

NUMERO : 218

DATA : 23/02/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Sannipoli

MATERIA : Fondamenti di 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.**

Sommario

ESERCITAZIONE 1	1
Esercizio 1.....	1
Esercizio 2.....	2
Esercizio 3.....	3
Esercizio 4.....	4
Esercizio 5.....	5
ESERCITAZIONE 2	11
Esercizio 1.....	11
Esercizio 2.....	14
Esercizio 3.....	16
Esercizio 4.....	19
Esercizio 5.....	21
ESERCITAZIONE 3	23
Esercizio 1.....	23
Esercizio 2.....	30
Esercizio 3.....	37
Esercizio 4.....	45
Esercizio 5.....	55
Esercizio 6.....	59
ESERCITAZIONE 4	63
Esercizi 2-3-4	63
Esercizio 5.....	73
Esercizio 6.....	75
ESERCITAZIONE 5	79
Esercizio 1.....	79
Esercizio 2.....	80
Esercizio 3.....	81
Esercizio 5.....	83
Esercizio 6.....	93
ESERCITAZIONE 6	95

ESERCITAZIONE 1

Esercizio 1

Individuare la scelta modale di spostamento tra due quartieri cittadini, calcolando le differenti probabilità di distribuzione nei tre modi di trasporto $m_{ij,spostamento}$.

	Tempo	Costo
Auto	20'	3 €
Bus	30'	1 €
Piedi	50'	-

Tabella 1: Tempi e costi dei differenti tipi di spostamento

Svolgimento

Calcolo delle funzioni di utilità U_{ij} .

$$U_{ij,auto} = 1 - 0.1 \times t_{ij,auto} - 0.05 \times C_{ij,auto} = 1 - 0.1 \times 20 - 0.05 \times 3 = -1.15$$

$$U_{ij,bus} = -0.1 \times t_{ij,bus} - 0.05 \times C_{ij,bus} = -0.1 \times 30 - 0.05 \times 1 = -3.05$$

$$U_{ij,piedi} = -0.1 \times t_{ij,piedi} - 0.05 = -0.1 \times 50 - 0.05 = -5.05$$

Calcolo delle probabilità di distribuzione nei tre modi di trasporto $m_{ij,spostamento}$.

$$m_{ij,x} = \frac{e^{u_{ij,x}}}{\sum e^{u_{ij}}}$$

$$\sum e^{u_{ij}} = e^{u_{ij,auto}} + e^{u_{ij,bus}} + e^{u_{ij,piedi}} = e^{-1.15} + e^{-3.05} + e^{-5.05} = 0.3704$$

$$m_{ij,auto} = \frac{e^{u_{ij,auto}}}{\sum e^{u_{ij}}} = \frac{e^{-1.15}}{0.3704} = 0.855$$

$$m_{ij,bus} = \frac{e^{u_{ij,bus}}}{\sum e^{u_{ij}}} = \frac{e^{-3.05}}{0.3704} = 0.128$$

$$m_{ij,piedi} = \frac{e^{u_{ij,piedi}}}{\sum e^{u_{ij}}} = \frac{e^{-5.05}}{0.3704} = 0.017$$

AUTO	85.5%
BUS	12.8%
PIEDI	1.7%

Esercizio 3

Data la rete (1) in **Figura 1**, individuare i percorsi che uniscono il nodo 1 a tutti gli altri nodi e determinare il minimo percorso che da 1 porta a 16.

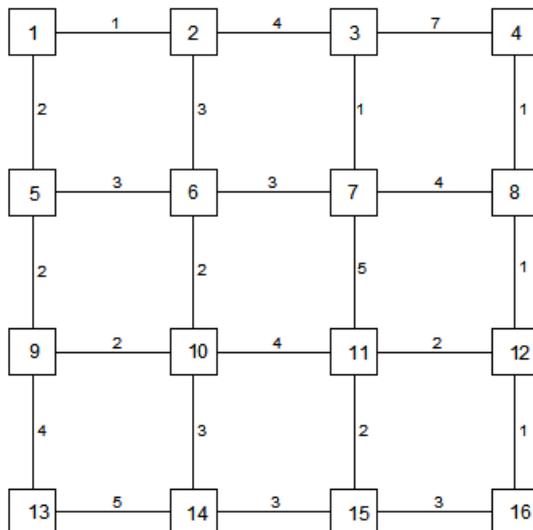
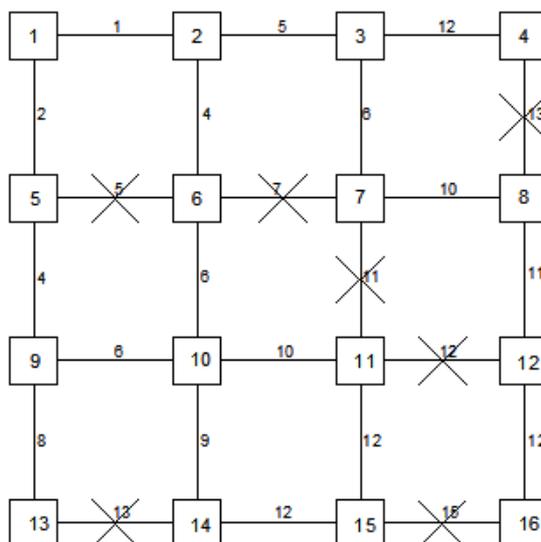


Figura 1: Rete (1)

Svolgimento

Metodo di risoluzione: si parte dal nodo che genera spostamento (in questo caso 1) e si realizzano tutte le connessioni possibili con nodi adiacenti (in questo caso le connessioni possono essere effettuate solo verso destra e verso il basso). Quando un nodo viene raggiunto da una connessione, questo si libera e viene analizzato ulteriormente. Tale meccanismo si conclude quando si arriva al nodo attrattore di spostamenti (in questo caso 16).



