



**Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino**

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

**NUMERO: 993**

**DATA: 27/06/2014**

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

**STUDENTE: La Gamba**

**MATERIA: Infrastrutture Viarie**

**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.**



**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE  
INFRASTRUTTURE VIARIE - 02BHVMC**

**3° ANNO 2° P.D.  
A.A. 2013-2014**

**QUADERNO DELLE ESERCITAZIONI**

**Correzioni: [dlg.7@hotmail.it](mailto:dlg.7@hotmail.it)**

## 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

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{V_{\max}} + \frac{KJ V_{\max}}{2a} + T_r} = \frac{3600}{\frac{318\text{m}}{\left(\frac{180}{3,6}\right)\text{m}} + \frac{2 * 3 * \frac{\left(\frac{180}{3,6}\right)\text{m}}{\text{s}}}{\frac{2\text{m}}{\text{s}^2}} + 2\text{s}} \cong 23 \text{ convogli/ora}$$

$$C_{\text{con staz.}} = \frac{3600}{\frac{L}{V_{\max}} + \frac{KJ V_{\max}}{2a} + T_r + T_s} = \frac{3600}{\frac{318\text{m}}{\left(\frac{180}{3,6}\right)\text{m}} + \frac{2 * 3 * \frac{\left(\frac{180}{3,6}\right)\text{m}}{\text{s}}}{\frac{2\text{m}}{\text{s}^2}} + 2\text{s} + 180\text{s}} \cong 11 \text{ convogli/ora}$$

## Esercizio 3 – AEROPORTI

Un aeroporto è dotato di due piste tra loro parallele e con la medesima lunghezza, che lavorano contemporaneamente l'una per gli arrivi e l'altra per gli atterraggi. La pista interessata dagli atterraggi è soggetta alla seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità:

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

La stessa pista opera con una lunghezza del sentiero di avvicinamento di 10 km, e una distanza minima di separazione tra i velivoli lungo il sentiero pari di 5 km.

Si chiede di valutare il numero di ore, dalla prima ora di operatività, in cui lo scalo raggiungerebbe la saturazione del piazzale nell'ipotesi in cui:

- la pista di atterraggio sia interessata da un flusso nella prima ora pari al 60% della capacità, e nelle ore seguenti pari al 40% della capacità;
  - il piazzale, inizialmente vuoto, sia in grado di accogliere non più di 30 velivoli;
- la pista di decollo operi con 15 decolli all'ora a partire dalla 3<sup>a</sup> ora di operatività dell'aeroporto.

### SVOLGIMENTO

## Infrastrutture Viarie

### A.A. 2013/14

### ESERCITAZIONE #1 - 18 marzo 2014

### Squadre Separate – Lavoro in aula

#### Esercizio 1 – FERROVIE (in aula)

Calcolare la potenzialità e la velocità ideale dei convogli di una linea ferroviaria con sistema a blocco automatico nell'ipotesi di:

- linea con esercizio omotachico;
- convoglio tipo composto da 14 unità (11 vagoni, 1 locomotore);
- lunghezza di ogni singolo vagone 22 m, lunghezza del locomotore 10 m;
- tempo di percezione e reazione  $t_R$  pari a 3 s;
- decelerazione in caso di arresto pari a  $1 \text{ m/s}^2$ ;
- fattore di sicurezza  $k$  pari a 2;
- due sezioni di blocco;
- assenza di stazioni in linea.

Valutare, inoltre, la capacità qualora la linea sia gestita con convogli aventi una velocità massima in esercizio pari a 120 e 200 km/h. Valutare, infine, la capacità della linea, nelle medesime condizioni sopraesposte, ipotizzando la presenza di stazioni in linea che richiedono un tempo di sosta pari a 120 secondi.

#### SVOLGIMENTO

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2KJL}{a}} + t_R} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 * 2 * 2 * 252m}{\frac{1m}{s}}} + 3s} = 75,17 \cong 75 \frac{\text{convogli}}{\text{ora}}$$

$$V_{ideale} = \sqrt{\frac{2aL}{KJ}} = \sqrt{\frac{2 * 1 \frac{m}{s} * 252m}{2 * 2}} = 11,22 \frac{m}{s} * 3,6 = 40,41 \frac{km}{h}$$

→ Vediamo ora la capacità della linea con velocità massima dei convogli uguale a 120 e 200  $\frac{km}{h}$

$$C_{V_{120}} = \frac{3600}{\frac{L}{V_{max}} + \frac{KJV_{max}}{2a} + t_R + t_S} = \frac{3600}{\frac{252m}{\frac{120}{3,6} \text{ m/s}} + \frac{2 * 2 * \frac{120}{3,6} \text{ m/s}}{2 * 1 \text{ m/s}} + 3s} = 46 \frac{\text{convogli}}{\text{ora}}$$

$$C_{V_{200}} = \frac{3600}{\frac{L}{V_{max}} + \frac{KJV_{max}}{2a} + t_R + t_S} = \frac{3600}{\frac{252m}{\frac{200}{3,6} \text{ m/s}} + \frac{2 * 2 * \frac{200}{3,6} \text{ m/s}}{2 * 1 \text{ m/s}} + 3s} = 30,34 \cong 30 \frac{\text{convogli}}{\text{ora}}$$

**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**

$$t_{11} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{5,5 \text{ km}}{280 \text{ km/h}} * 3600 = 70,71 \text{ s}$$

$$t_{12} = \frac{\delta}{v_2} + \gamma \left( \frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) = \frac{5,5 \text{ km}}{245 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 8,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{245 \text{ km/h}} - \frac{1}{280 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 96,43 \text{ s}$$

$$t_{13} = \frac{\delta}{v_3} + \gamma \left( \frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_1} \right) = \frac{5,5 \text{ km}}{190 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 8,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{190 \text{ km/h}} - \frac{1}{280 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 156 \text{ s}$$

$$t_{14} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left( \frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_1} \right) = \frac{5,5 \text{ km}}{140 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 8,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{140 \text{ km/h}} - \frac{1}{280 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 250,71 \text{ s}$$

$$t_{21} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{5,5 \text{ km}}{280 \text{ km/h}} * 3600 = 70,71 \text{ s}$$

$$t_{22} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{5,5 \text{ km}}{245 \text{ km/h}} * 3600 = 80,8 \text{ s}$$

$$t_{23} = \frac{\delta}{v_3} + \gamma \left( \frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{5,5 \text{ km}}{190 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 8,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{190 \text{ km/h}} - \frac{1}{245 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 140,36 \text{ s}$$

$$t_{24} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left( \frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{5,5 \text{ km}}{140 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 8,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{140 \text{ km/h}} - \frac{1}{245 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 235,1 \text{ s}$$

$$t_{31} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{5,5 \text{ km}}{280 \text{ km/h}} * 3600 = 70,71 \text{ s}$$

$$t_{32} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{5,5 \text{ km}}{245 \text{ km/h}} * 3600 = 80,8 \text{ s}$$

$$t_{33} = \frac{\delta}{v_3} = \frac{5,5 \text{ km}}{190 \text{ km/h}} * 3600 = 104,2 \text{ s}$$

$$t_{34} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left( \frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_3} \right) = \frac{5,5 \text{ km}}{140 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 8,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{140 \text{ km/h}} - \frac{1}{190 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 198,9 \text{ s}$$

$$t_{41} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{5,5 \text{ km}}{280 \text{ km/h}} * 3600 = 70,71 \text{ s}$$

$$t_{42} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{5,5 \text{ km}}{245 \text{ km/h}} * 3600 = 80,8 \text{ s}$$

$$t_{43} = \frac{\delta}{v_3} = \frac{5,5 \text{ km}}{190 \text{ km/h}} * 3600 = 104,2 \text{ s}$$

$$t_{44} = \frac{\delta}{v_4} = \frac{5,5 \text{ km}}{140 \text{ km/h}} * 3600 = 141,4 \text{ s}$$

$$t_{31} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{7,5 \text{ km}}{300 \text{ km/h}} * 3600 = 90 \text{ s}$$

$$t_{32} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{7,5 \text{ km}}{220 \text{ km/h}} * 3600 = 122,7 \text{ s}$$

$$t_{33} = \frac{\delta}{v_3} = \frac{7,5 \text{ km}}{170 \text{ km/h}} * 3600 = 158,8 \text{ s}$$

$$t_{34} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left( \frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_3} \right) = \frac{7,5 \text{ km}}{130 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 11,5 \text{ km} * \left( \frac{1}{130 \text{ km/h}} - \frac{1}{170 \text{ km/h}} \right) * 3600 = 282,6 \text{ s}$$

$$t_{41} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{7,5 \text{ km}}{300 \text{ km/h}} * 3600 = 90 \text{ s}$$

$$t_{42} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{7,5 \text{ km}}{220 \text{ km/h}} * 3600 = 122,7 \text{ s}$$

$$t_{43} = \frac{\delta}{v_3} = \frac{7,5 \text{ km}}{170 \text{ km/h}} * 3600 = 158,8 \text{ s}$$

$$t_{44} = \frac{\delta}{v_4} = \frac{7,5 \text{ km}}{130 \text{ km/h}} * 3600 = 207,7 \text{ s}$$

→ ho ricavato la matrice dei tempi minimi (dati in secondi)

<b>120</b>	<b>172,9</b>	<b>264,4</b>	<b>388,2</b>
<b>95</b>	<b>122,7</b>	<b>214,2</b>	<b>338</b>
<b>90</b>	<b>122,7</b>	<b>158,8</b>	<b>282,6</b>
<b>90</b>	<b>122,7</b>	<b>158,8</b>	<b>207,7</b>

→ ora trovo il  $\bar{T}_{min}$  facendo la media pesata dei tempi trovati

$$\bar{T}_{min} = \sum_{i,j=1}^4 P_i * P_j * T_{ij} = 180,4 \text{ s}$$

$$C = \frac{3600}{\bar{T}_{min}} = \frac{3600}{180,4 \text{ s}} = 19 \text{ aeromobili/ora}$$



L = larghezza effettiva del marciapiede (m)

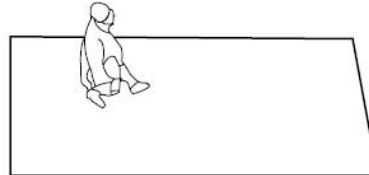
LOS	Space (ft <sup>2</sup> /p)	Flow Rate (p/min/ft)	Speed (ft/s)	v/c Ratio
A	>60	≤5	>4.25	≤0.21
B	>40-60	>5-7	>4.17-4.25	>0.21-0.31
C	>24-40	>7-10	>4.00-4.17	>0.31-0.44
D	>15-24	>10-15	>3.75-4.00	>0.44-0.65
E	>8-15	>15-23	>2.50-3.75	>0.65-1.0
F	≤8	variable	≤2.50	variable

Note: 1 ft<sup>2</sup>/p = 0.09 m<sup>2</sup>/p; 1 p/min/ft = 3.3 p/min/m; 1ft/s = 0.3 m/s

**LOS A**

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

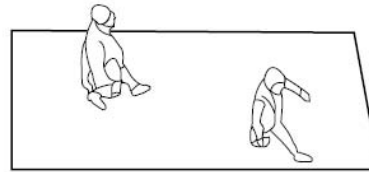
At a walkway **LOS A**, pedestrians move in desired paths without altering their movements in response to other pedestrians. Walking speeds are freely selected, and conflicts between pedestrians are unlikely.



**LOS B**

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

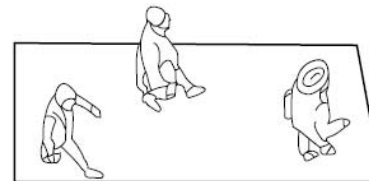
At **LOS B**, there is sufficient area for pedestrians to select walking speeds freely, to bypass other pedestrians, and to avoid crossing conflicts. At this level, pedestrians begin to be aware of other pedestrians, and to respond to their presence when selecting a walking path.



**LOS C**

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

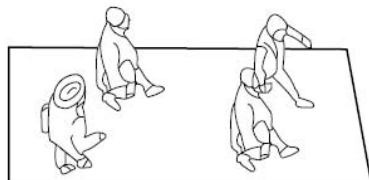
At **LOS C**, space is sufficient for normal walking speeds, and for bypassing other pedestrians in primarily unidirectional streams. Reverse-direction or crossing movements can cause minor conflicts, and speeds and flow rate are somewhat lower.



**LOS D**

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

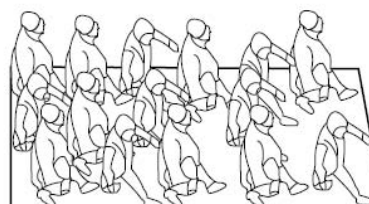
At **LOS D**, freedom to select individual walking speed and to bypass other pedestrians is restricted. Cross- or reverse-flow movements face a high probability of conflict, requiring frequent changes in speed and position. The LOS provides reasonably fluid flow, but friction and interaction between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



**LOS E**

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

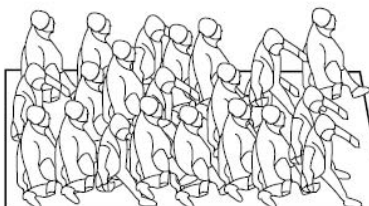
At **LOS E**, virtually all pedestrians restrict their normal walking speed, frequently adjusting their gait. At the lower range, forward movement is possible only by shuffling. Space is not sufficient for passing slower pedestrians. Cross- or reverse-flow movements are possible only with extreme difficulty. 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



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

Si considerino due strade entrambi aventi un traffico nell'ora di punta (VH) 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.

$$PHF = VH / 4V_{15,max}$$

#### **SVOLGIMENTO**

$$PHF_1 = \frac{VH}{4 * Q_{15,1}} = \frac{1800 \text{ v/h}}{4 * 600 \text{ v/h}} = 0,75$$

$$PHF_2 = \frac{VH}{4 * Q_{15,2}} = \frac{1800 \text{ v/h}}{4 * 500 \text{ v/h}} = 0,90$$

### **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 transitanti 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'

$$PHF = VH / 4V_{15,max}$$

$$TF = VH / PHF$$

#### **SVOLGIMENTO**

$$VH = 1200 + 1400 + 1100 + 1300 = 5000 \text{ v/h}$$

$$PHF = \frac{VH}{4 * V_{15,max}} = \frac{5000 \text{ v/h}}{4 * 1400 \text{ v/h}} = 0,892$$

$$TF = \frac{VH}{PHF} = \frac{5000 \text{ v/h}}{0,892} = 5600 \text{ v/h}$$

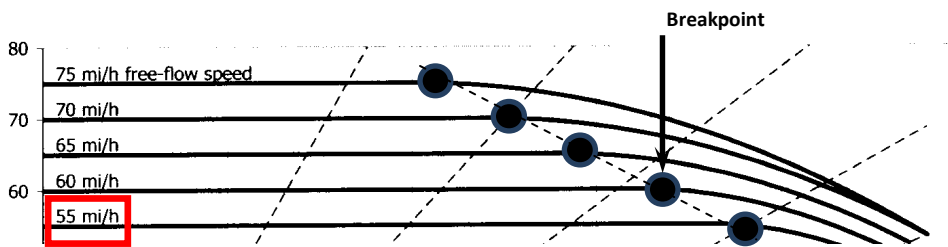
3. Calcolo del TF ( $v_p$ ) calcolato per corsia:

$$TF (pc/h/ln) = \frac{V(v/h)}{PHF \cdot N \cdot f_{hv} \cdot f_p} = \frac{3500 v/h}{0,95 \cdot 2 \ln \cdot 0,93 \cdot 1} = 1981 pc/h/ln$$

4. Calcolo di S (Speed)

→ la curva più vicina alla FFS che abbiamo trovato è quella riferita alla velocità di 55 mi/h

$$S (mi/h) = 55 - 0,00002469 \cdot (V_p - 1800)^2 = 54,19 mi/h$$



FFS (mi/h)	Breakpoint (pc/h/ln)	Flow Rate Range	
		$\geq 0 \leq \text{Breakpoint}$	$> \text{Breakpoint} \leq \text{Capacity}$
75	1,000	75	$75 - 0.00001107 (v_p - 1,000)^2$
70	1,200	70	$70 - 0.00001160 (v_p - 1,200)^2$
65	1,400	65	$65 - 0.00001418 (v_p - 1,400)^2$
60	1,600	60	$60 - 0.00001816 (v_p - 1,600)^2$
<b>55</b>	1,800	55	$55 - 0.00002469 (v_p - 1,800)^2$

Notes: FFS = free-flow speed,  $v_p$  = 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:

$$D (pc/mi/ln) = TF (pc/h/ln) / S (mi/h) = \frac{1981 pc/h/ln}{54,19 mi/h} = 36,56 pc/mi/ln$$

6. Calcolo del LOS (Lds):

LOS = densità compresa tra 35 e 45 pc/mi/ln → Livello di Servizio E

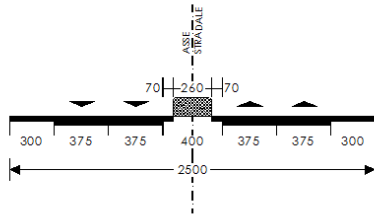
LOS	Density (pc/mi/ln)
A	$\leq 11$
B	$> 11 - 18$
C	$> 18 - 26$
D	$> 26 - 35$
<b>E</b>	$> 35 - 45$
F	Demand exceeds capacity $> 45$

### Esercizio #6 – PROGETTO DI SEZIONE AUTOSTRADALE

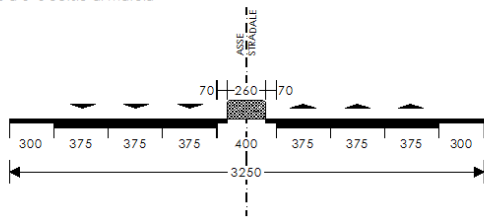
Una nuova autostrada extraurbana si sviluppa su un terreno pianeggiante. Il volume di traffico nell'ora di punta in entrambe le direzioni è di 2700 v/h, con un PHF pari a 0,85, il 15% di traffico pesante nella corrente e una densità di svincoli pari a 0,1 al km.

Considerando la presenza lungo il tracciato di una sezione di lunghezza 3 km al 4% di pendenza longitudinale, calcolare il numero di corsie necessarie per garantire lungo l'autostrada un livello di servizio B.

