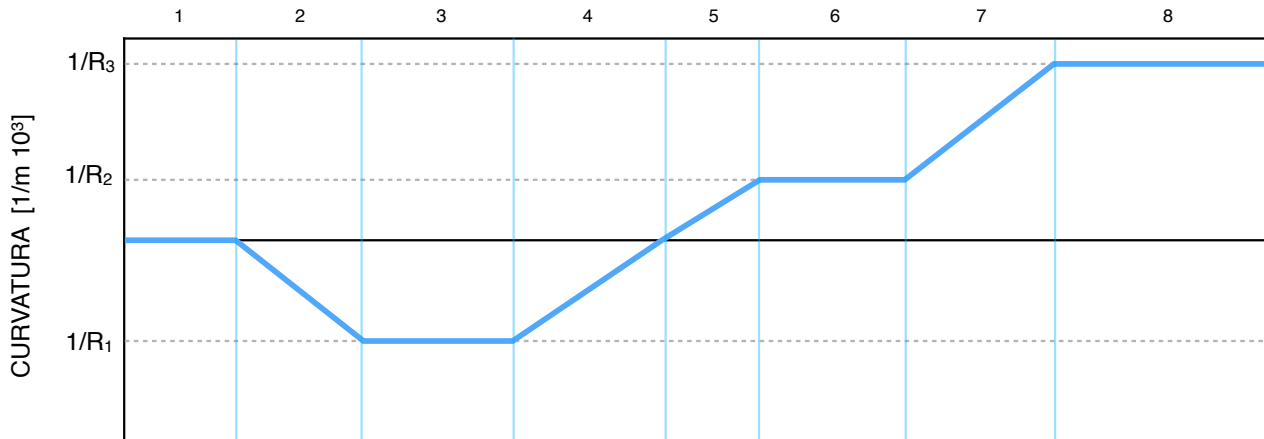
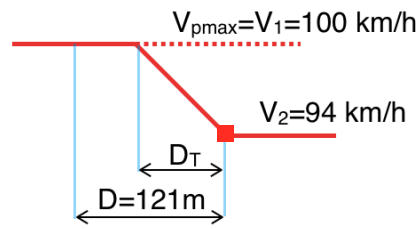


( andamento qualitativo del tracciato )

• TRATTO 7-8

$$D_T = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 \cdot a} \text{ [m]}$$

$$D_T = \frac{\left(\frac{94}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{100}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,8} = 56,1 \text{ m}$$



VERIFICA:

Per le strade di categoria A, B, C e F<sub>ext</sub> ( $V_{pmax} \geq 100 \text{ km/h}$ ):

$$V_{pmax} - V_c \leq 10 \text{ km/h}$$

$$V_c - V_{c''} \leq 20 \text{ km/h (è consigliabile che non superi i 15 km/h)}$$

Tratto	$V_c$ [km/h]	$V_{c''}$ [km/h]	$\Delta V$	VERIFICA
7-8	100	94	6	$\leq 10$ OK

$$R^* = f(V_{\max}, \tan \alpha_{\max}, f_{t \max})$$

$$\frac{v_{\max}^2}{R^*} = g(\tan \alpha_{\max} + f_{t \max})$$

CASO STRADA DI CATEGORIA A – ext :