Si evince dunque che il minimo percorso per andare da 1 a 16 è rappresentato da:
 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 16$.

Esercizio 5

Assegnare i flussi di traffico alla rete (3) di **Figura 3** in base ai dati di partenza riportati in **Tabella 3**. Si supponga di assegnare, in successione, il 40%, 30%, 20% e 10% del flusso entrante nella rete.

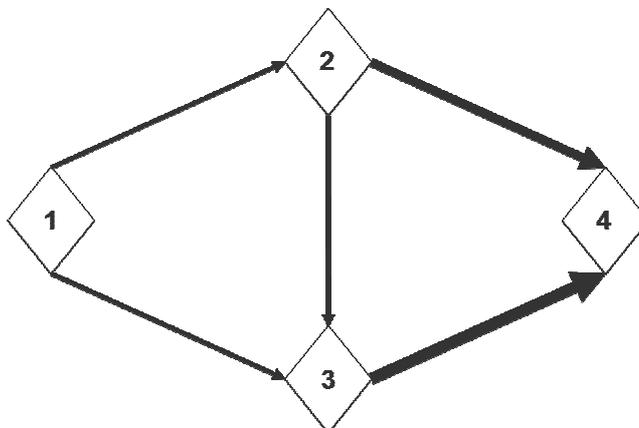


Figura 3: Rete (3)

Arco	c_0	C
1 - 2	22	1000
1 - 3	10	1000
2 - 3	11	1000
2 - 4	20	2500
3 - 4	13	3300

Tabella 3: Costi e capacità dei differenti archi costituenti la rete (3)

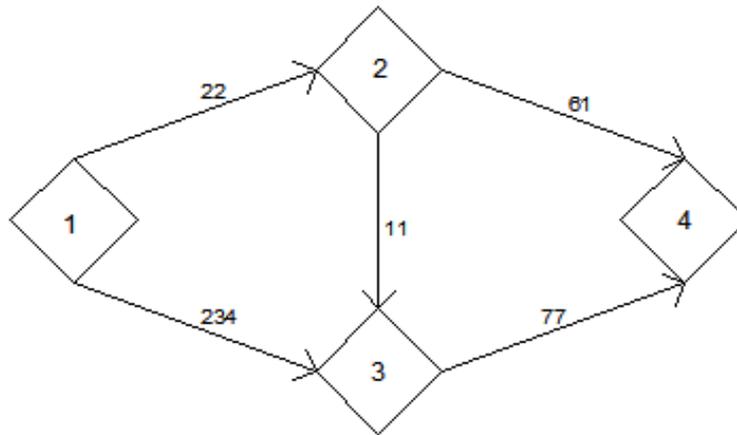
I **flussi** partenti dai centroidi sono:

- f_{1-2} = 1500 veicoli/unità di tempo;

- f_{2-4} = 1000 veicoli/unità di tempo;

- f_{3-4} = 800 veicoli/unità di tempo.

Passo 2



Ricerca dei percorsi di minimo costo:

PERCORSO 1-4	COSTO TOTALE
1-->2-->3-->4	110
1-->2-->4	83
1-->3-->4	311

PERCORSO 2-4	COSTO TOTALE
2-->3-->4	88
2-->4	61

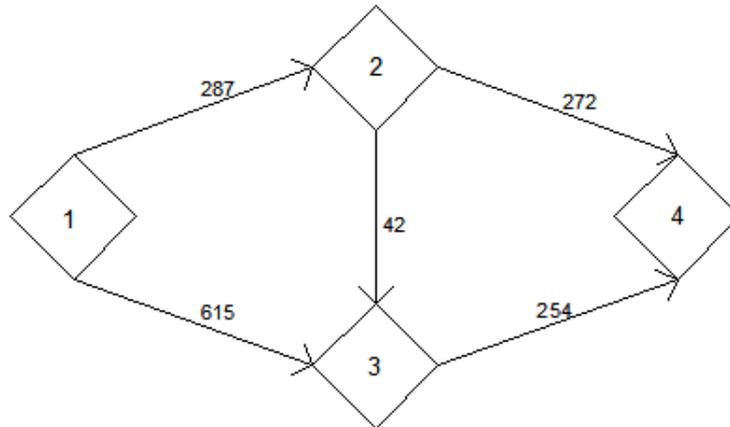
PERCORSO 3-4	COSTO TOTALE
3-->4	77

Sono evidenziati in rosso i percorsi di minimo costo.

Si passa ora all'assegnazione del 30% del flusso:

Arco	% assegnazione	c ₀	f ₀		C	c _i
1-->2	30	22	450	450	1000	287
1-->3		10	600	600	1000	234
2-->3		11	0	0	1000	11
2-->4		20	300+450+400	1150	2500	272
3-->4		13	240+920	1160	3300	109

Passo 4



Ricerca dei percorsi di minimo costo:

PERCORSO 1-4	COSTO TOTALE
1-->2-->3-->4	583
1-->2-->4	559
1-->3-->4	869

PERCORSO 2-4	COSTO TOTALE
2-->3-->4	296
2-->4	272

PERCORSO 3-4	COSTO TOTALE
3-->4	254

Sono evidenziati in rosso i percorsi di minimo costo.

Si passa ora all'assegnazione del 10% del flusso:

Arco	% assegnazione	c_0	f_0		C	c_i
1-->2	10	22	150+450	600	1000	
1-->3		10	900	900	1000	
2-->3		11	200	200	1000	
2-->4		20	150+100+1150	1400	2500	
3-->4		13	80+1160	1900	3300	

Non è necessario ricalcolare i costi c_i , poiché tutto il flusso è stato assegnato e dunque non devono più essere trovati i percorsi di minimo costo.