Soluzione base a 2+2 corsie di marcia



Soluzione a 3+3 corsie di marcia



#### Conversione delle unità di misura dell'esercizio:

Densità delle rampe:  $0,1 \text{ r/km} = 0,1 \text{ r/km} \cdot 1,61 \text{ km/mi} = 0,161 \text{ r/mi}$   
 Lunghezza del tratto in esame:  $3 \text{ km} = 3 \text{ km} / 1,61 \text{ km/mi} = 1,86 \text{ km}$

#### Svolgimento:

1. Calcolo della FFS (VFL):

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

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

- Larghezza corsia:  $3,75 \text{ m} = 3,75 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 12,3 \text{ ft}$
- Larghezza della banchina:  $3 \text{ m} = 3 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 9,84 \text{ ft}$

**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

Nella tabella di  $TF_{max}$  si fa riferimento alla FFS calcolata al p.to 1: nel caso in esame si accetta valida la soluzione fornita per FFS

$$N = \frac{VHP(v/h)}{PHF \cdot TF_{max,i}(pc/h/ln) \cdot f_{hv} \cdot f_p} = \frac{2700 v/h}{0,85 \cdot 1310(pc/h/ln) \cdot 0,93 \cdot 1} = 2,6 ln$$

6. Calcolo del numero di corsie (N) nel tratto in salita:

$$N = \frac{VHP(v/h)}{PHF \cdot TF_{max,i}(pc/h/ln) \cdot f_{hv} \cdot f_p} = \frac{2700 v/h}{0,85 \cdot 1310(pc/h/ln) \cdot 0,816 \cdot 1} = 2,97 ln$$

**Si adottano 3 corsie per senso di marcia lungo tutto il tracciato**

Tabella con gli  $TF_{max,i}$

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

## SVOLGIMENTO

- Determino l'attuale livello di servizio della strada

$$L_w = \frac{3,3 \text{ m}}{0,305} = 10,81 \text{ ft}$$

$$L_c = \frac{1,8 \text{ m}}{0,305} = 5,90 \text{ ft}$$

$$\text{TRD} = 3,5 * 1,61 = 5,63 \text{ r/mi}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{FFS} &= 75,4 - F_{L_w} - F_{L_c} - 3,22 * \text{TRD}^{0,84} = 75,4 - 6,6 - 0 - 3,22 * 5,63^{0,84} \\ &= 55,05 \frac{\text{mi}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$F_{HV} = \frac{1}{1 + P_t(E_t - 1) + P_r(E_r - 1)} = \frac{1}{1 + 0,15 * (1,5 - 1)} = 0,93$$

$$T_F = \frac{3000 \text{ v/h}}{\text{PHF} * N * f_{hv} * f_p} = \frac{3000 \text{ v/h}}{0,92 * 2 * 0,93 * 1} = 1753 \text{ veicoli/h/corsia}$$

$$\text{Velocità Reale} = S_r = 55 - 0,00002469 * (V_p - 1800)^2 = 54,94 \text{ mi/h}$$

$$\text{Densità} = \frac{T_F}{S_r} = \frac{1753 \text{ v/h/ln}}{54,94 \text{ mi/h}} = 31,90 \text{ veicoli/mi/corsia}$$

→ a questa densità corrisponde un livello di servizio D

- Progetto nuova sezione trasversale per garantire livello di servizio C

$$VH = \text{PHF} * 1,15 = 3000 \frac{\text{v}}{\text{h}} * 1,15 = 3450 \text{ veicoli/ora}$$

→ **ora ipotizzo la nuova sezione con 3 corsie da 3,75 m per senso di marcia e banchina da 3 m.**

$$L_w = \frac{3,75 \text{ m}}{0,305} = 12,3 \text{ ft}$$

$$L_c = \frac{3 \text{ m}}{0,305} = 9,84 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{FFS} &= 75,4 - F_{L_w} - F_{L_c} - 3,22 * \text{TRD}^{0,84} = 75,4 - 0 - 0 - 3,22 * 5,63^{0,84} \\ &= 61,65 \frac{\text{mi}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$F_{HV} = 0,93$$

$$N = \frac{VH}{\text{PHF} * T_{F_{MAX,i}} * f_{hv} * f_p} = \frac{3450 \text{ v/h}}{0,92 * 1560 \text{ v/h/ln} * 1} = 2,58$$

→ pertanto 3 corsie sono adeguate a garantire il livello di servizio C.

**Esercizio #2 – Resistenze ordinarie in ambito ferroviario**

Determinare le resistenze ordinarie di un treno passeggeri alla velocità di 160 km/h costituito da un locomotore elettrico veloce (massa pari a 89.000 kg<sub>m</sub>) e da 12 vagoni a pieno carico (massa a vuoto pari a 36.000 kg<sub>m</sub>/vagone, 82<sup>(1)</sup> posti, 2 carrelli).

<sup>(1)</sup> Si assuma per ogni passeggero una massa pari a 80 kg<sub>m</sub>.

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

**SVOLGIMENTO**

$$r_{ord,L} = a + bV^2 = 2,5 + 0,0003 * 160^2 \left[ \frac{N}{KN} \right] = 10,2 \frac{N}{KN}$$

$$r_{ord,V} = a + bV^2 = 2,5 + 0,00014 * 160^2 \left[ \frac{N}{KN} \right] = 6,1 \frac{N}{KN}$$

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

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

$$\rightarrow P_{convoglio} = P_L + P_V * n_V = 873,1 \text{ KN} + (417,5 * 12) \text{ KN} = 5883,1 \text{ KN}$$

$$R_{ord} = (n_L * P_L) * r_{ord,L} + (n_V * P_V) * r_{ord,V}$$

$$= 1 * 873,1 \text{ KN} * 10,2 \frac{N}{KN} + (12 * 417,5) \text{ KN} * 6,1 \frac{N}{KN} = 39370 \text{ N}$$

$$r_{ord} = \frac{R_{ord}}{P} = \frac{39370 \text{ N}}{5883,1 \text{ KN}} = 6,7 \frac{N}{KN}$$

$$i = i_f - r_c = 27,8 - 1,46 = 26,34 \frac{N}{KN} \cong 26,3\text{‰}$$

$$f_a = 0,14 * 0,8(\text{condizione bagnata}) = 0,112$$

**→ ora determino il numero di locomotori necessari sia in funzione della potenza del locomotore sia in funzione dell'aderenza**

$$n_L^I = \frac{n_V * P_V(r_{ord,V} + i_f)}{\frac{W_{max,L}}{v} - P_L(r_{ord,L} + i_f)} = \frac{12 * 417,5 KN(4,52 + 27,8) \frac{N}{KN}}{\frac{3600 * 1000 \frac{N * m}{s}}{\frac{120}{3,6} m/s} - 873,1 KN(6,82 + 27,8) \frac{N}{KN}}$$

$$= 2,08 \text{ locomotori}$$

$$n_L^{II} = \frac{n_V * P_V(r_{ord,V} + i_f)}{f_a * P_a - P_L(r_{ord,L} + i_f)}$$

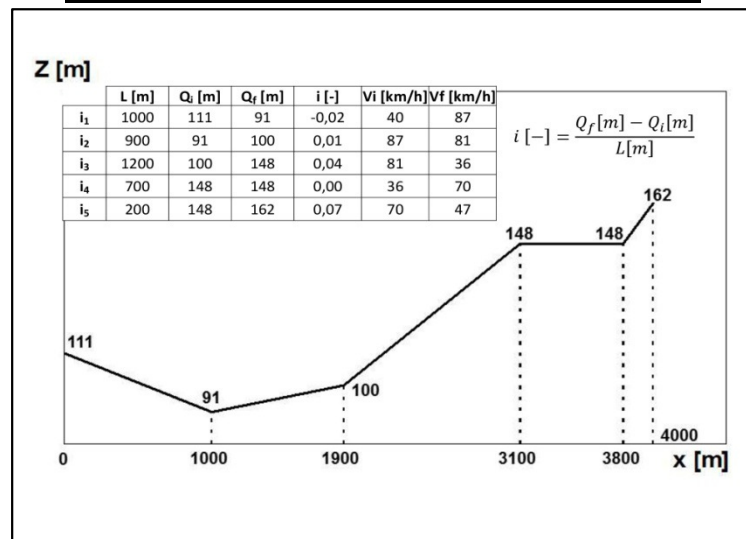
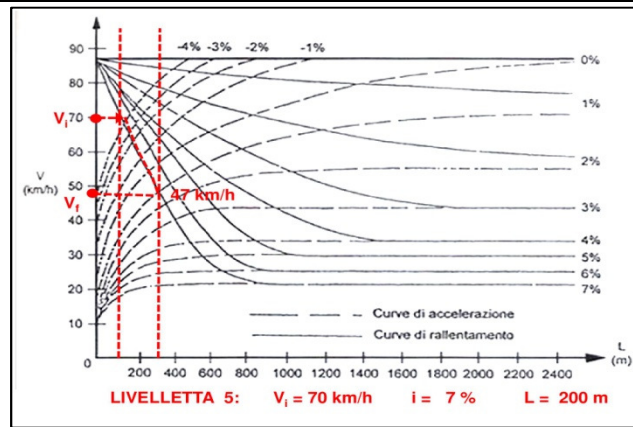
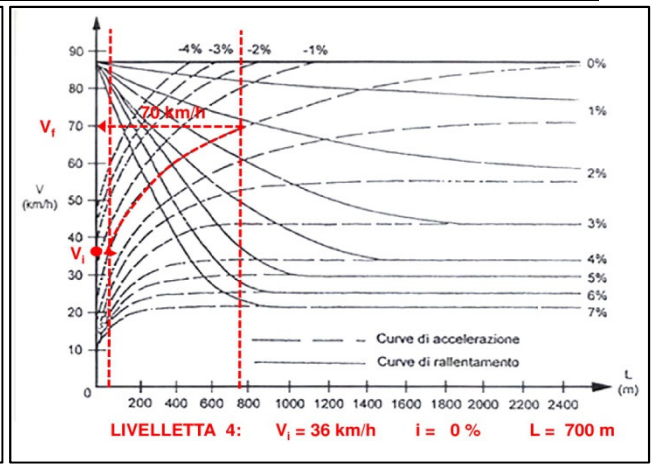
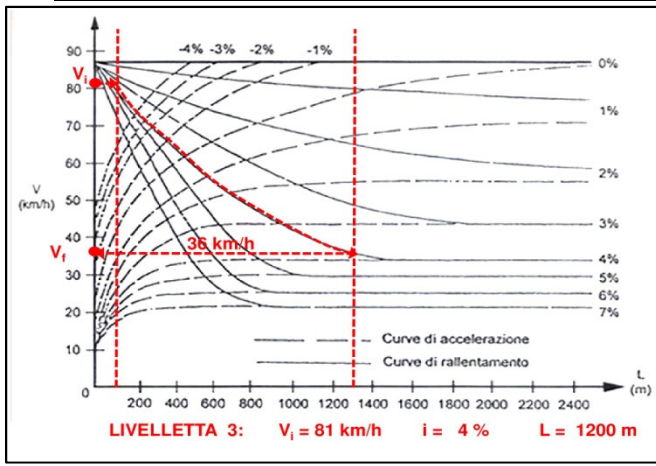
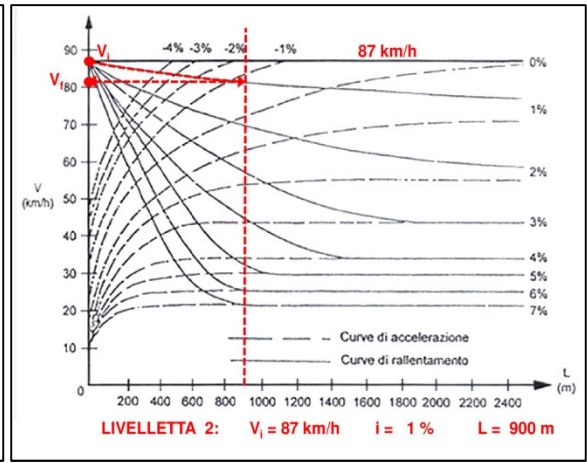
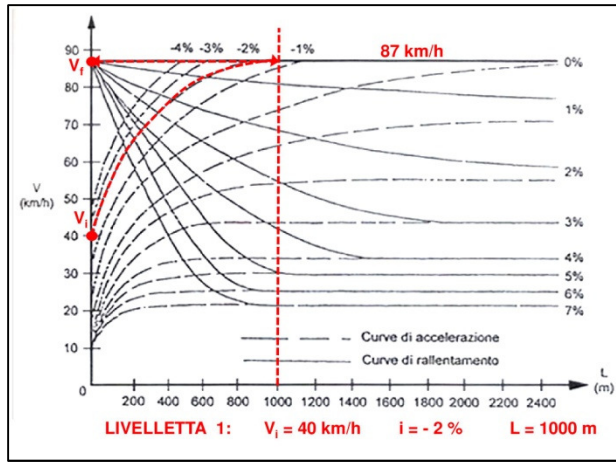
$$= \frac{12 * 417,5 KN(4,52 + 27,8) \frac{N}{KN}}{0,112 * (89000kg * 9,81 m/s^2) - 873,1 KN(6,82 + 27,8) \frac{N}{KN}}$$

$$= 2,39 \text{ locomotori}$$

**→ saranno necessari 3 locomotori.**



## SVOLGIMENTO



## Infrastrutture Viarie A.A. 2013/14 ESERCITAZIONE #3 – 1 aprile 2014 Squadre Separate

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

Determinare le resistenze ordinarie di un mezzo pesante di massa pari a 3400 kg<sub>m</sub> 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°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

$$R_{tot} = P * r_{RD} = \frac{3400 \text{ kg}_m * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1000} * 30 \frac{\text{N}}{\text{kN}} = 1000 \text{ N}$$

$$R_{aer} = \frac{1}{2} * \delta * c * S * v^2 = \frac{1}{2} * 1,204 \text{ Nm}^{-4} \text{ s}^2 * 0,90 * 10,7 \text{ m}^2 * \frac{80 \text{ km/h}}{3,6} = 2862 \text{ N}$$

$$\rightarrow R_{ord} = 1000 \text{ N} + 2862 \text{ N} = 3862 \text{ N}$$

→ ora determino l'andamento delle resistenze complessive con pendenze di livelletta comprese tra - 5 e + 5 %

RESISTENZA DI LIVELLETTA $R_{i(i)} = P * g * i = 3400 \text{ kg}_m * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (i) =$	RESISTENZA COMPLESSIVA $R_{compl} = R_{ord} + R_{i(i)}$
$R_{i(-5\%)} = -1667 \text{ N}$	$R_{compl(-5\%)} = 3862 \text{ N} - 1667,7 \text{ N} = 2195 \text{ N}$
$R_{i(-4\%)} = -1334 \text{ N}$	$R_{compl(-4\%)} = 3862 \text{ N} - 1334 \text{ N} = 2528 \text{ N}$
$R_{i(-3\%)} = -1000 \text{ N}$	$R_{compl(-3\%)} = 3862 \text{ N} - 1000 \text{ N} = 2862 \text{ N}$
$R_{i(-2\%)} = -667 \text{ N}$	$R_{compl(-2\%)} = 3862 \text{ N} - 667 \text{ N} = 3195 \text{ N}$
$R_{i(-1\%)} = -333 \text{ N}$	$R_{compl(-1\%)} = 3862 \text{ N} - 333 \text{ N} = 3529 \text{ N}$
$R_{i(0\%)} = 0$	$R_{compl(0\%)} = 3862 \text{ N} + 0 = 3862 \text{ N}$
$R_{i(+1\%)} = 333 \text{ N}$	$R_{compl(+1\%)} = 3862 \text{ N} + 333 \text{ N} = 4195 \text{ N}$
$R_{i(+2\%)} = 667 \text{ N}$	$R_{compl(+2\%)} = 3862 \text{ N} + 667 \text{ N} = 4529 \text{ N}$
$R_{i(+3\%)} = 1000 \text{ N}$	$R_{compl(+3\%)} = 3862 \text{ N} + 1000 \text{ N} = 4862 \text{ N}$
$R_{i(+4\%)} = 1334 \text{ N}$	$R_{compl(+4\%)} = 3862 \text{ N} + 1334 \text{ N} = 5196 \text{ N}$
$R_{i(+5\%)} = 1667 \text{ N}$	$R_{compl(+5\%)} = 3862 \text{ N} + 1667 \text{ N} = 5529 \text{ N}$

### 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 livelletta. 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 m <sup>2</sup> , 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

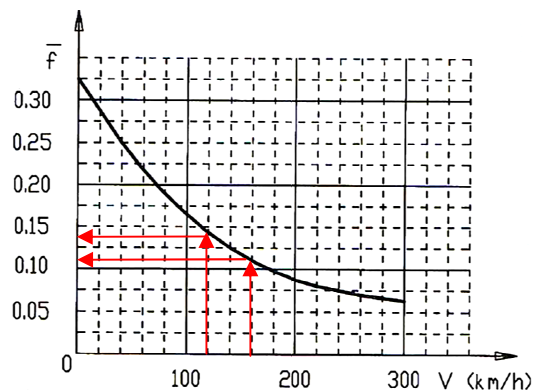


Figura 1: Coefficiente ruota-rotaia in funzione della velocità

### SVOLGIMENTO

$$r_{ord,L} = a + bV^2 = 2,5 + 0,0003 * 160^2 \left[ \frac{N}{KN} \right] = 10,18 \frac{N}{KN}$$

$$r_{ord,V} = a + bV^2 = 2,5 + 0,00014 * 160^2 \left[ \frac{N}{KN} \right] = 6,08 \frac{N}{KN}$$

$$P_L = \frac{m * g}{1000} = \frac{89000 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2}{1000} = 873 \text{ KN}$$

$$P_V = \frac{m * g}{1000} = \frac{(36000 \text{ kg} + (100 * 80 \text{ kg})) * 9,81 \text{ m/s}^2}{1000} = 431 \text{ KN}$$

$$R_{ord} = (n_L * P_L) * r_{ord,L} + (n_V * P_V) * r_{ord,V}$$

$$= 1 * 873 \text{ kN} * 10,18 \frac{N}{KN} + (12 * 431) \text{ kN} * 6,08 \frac{N}{KN} = 40,33 \text{ kN}$$

$$r_{ORD} = \frac{R_{ord}}{P} = \frac{40333 \text{ N}}{873 \text{ kN} + (12 * 431 \text{ kN})} = \frac{40333 \text{ N}}{6045 \text{ kN}} = 6,67 \frac{N}{KN}$$

**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 in entrambe le direzioni di marcia 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 nelle due direzioni.