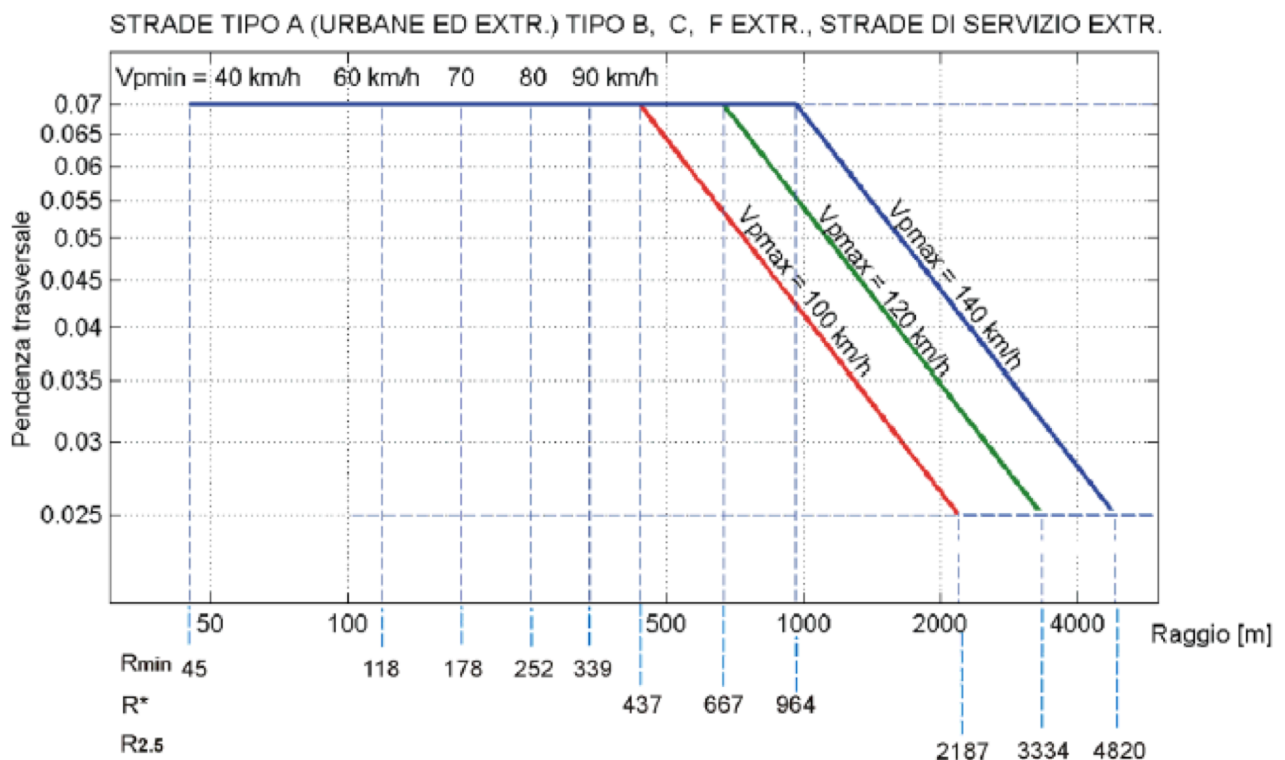
$$R^* = \frac{\left(\frac{V_{\max}}{3,6}\right)^2}{g(\tan \alpha_{\max} + f_{t \max})} = \frac{\left(\frac{140}{3,6}\right)^2}{9,81 \cdot (0,07 + 0,09)} = 964 \text{ m}$$

CASO STRADA DI CATEGORIA B :

$$R^* = \frac{\left(\frac{V_{\max}}{3,6}\right)^2}{g(\tan \alpha_{\max} + f_{t \max})} = \frac{\left(\frac{120}{3,6}\right)^2}{9,81 \cdot (0,07 + 0,10)} = 667 \text{ m}$$

### Curvature

Elemento	1/R [1/m 10 <sup>3</sup> ]
1	1/R <sub>1</sub>
3	1/R <sub>3</sub>
5	1/R <sub>5</sub>



# ESERCITAZIONE #6 - SQUADRE RIUNITE - 23 aprile 2015

## Esercizio 1

Sia data una strada di categoria C2 (60 - 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.