ESERCITAZIONE 2

Esercizio 1

Calcolare la massima capacità e la velocità ideale di un convoglio di una linea ferroviaria con sistema a blocco automatico nell'ipotesi di:

- convoglio composto da 15 unità tra vagoni e locomotore;
- lunghezza di ogni singola unità pari a 25 m;
- tempo di percezione e reazione t_R pari a 2 s;
- decelerazione a di 1 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:

- 90 km/h;
- 180 km/h.

Valutare inoltre la capacità della linea, nelle medesime condizioni sopraesposte, ipotizzando la presenza di stazioni in linea:

- tempo di sosta pari a 3'.

Svolgimento

Calcolo della massima capacità e della velocità ideale.

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot j \cdot L}{a}} + t_r}$$
$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot a \cdot L}{k \cdot j}}$$

ove:

- L = lunghezza del convoglio;
- v_{max} = velocità massima in esercizio del convoglio;
- a = decelerazione del convoglio;
- k = fattore di sicurezza;

$$C_{180} = \frac{3600}{\frac{15 \cdot 25[m]}{\frac{180}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]} + \frac{2 \cdot 2 \cdot \frac{180}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]}{2 \cdot 1 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 2[s] + (3 \cdot 60)[s]} = 12.4 \text{ convogli/h}$$

La capacità della linea, nel caso di presenza di stazioni in linea, decresce vistosamente.

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot (9 \cdot 30[m])}{2 \cdot 3}} = 13.4 \text{ m/s} = 48.3 \text{ km/h}$$

La massima capacità della linea è quindi di **83.2 convogli/ora** raggiunta con una velocità ideale del convoglio pari a **48 km/h**.

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

$$C_{200} = \frac{3600}{\frac{9 \cdot 30[m]}{\frac{200}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]} + \frac{2 \cdot 3 \cdot \frac{200}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]}{2 \cdot 2 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 3[s]} = 39.5 \text{ convogli/h}$$

$$C_{250} = \frac{3600}{\frac{9 \cdot 30[m]}{\frac{250}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]} + \frac{2 \cdot 3 \cdot \frac{250}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]}{2 \cdot 2 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 3[s]} = 32.4 \text{ convogli/h}$$

Calcolo della capacità della linea, nelle medesime condizioni sopraesposte, ipotizzando la presenza di stazioni in linea.

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

$$C_{200} = \frac{3600}{\frac{9 \cdot 30[m]}{\frac{200}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]} + \frac{2 \cdot 3 \cdot \frac{200}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]}{2 \cdot 2 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 3[s] + (3 \cdot 60)[s]} = 13.3 \text{ convogli/h}$$

$$C_{250} = \frac{3600}{\frac{9 \cdot 30[m]}{\frac{250}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]} + \frac{2 \cdot 3 \cdot \frac{250}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right]}{2 \cdot 2 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 3[s] + (3 \cdot 60)[s]} = 12.4 \text{ convogli/h}$$

La capacità della linea, nel caso di presenza di stazioni in linea, decresce vistosamente.

- Sotto la diagonale principale $v_i < v_j \rightarrow t_{ij} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j}\right)$

$$\begin{aligned}
 t_{12} &= \frac{3}{100} \cdot 3600 + 6 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{120}\right) \cdot 3600 = 144 \text{ s} \\
 t_{13} &= \frac{3}{100} \cdot 3600 + 6 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{135}\right) \cdot 3600 = 164 \text{ s} \\
 t_{14} &= \frac{3}{100} \cdot 3600 + 6 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{150}\right) \cdot 3600 = 180 \text{ s} \\
 t_{23} &= \frac{3}{120} \cdot 3600 + 6 \cdot \left(\frac{1}{120} - \frac{1}{135}\right) \cdot 3600 = 110 \text{ s} \\
 t_{24} &= \frac{3}{120} \cdot 3600 + 6 \cdot \left(\frac{1}{120} - \frac{1}{150}\right) \cdot 3600 = 126 \text{ s} \\
 t_{34} &= \frac{3}{135} \cdot 3600 + 6 \cdot \left(\frac{1}{135} - \frac{1}{150}\right) \cdot 3600 = 96 \text{ s}
 \end{aligned}$$

La matrice degli intervalli minimi t_{ij} di separazione tra le varie classi di aeromobili che compongono il traffico dell'aeroporto risulta dunque:

180	144	164	180
90	90	110	126
80	80	80	96
72	72	72	72

2. Valuto la media ponderata dei tempi minimi di separazione t_{medio} :

$$t_{medio} = \sum_{ij} P_i \cdot t_{ij} \cdot P_j$$

20%	20%	50%	10%
-----	-----	-----	-----

180	144	164	180
90	90	110	126
80	80	80	96
72	72	72	72

20%
20%
50%
10%

Esercizio 4

Valutare la capacità della pista dell'aeroporto La Guardia di New York, avente la ripartizione degli aeromobili in classi di velocità riportata in **Tabella 2**:

Classe	Velocità	Percentuale
1	100 mph	20%
2	120 mph	15%
3	135 mph	35%
4	150 mph	30%

Tabella 2: Ripartizione dei velivoli in classi di velocità (4)

Sono inoltre definiti:

- γ : lunghezza del sentiero di avvicinamento pari a 6 miglia;
- δ : distanza minima di separazione lungo il sentiero pari a 3 miglia.