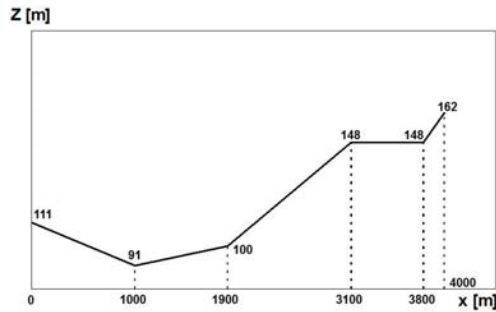


Figura 2: Andamento altimetrico

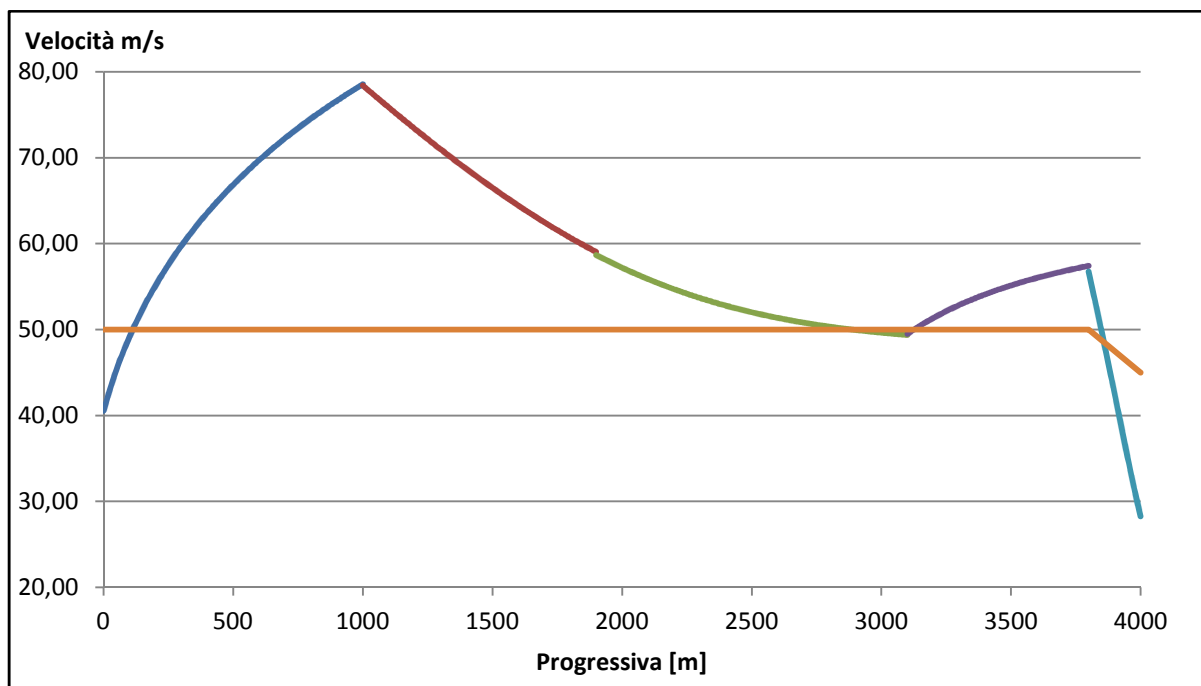
$$v_{i+1} = \frac{g}{\beta \cdot v_i^2} \cdot \left[ \frac{W}{P} - v_i \cdot (i + r_{ORD}) \right] \cdot \Delta x + v_i$$

Equazione 1: Metodo delle differenze finite

$i$ (%)	$\pm 6$	$\pm 7$	$\pm 8$	$\pm 9$	$\pm 10$
$v_p$ (km/h)	95	85	80	75	70

Tabella 2: Velocità delle autovetture in funzione della pendenza longitudinale

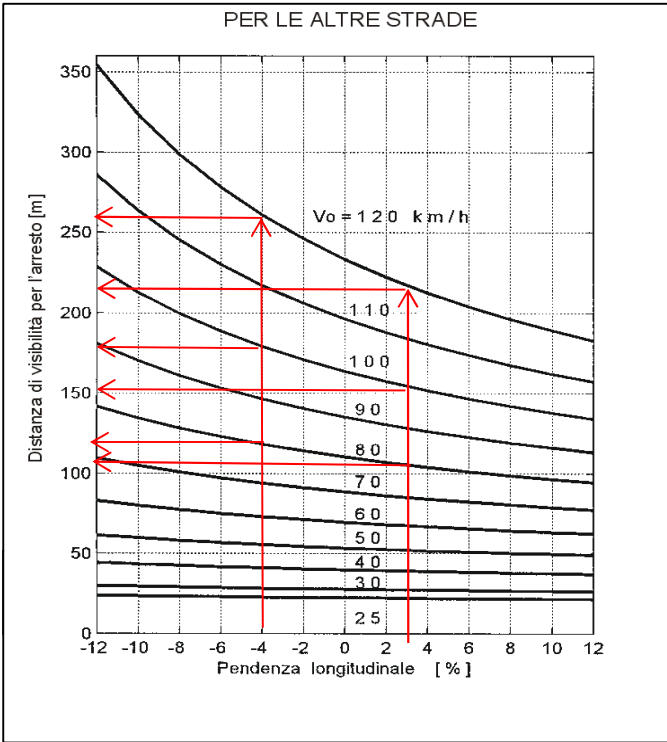
**SVOLGIMENTO**



→ Sarà necessaria una corsia d'arrampicamento nei tratti (solo in salita) tra:  
2895 → 3100 m ; 3850 → 4000 m

2° PARTE: confrontiamo i dati ricavati di  $f_e$  e  $d_f$  con quelli degli abachi

$i=+3\%$	$i=-4\%$
distanza di arresto [m]	
105,00	120,00
155,00	180,00
220,00	260,00



690	1937	16480.80	1296.70	0.0324	-0.02	20.01	72.02	1690	1744	16480.80	988.22	0.0318	0.01	17.41	62.67
695	2001	16480.80	1301.10	0.0324	-0.02	20.04	72.14	1695	1741	16480.80	985.25	0.0318	0.01	17.38	62.58
700	2004	16480.80	1305.49	0.0324	-0.02	20.07	72.26	1700	1738	16480.80	982.29	0.0318	0.01	17.36	62.49
705	2007	16480.80	1309.86	0.0324	-0.02	20.11	72.38	1705	1736	16480.80	979.35	0.0318	0.01	17.33	62.39
710	2011	16480.80	1314.22	0.0324	-0.02	20.14	72.50	1710	1733	16480.80	976.43	0.0318	0.01	17.31	62.30
715	2014	16480.80	1318.56	0.0324	-0.02	20.17	72.62	1715	1731	16480.80	973.52	0.0318	0.01	17.28	62.21
720	2017	16480.80	1322.88	0.0324	-0.02	20.21	72.74	1720	1728	16480.80	970.62	0.0318	0.01	17.25	62.11
725	2021	16480.80	1327.19	0.0324	-0.02	20.24	72.86	1725	1725	16480.80	967.75	0.0318	0.01	17.23	62.02
730	2024	16480.80	1331.49	0.0324	-0.02	20.27	72.97	1730	1723	16480.80	964.88	0.0318	0.01	17.23	62.02
735	2027	16480.80	1335.77	0.0324	-0.02	20.30	73.09	1735	1720	16480.80	962.03	0.0318	0.01	17.18	61.84
740	2030	16480.80	1340.04	0.0324	-0.02	20.34	73.21	1740	1718	16480.80	959.20	0.0317	0.01	17.15	61.75
745	2034	16480.80	1344.29	0.0324	-0.02	20.37	73.32	1745	1715	16480.80	956.38	0.0317	0.01	17.13	61.66
750	2037	16480.80	1348.52	0.0325	-0.02	20.40	73.44	1750	1713	16480.80	953.58	0.0317	0.01	17.10	61.57
755	2040	16480.80	1352.74	0.0325	-0.02	20.43	73.55	1755	1710	16480.80	950.79	0.0317	0.01	17.08	61.48
760	2043	16480.80	1356.95	0.0325	-0.02	20.46	73.66	1760	1708	16480.80	948.02	0.0317	0.01	17.05	61.39
765	2046	16480.80	1361.14	0.0325	-0.02	20.49	73.78	1765	1705	16480.80	945.26	0.0317	0.01	17.03	61.30
770	2049	16480.80	1365.32	0.0325	-0.02	20.53	73.89	1770	1703	16480.80	942.52	0.0317	0.01	17.00	61.21
775	2053	16480.80	1369.48	0.0325	-0.02	20.56	74.01	1775	1700	16480.80	939.79	0.0317	0.01	16.98	61.12
780	2056	16480.80	1373.63	0.0325	-0.02	20.59	74.11	1780	1698	16480.80	937.08	0.0317	0.01	16.95	61.03
785	2059	16480.80	1377.77	0.0325	-0.02	20.62	74.22	1785	1695	16480.80	934.38	0.0317	0.01	16.93	60.95
790	2062	16480.80	1381.89	0.0325	-0.02	20.65	74.33	1790	1693	16480.80	931.70	0.0317	0.01	16.91	60.86
795	2065	16480.80	1386.00	0.0325	-0.02	20.68	74.44	1795	1691	16480.80	929.03	0.0317	0.01	16.88	60.77
800	2068	16480.80	1390.10	0.0325	-0.02	20.71	74.55	1800	1688	16480.80	926.38	0.0317	0.01	16.86	60.69
805	2071	16480.80	1394.18	0.0325	-0.02	20.74	74.66	1805	1686	16480.80	923.74	0.0317	0.01	16.83	60.60
810	2074	16480.80	1398.24	0.0325	-0.02	20.77	74.77	1810	1683	16480.80	921.12	0.0317	0.01	16.81	60.51
815	2077	16480.80	1402.30	0.0326	-0.02	20.80	74.88	1815	1681	16480.80	918.52	0.0317	0.01	16.79	60.43
820	2080	16480.80	1406.34	0.0326	-0.02	20.83	74.98	1820	1679	16480.80	915.92	0.0317	0.01	16.76	60.34
825	2083	16480.80	1410.37	0.0326	-0.02	20.86	75.09	1825	1676	16480.80	913.34	0.0317	0.01	16.74	60.26
830	2086	16480.80	1414.38	0.0326	-0.02	20.89	75.20	1830	1674	16480.80	910.77	0.0317	0.01	16.71	60.17
835	2089	16480.80	1418.38	0.0326	-0.02	20.92	75.30	1835	1671	16480.80	908.22	0.0317	0.01	16.69	60.09
840	2092	16480.80	1422.37	0.0326	-0.02	20.95	75.41	1840	1669	16480.80	905.69	0.0316	0.01	16.67	60.01
845	2095	16480.80	1426.35	0.0326	-0.02	20.98	75.51	1845	1667	16480.80	903.17	0.0316	0.01	16.65	59.92
850	2098	16480.80	1430.31	0.0326	-0.02	21.00	75.62	1850	1665	16480.80	900.67	0.0316	0.01	16.62	59.84
855	2100	16480.80	1434.26	0.0326	-0.02	21.03	75.72	1855	1662	16480.80	898.17	0.0316	0.01	16.60	59.76
860	2103	16480.80	1438.20	0.0326	-0.02	21.06	75.82	1860	1660	16480.80	895.70	0.0316	0.01	16.58	59.67

1865	1658	16480.80	895.24	0.0316	0.01	16.55	59.59
1870	1655	16480.80	892.79	0.0316	0.01	16.53	59.51
1875	1653	16480.80	888.36	0.0316	0.01	16.51	59.43
1880	1651	16480.80	885.94	0.0316	0.01	16.49	59.35
1885	1649	16480.80	883.54	0.0316	0.01	16.46	59.27
1890	1646	16480.80	881.15	0.0316	0.01	16.44	59.19
1895	1644	16480.80	878.77	0.0316	0.01	16.42	59.11
1900	1642	16480.80	876.41	0.0316	0.01	16.40	59.03

865	2106	16480.80	1442.13	0.0326	-0.02	21.09	75.93
870	2109	16480.80	1446.04	0.0326	-0.02	21.12	76.03
875	2112	16480.80	1449.94	0.0326	-0.02	21.15	76.13
880	2115	16480.80	1453.83	0.0326	-0.02	21.18	76.23
885	2118	16480.80	1457.70	0.0327	-0.02	21.20	76.33
890	2120	16480.80	1461.57	0.0327	-0.02	21.23	76.43
895	2123	16480.80	1465.42	0.0327	-0.02	21.26	76.53
900	2126	16480.80	1469.26	0.0327	-0.02	21.29	76.63
905	2129	16480.80	1473.09	0.0327	-0.02	21.31	76.73
910	2131	16480.80	1476.90	0.0327	-0.02	21.34	76.83
915	2134	16480.80	1480.71	0.0327	-0.02	21.37	76.93
920	2137	16480.80	1484.50	0.0327	-0.02	21.40	77.03
925	2140	16480.80	1488.28	0.0327	-0.02	21.42	77.13
930	2142	16480.80	1492.05	0.0327	-0.02	21.45	77.22
935	2145	16480.80	1495.81	0.0327	-0.02	21.48	77.32
940	2148	16480.80	1499.56	0.0327	-0.02	21.50	77.42
945	2150	16480.80	1503.30	0.0327	-0.02	21.53	77.51
950	2153	16480.80	1507.02	0.0327	-0.02	21.56	77.61
955	2156	16480.80	1510.73	0.0327	-0.02	21.58	77.70
960	2158	16480.80	1514.44	0.0328	-0.02	21.61	77.80
965	2161	16480.80	1518.13	0.0328	-0.02	21.64	77.89
970	2164	16480.80	1521.81	0.0328	-0.02	21.66	77.98
975	2166	16480.80	1525.48	0.0328	-0.02	21.69	78.08
980	2169	16480.80	1529.14	0.0328	-0.02	21.71	78.17
985	2171	16480.80	1532.78	0.0328	-0.02	21.74	78.26
990	2174	16480.80	1536.42	0.0328	-0.02	21.77	78.36
995	2177	16480.80	1540.05	0.0328	-0.02	21.79	78.45
1000	2179	16480.80	1543.66	0.0328	-0.02	21.82	78.54

3° Livellotta		4° Livellotta	
s(m)	v <sub>i</sub> (m/s)	s(m)	v <sub>i</sub> (m/s)
1900	16.40	3100	13.72
1905	16.29	3105	13.75
1910	16.27	3110	13.77
1915	16.25	3115	13.80
1920	16.23	3120	13.83
1925	16.21	3125	13.86
1930	16.19	3130	13.89
1935	16.17	3135	13.91
1940	16.15	3140	13.94
1945	16.13	3145	13.97
1950	16.11	3150	13.99
1955	16.08	3155	14.02
1960	16.06	3160	14.05
1965	16.04	3165	14.07
1970	16.02	3170	14.10
1975	16.00	3175	14.12
1980	15.98	3180	14.15
1985	15.96	3185	14.17
1990	15.94	3190	14.19
1995	15.93	3195	14.22
2000	15.91	3200	14.24
2005	15.89	3205	14.26
2010	15.87	3210	14.29
2015	15.85	3215	14.31
2020	15.83	3220	14.33
2025	15.81	3225	14.35
2030	15.79	3230	14.38
2035	15.77	3235	14.40
2040	15.75	3240	14.42
2045	15.73	3245	14.44
2050	15.70	3250	14.46
2055	15.70	3255	14.48
2060	15.68	3260	14.50

3° Livellotta		4° Livellotta	
s(m)	v <sub>i</sub> (m/s)	s(m)	v <sub>i</sub> (m/s)
1900	16.40	3100	13.72
1905	16.29	3105	13.75
1910	16.27	3110	13.77
1915	16.25	3115	13.80
1920	16.23	3120	13.83
1925	16.21	3125	13.86
1930	16.19	3130	13.89
1935	16.17	3135	13.91
1940	16.15	3140	13.94
1945	16.13	3145	13.97
1950	16.11	3150	13.99
1955	16.08	3155	14.02
1960	16.06	3160	14.05
1965	16.04	3165	14.07
1970	16.02	3170	14.10
1975	16.00	3175	14.12
1980	15.98	3180	14.15
1985	15.96	3185	14.17
1990	15.94	3190	14.19
1995	15.93	3195	14.22
2000	15.91	3200	14.24
2005	15.89	3205	14.26
2010	15.87	3210	14.29
2015	15.85	3215	14.31
2020	15.83	3220	14.33
2025	15.81	3225	14.35
2030	15.79	3230	14.38
2035	15.77	3235	14.40
2040	15.75	3240	14.42
2045	15.73	3245	14.44
2050	15.70	3250	14.46
2055	15.70	3255	

5° Livellella	$\dot{v}_i$ [m/s]	$R_{hp}$	R aerod.	$r_{0hp}$	$l$	$v_i$ [m/s]	$v_i$ [km/h]
3800	15,95	16480,80	826,78	0,0315	0,07	15,76	56,74
3805	15,76	16480,80	807,47	0,0315	0,07	15,38	55,06
3810	15,57	16480,80	788,28	0,0314	0,07	15,38	55,38
3815	15,38	16480,80	769,23	0,0314	0,07	15,19	54,69
3820	15,19	16480,80	750,32	0,0314	0,07	15,00	54,00
3825	15,00	16480,80	731,55	0,0313	0,07	14,81	53,31
3830	14,81	16480,80	712,92	0,0313	0,07	14,62	52,62
3835	14,62	16480,80	694,44	0,0313	0,07	14,42	51,92
3840	14,42	16480,80	676,11	0,0312	0,07	14,23	51,22
3845	14,23	16480,80	657,94	0,0312	0,07	14,03	50,51
3850	14,03	16480,80	639,94	0,0312	0,07	13,83	49,80
3855	13,83	16480,80	622,10	0,0311	0,07	13,64	49,09
3860	13,64	16480,80	604,44	0,0311	0,07	13,44	48,37
3865	13,44	16480,80	586,95	0,0311	0,07	13,24	47,66
3870	13,24	16480,80	569,64	0,0310	0,07	13,04	46,93
3875	13,04	16480,80	552,53	0,0310	0,07	12,84	46,21
3880	12,84	16480,80	535,61	0,0310	0,07	12,63	45,48
3885	12,63	16480,80	518,89	0,0309	0,07	12,43	44,75
3890	12,43	16480,80	502,38	0,0309	0,07	12,23	44,02
3895	12,23	16480,80	486,08	0,0309	0,07	12,02	43,29
3900	12,02	16480,80	470,01	0,0309	0,07	11,82	42,55
3905	11,82	16480,80	454,17	0,0308	0,07	11,62	41,81
3910	11,62	16480,80	438,56	0,0308	0,07	11,41	41,08
3915	11,41	16480,80	423,20	0,0308	0,07	11,20	40,34
3920	11,20	16480,80	408,10	0,0307	0,07	11,00	39,60
3925	11,00	16480,80	393,26	0,0307	0,07	10,79	38,86
3930	10,79	16480,80	378,70	0,0307	0,07	10,59	38,12
3935	10,59	16480,80	364,42	0,0307	0,07	10,38	37,38
3940	10,38	16480,80	350,43	0,0306	0,07	10,18	36,64
3945	10,18	16480,80	336,75	0,0306	0,07	9,97	35,91
3950	9,97	16480,80	323,38	0,0306	0,07	9,77	35,17
3955	9,77	16480,80	310,34	0,0306	0,07	9,57	34,45
3960	9,57	16480,80	297,64	0,0305	0,07	9,37	33,72

3965	9,37	16480,80	285,29	0,0305	0,07	9,17	33,01
3970	9,17	16480,80	273,29	0,0305	0,07	8,97	32,30
3975	8,97	16480,80	261,67	0,0305	0,07	8,78	31,60
3980	8,78	16480,80	250,44	0,0305	0,07	8,59	30,91
3985	8,59	16480,80	239,60	0,0304	0,07	8,40	30,23
3990	8,40	16480,80	229,17	0,0304	0,07	8,21	29,56
3995	8,21	16480,80	219,17	0,0304	0,07	8,03	28,91
4000	8,03	16480,80	209,58	0,0304	0,07	7,85	28,27