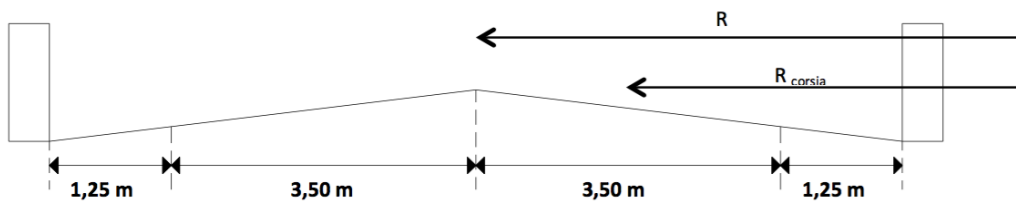
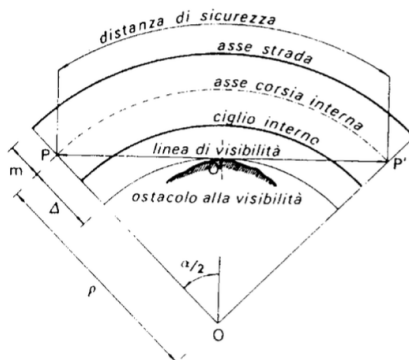
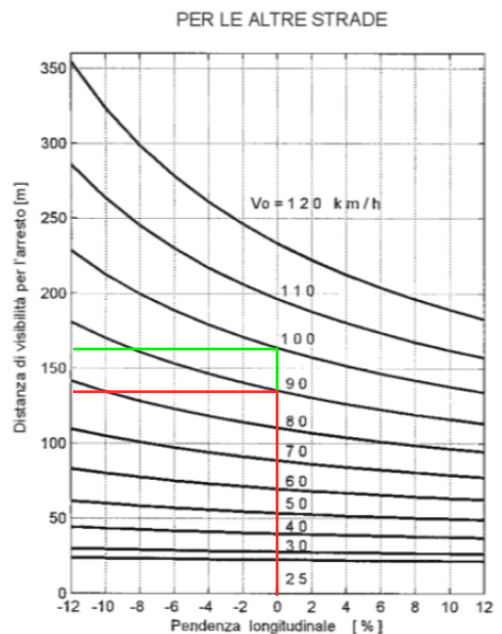


Figura 1: Sezione stradale

V (km/h)	Coefficiente equivalente $f_e$	
	Autostrade	Altre strade
30	-	0.51
40	-	0.48
50	-	0.46
60	-	0.43
70	-	0.4
0	0.51	0.38
90	0.49	0.36
100	0.47	0.35
110	0.46	0.33
120	0.45	0.31
130	0.44	-
140	0.43	-

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


$$\Delta = R \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$R \geq \frac{d}{2 \cdot \arccos \left( 1 - \frac{\Delta}{R} \right)}$$

e) Calcolo del raggio planimetrico di tracciamento:

$$R = R_{\text{corsia}} + \frac{c}{2} = 772 \text{ m}$$

f) Verifica di congruità sulla scelta della velocità iniziale:

dal momento che la velocità iniziale è stata ipotizzata, è necessario verificare che la velocità di percorrenza ipotizzata coincida con quella di una curva avente raggio pari a quello determinato: se l'ipotesi si rilevasse corretta, il raggio planimetrico che permetterebbe di soddisfare il requisito di visibilità è quello determinato al punto 5, altrimenti sarebbe indispensabile ricalcolare la distanza di arresto con la nuova velocità e ripetere il procedimento (a-e)

$$R > R^* \longrightarrow V = V_{\text{max}} \quad \text{verifica non soddisfatta, riparto dal punto a}$$

a) Si suppone una velocità con cui iniziare l'analisi:  $V_{\text{percorrenza}} = 100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ [m/s]}$

b) Nota la velocità di percorrenza del tratto circolare, è possibile calcolare la distanza di arresto da garantire utilizzando la formulazione analitica ( $f_e$ ) oppure l'abaco presente nella Norma Tecnica

$$d_a = d_{PR} + d_f = v \cdot t_{PR} + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]} = v \cdot (2,8 - 0,01 \cdot V) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]}$$