Svolgimento

1. Costruisco la matrice degli intervalli minimi t_{ij} di separazione tra le varie classi di aeromobili che compongono il traffico dell'aeroporto (i indica l'aereo che segue e j indica l'aereo che precede); i dati sono gli stessi dell'esercizio precedente, quindi ottengo la stessa matrice degli intervalli minimi t_{ij} :

180	144	164	180
90	90	110	126
80	80	80	96
72	72	72	72

2. Valuto la media ponderata dei tempi minimi di separazione t_{medio} :

$$t_{medio} = \sum_{ij} P_i \cdot t_{ij} \cdot P_j$$

Esercizio 5

Lungo una strada è stata misurata una velocità di flusso libero v_F di 90 km/h ed una capacità (flusso critico Q_{CR}) di 3300 v/h. Determinare a quale velocità si muoverebbe un flusso di 2200 v/h nell'ipotesi di legame lineare tra velocità e densità (ipotesi di Greenshields).

Svolgimento

$$k_c = \frac{4 \cdot Q_{CR}}{v_F} = \frac{4 \cdot 3300 \left[\frac{v}{h} \right]}{90 \left[\frac{km}{h} \right]} = 147 \text{ v/km}$$

$$Q = k_c \cdot \left(v - \frac{v^2}{v_F} \right) \rightarrow \frac{k_c}{v_F} \cdot v^2 - k_c \cdot v + Q = 0$$

Quindi:

$$v = \frac{k_c \pm \sqrt{k_c^2 - 4 \cdot \frac{k_c \cdot Q}{v_F}}}{2 \cdot \frac{k_c}{v_F}} = \frac{147 \left[\frac{v}{km} \right] \pm \sqrt{\left(147 \left[\frac{v}{km} \right] \right)^2 - 4 \cdot \frac{147 \left[\frac{v}{km} \right] \cdot 2200 \left[\frac{v}{h} \right]}{90 \left[\frac{km}{h} \right]}}{2 \cdot \frac{147 \left[\frac{v}{km} \right]}{90 \left[\frac{km}{h} \right]}} \rightarrow$$

$$\rightarrow v_1 = 71 \frac{km}{h} \text{ (flusso stabile) ,}$$

$$v_2 = 19 \frac{km}{h} \text{ (flusso instabile)}$$

ESERCITAZIONE 3

Esercizio 1

Un'autostrada urbana (categoria A) a tre corsie per carreggiata si colloca su un terreno montagnoso e presenta una velocità di flusso libero di 113 km/h, larghezza delle corsie di 3.00 m ed ostacoli su entrambi i lati a 1.20 m. Il traffico giornaliero medio per l'intera sezione è di 15600 veicoli (presenza di utenti occasionali). Considerando una percentuale di traffico pesante del 20%, determinare il livello di servizio.

Svolgimento

$$VHP = \frac{TGM \cdot k'}{PHF}$$

ove:

- VHP = volume dell'ora di punta;
- TGM = traffico giornaliero medio;
- k' = percentuale di veicoli che viaggiano nell'ora di punta (30-esima ora di punta), rispetto al traffico giornaliero medio;
- PHF = fattore dell'ora di punta.

$$Q_{LOS_i} = C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_P$$

ove:

- Q_{LOS} = offerta che l'infrastruttura potrà fornire, per un determinato livello di servizio;
- C = capacità della singola corsia: 2200 v/h/corsia (se N = 2), 2300 v/h/c (se N ≥ 3);
- N: numero di corsie;
- f_w : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli;
- f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti;
- f_P : fattore di correzione che tiene conto della presenza di utenti pendolari.

1° CASO: CONSIDERO I VALORI MEDI DEGLI INTERVALLI DI CALCOLO

Categoria	Traffico	k' (v. lez#7)	PHF
A	-	0,12-0,15	0,85-0,90
B, C	↑	0,12-0,15	0,80-0,90
B, C	↓	0,10-0,13	0,85-0,93
B, C	(turistiche)	0,15-0,20	0,88-0,95
D, E	↑	0,08-0,10	0,90-0,95

- f_{HV}

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

ove:

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;
- E_T, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico) e autovettura

TABLE 7.3 Passenger Car Equivalents on Extended Roadway Sections (for Freeways and Multilane Highways)

Category	Type of Terrain		
	Level	Rolling	Mountainous
E_T for trucks and buses	1.5	3.0	6.0
E_R for recreational vehicles	1.2	2.0	4.0

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: E_T e E_R per strade a carreggiate separate

L'autostrada si colloca su un terreno montagnoso $\rightarrow E_T = 6.0$

Non vengono fornite informazioni circa il traffico di veicoli turistici e commerciali, quindi assumo $P_R = 0$.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot (6.0 - 1)} = 0.5$$

- f_p

Table 7.7 Adjustment Factor for Driver Population (for Freeways)

Traffic Stream Type	Adjustment Factor (f_p)
Weekday, commuter (familiar users)	1.00
Recreational or other	0.75-0.99

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: f_p per strade a carreggiate separate

presenza di utenti occasionali $\rightarrow f_p = 0,75-0,99 \rightarrow$ il valore medio è $f_p = 0,87$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P} = \frac{1203.5 [v/h/carr]}{2300[v/h/cors] \cdot 3[cors] \cdot 0,88 \cdot 0,50 \cdot 0,87} = 0.456$$

Poiché la strada assegnata è di categoria A:

- ➔ $k' = 0,12-0,15 \rightarrow$ il valore più penalizzante è 0,15
- ➔ $PHF = 0,85-0,90 \rightarrow$ il valore più penalizzante è 0,85

Infatti voglio il massimo volume dell'ora di punta che la domanda può avere.