2765	14,04	16480,80	640,37	0,0312	0,04	14,03	50,50
2770	14,03	16480,80	639,80	0,0312	0,04	14,02	50,48
2775	14,02	16480,80	639,23	0,0312	0,04	14,02	50,46
2780	14,02	16480,80	638,66	0,0312	0,04	14,01	50,44
2785	14,01	16480,80	638,11	0,0312	0,04	14,00	50,42
2790	14,00	16480,80	637,56	0,0312	0,04	14,00	50,39
2795	14,00	16480,80	637,01	0,0312	0,04	13,99	50,37
2800	13,99	16480,80	636,47	0,0312	0,04	13,99	50,33
2805	13,99	16480,80	635,93	0,0312	0,04	13,98	50,33
2810	13,98	16480,80	635,40	0,0312	0,04	13,97	50,31
2815	13,97	16480,80	634,87	0,0312	0,04	13,97	50,29
2820	13,97	16480,80	634,35	0,0312	0,04	13,96	50,27
2825	13,96	16480,80	633,83	0,0312	0,04	13,96	50,25
2830	13,96	16480,80	633,32	0,0312	0,04	13,95	50,23
2835	13,95	16480,80	632,82	0,0312	0,04	13,95	50,21
2840	13,95	16480,80	632,31	0,0312	0,04	13,94	50,19
2845	13,94	16480,80	631,82	0,0312	0,04	13,94	50,17
2850	13,94	16480,80	631,32	0,0311	0,04	13,93	50,15
2855	13,93	16480,80	630,84	0,0311	0,04	13,93	50,13
2860	13,93	16480,80	630,35	0,0311	0,04	13,92	50,11
2865	13,92	16480,80	629,87	0,0311	0,04	13,91	50,09
2870	13,91	16480,80	629,40	0,0311	0,04	13,91	50,07
2875	13,91	16480,80	628,93	0,0311	0,04	13,90	50,06
2880	13,90	16480,80	628,47	0,0311	0,04	13,90	50,04
2885	13,90	16480,80	628,01	0,0311	0,04	13,89	50,02
2890	13,89	16480,80	627,55	0,0311	0,04	13,89	50,00
2895	13,88	16480,80	627,10	0,0311	0,04	13,88	49,98
2900	13,88	16480,80	626,65	0,0311	0,04	13,88	49,97
2905	13,88	16480,80	626,21	0,0311	0,04	13,87	49,95
2910	13,87	16480,80	625,77	0,0311	0,04	13,87	49,93
2915	13,87	16480,80	625,34	0,0311	0,04	13,86	49,91
2920	13,86	16480,80	624,91	0,0311	0,04	13,86	49,90
2925	13,86	16480,80	624,48	0,0311	0,04	13,86	49,88
2930	13,86	16480,80	624,06	0,0311	0,04	13,85	49,86
2935	13,85	16480,80	623,64	0,0311	0,04	13,85	49,85

2940	13,85	16480,80	623,23	0,0311	0,04	13,84	49,83
2945	13,84	16480,80	622,82	0,0311	0,04	13,84	49,81
2950	13,84	16480,80	622,41	0,0311	0,04	13,83	49,80
2955	13,83	16480,80	622,01	0,0311	0,04	13,83	49,78
2960	13,83	16480,80	621,62	0,0311	0,04	13,82	49,77
2965	13,82	16480,80	621,22	0,0311	0,04	13,82	49,75
2970	13,82	16480,80	620,83	0,0311	0,04	13,82	49,73
2975	13,82	16480,80	620,45	0,0311	0,04	13,81	49,72
2980	13,81	16480,80	620,06	0,0311	0,04	13,81	49,70
2985	13,81	16480,80	619,69	0,0311	0,04	13,80	49,69
2990	13,80	16480,80	619,31	0,0311	0,04	13,80	49,67
2995	13,80	16480,80	618,94	0,0311	0,04	13,79	49,66
3000	13,79	16480,80	618,57	0,0311	0,04	13,79	49,64
3005	13,79	16480,80	618,21	0,0311	0,04	13,79	49,63
3010	13,79	16480,80	617,85	0,0311	0,04	13,78	49,62
3015	13,78	16480,80	617,49	0,0311	0,04	13,78	49,60
3020	13,78	16480,80	617,14	0,0311	0,04	13,77	49,59
3025	13,77	16480,80	616,79	0,0311	0,04	13,77	49,57
3030	13,77	16480,80	616,44	0,0311	0,04	13,77	49,56
3035	13,77	16480,80	616,10	0,0311	0,04	13,76	49,55
3040	13,76	16480,80	615,76	0,0311	0,04	13,76	49,53
3045	13,76	16480,80	615,43	0,0311	0,04	13,76	49,52
3050	13,76	16480,80	615,09	0,0311	0,04	13,75	49,51
3055	13,75	16480,80	614,77	0,0311	0,04	13,75	49,49
3060	13,75	16480,80	614,44	0,0311	0,04	13,74	49,48
3065	13,74	16480,80	614,12	0,0311	0,04	13,74	49,47
3070	13,74	16480,80	613,80	0,0311	0,04	13,74	49,45
3075	13,74	16480,80	613,48	0,0311	0,04	13,73	49,44
3080	13,73	16480,80	613,17	0,0311	0,04	13,73	49,43
3085	13,73	16480,80	612,86	0,0311	0,04	13,73	49,42
3090	13,73	16480,80	612,55	0,0311	0,04	13,72	49,41
3095	13,72	16480,80	612,25	0,0311	0,04	13,72	49,39
3100	13,72	16480,80	611,95	0,0311	0,04	13,72	49,38



**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**

→ dalla tabella, per  $v = 70 \frac{km}{h}$ , ricavo  $f_t = 0,15$

$$R_{min} = \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^2}{g * i + f_t} = \frac{\left(\frac{70}{3,6}\right)^2 \frac{m^2}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2} * (0,07 + 0,15)} = 175 \text{ m}$$

→ ora determino per la medesima pendenza la velocità di percorrenza per una curva con  $R = 330 \text{ m}$ , con l'ipotesi iniziale di  $V = 100 \text{ km/h}$  necessaria per stabilire  $f_t$

$$V = \sqrt{R * g(\tan\alpha + f_t)} = \sqrt{330 \text{ m} * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,07 + 0,11)} = 24,12 \frac{m}{s} \rightarrow 86,8 \text{ km/h}$$

→ itero il procedimento considerando stavolta  $V = 90 \text{ km/h}$

$$V = \sqrt{R * g(\tan\alpha + f_t)} = \sqrt{330 \text{ m} * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,07 + 0,12)} = 24,80 \frac{m}{s} \rightarrow 89,28 \text{ km/h}$$

→ ora l'ipotesi iniziale è abbastanza coerente con il risultato e posso fermarmi!

### SETTIMANA 4\_ESERCIZIO 3

somma  
venti =  
sotto i  
24km/h

68,5

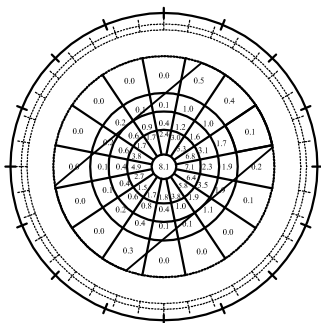
<i>UNA PISTA [24KM/H]</i>	
<i>angolo</i>	<i>% operativ.</i>
360	80,13
10	81,07
20	81,86
30	83,68
40	85,05
50	86,79
60	87,33
70	88,93
80	89,8
90	85,87
100	89,31
110	87,96
120	88,65
130	86,2
140	83,42
150	82,685
160	80,95
170	80,79

somma  
venti =  
sotto i  
32km/h

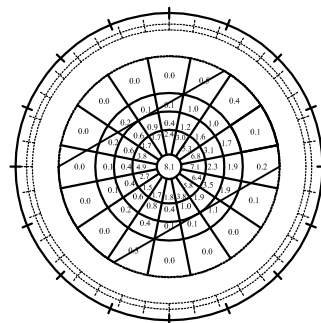
88,2

<i>UNA PISTA [32KM/H]</i>	
<i>angolo</i>	<i>% operativ.</i>
360	94,66
10	97,49
20	93,3
30	95,68
40	96,28
50	97,16
60	98,15
70	98,01
80	97,46
90	97,19
100	96,82
110	96,44
120	95,85
130	95,15
140	94,75
150	94,25
160	94,3
170	94,24

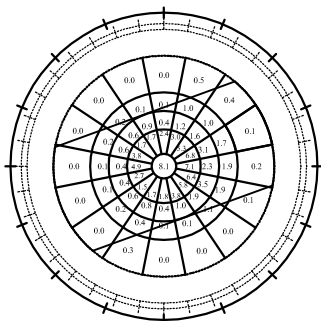
<i>DUE PISTE con angoli 360° e 180°</i>	
<i>% opert.:</i>	<i>96,3</i>



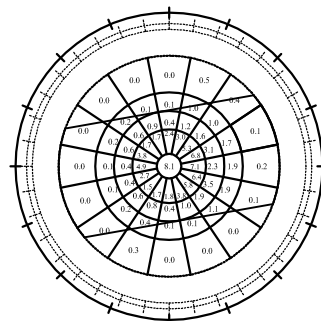
50°



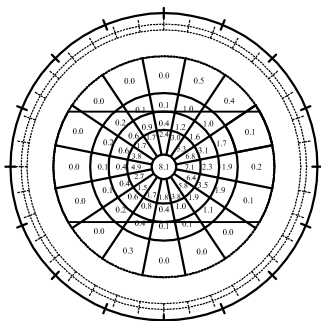
60°



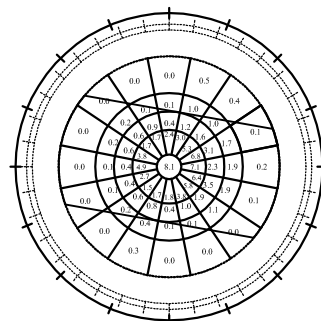
70°



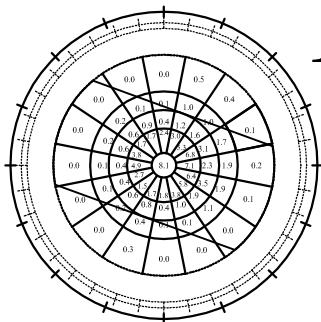
80°



90°



100°



110°

### SVOLGIMENTO

$$\left\{ \begin{array}{l} (R_i + \frac{L}{2})^2 + D^2 = R^2 \\ (R_i + L)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \end{array} \right. \rightarrow \text{dalle 2 equazioni ricavo}$$

$$\begin{array}{l} R_i = 33,16 \text{ m} \\ R_e = 36,56 \text{ m} \\ B_1 = R_e - R_i = 3,40 \text{ m} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_1^2 \\ (R_1 + \frac{L}{2})^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + D^2 = R^2 \end{array} \right. \rightarrow \text{dalle 3 equazioni ricavo}$$

$$\begin{array}{l} R_1 = 34,84 \text{ m} \\ R_i = 31,37 \text{ m} \\ R_e = 36,41 \text{ m} \\ B_2 = R_e - R_i = 5,04 \text{ m} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1^2 + D^2 = R^2 \\ (R_1 + \frac{L}{2})^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + S_p^2 = R_2^2 \\ R_3^2 + T^2 = R_2^2 \\ (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_3^2 \end{array} \right. \rightarrow \text{dalle 5 equazioni ricavo}$$

$$\begin{array}{l} R_1 = 34,59 \text{ m} \\ R_2 = 34,67 \text{ m} \\ R_3 = 34,55 \text{ m} \\ R_e = 36,46 \text{ m} \\ R_i = 32,91 \text{ m} \\ B_3 = R_e - R_i = 3,55 \end{array}$$

#### **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

$$R_1 = \frac{r_0 - \delta * tgy}{2\delta tgy} * d = \frac{\frac{1040}{2} - 20 * 0.05}{2 * 20 * 0.05} * 1500 = 389,25 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{P_1^2}{2\delta} = \frac{(P + r_0)^2}{2 * 20} = 178,22 \text{ m}$$

*si prende il massimo tra i 2 raggi cosicchè sia soddisfatte entrambe le condizioni*

### Esercizio #4 – Progetto di curve stradali

Calcolare il raggio di una curva per una velocità di progetto di 120 km/h ed una pendenza trasversale del 7%. Determinare inoltre la velocità al limite di sbandamento e di ribaltamento di una curva avente raggio sopra determinato ed una pendenza del 4%. 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 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

$$\frac{V^2}{R} = g * (tg \alpha + f_{a,t}) \rightarrow R_{min} = \frac{v^2}{g * (tg \alpha + f_{a,t})} = \frac{(\frac{120}{3,6})^2 \frac{m^2}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2} * (0,07 + 0,10)} = 666,45 m$$

→ Ora determino le velocità limite di sbandamento e ribaltamento con il raggio appena trovato ed una pendenza del 4%, con l'ipotesi iniziale di

$$V = 100 \frac{km}{h} \text{ necessaria per stabilire } f_t = 0,11$$

$$V = \sqrt{R * g(tan\alpha + f_t)} = \sqrt{666,45 m * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,04 + 0,11)} = 31,31 \frac{m}{s} \rightarrow 112,71 km/h$$

→ itero il procedimento considerando stavolta  $V = 112 \frac{km}{h} \rightarrow f_t = 0,103$

$$V = \sqrt{R * g(tan\alpha + f_t)} = \sqrt{666,45 m * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,04 + 0,103)} = 30,57 \frac{m}{s} \rightarrow 110,05 km/h$$

→ itero il procedimento considerando stavolta  $V = 110 km/h \rightarrow f_t = 0,105$

$$V = \sqrt{R * g(tan\alpha + f_t)} = \sqrt{666,45 m * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,04 + 0,105)} = 30,78 \frac{m}{s} \rightarrow 110,82 km/h$$

→ ora la differenza tra i calcoli delle v è molto piccola e posso fermarmi!

→ Ora determino le velocità limite di ribaltamento

$$V = \sqrt{R * g(\frac{s}{h} + q)} = \sqrt{666,45 m * 9,81 \frac{m}{s^2} * (\frac{0,9 m}{0,5 m} + 0,04)} = 109,66 \frac{m}{s} \rightarrow 394,78 km/h$$

**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**

→ *gli unici dati che ci mancano sono  $J$  (difetto di sopraelevazione) ed  $e$  (eccesso di sop.)*

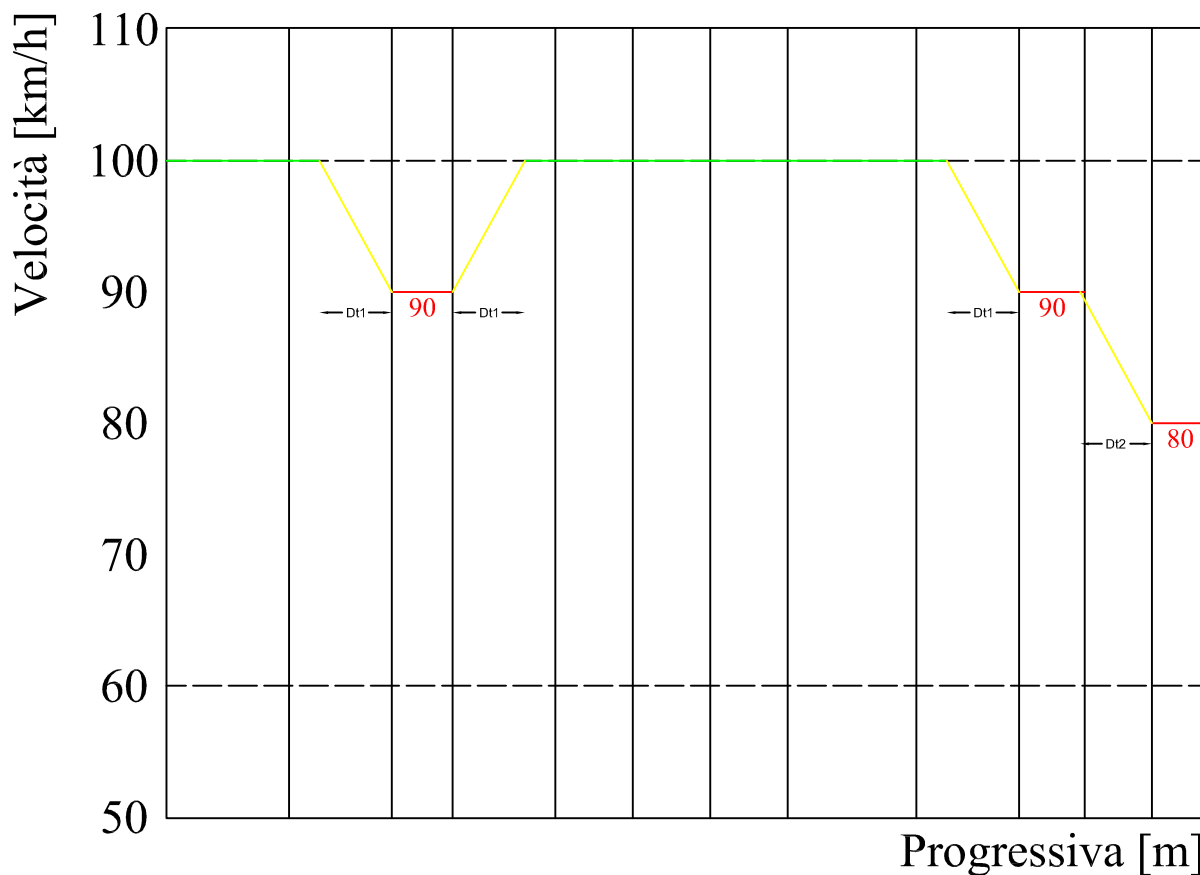
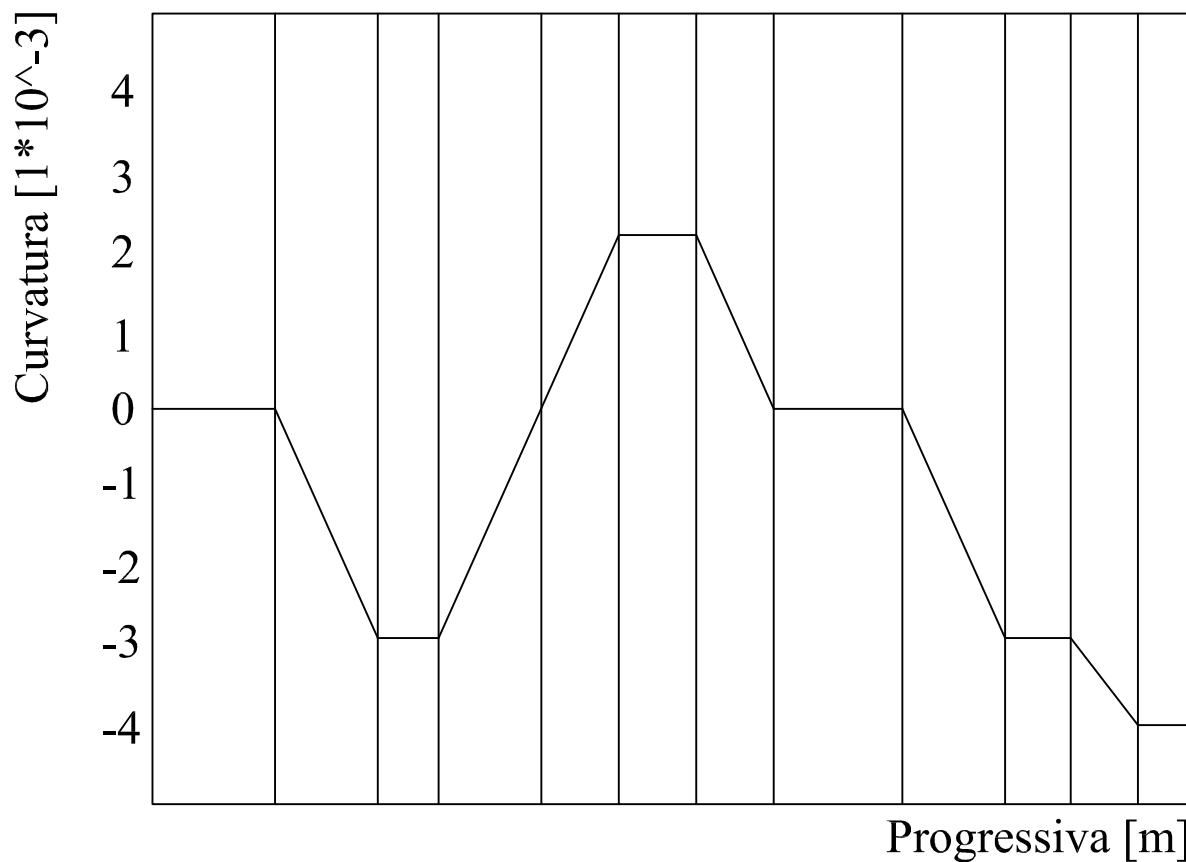
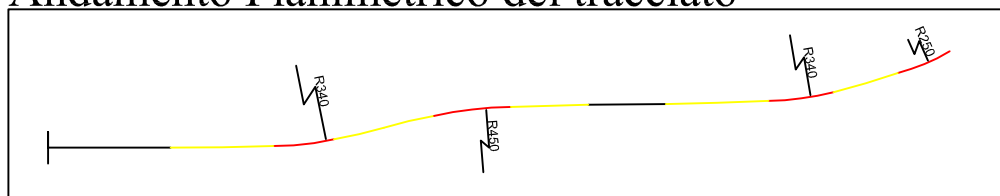
$$J = \frac{a_{c,NC}}{g} * d = \frac{0,8 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} * 1,5 \text{ m} = 0,122 \text{ m} = 122,36 \text{ mm}$$

$$e = \frac{a'_c}{g} * d = \frac{0,6 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} * 1,5 \text{ m} = 0,091 \text{ m} = 91,77 \text{ mm}$$

$$R_{\min} = \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{g(J + e)} * d = \frac{\left(\frac{200}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{120}{3,6}\right)^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (122,36\text{mm} + 91,77\text{mm})} * 1500\text{mm} = 1410,95 \text{ m}$$