<b>g</b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b>f<sub>e</sub></b> [-]	<b>i</b> [-]	<b>d<sub>a</sub></b> [m]
9,81	0,35	0	162

d) Calcolo del raggio della corsia interna:

si applica, iterativamente, la formula analitica determinando il valore di  $R_{\text{corsia}}$  di primo tentativo in funzione della  $V$  ipotizzata al punto a). (Posso arrestare il processo iterativo quando si ottengono due valori di raggio successivi che differiscono per meno di un metro)

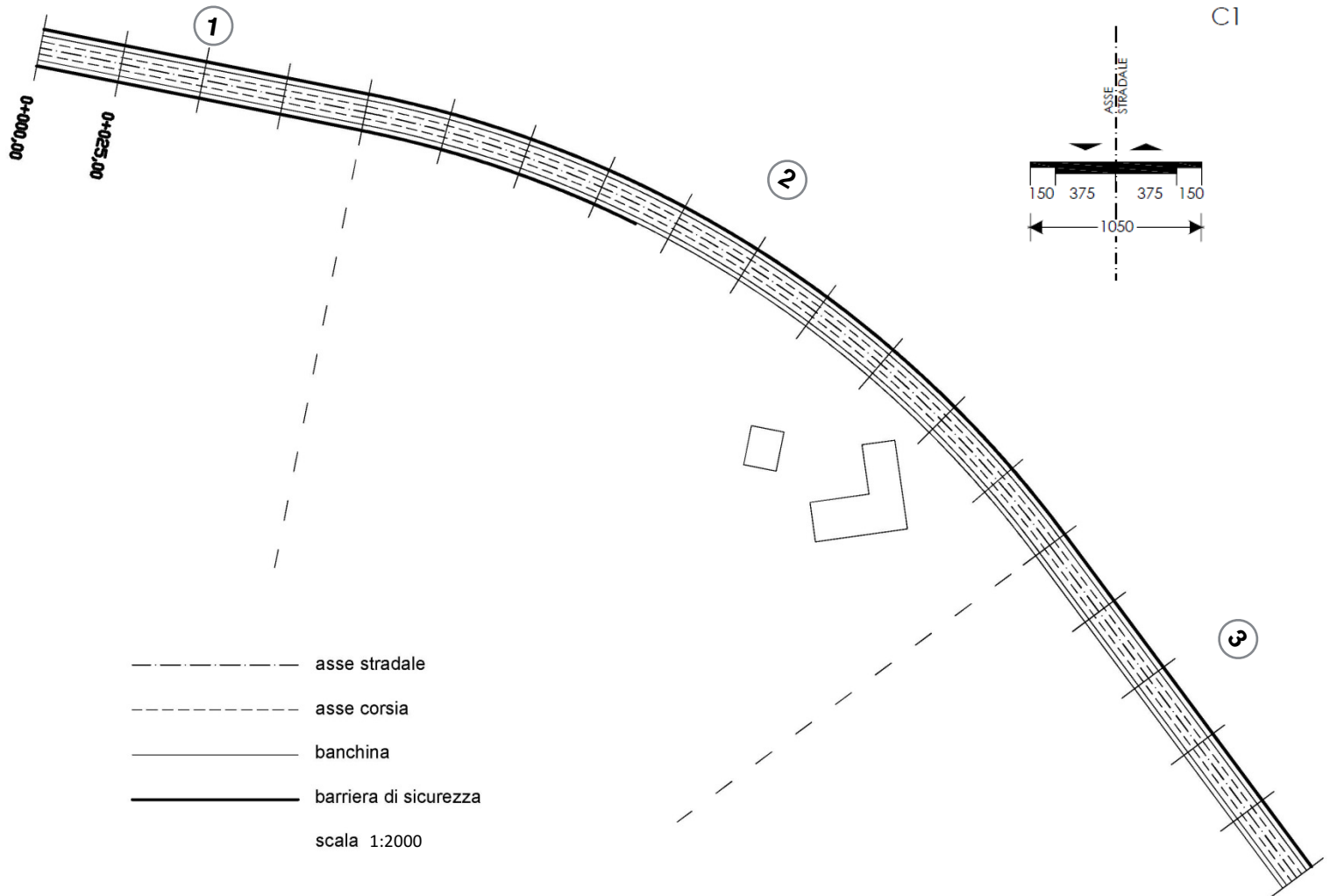
$$R_{\text{corsia}} \geq \frac{d}{2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{\Delta}{R_{\text{corsia}}}\right)}$$