$$VHP = \frac{TGM \cdot k'}{PHF} = \frac{15600[v] \cdot 0,15 \left[\frac{1}{h}\right]}{0,85} = 2753 \left[\frac{v}{h}\right] \rightarrow \frac{2753}{2} = 1376.5 \text{ v/h/carr}$$

$$Q_{LOS_i} = C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P \rightarrow \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P}$$

$$Q_{LOS_i} = VHP$$

$$C = 2300 \text{ v/h/carr } (N \geq 3)$$

$$N = 3$$

Calcolo dei fattori di correzione:

- f_W

Table 7.2 Adjustment Factor for Restricted Lane Width and Lateral Clearance (for Freeways)

Distance from Traveled Way to Obstruction* (ft)	Adjustment Factor					
	Obstructions on One Side			Obstructions on Two Sides		
	Lane Width* (ft)					
	≥12	11	10	≥12	11	10
≥6	1.00	0.95	0.90	1.00	0.95	0.90
4	0.99	0.94	0.89	0.98	0.93	0.88
2	0.97	0.92	0.88	0.95	0.90	0.86
0	0.92	0.88	0.84	0.86	0.82	0.78

* Interpolation may be used for lane width or distance from traveled way to obstruction.

Tabella: f_W per strade a carreggiate separate

$$1 \text{ m} \cong 3,28 \text{ ft}$$

$$\text{larghezza delle corsie di } 3.00 \text{ m} \rightarrow 9.84 \text{ ft} \cong 10 \text{ ft}$$

$$\text{ostacoli su entrambi i lati a } 1.20 \text{ m} \rightarrow 3.94 \text{ ft} \cong 4 \text{ ft}$$

$$\rightarrow f_W = 0.88$$

Table 7.1 Level of Service Criteria for Freeways

Level of Service	Maximum Density (pc/mi/ln)	Minimum Speed (mph)	Maximum Service Flow Rate (pcphpl)	Maximum v/c Ratio
Free-Flow Speed = 70 mph				
A	10.0	70.0	700	0.318/0.304
B	16.0	70.0	1,120	0.509/0.487
C	24.0	68.5	1,644	0.747/0.715
D	32.0	63.0	2,015	0.916/0.876
E	36.7/39.7	60.0/58.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 65 mph				
A	10.0	65.0	650	0.295/0.283
B	16.0	65.0	1,040	0.473/0.452
C	24.0	64.5	1,548	0.704/0.673
D	32.0	61.0	1,952	0.887/0.849
E	39.3/43.4	56.0/53.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 60 mph				
A	10.0	60.0	600	0.272/0.261
B	16.0	60.0	960	0.436/0.417
C	24.0	60.0	1,440	0.655/0.626
D	32.0	57.0	1,824	0.829/0.793
E	41.5/46.0	53.0/50.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 55 mph				
A	10.0	55.0	550	0.250/0.239
B	16.0	55.0	880	0.400/0.383
C	24.0	55.0	1,320	0.600/0.574
D	32.0	54.8	1,760	0.800/0.765
E	44.0/47.9	50.0/48.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var

Tabella: LOS per strade a carreggiate separate

1 km \cong 0.621 mph

velocità di flusso libero di 113 km/h \rightarrow 70.2 mph \cong 70 mph

\rightarrow LOS C

Table 7.2 Adjustment Factor for Restricted Lane Width and Lateral Clearance (for Freeways)

Distance from Traveled Way to Obstruction* (ft)	Adjustment Factor					
	Obstructions on One Side			Obstructions on Two Sides		
	Lane Width* (ft)					
	≥12	11	10	≥12	11	10
≥6	1.00	0.95	0.90	1.00	0.95	0.90
4	0.99	0.94	0.89	0.98	0.93	0.88
2	0.97	0.92	0.88	0.95	0.90	0.86
0	0.92	0.88	0.84	0.86	0.82	0.78

* Interpolation may be used for lane width or distance from traveled way to obstruction.

Tabella: f_w per strade a carreggiate separate

$1\text{ m} \cong 3,28\text{ ft}$

larghezza delle corsie di $3.66\text{ m} \rightarrow 12\text{ ft}$

ostacoli su un solo lato a $0.61\text{ m} \rightarrow 2\text{ ft}$

$\rightarrow f_w = 0.97$

$-f_{HV}$

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

ove:

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;
- E_T, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico) e autovettura

TABLE 7.3 Passenger Car Equivalents on Extended Roadway Sections (for Freeways and Multilane Highways)

Category	Type of Terrain		
	Level	Rolling	Mountainous
E_T for trucks and buses	1.5	3.0	6.0
E_R for recreational vehicles	1.2	2.0	4.0

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: E_T e E_R per strade a carreggiate separate

La strada extraurbana principale si colloca su un terreno pianeggiante $\rightarrow E_T = 1.5$ e $E_R = 1.2$

Quindi si ottiene che:

1 km \cong 0.621 mph

velocità di flusso libero di 89 km/h \rightarrow 55.3 mph \cong 55 mph

\rightarrow LOS B

2° CASO: CONSIDERO I VALORI PIU' PENALIZZANTI DEGLI INTERVALLI DI CALCOLO

Categoria	Traffico	k' (v. lez#7)	PHF
A	-	0,12-0,15	0,85-0,90
B, C	\uparrow	0,12-0,15	0,80-0,90
B, C	\downarrow	0,10-0,13	0,85-0,93
B, C	(turistiche)	0,15-0,20	0,88-0,95
D, E	\uparrow	0,08-0,10	0,90-0,95

Poiché la strada assegnata è di categoria B e la percentuale di traffico turistico è del 50%, la riga da scegliere in tale tabella è certamente la quarta; quindi:

- \rightarrow k' = 0,15-0,20 \rightarrow il valore più penalizzante è 0,20
- \rightarrow PHF = 0,88-0,95 \rightarrow il valore più penalizzante è 0,88

Infatti voglio il massimo volume dell'ora di punta che la domanda può avere.

$$VHP = \frac{TGM \cdot k'}{PHF} = \frac{12000[v] \cdot 0,20 \left[\frac{1}{h} \right]}{0,88} = 2727 \left[\frac{v}{h} \right] \rightarrow \frac{2727}{2} = 1363.5 \text{ v/h/carr}$$

$$Q_{LOS_i} = C \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)_{LOS_i} \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P \rightarrow \left(\frac{Q}{C} \right)_{LOS_i} = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P}$$

$$Q_{LOS_i} = VHP$$

$$C = 2200 \text{ v/h/carr } (N = 2)$$

$$N = 2$$

La strada extraurbana principale si colloca su un terreno pianeggiante → $E_T = 1.5$ e $E_R = 1.2$.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.1 \cdot (1.5 - 1) + 0.5 \cdot (1.2 - 1)} = 0.87$$

- f_p

Table 7.7 Adjustment Factor for Driver Population (for Freeways)

Traffic Stream Type	Adjustment Factor (f_p)
Weekday, commuter (familiar users)	1.00
Recreational or other	0.75-0.99

* Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: f_p per strade a carreggiate separate

presenza di utenti occasionali → $f_p = 0,75-0,99$ → il valore più penalizzante è $f_p = 0,75$, infatti è il valore più basso, cioè quello che fa diminuire l'offerta.

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P} = \frac{1363.5 [v/h/carr]}{2200[v/h/cors] \cdot 2[cors] \cdot 0,97 \cdot 0,87 \cdot 0,75} = 0.490$$

Esercizio 3

Una strada a carreggiata unica si colloca su un terreno pianeggiante e presenta corsie da 3.4 m, banchine pavimentate di 0.6 m e sorpasso impedito per l'80% del tracciato. La distribuzione del traffico è di 20/80. Sono presenti inoltre 5% di traffico pesante, 2% di bus e 5% di veicoli turistici. Determinare il livello di servizio per una portata di 580 v/h.

Svolgimento

$$Q_{LOS_i} = 2800 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}$$

ove:

- Q_{LOS} = offerta che l'infrastruttura potrà fornire, per un determinato livello di servizio;
- f_D : fattore di correzione che tiene conto della distribuzione del traffico nella sezione;
- f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli.
- f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti;

Nel caso di strade a carreggiata unica, i parametri dipendono dal livello di servizio, quindi bisognerà effettuare successive approssimazioni: METODO ITERATIVO.

- **SUPPONGO UN LIVELLO DI SERVIZIO INIZIALE E \rightarrow LOS_E**

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_E} = \frac{Q_{LOS_E}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}}$$

Calcolo dei fattori di correzione:

- f_D

Table 7.14 Adjustment for Directional Distribution on Two-Lane Highways

Directional Distribution	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
Adjustment factor, f_d	0.71	0.75	0.83	0.89	0.94	1.00

Tabella: f_D per strade a carreggiata unica

La distribuzione del traffico è di 20/80 $\rightarrow f_D = 0.83$

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di $LOS_E \rightarrow E_T = 2.0, E_R = 1.6$ e $E_B = 1.6$
 5% di traffico pesante, 2% di bus e 5% di veicoli turistici.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_B \cdot (E_B - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0.05 \cdot (2.0 - 1) + 0.02 \cdot (1.6 - 1) + 0.05 \cdot (1.6 - 1)} = \mathbf{0.92}$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_E} = \frac{Q_{LOS_E}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{580 \left[\frac{v}{h}\right]}{2800 \left[\frac{v}{h}\right] \cdot 0.83 \cdot 0.88 \cdot 0.92} = 0.308$$

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg ^b Speed	v/c Ratio ^a																			
			Level Terrain						Rolling Terrain						Mountainous Terrain							
			Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones							
0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100			
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥ 57	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 56	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	≥ 54	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤ 60	≥ 52	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	≥ 51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	≥ 49	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤ 75	≥ 50	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	≥ 49	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	≥ 45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	> 75	≥ 45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 40	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥ 35	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	100	< 45	—	—	—	—	—	—	< 40	—	—	—	—	—	—	< 35	—	—	—	—	—	—

^a Ratio of flow rate to an ideal capacity of 2800 pcph in both directions.

^b Average travel speed of all vehicles (in mph) for highways with design speed ≥ 60 mph; for highways with lower design speeds, reduce speed by 4 mph for each 10-mph reduction in design speed below 60 mph; assumes that speed is not restricted to lower values by regulation.

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: LOS per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante e il sorpasso è impedito per l'80% del tracciato → LOS_C .

- $LOS_E \neq LOS_C \rightarrow$ PROVO CON LOS_D

- E_T, E_B, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico, bus) e autovettura.