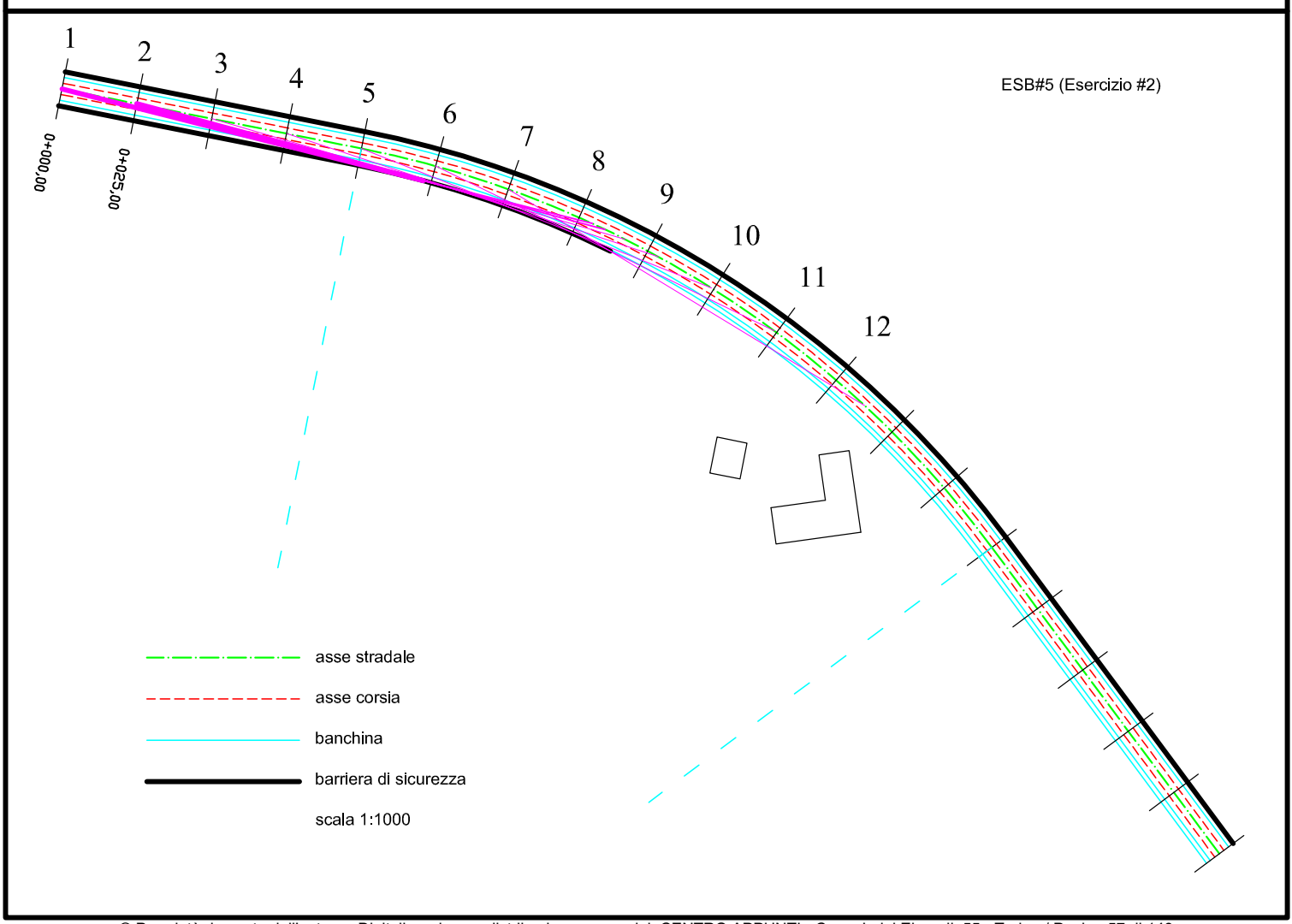
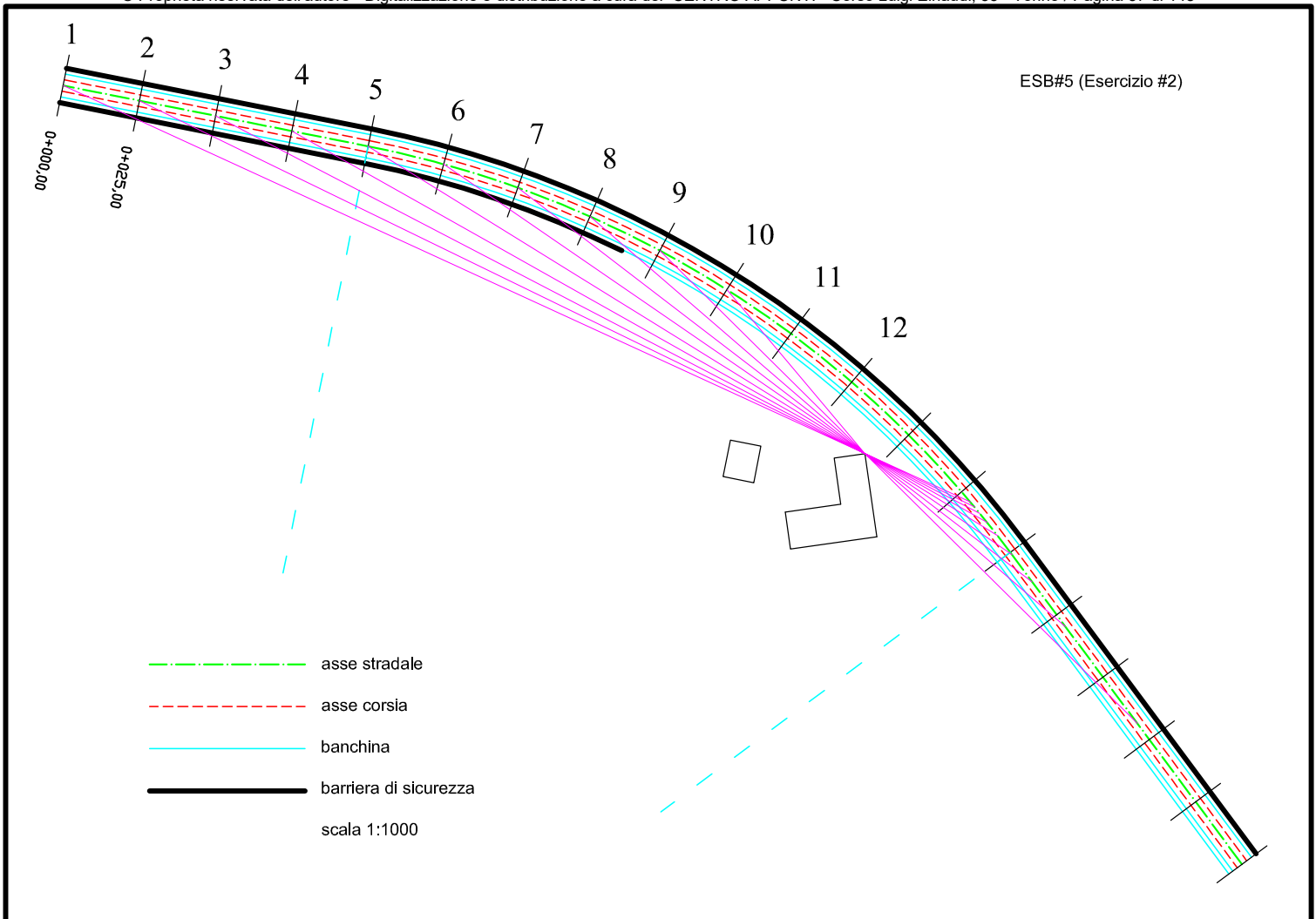
$$H_{\max} = (e + J) * \frac{v_{\max}^2}{v_{\max}^2 - v_{\min}^2} - J = 212,21 \text{ mm}$$

# Andamento Planimetrico del tracciato



$Dt1=91,62$  m  
 $Dt2=90,70$  m

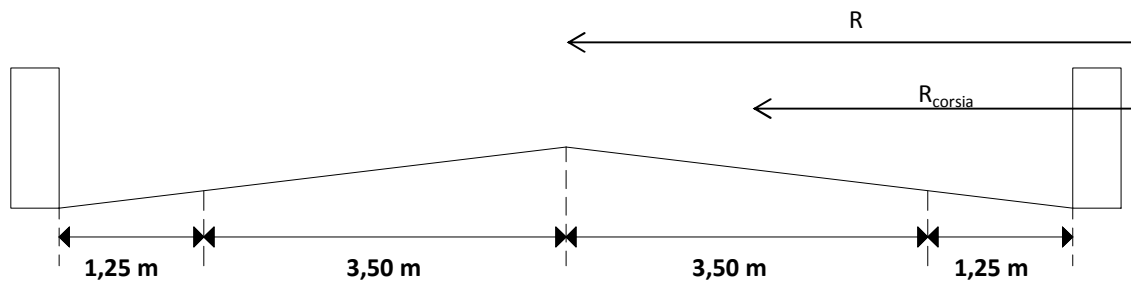




**Infrastrutture Viarie**  
**A.A. 2013/14**  
**ESERCITAZIONE #5 – 15 aprile 2014**  
**Squadre Separate**

**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**

## Infrastrutture Viarie A.A. 2013/14 ESERCITAZIONE #6 – 17 aprile 2014

### Esercizio #1

Data la clotoide 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 clotoide  $\overline{OP_1}$  e  $\overline{OP_2}$ , la lunghezza  $L$  dell'arco di clotoide  $\overline{P_1P_2}$ , le coordinate cartesiane dei punti  $P_1$ ,  $P_2$  e dei centri di curvatura  $M_1$ ,  $M_2$ , gli scostamenti  $\Delta R_1$  e  $\Delta R_2$ .

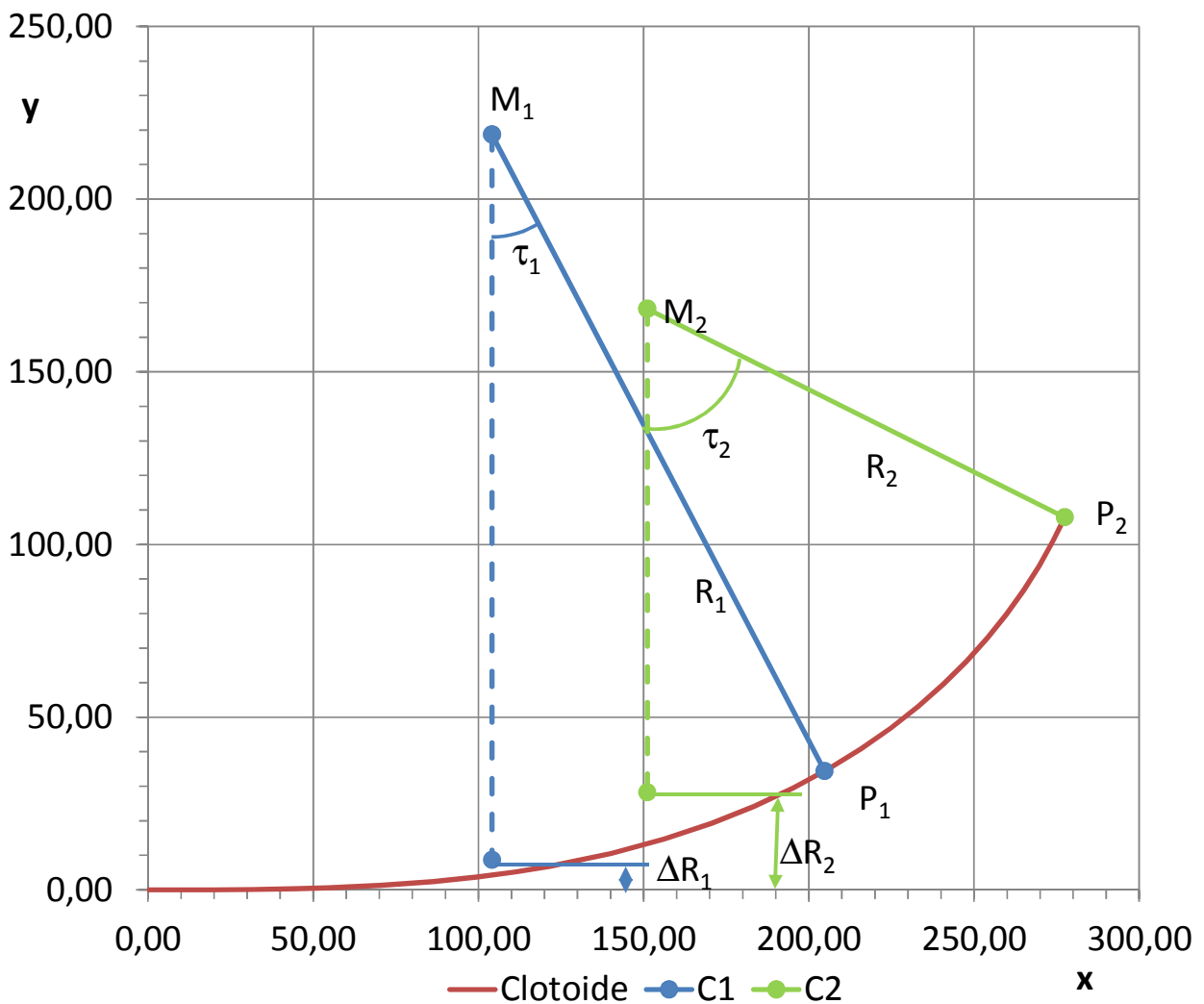


Figura 1: Arco di clotoide di parametro  $A = 210$  m

	$\tau$	R	s	$x_p$	$y_p$	$x_M$	$y_M$	$\Delta R$
<b>1</b>	<u>0,500</u>	210	210	204,81	34,38	104,08	218,64	8,75
<b>2</b>	1,125	<u>140</u>	315	277,47	107,87	151,11	168,16	29,53

Tabella 1

### 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

**Verifichiamo la corrispondenza di R, L ed A nei tratti clotoidici:**

$$\begin{array}{l} \text{Elemento 2} \\ \text{(clot.transiz.)} \end{array} \rightarrow R_3 * L_2 = A_2^2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} R_3 * L_2 = 340m * 130m = 44200 m^2 \\ A_2^2 = 210^2 = 44200 m^2 \end{array} \right\} \text{VERIFICATO}$$

$$\begin{array}{l} \text{Elemento 4} \\ \text{(clot.flesso)} \end{array} \rightarrow R_3 * L_4 = A_4^2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} R_3 * L_4 = 340m * 130m = 44200 m^2 \\ A_4^2 = 210^2 = 44200 m^2 \end{array} \right\} \text{VERIFICATO}$$

$$\begin{array}{l} \text{Elemento 5} \\ \text{(clot.flesso)} \end{array} \rightarrow R_6 * L_5 = A_5^2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} R_6 * L_5 = 450m * 98m = 44100 m^2 \\ A_5^2 = 210^2 = 44200 m^2 \end{array} \right\} \text{VERIFICATO}$$

$$\begin{array}{l} \text{Elemento 7} \\ \text{(clot.transiz.)} \end{array} \rightarrow R_6 * L_7 = A_7^2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} R_6 * L_7 = 450m * 98m = 44100 m^2 \\ A_7^2 = 210^2 = 44200 m^2 \end{array} \right\} \text{VERIFICATO}$$

$$\begin{array}{l} \text{Elemento 9} \\ \text{(clot.tran.)} \end{array} \rightarrow R_{10} * L_9 = A_9^2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} R_{10} * L_9 = 340m * 130m = 44200 m^2 \\ A_9^2 = 210^2 = 44200 m^2 \end{array} \right\} \text{VERIFICATO}$$

$$\begin{array}{l} \text{Elemento 11} \\ \text{(clot.contin.)} \end{array} \rightarrow \frac{1}{R} = \frac{S}{A^2} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A^2 = \frac{L_{11}}{\frac{1}{R_{12}} - \frac{1}{R_{10}}} = \frac{85 m}{\frac{1}{250m} - \frac{1}{340m}} = 80278 m \\ A = 183 m \end{array} \right.$$

$$\rightarrow A = \sqrt{80278} = 283,33 m \neq 183 m \rightarrow \text{NON VERIFICATO}$$

*Elemento 7*  
(clot. transizione) →  $V_7 = 100 \text{ km/h}; B = 3,50 \text{ m}; q_f = 0,025; q_i = 0,068$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{min} = 0,021 * V^2 = 0,021 * 100^2 = 210 \text{ m OK} \\ A_{min} = \sqrt{\frac{450 \text{ m}}{\frac{18 * 3,50 \text{ m}}{100}}} * 100 * 3,5 \text{ m} * (0,068 + 0,025) = 152,48 \text{ OK} \\ A_{min} = \frac{R_6}{3} = \frac{450 \text{ m}}{3} = 150 \text{ m OK} \\ A_{max} = R = 450 \text{ m OK} \end{array} \right.$$

*Elemento 9*  
(clot. transizione) →  $V_9 = 100 \text{ km/h}; B = 3,50 \text{ m}; q_f = 0,07; q_i = 0,025$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{min} = 0,021 * V^2 = 0,021 * 100^2 = 210 \text{ m OK} \\ A_{min} = \sqrt{\frac{340 \text{ m}}{\frac{18 * 3,50 \text{ m}}{100}}} * 100 * 3,5 \text{ m} * (0,07 + 0,025) = 133,96 \text{ OK} \\ A_{min} = \frac{R_{10}}{3} = \frac{340 \text{ m}}{3} = 113,33 \text{ m OK} \\ A_{max} = R = 340 \text{ m OK} \end{array} \right.$$