<b>R<sub>i</sub></b> [m]	<b>R<sub>i+1</sub></b> [m]	<b>Scarto</b>
770	920	149,6
920	1005	85,4
1005	1051	45,7
1051	1074	23,6
1074	1086	12,0
1086	1092	6,1
1092	1095	3,0
1095	1097	1,5
1097	1098	0,8
1098	1098	0,4
1098	1098	0,2

## Esercizio 2

Sia data la porzione di strada di categoria C1 (60 100 km/h) di **Figura 2**.

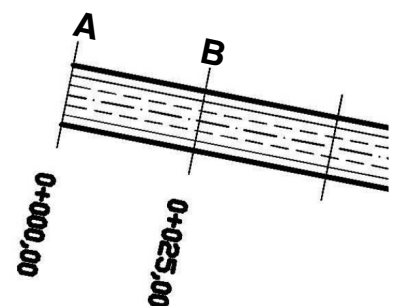
Supponendo un'altezza della barriera di sicurezza pari a 75 cm e di 10 m per i caseggiati, si rappresenti il diagramma di visibilità disponibile e quello necessario ai fini dell'arresto e del sorpasso (si supponga una pendenza longitudinale nulla). Si conduca la verifica solo in una direzione e per la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



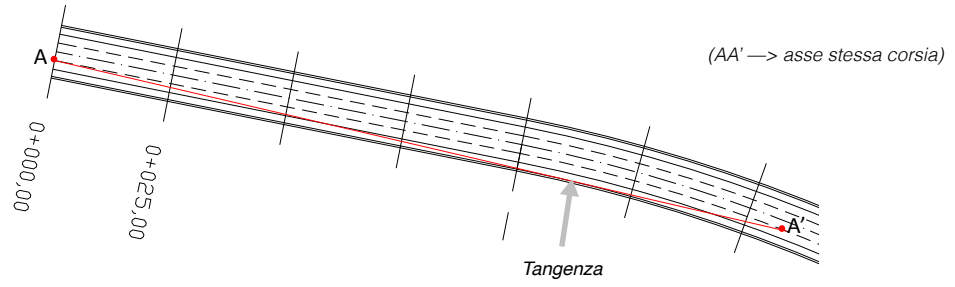
## SVOLGIMENTO

ELEMENTO	TIPO	R [m]	L [m]
1	rettifilo	$\infty$	100
2	curva	340	250
3	rettifilo	$\infty$	125