Table 7.17 Passenger Car Equivalents for Two-Lane Highways

Vehicle Type	Level of Service	Type of Terrain		
		Level	Rolling	Mountainous
Trucks, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B and C	2.2	5.0	10.0
	D and E	2.0	5.0	12.0
Recreational vehicles, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
Buses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
	D and E	1.6	2.9	6.5

Tabella: ET, ER e EB per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di $LOS_D \rightarrow E_T = 2.0, E_R = 1.6$ e $E_B = 1.6$

5% di traffico pesante, 2% di bus e 5% di veicoli turistici.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_B \cdot (E_B - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.05 \cdot (2.0 - 1) + 0.02 \cdot (1.6 - 1) + 0.05 \cdot (1.6 - 1)} = 0.92$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_D} = \frac{Q_{LOS_D}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{580 \left[\frac{v}{h}\right]}{2800 \left[\frac{v}{h}\right] \cdot 0.83 \cdot 0.75 \cdot 0.92} = 0.362$$

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg ^b Speed	v/c Ratio ^a																			
			Level Terrain						Rolling Terrain						Mountainous Terrain							
			Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones							
0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100			
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥ 57	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 56	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	≥ 54	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤ 60	≥ 52	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	≥ 51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	≥ 49	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤ 75	≥ 50	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	≥ 49	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	≥ 45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	> 75	≥ 45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 40	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥ 35	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	100	< 45	—	—	—	—	—	—	< 40	—	—	—	—	—	—	< 35	—	—	—	—	—	—

^a Ratio of flow rate to an ideal capacity of 2800 pcph in both directions.

^b Average travel speed of all vehicles (in mph) for highways with design speed ≥ 60 mph; for highways with lower design speeds, reduce speed by 4 mph for each 10-mph reduction in design speed below 60 mph; assumes that speed is not restricted to lower values by regulation.

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: LOS per strade a carreggiata unica

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;
- P_B = percentuale di bus sul traffico totale;
- E_T, E_B, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico, bus) e autovettura.

Table 7.17 Passenger Car Equivalents for Two-Lane Highways

Vehicle Type	Level of Service	Type of Terrain		
		Level	Rolling	Mountainous
Trucks, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B and C	2.2	5.0	10.0
	D and E	2.0	5.0	12.0
Recreational vehicles, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
Buses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
	D and E	1.6	2.9	6.5

Tabella: E_T, E_R e E_B per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di $LOS_C \rightarrow E_T = 2.2, E_R = 2.5$ e $E_B = 2.0$
 5% di traffico pesante, 2% di bus e 5% di veicoli turistici.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_B \cdot (E_B - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.05 \cdot (2.2 - 1) + 0.02 \cdot (2.0 - 1) + 0.05 \cdot (2.5 - 1)} = 0.87$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_C} = \frac{Q_{LOS_C}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{580 \left[\frac{v}{h}\right]}{2800 \left[\frac{v}{h}\right] \cdot 0.83 \cdot 0.75 \cdot 0.87} = 0.382$$

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg ^b Speed	v/c Ratio ^a																			
			Level Terrain						Rolling Terrain						Mountainous Terrain							
			Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones							
0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100			
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥ 57	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 56	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	≥ 54	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤ 60	≥ 52	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	≥ 51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	≥ 49	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤ 75	≥ 50	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	≥ 49	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	≥ 45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	> 75	≥ 45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 40	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥ 35	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	100	< 45	-	-	-	-	-	-	< 40	-	-	-	-	-	-	< 35	-	-	-	-	-	-

^a Ratio of flow rate to an ideal capacity of 2800 pcph in both directions.

^b Average travel speed of all vehicles (in mph) for highways with design speed ≥ 60 mph; for highways with lower design speeds, reduce speed by 4 mph for each 10-mph reduction in design speed below 60 mph; assumes that speed is not restricted to lower values by regulation.

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: LOS per strade a carreggiata unica

Esercizio 4

Una strada extraurbana ad unica carreggiata si colloca su un terreno pianeggiante e presenta corsie da 3.75 m con banchine pavimentate di 1.5 m. Su supponga un sorpasso impedito per il 60% del tracciato.

Considerando:

- una distribuzione del traffico 30/70,
- 8% di veicoli pesanti

calcolare il livello di servizio per una portata pari a 650 v/h.

Svolgimento

$$Q_{LOS_i} = 2800 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}$$

ove:

- Q_{LOS} = offerta che l'infrastruttura potrà fornire, per un determinato livello di servizio;
- f_D : fattore di correzione che tiene conto della distribuzione del traffico nella sezione;
- f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli.
- f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti;

Nel caso di strade a carreggiata unica, i parametri dipendono dal livello di servizio, quindi bisognerà effettuare successive approssimazioni: METODO ITERATIVO.

- **SUPPONGO UN LIVELLO DI SERVIZIO INIZIALE E → LOS_E**

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_E} = \frac{Q_{LOS_E}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}}$$

Calcolo dei fattori di correzione:

- f_D

Table 7.14 Adjustment for Directional Distribution on Two-Lane Highways

Directional Distribution	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
Adjustment factor, f_d	0.71	0.75	0.83	0.89	0.94	1.00

Tabella: f_D per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di $LOS_E \rightarrow E_T = 2.0$

8% di veicoli pesanti; non viene detto niente a riguardo di bus o veicoli turistici, quindi assumo $P_B = P_R = 0$.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.08 \cdot (2.0 - 1)} = 0.93$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_E} = \frac{Q_{LOS_E}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{650 \left[\frac{v}{h}\right]}{2800 \left[\frac{v}{h}\right] \cdot 0.89 \cdot 0.97 \cdot 0.93} = 0.289$$

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg ^b Speed	v/c Ratio ^a																			
			Level Terrain						Rolling Terrain						Mountainous Terrain							
			Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones							
			0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥ 57	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 56	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	≥ 54	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤ 60	≥ 52	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	≥ 51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	≥ 49	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤ 75	≥ 50	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	≥ 49	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	≥ 45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	> 75	≥ 45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 40	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥ 35	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	100	< 45	—	—	—	—	—	—	< 40	—	—	—	—	—	—	< 35	—	—	—	—	—	—

^a Ratio of flow rate to an ideal capacity of 2800 pcph in both directions.