*Elemento 11*  
(clot. continuità) →  $V_{11} = 90 \text{ km/h}; B = 3,50 \text{ m}; q_f = 0,07; q_i = 0,07$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{min} = 0,021 * V^2 = 0,021 * 90^2 = 170,10 \text{ m OK} \\ A_{min} = \sqrt{\frac{3,5(0)}{(\frac{1}{340} - \frac{1}{250}) * \frac{18 * 3,50 \text{ m}}{90}}} = 0 \text{ m OK} \\ A_{min} = \frac{R_{10}}{3} = \frac{340 \text{ m}}{3} = 113,35 \text{ m OK} \\ A_{max} = R_{12} = 250 \text{ m OK} \end{array} \right.$$

S	$\tau^c$	$x_f$	$y_f$	$x_M$	$y_M$	$\Delta r$	l	$t_k$	r
0,010	0,003183	0,010000	0,000000	0,005000	100,00000	0,000000	0,006667	0,003333	100,00000
0,020	0,012732	0,020000	0,000001	0,010000	50,000000	0,000000	0,013333	0,006667	50,000000
0,030	0,028648	0,030000	0,000004	0,015000	33,333334	0,000001	0,020000	0,010000	33,333333
0,040	0,050930	0,040000	0,000011	0,020000	25,000003	0,000003	0,026667	0,013333	25,000000
0,050	0,079577	0,050000	0,000021	0,025000	20,000005	0,000005	0,033333	0,016667	20,000000
0,060	0,114592	0,060000	0,000036	0,030000	16,666676	0,000009	0,040000	0,020000	16,666667
0,070	0,155972	0,070000	0,000057	0,035000	14,285729	0,000014	0,046667	0,023333	14,285714
0,080	0,203718	0,080000	0,000085	0,040000	12,500021	0,000021	0,053333	0,026667	12,500000
0,090	0,257831	0,090000	0,000121	0,045000	11,111141	0,000030	0,060000	0,030000	11,111111
0,100	0,318310	0,100000	0,000167	0,050000	10,000042	0,000042	0,066667	0,033333	10,000000
0,110	0,385155	0,110000	0,000222	0,055000	9,090965	0,000055	0,073333	0,036667	9,090909
0,120	0,458366	0,119999	0,000288	0,060000	8,333405	0,000072	0,080000	0,040000	8,333333
0,130	0,537944	0,129999	0,000366	0,065000	7,692399	0,000092	0,086667	0,043334	7,692308
0,140	0,623887	0,139999	0,000457	0,070000	7,142971	0,000114	0,093334	0,046667	7,142857
0,150	0,716197	0,149998	0,000562	0,075000	6,666807	0,000141	0,100001	0,050001	6,666667
0,160	0,814873	0,159997	0,000683	0,080000	6,250171	0,000171	0,106668	0,053334	6,250000
0,170	0,919916	0,169996	0,000819	0,084999	5,882558	0,000205	0,113335	0,056668	5,882353
0,180	1,031324	0,179995	0,000972	0,089999	5,555799	0,000243	0,120002	0,060001	5,555556
0,190	1,149099	0,189994	0,001143	0,094999	5,263444	0,000286	0,126669	0,063335	5,263158
0,200	1,273240	0,199992	0,001333	0,099999	5,000333	0,000333	0,133336	0,066669	5,000000
0,210	1,403747	0,209990	0,001543	0,104998	4,762291	0,000386	0,140004	0,070003	4,761905
0,220	1,540620	0,219987	0,001775	0,109998	4,545898	0,000444	0,146671	0,073337	4,545455
0,230	1,683859	0,229984	0,002028	0,114997	4,348333	0,000507	0,153339	0,076672	4,347826
0,240	1,833465	0,239980	0,002304	0,119997	4,167243	0,000576	0,160007	0,080006	4,166667
0,250	1,989437	0,249976	0,002604	0,124996	4,000651	0,000651	0,166675	0,083341	4,000000
0,260	2,151775	0,259970	0,002929	0,129995	3,846886	0,000732	0,173344	0,086676	3,846154
0,270	2,320479	0,269964	0,003280	0,134994	3,704524	0,000820	0,180013	0,090011	3,703704
0,280	2,495550	0,279957	0,003658	0,139993	3,572343	0,000915	0,186682	0,093347	3,571429
0,290	2,676986	0,289949	0,004064	0,144991	3,449292	0,001016	0,193351	0,096683	3,448276
0,300	2,864789	0,299939	0,004499	0,149990	3,334458	0,001125	0,200021	0,100019	3,333333
0,310	3,058958	0,309928	0,004964	0,154988	3,227048	0,001241	0,206692	0,103356	3,225806
0,320	3,259493	0,319916	0,005460	0,159986	3,126365	0,001365	0,213363	0,106693	3,125000
0,330	3,466395	0,329902	0,005988	0,164984	3,031800	0,001497	0,220034	0,110031	3,030303
0,340	3,679662	0,339886	0,006549	0,169981	2,942814	0,001637	0,226706	0,113369	2,941176
0,350	3,899296	0,349869	0,007144	0,174978	2,858929	0,001786	0,233379	0,116708	2,857143
0,360	4,125296	0,359849	0,007774	0,179975	2,779721	0,001944	0,240053	0,120048	2,777778
0,370	4,357662	0,369827	0,008439	0,184971	2,704813	0,002110	0,246727	0,123388	2,702703
0,380	4,596395	0,379802	0,009142	0,189967	2,633865	0,002286	0,253403	0,126730	2,631579
0,390	4,841493	0,389774	0,009882	0,194962	2,566574	0,002471	0,260079	0,130072	2,564103
0,400	5,092958	0,399744	0,010662	0,199957	2,502666	0,002666	0,266756	0,133415	2,500000
0,410	5,350789	0,409710	0,011481	0,204952	2,441895	0,002871	0,273435	0,136759	2,439024
0,420	5,614986	0,419673	0,012341	0,209946	2,384039	0,003086	0,280114	0,140104	2,380952
0,430	5,885550	0,429633	0,013243	0,214939	2,328893	0,003312	0,286795	0,143450	2,325581
0,440	6,162479	0,439588	0,014188	0,219931	2,276275	0,003548	0,293477	0,146798	2,272727
0,450	6,445775	0,449539	0,015176	0,224923	2,226018	0,003795	0,300161	0,150147	2,222222
0,460	6,735437	0,459485	0,016210	0,229914	2,177967	0,004054	0,306847	0,153497	2,173913
0,470	7,031465	0,469427	0,017289	0,234904	2,131984	0,004324	0,313534	0,156849	2,127660
0,480	7,333860	0,479363	0,018415	0,239894	2,087939	0,004606	0,320223	0,160203	2,083333
0,490	7,642620	0,489294	0,019588	0,244882	2,045716	0,004900	0,326914	0,163558	2,040816
0,500	7,957747	0,499219	0,020810	0,249870	2,005205	0,005205	0,333607	0,166915	2,000000
0,510	8,279240	0,509138	0,022082	0,254856	1,966308	0,005524	0,340302	0,170274	1,960784
0,520	8,607099	0,519050	0,023404	0,259842	1,928932	0,005855	0,346999	0,173636	1,923077
0,530	8,941325	0,528955	0,024778	0,264826	1,892991	0,006199	0,353699	0,176999	1,886792

**Tabella 2: Tabella della clotoide di parametro A = 1 m**

# Infrastrutture Viarie

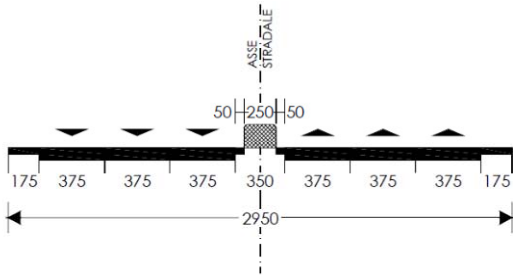
## A.A. 2013/14

### ESERCITAZIONE #6 – 6 maggio 2014

#### Squadre Separate - BIS

#### Esercizio #1

Dimensionare un raccordo orizzontale sinistrorso per l'ascissa di progetto di una strada di categoria B di cui è fornita la sezione trasversale:

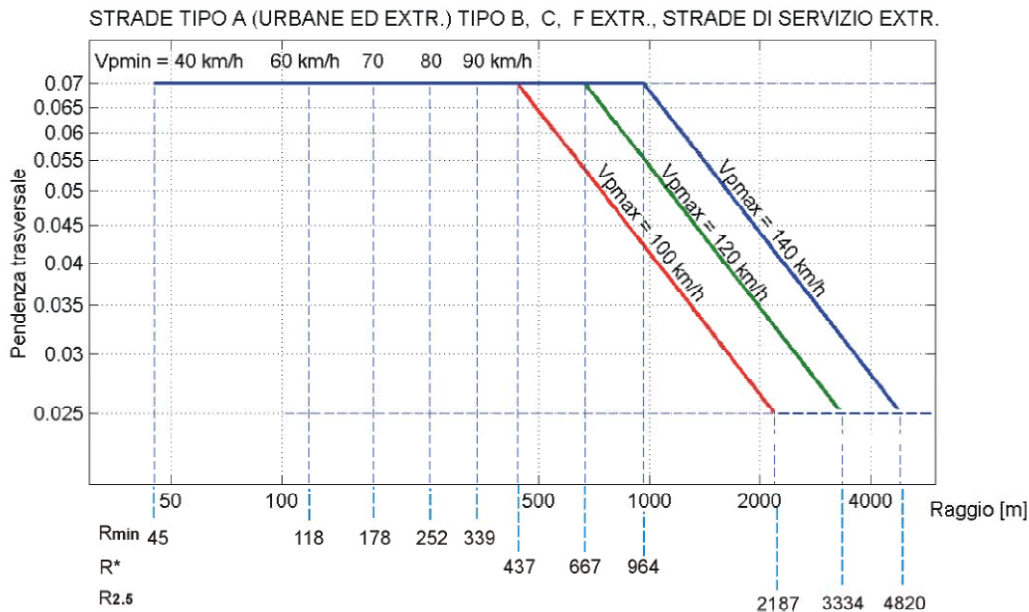


Si considerino inoltre:

- un angolo di deviazione nel vertice planimetrico di 40,55 gradi centesimali;
- un tempo di percorrenza del solo tratto circolare di almeno 2,5 s;
- una variazione della velocità di progetto tra rettilineo e tratto circolare del raccordo non superiore a 10 km/h, nell'ipotesi che sul rettilineo sia adottata la massima velocità di progetto.

Si richiede la verifica del raccordo secondo la norma tecnica vigente. In particolare sono richiesti:

- il diagramma di curvatura del tratto considerato (si inseriscano nel grafico due tratti rettilinei di 150 metri prima e dopo il raccordo);
- il diagramma delle velocità;



VELOCITÀ [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
ft (A, B, C, F <sub>extr</sub> )	-	0.21	0.17	0.13	0.11	0.10	0.09
ft (D, E, F <sub>urb</sub> )	0.22	0.21	0.20	0.16	-	-	-

Coefficiente di aderenza trasversale



***Ora gli analoghi calcoli, considerando la velocità della curva di 120 km/h, portano a questi risultati:***

$$R = R^* = 667 \text{ m}$$

$$A = 303 \text{ m}$$

$$\tau = 6,5687^c$$

$$\alpha = 27,4124^c$$

$$S = 287,21 \text{ m}$$

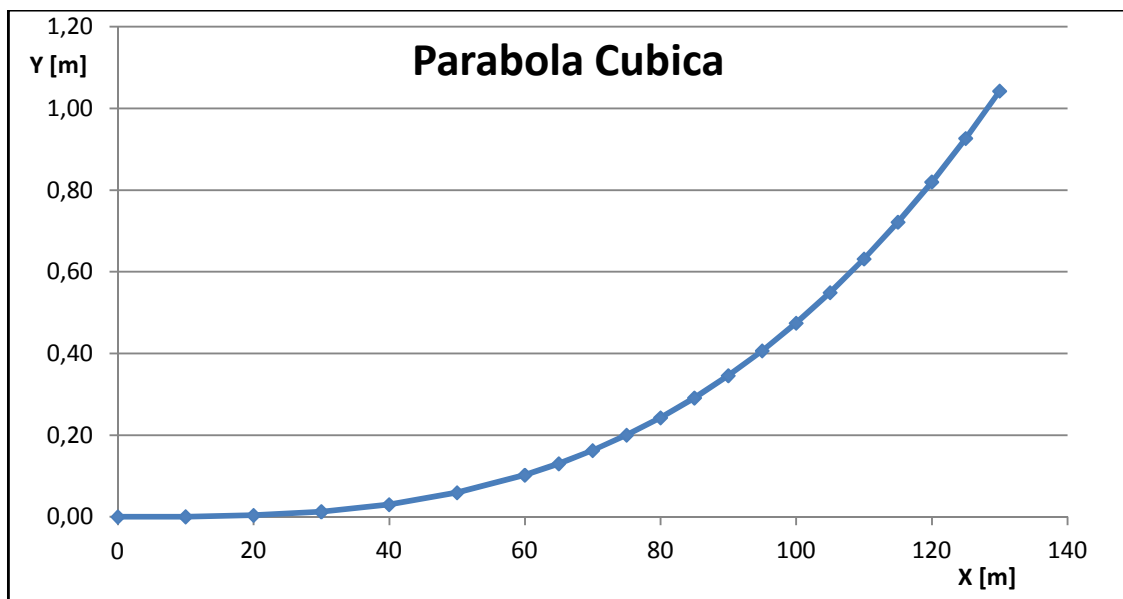
$$\rightarrow T = 8,62 \text{ s } \textit{OK}$$

$$\rightarrow R > R_{min} \rightarrow h = 7,49 * \frac{V^2}{R} = 7,49 * \frac{160 \text{ km/h}}{1300 \text{ m}} = 147,50 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{min,1} = \frac{a_{c,NC} * V_{max}}{3,6 * C_{max}} = \frac{0,6 \frac{m}{s^2} * 160 \text{ km/h}}{3,6 * 0,25 \frac{m}{s^3}} = 106,67 \text{ m} \\ L_{min,2} = \frac{h * V_{max}}{3,6 * d * W_{max}} = \frac{147,5 \text{ mm} * 160 \text{ km/h}}{3,6 * 1500 \text{ mm} * 0,036 \frac{rad}{s}} = 121,40 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$A = \sqrt{\frac{v^3}{c}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{160}{3,6}\right)^3}{0,25}} = 592,59 \text{ m}$$

Equazione parabola cubica  $\rightarrow Y = \frac{1}{6A^2} x^3$



Per determinare la distanza d'arresto tramite l'abaco, considero la  $V_{max}$  della strada (tipo C)

$$V_{max} = 100 \text{ km/h}$$

$$\rightarrow D_A \cong 166 \text{ m}$$

$$|\Delta i| = |i_2 - i_1| = |1,4 - (-2,6)| = 4\%$$

Ora con  $D_A$  (175m) e  $|\Delta i|$  posso determinare il Raggio verticale con l'abaco

$$\rightarrow R_v = 4313 \text{ m}$$

$$L = R_v * \frac{\Delta i}{100} = 4313 \text{ m} * \frac{4}{100} = 172,5 \text{ m}$$

• **VIA ANALITICA**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{In questo caso } D > L \text{ (175 > 172,5)} \\ R_v = \frac{200}{|\Delta i|} \left( D - \frac{100(h + D * \theta)}{|\Delta i|} \right) = \frac{200}{4} \left( 175 - \frac{100(0,5 + 175 * \text{sen}(1^\circ))}{4} \right) = 4308 \text{ m} \end{array} \right.$$

$R_v \rightarrow$  **VERIFICA PRESCRIZIONI NORMATIVA:**

$$\left\{ \begin{array}{l} R_v \geq 40 \text{ m OK} \\ R_v \geq 0,129 * V_p^2 = 0,129 * 100^2 = 1290 \text{ m OK} \end{array} \right.$$

$$\Delta h_1 = L_1 * i_1 = 350 \text{ m} * 0,026 = 9,1 \text{ m}$$

$$\Delta h_2 = L_2 * i_2 = 200 \text{ m} * 0,014 = 3,92 \text{ m}$$

$$L = 172,5 \text{ m} \rightarrow T_v = \frac{L}{2} = 86,25 \text{ m}$$

$$f_v = \frac{L * \Delta i}{800} = \frac{172,5 \text{ m} * 4}{800} = 0,8625 \text{ m}$$

$$Z_v = 370 - \Delta h_1 = 370 \text{ m} - 9,1 \text{ m} = 360,9 \text{ m}$$

$$Z_2 = Z_v + \Delta h_2 = 360,9 \text{ m} + 3,92 \text{ m} = 364,82 \text{ m}$$

$$\text{progressiva } V_1 = 88 + 350 = 438 \text{ m}$$

$$\text{progressiva } V_2 = 438 + 280 = 718 \text{ m}$$

**Punti di Tracciamento del raccordo verticale:**

si trovano con l'equazione  $Y = \frac{\Delta i}{200 * L} x^2 + \frac{i_1}{100} x$

X (COORD. LOCALI) [m]	Y (COORD.LOCALI) [m]
0	0
L/4=43,125	-0,906
L/2=86,25	-1,380
3L/4=129,375	-1,423
L=172,5	-1,035

Ora determiniamo le coordinate dell'origine del sistema locale, così da ricondurci alle coordinate globali

$$X_0 = 88 \text{ m} + (L_1 - T_v) = 88 \text{ m} + (350 - 86,25) = 351,75 \text{ m}$$

$$Z_0 = 370 \text{ m} - (L_1 - T_v) * i_1 = 370 \text{ m} - (350 - 86,25) * 0,026 = 363,14 \text{ m}$$

$\rightarrow$  **sommando questi valori alle coord. locali, troviamo le coord. globali**

$$|\Delta i| = |i_2 - i_1| = |0,3 - 1,8| = 1,5\%$$

Ora con  $D_A$  (175m) e  $|\Delta i|$  posso determinare  $R_v$  con l'abaco ( $h = 0,10$  m)  
 →  $R_v = 7000$  m (R che garantisce l'arresto)

$$L = R_v * \frac{\Delta i}{100} = 7000m * \frac{1,5}{100} = 105$$
 m

**Ora determiniamo R tale da garantire la visibilità per il sorpasso**

$$D_s = 5,5 * V = 5,5 * 100 \text{ km/h} = 550$$
 m

Ora con  $D_s$  e  $|\Delta i|$  posso determinare  $R_v$  con l'abaco ( $h = 1,10$  m)  
 →  $R_v = 34000$  m (R che garantisce il sorpasso)

$$L_2 = R_v * \frac{\Delta i}{100} = 34000m * \frac{1,5}{100} = 510$$
 m

$R_v$  → **VERIFICA PRESCRIZIONI NORMATIVA:**

$$\begin{cases} R_v \geq 20 \text{ m OK} \\ R_v \geq 0,129 * V_p^2 = 0,129 * 100^2 = 1290 \text{ m OK} \end{cases}$$

$$\Delta h_1 = L_1 * i_1 = 300m * 0,018 = 5,40$$
 m

$$\Delta h_2 = L_2 * i_2 = 300m * 0,003 = 0,90$$
 m

$$L = 510 \text{ m} \rightarrow T_v = \frac{L}{2} = 255$$
 m

$$f_v = \frac{L * \Delta i}{800} = \frac{510m * 1,5}{800} = 0,9562$$
 m

$$Z_V = 165 + \Delta h_1 = 165 \text{ m} + 5,40 \text{ m} = 170,40$$
 m

$$Z_2 = Z_V + \Delta h_2 = 170,40 \text{ m} + 0,90m = 171,30$$
 m

$$\text{progressiva } V_1 = 15 + 300 = 315$$
 m

$$\text{progressiva } V_2 = 315 + 300 = 615$$
 m

**Punti di Tracciamento del raccordo verticale:**

si trovano con l'equazione  $Y = \frac{\Delta i}{200 * L} x^2 + \frac{i_1}{100} x$