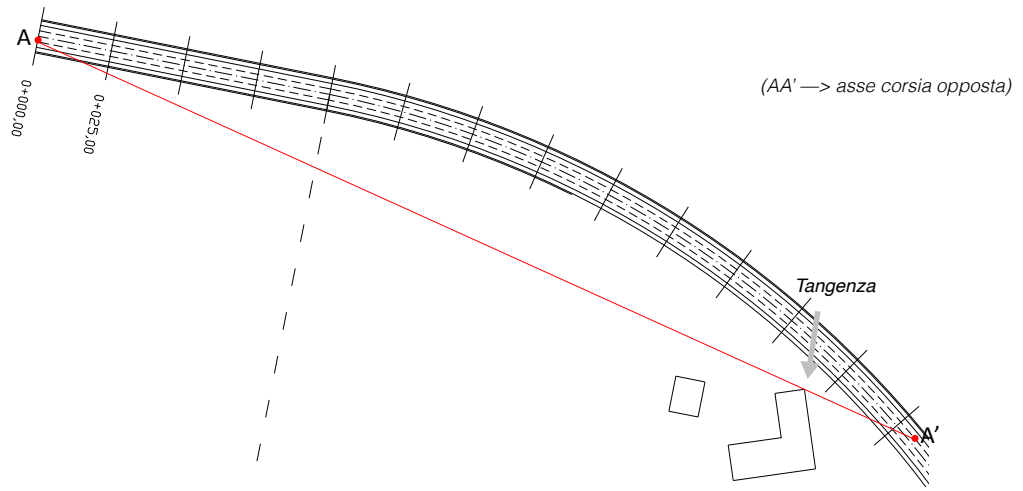
Passo di sezionamento: 25 m



Determinare graficamente le distanze disponibili per l'arresto



Determinare graficamente le distanze disponibili per il sorpasso



Tratto 1



Tratto 2

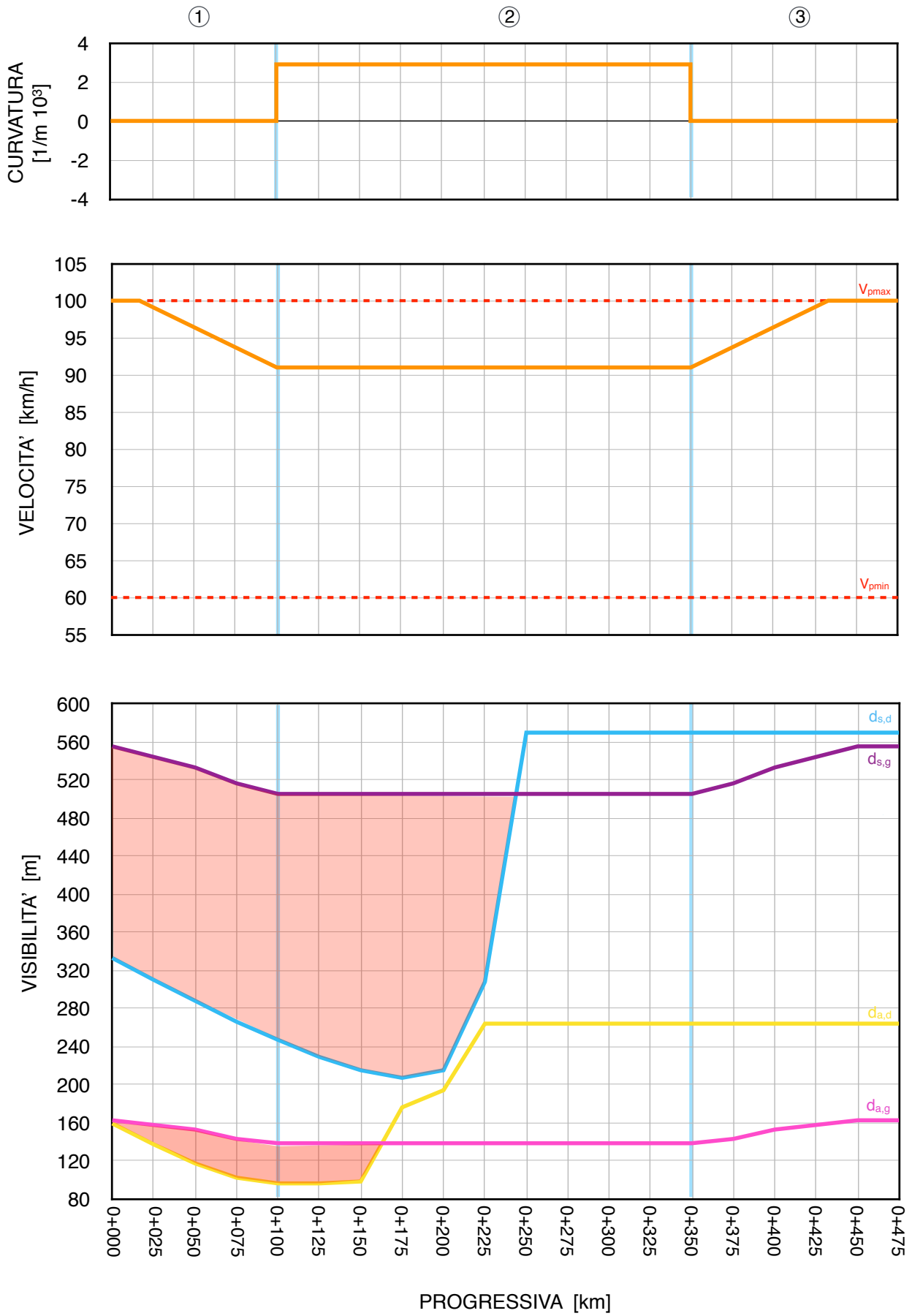


Tratto 3



Progressiva	Velocità [km/h]	Velocità [m/s]	$d_{a,g}$ [m]	$d_{s,g}$ [m]	$d_{a,d}$ [m]	$d_{s,d}$ [m]
0	100	27,8	162,4	555,6	159	333
25	98	27,2	157,5	544,4	137	310
50	96	26,7	152,6	533,3	117	288
75	93	25,8	142,8	516,7	102	266
100	91	25,3	138,2	505,6	96	247
125	91	25,3	138,2	505,6	96	229
150	91	25,3	138,2	505,6	98	215
175	91	25,3	138,2	505,6	176	207
200	91	25,3	138,2	505,6	194	215
225	91	25,3	138,2	505,6	264	308
250	91	25,3	138,2	505,6	264	570
275	91	25,3	138,2	505,6	264	570
300	91	25,3	138,2	505,6	264	570
325	91	25,3	138,2	505,6	264	570
350	91	25,3	138,2	505,6	264	570
375	93	25,8	142,8	516,7	264	570
400	96	26,7	152,6	533,3	264	570
425	98	27,2	157,5	544,4	264	570
450	100	27,8	162,4	555,6	264	570
475	100	27,8	162,4	555,6	264	570





**N.B.** Le aree in rosso indicano le zone di tracciato ove i requisiti di visibilità non sono rispettati.

**TABELLA 1 – Coefficiente di aderenza equivalente**

Tipo di strada	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Autostrade	-	-	-	-	-	0,51	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43
Altre strade	0,51	0,48	0,46	0,43	0,40	0,38	0,36	0,35	0,33	0,31	-	-

$$f_e(29,1) = 0,51$$

$$d_{a,g} = v \cdot (2,8 - 0,001 \cdot V) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]}$$

$$= 8,1(2,8 - 0,001 \cdot 29,1) + \frac{8,1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot [0,51 + 0,08]} = m$$

$$\Delta \geq R \cdot \left(1 - \cos \frac{D}{2R}\right)$$

$$\Delta_{\min} = 25 \cdot \left(1 - \cos \frac{28,1}{50}\right) = 3,75 \text{ m}$$

$$L_{b,dx,\min} = \Delta - \frac{c}{2} = 3,75 - 2 = 1,75 \text{ m}$$

## Esercizio 2

Di una autostrada extraurbana esistente (Figura 1) sono note le seguenti caratteristiche geometriche della sezione trasversale lungo un tratto piano:

- $M = 250 \text{ cm}$
- $B_{sx} = 70 \text{ cm}$
- $C = 375 \text{ cm}$
- $B_{dx} = 250 \text{ cm}$

Dovendo garantire le condizioni di sicurezza minime per la circolazione secondo le vigenti norme tecniche (al riguardo si ricorda che  $R^* = 964 \text{ m}$ ) e considerando la sola carreggiata indicata in Figura 1, si chiede di determinare il limite di velocità da imporre lungo le curve di notevole sviluppo i cui valori del raggio di tracciamento sono pari a  $R_1 = +1100$  e  $R_2 = -1000 \text{ m}$ .

In alternativa, volendo conservare la massima velocità di progetto delle curve, si chiede di determinare gli allargamenti delle due banchine ( $A_{sx}$  per la banchina  $B_{sx}$ , e  $A_{dx}$  per la banchina  $B_{dx}$ ).