X (COORD. LOCALI) [m]	Y (COORD.LOCALI) [m]
0	0
L/4=127,5	2,0559
L/2=255	3,6338
3L/4=382,5	4,7334
L=510	5,355

Ora determiniamo le coordinate dell'origine del sistema locale, così da ricondurci alle coordinate globali

$$X_0 = 15m + (L_1 - T_v) = 15m + (300 - 255) = 60$$
 m

$$Z_0 = 165m + (L_1 - T_v) * i_1 = 165m + (300 - 255) * 0,018 = 165,81m$$

→ **sommando questi valori alle coord. locali, troviamo le coord. globali**

# Infrastrutture Viarie

## A.A. 2013/14

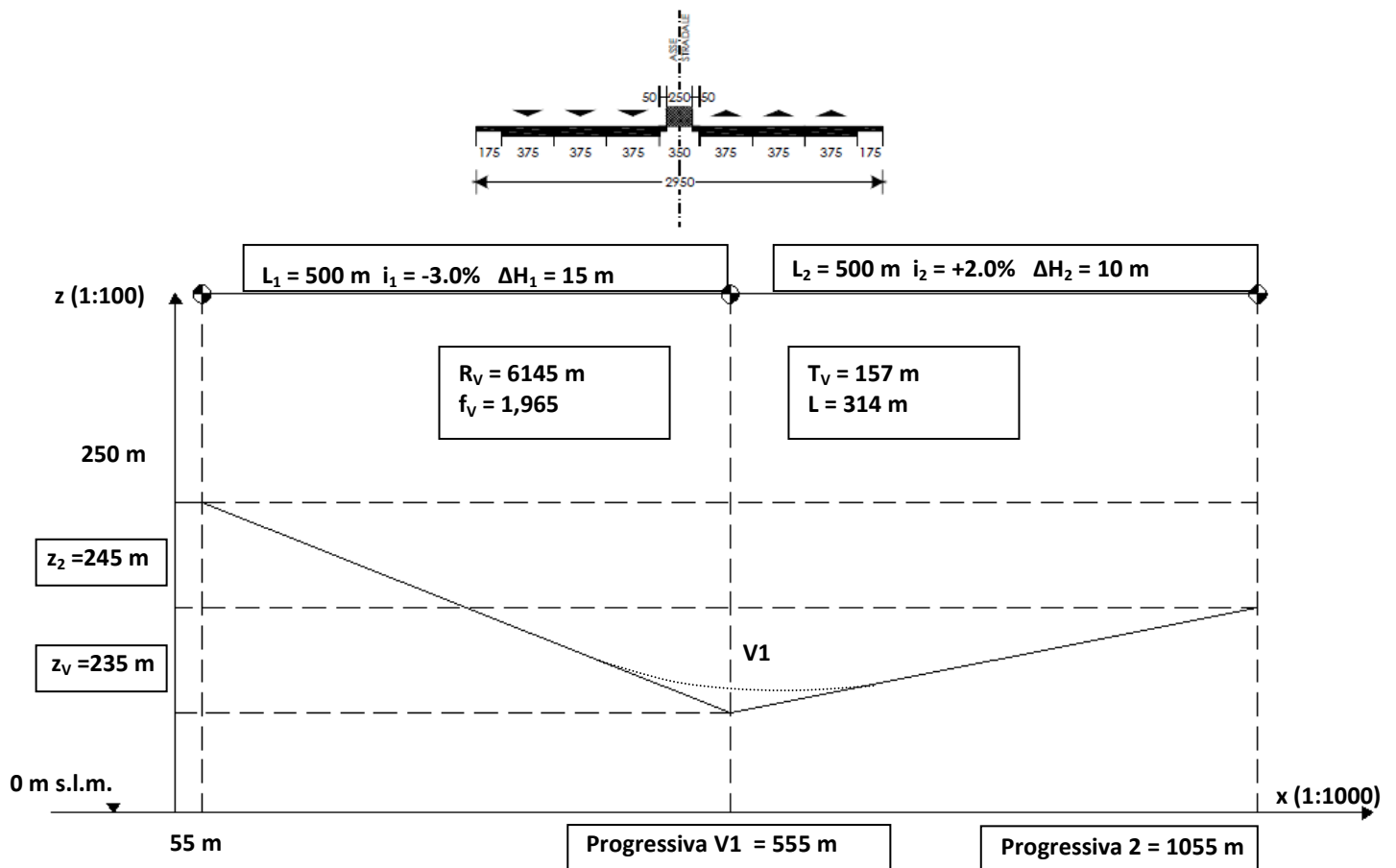
### ESERCITAZIONE #7 – 13 maggio 2014

#### Squadre Separate

#### Esercizio 1

Di una strada di categoria B (70 ÷ 120 km/h) è dato l'andamento altimetrico di due livellette:  
 Supponendo di trovarsi lungo un rettilineo, si richiede:

- il dimensionamento del raccordo verticale parabolico ( $R_v$  ed  $L$ );
- di completare con i dati mancanti il profilo altimetrico di **Figura 1**;
- di calcolare i punti di tracciamento richiesti in **Tabella 1** e tracciare qualitativamente il raccordo in **Figura 1**.



Punti	x [m]	z [m]
A (X=0)	398	239,6
B (X=L/4)	476,50	237,78
C (X=L/2)	555	236,92
D (X=3/4 L)	633,5	237,02
E (X=L)	712	238,07

**NOTA:** con x si indica il sistema di riferimento globale, con X il sistema di riferimento locale del raccordo parabolico

**Punti di Tracciamento del raccordo verticale:**

si trovano con l'equazione  $Y = \frac{\Delta i}{200 * L} x^2 + \frac{i_1}{100} x$

X (COORD. LOCALI) [m]	Y (COORD.LOCALI) [m]
0	0
L/4=78,5	-1,82
L/2=157	-2,68
3L/4=235,5	-2,58
L=314	-1,53

*Ora determiniamo le coordinate dell'origine del sistema locale, così da ricondurci alle coordinate globali*

$$X_0 = 55m + (L_1 - T_v) = 88m + (500 - 157) = 398 m$$

$$Z_0 = 250m - (L_1 - T_v) * i_1 = 250m - (500 - 157) * 0,03 = 239,6 m$$

**→ sommando questi valori alle coord. locali, troviamo le coord. globali**

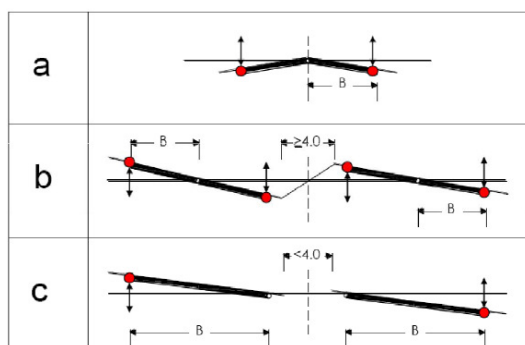
# Infrastrutture Viarie

## A.A. 2013/14

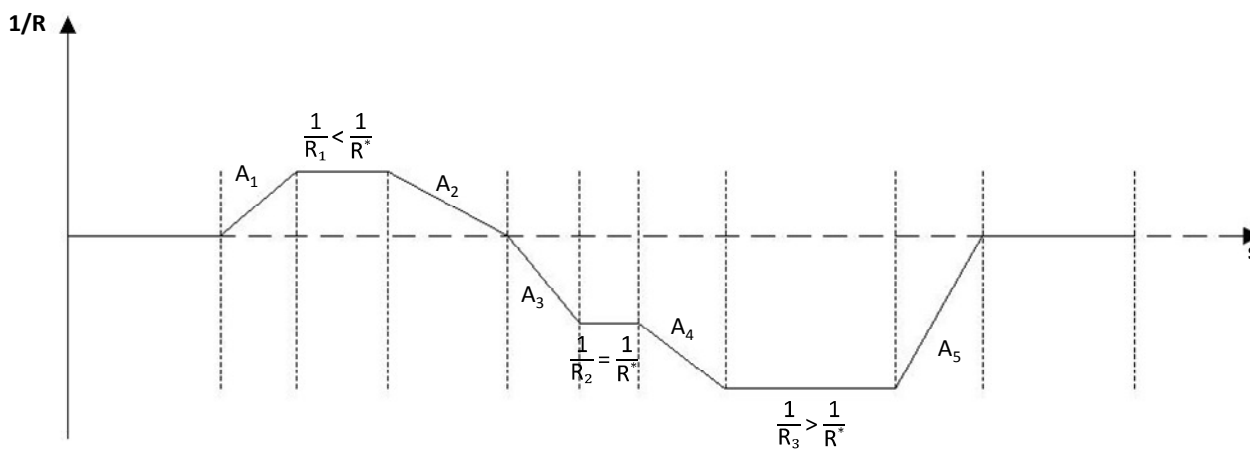
### ESERCITAZIONE #8 – 15 maggio 2014

#### Esercizio 1

Siano date tre differenti tipologie di piattaforma stradale (**Figura 1**). Rappresentare l'andamento dei cigli di tutte e tre le tipologie per il diagramma delle curvatures di **Figura 2**.

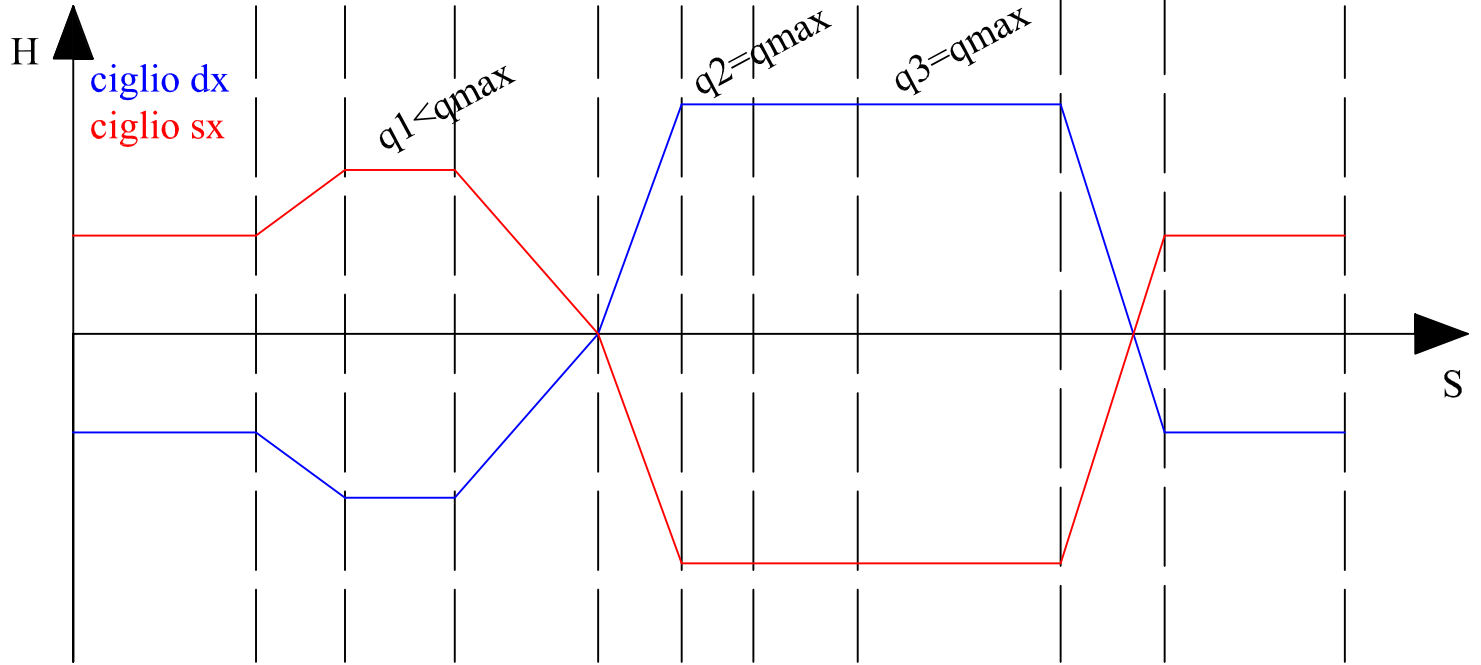


**Figura 1**

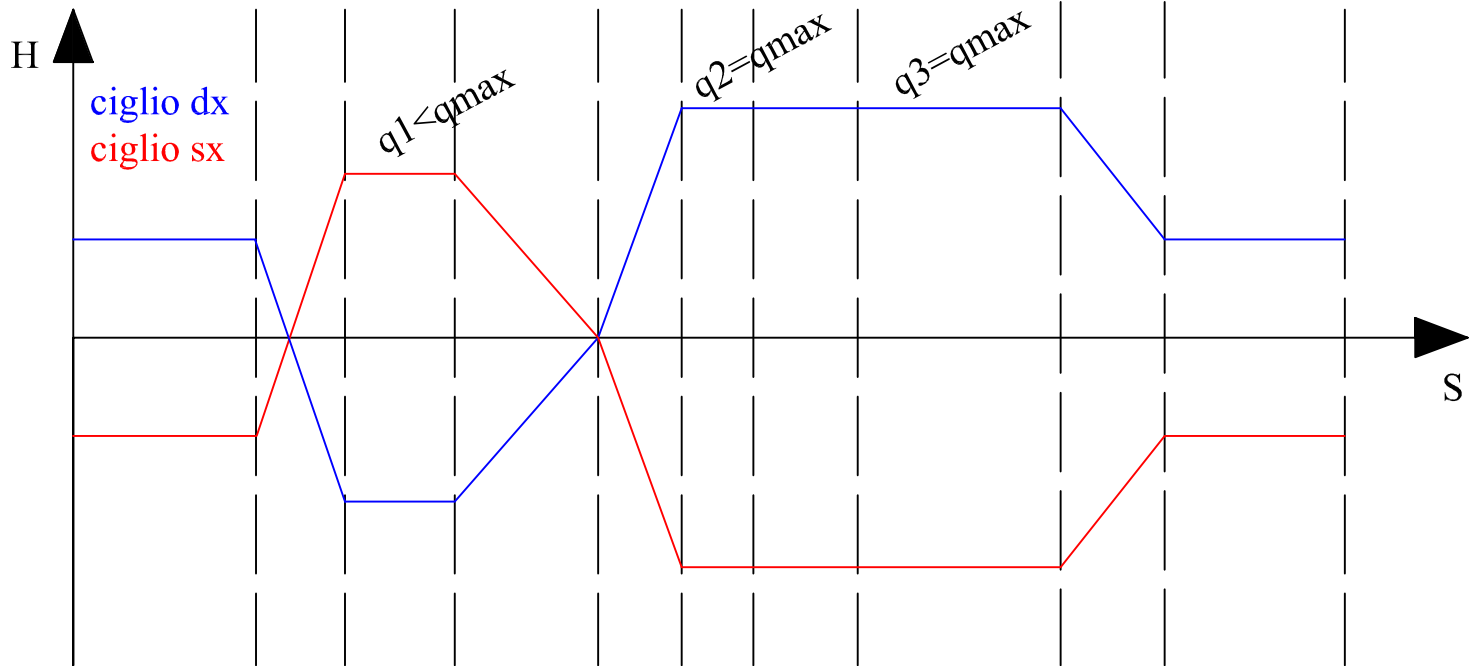


**Figura 2**

### STRADA TIPO B (carreggiata DESTRA)



### STRADA TIPO B (carreggiata SINISTRA)



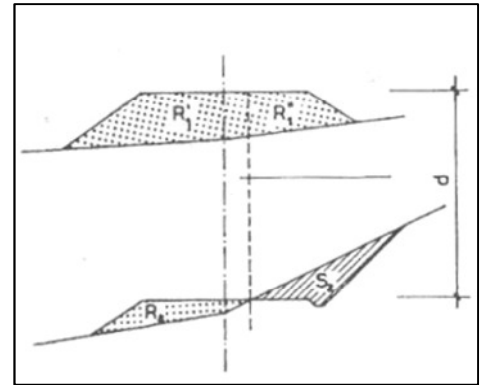


**Sezioni consecutive di trincea o rilevato e mista**

$$V'_{12,r} = \frac{R'_1 + R_2}{2} * d_{1,2}$$

$$d_{1p} = \frac{S_2}{S_2 + R'_1} * d_{1,2} ; d_{p2} = d_{1p} - d_{1,2}$$

$$V_{12,s} = \frac{S_2 * d_{1p}}{2} ; V''_{12,r} = \frac{R''_1 * d_{p2}}{2}$$



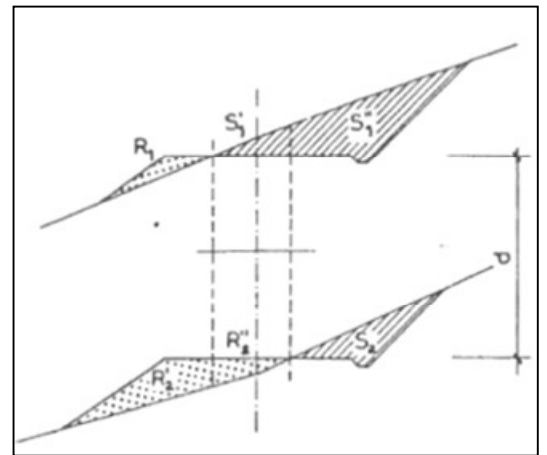
**Sezioni consecutive miste**

$$V'_{12,r} = \frac{R_1 + R'_2}{2} * d_{1,2}$$

$$V'_{12,s} = \frac{S'_1 + S_2}{2} * d_{1,2}$$

$$d_{1p} = \frac{S'_1}{S'_1 + R''_2} * d_{1,2} ; d_{p2} = d_{1p} - d_{1,2}$$

$$V''_{12,s} = \frac{S_2 * d_{1p}}{2} ; V''_{12,r} = \frac{R''_1 * d_{p2}}{2}$$



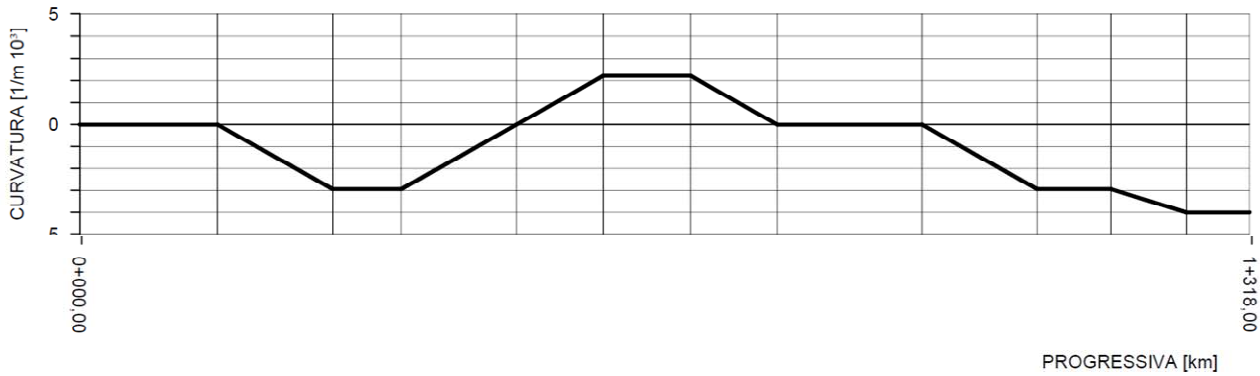


Figura 2

### SVOLGIMENTO

$$q_1 = 7\% ; q_2 = 6,8\% ; q_3 = 7\% ; q_4 = 7\%$$

$$\Delta i = \frac{(q_f + q_i)B}{L}$$

$$\Delta i_{max,1} = \frac{18 * B}{V} = \frac{18 * 7,50 \text{ m}}{100 \text{ km/h}} = 1,35 ; \Delta i_{min,1} = 0,1 * B = 0,1 * 7,5 \text{ m} = 0,75$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta i_{1,1} = \frac{(0,07 + 0,025) * 7,50 \text{ m}}{130 \text{ m}} = 0,005 ; \Delta i_{1,2} = \frac{(0 + 0,07) * 7,50 \text{ m}}{130 \text{ m}} = 0,004 \\ \Delta i_{1,3} = \frac{(0,068 + 0) * 7,50 \text{ m}}{98 \text{ m}} = 0,005 ; \Delta i_{1,4} = \frac{(0,025 + 0,068) * 7,50 \text{ m}}{98 \text{ m}} = 0,007 \end{array} \right.$$

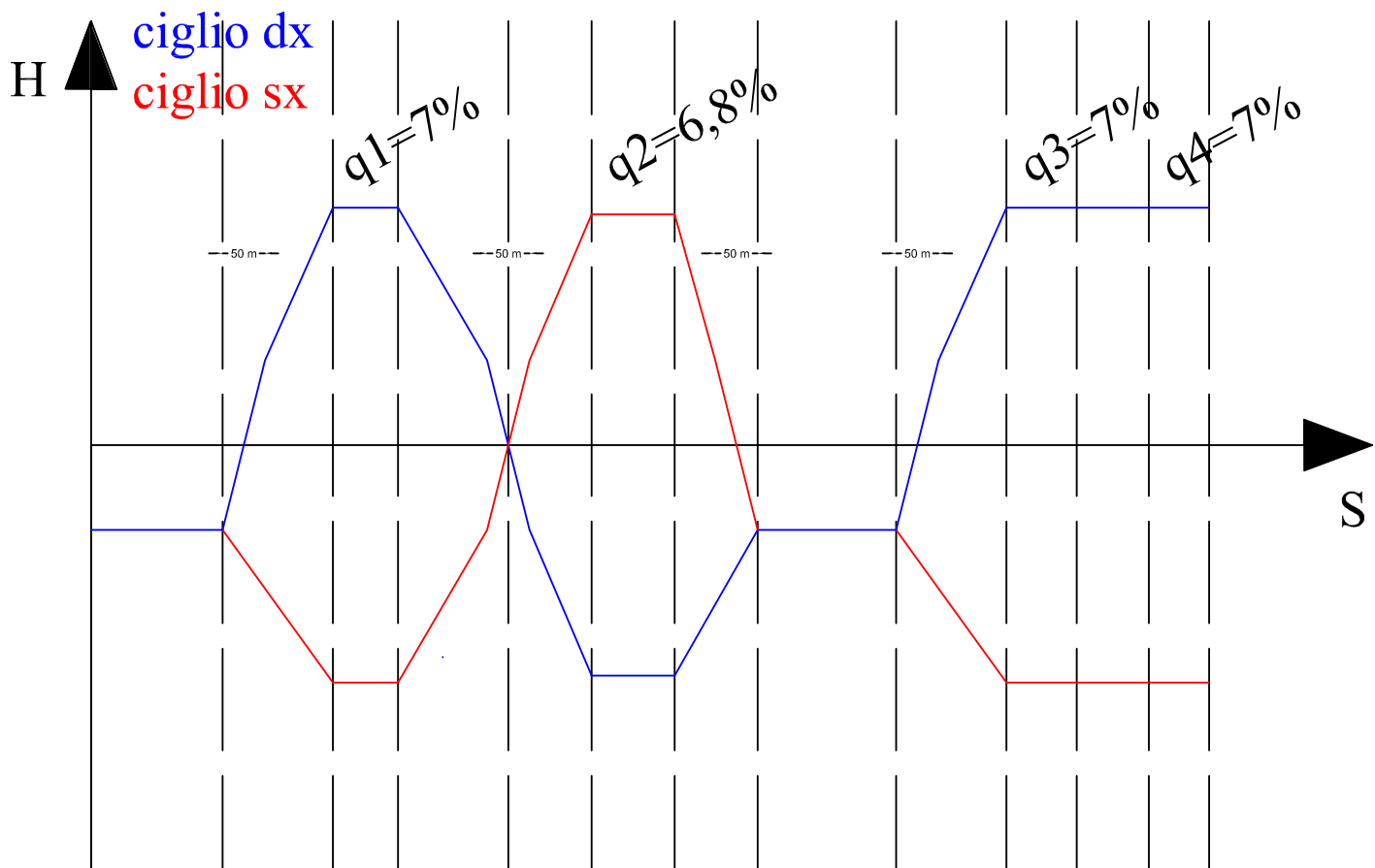
$$\Delta i_{max,2} = \frac{18 * B}{V} = \frac{18 * 7,50 \text{ m}}{100 \text{ km/h}} = 1,35 ; \Delta i_{min,2} = 0,1 * B = 0,1 * 7,5 \text{ m} = 0,75$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta i_{2,1} = \frac{(0,07 + 0,025) * 7,50 \text{ m}}{130 \text{ m}} = 0,005 ; \Delta i_{2,2} = \frac{(0 + 0,07) * 7,50 \text{ m}}{130 \text{ m}} = 0,004 \\ \Delta i_{2,3} = \frac{(0,068 + 0) * 7,50 \text{ m}}{98 \text{ m}} = 0,005 ; \Delta i_{2,4} = \frac{(0,025 + 0,068) * 7,50 \text{ m}}{98 \text{ m}} = 0,007 \end{array} \right.$$

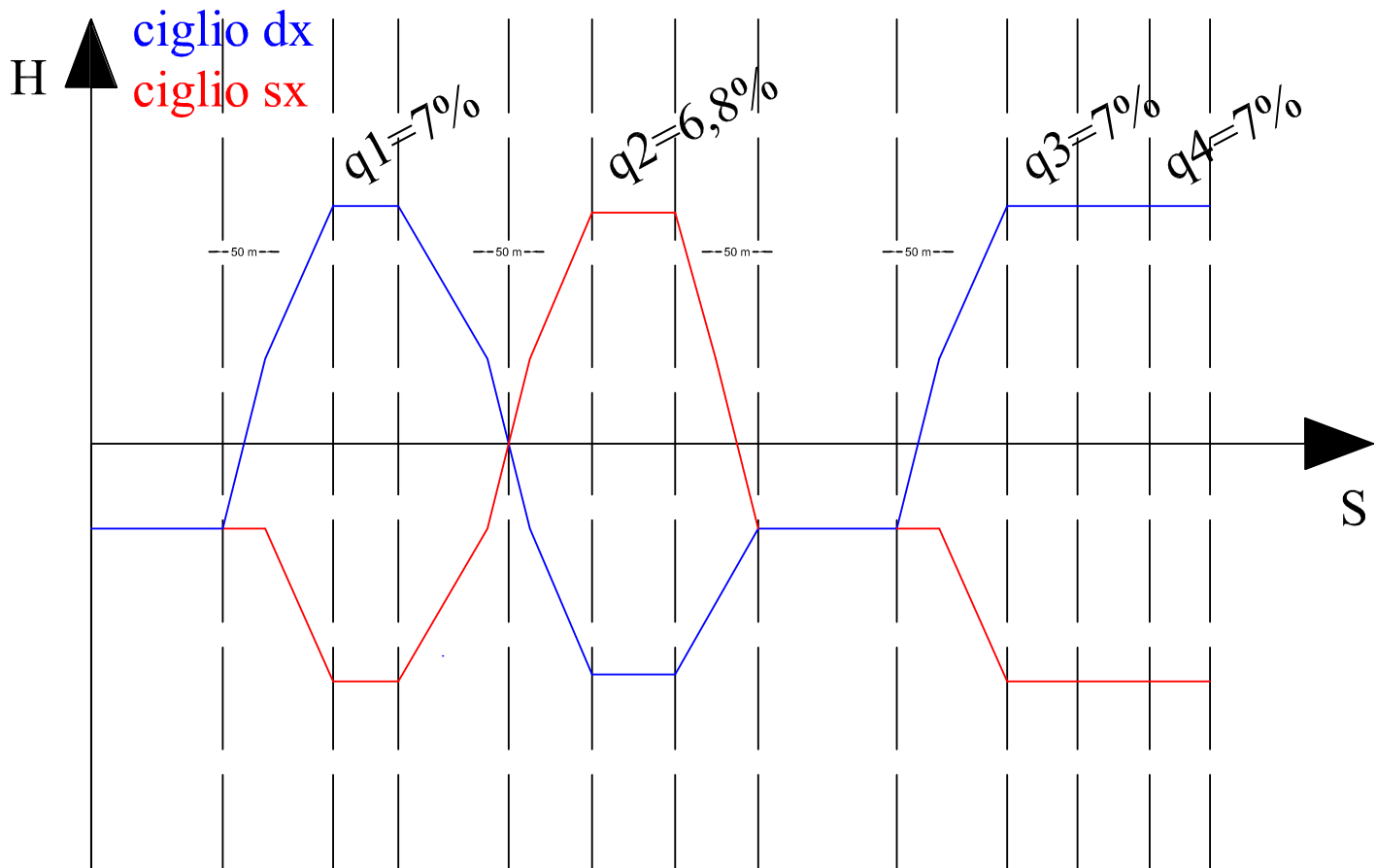
$$\Delta i_{max,3} = \frac{18 * B}{V} = \frac{18 * 3,75 \text{ m}}{100 \text{ km/h}} = 0,675 ; \Delta i_{min,3} = 0,1 * B = 0,1 * 3,75 \text{ m} = 0,375$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta i_{3,1} = \frac{(0,07 + 0,025) * 3,75 \text{ m}}{130 \text{ m}} = 0,0027 ; \Delta i_{3,2} = \frac{(0 + 0,07) * 3,75 \text{ m}}{130 \text{ m}} = 0,0020 \\ \Delta i_{3,3} = \frac{(0,068 + 0) * 3,75 \text{ m}}{98 \text{ m}} = 0,0026 ; \Delta i_{3,4} = \frac{(0,025 + 0,068) * 3,75 \text{ m}}{98 \text{ m}} = 0,0035 \end{array} \right.$$

### STRADA TIPO 2



### STRADA TIPO 3



# Infrastrutture Viarie

## A.A. 2013/14

### ESERCITAZIONE #9 – 22 maggio 2014

#### Esercizio 1

Classificare il terreno secondo il metodo previsto dalla norma UNI CNR 10006. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle prove di analisi granulometrica e di suscettività all'acqua.

<b>D<sub>setaccio</sub></b>	<b>Trattenuto</b>
<b>[mm]</b>	<b>[g]</b>
63	0,0
31,5	180,3
16	932,3
8	819,6
6,3	321,3
4	555,0
2	721,3
1	853,5
0,5	1087,6
0,425	356,7
0,075	1875,9
0,063	257,6
0,002	1985,7
≤ 0,002	2587,0
<b>Totale</b>	<b>12533,8</b>

<b>LL</b>	<b>m<sub>u</sub></b>	<b>m<sub>s</sub></b>	<b>N</b>
	<b>[g]</b>	<b>[g]</b>	<b>[-]</b>
1	21,239	17,479	28
2	19,284	15,495	23
3	17,361	13,927	21
4	17,300	13,734	14

<b>LP</b>	<b>m<sub>u</sub></b>	<b>m<sub>s</sub></b>
	<b>[g]</b>	<b>[g]</b>
1	10,964	9,278
2	10,832	9,133

#### SVOLGIMENTO

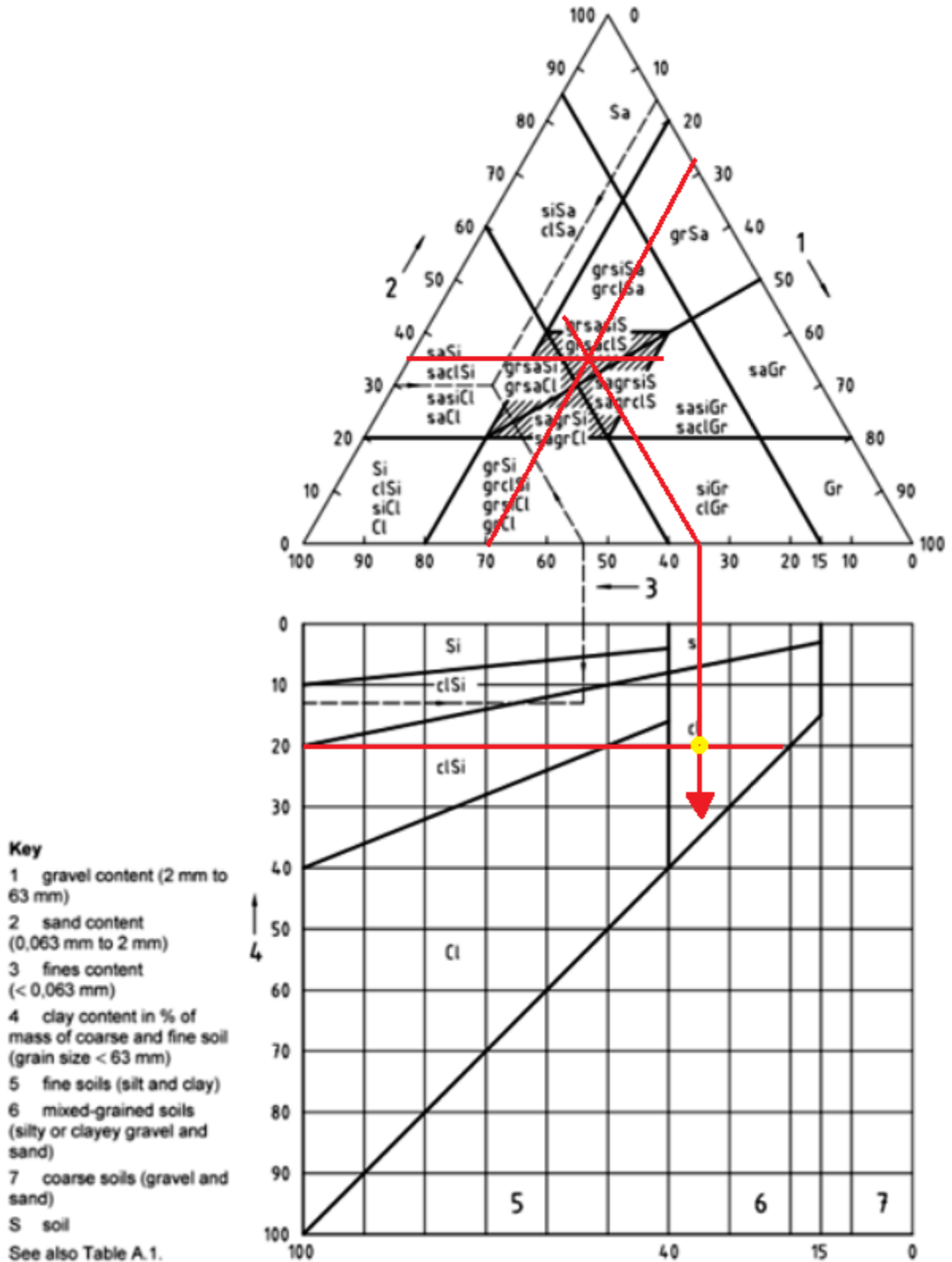
<b>D<sub>setaccio</sub></b>	<b>Trattenuto</b>	<b>Trattenuto Progressivo</b>	<b>Trattenuto Progressivo</b>	<b>Passante Progressivo</b>
<b>[mm]</b>	<b>[g]</b>	<b>[g]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>
<b>63</b>	0	0	0,00	100,00
<b>31,5</b>	180,3	180,3	1,44	98,56
<b>16</b>	932,3	1112,6	8,88	91,12
<b>8</b>	819,6	1932,2	15,42	84,58
<b>6,3</b>	321,3	2253,5	17,98	82,02
<b>4</b>	555	2808,5	22,41	77,59
<b>2</b>	721,3	3529,8	28,16	71,84
<b>1</b>	853,5	4383,3	34,97	65,03
<b>0,5</b>	1087,6	5470,9	43,65	56,35
<b>0,425</b>	356,7	5827,6	46,50	53,50
<b>0,075</b>	1875,9	7703,5	61,46	38,54
<b>0,063</b>	257,6	7961,1	63,52	36,48
<b>0,002</b>	1985,7	9946,8	79,36	20,64
<b>≤ 0,002</b>	2587	12533,8	100,00	0,00
<b>Totale</b>	<b>12533,8</b>			

## Esercizio 2

Classificare il terreno dell'esercizio 1 impiegando il metodo previsto dalla norma UNI EN ISO 14688 (Parte 1 e Parte 2).

### SVOLGIMENTO

$$P_{2-63mm} = 28,16\% ; P_{2-0,063mm} = 35,36\% ; P_{<0,063mm} = 36,48\% ; P_{<0,002} = 20,64\%$$



**Esercizio 4**

Siano noti i risultati di una prova di densità in sito effettuata con il metodo del cono di sabbia. Si richiede di valutare la densità secca del terreno in sito.

Peso della sabbia contenuta nel cono e nella piastra [g]	1538,9
Peso della sabbia totale impiegata [g]	4957,8
Massa volumica apparente della sabbia utilizzata [g/cm <sup>3</sup> ]	1,349
Peso umido del terreno prelevato [g]	5346,8
Umidità del terreno prelevato [%]	4,50

**SVOLGIMENTO**

$$m_s = \frac{m_u}{1 + \frac{w}{100}} = \frac{5346,80 \text{ g}}{1 + \frac{4,50\%}{100}} = 5116,60 \text{ g}$$

$$V = \frac{m_{tot} - m_{cono+piastra}}{\gamma_{sabbia}} = \frac{4957,80 - 1538,90 \text{ g}}{1,349 \text{ g/cm}^3} = 2534,40 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{s,sito} = \frac{m_s}{V} = \frac{5116,60 \text{ g}}{2534,40 \text{ cm}^3} = 2,019 \text{ g/cm}^3$$