^b Average travel speed of all vehicles (in mph) for highways with design speed ≥ 60 mph; for highways with lower design speeds, reduce speed by 4 mph for each 10-mph reduction in design speed below 60 mph; assumes that speed is not restricted to lower values by regulation.

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: LOS per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante e il sorpasso è impedito per il 60% del tracciato → LOS_C .

- $LOS_E \neq LOS_C \rightarrow$ PROVO CON LOS_D

- P_B = percentuale di bus sul traffico totale;
- E_T, E_B, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico, bus) e autovettura.

Table 7.17 Passenger Car Equivalents for Two-Lane Highways

Vehicle Type	Level of Service	Type of Terrain		
		Level	Rolling	Mountainous
Trucks, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B and C	2.2	5.0	10.0
	D and E	2.0	5.0	12.0
Recreational vehicles, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
Buses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
	D and E	1.6	2.9	6.5

Tabella: ET, ER e EB per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di $LOS_D \rightarrow E_T = 2.0$

8% di veicoli pesanti; non viene detto niente a riguardo di bus o veicoli turistici, quindi assumo $P_B = P_R = 0$.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.08 \cdot (2.0 - 1)} = \mathbf{0.93}$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_D} = \frac{Q_{LOS_D}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{650 \left[\frac{v}{h}\right]}{2800 \left[\frac{v}{h}\right] \cdot 0.89 \cdot 0.92 \cdot 0.93} = 0.305$$

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg ^b Speed	v/c Ratio ^a																			
			Level Terrain						Rolling Terrain						Mountainous Terrain							
			Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones						Percent No-Passing Zones							
			Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^b Speed	0	20	40	60	80
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥ 57	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 56	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	≥ 54	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤ 60	≥ 52	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	≥ 51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	≥ 49	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤ 75	≥ 50	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	≥ 49	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	≥ 45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	> 75	≥ 45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 40	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥ 35	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
F	100	< 45	—	—	—	—	—	—	< 40	—	—	—	—	—	—	< 35	—	—	—	—	—	—

^a Ratio of flow rate to an ideal capacity of 2800 pcph in both directions.

^b Average travel speed of all vehicles (in mph) for highways with design speed ≥ 60 mph; for highways with lower design speeds, reduce speed by 4 mph for each 10-mph reduction in design speed below 60 mph; assumes that speed is not restricted to lower values by regulation.

Source: Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, DC, 1994.

Tabella: LOS per strade a carreggiata unica

f_{HV}

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_B \cdot (E_B - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)}$$

ove:

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;
- P_B = percentuale di bus sul traffico totale;
- E_T, E_B, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico, bus) e autovettura.

Table 7.17 Passenger Car Equivalents for Two-Lane Highways

Vehicle Type	Level of Service	Type of Terrain		
		Level	Rolling	Mountainous
Trucks, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B and C	2.2	5.0	10.0
	D and E	2.0	5.0	12.0
Recreational vehicles, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
Buses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
	D and E	1.6	2.9	6.5

Tabella: E_T , E_R e E_B per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di $LOS_C \rightarrow E_T = 2.2$

8% di veicoli pesanti; non viene detto niente a riguardo di bus o veicoli turistici, quindi assumo $P_B = P_R = 0$.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.08 \cdot (2.2 - 1)} = \mathbf{0.91}$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_D} = \frac{Q_{LOS_D}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{650 \left[\frac{v}{h}\right]}{2800 \left[\frac{v}{h}\right] \cdot 0.89 \cdot 0.92 \cdot 0.91} = 0.312$$

1 m \cong 3,28 ft

corsie da 3.75 m \rightarrow 12.3 ft \cong 12 ft

banchine pavimentate di 1.5 m \rightarrow 4.92 ft \rightarrow utilizzo il dato corrispondente a 4 ft

ipotesi di LOS_B

$$\rightarrow f_w = 0.92$$

-f_{HV}

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_B \cdot (E_B - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)}$$

ove:

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;
- P_B = percentuale di bus sul traffico totale;
- E_T, E_B, E_R = coefficienti di equivalenza tra veicolo (pesante, turistico, bus) e autovettura.

Table 7.17 Passenger Car Equivalents for Two-Lane Highways

Vehicle Type	Level of Service	Type of Terrain		
		Level	Rolling	Mountainous
Trucks, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B and C	2.2	5.0	10.0
	D and E	2.0	5.0	12.0
Recreational vehicles, E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
Buses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
	D and E	1.6	2.9	6.5

Tabella: ET, ER e EB per strade a carreggiata unica

La strada si colloca su un terreno pianeggiante; l'ipotesi è di LOS_B \rightarrow E_T = 2.2

8% di veicoli pesanti; non viene detto niente a riguardo di bus o veicoli turistici, quindi assumo P_B = P_R = 0.

Quindi si ottiene che:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.08 \cdot (2.2 - 1)} = 0.91$$

Esercizio 5

Determinare il numero di corsie necessarie per avere su un autostrada urbana pianeggiante un LOS_c con una portata direzionale di 5200 v/h. Si consideri una percentuale di traffico pesante del 15% e di traffico turistico pari al 4%. Si supponga inoltre una velocità di progetto di 113 km/h.

Svolgimento

$$Q_{LOS_i} = C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P \rightarrow N = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P}$$

Calcolo dei fattori di correzione:

- f_W

Table 7.2 Adjustment Factor for Restricted Lane Width and Lateral Clearance (for Freeways)

Distance from Traveled Way to Obstruction* (ft)	Adjustment Factor					
	Obstructions on One Side			Obstructions on Two Sides		
	Lane Width* (ft)					
	≥12	11	10	≥12	11	10
≥6	1.00	0.95	0.90	1.00	0.95	0.90
4	0.99	0.94	0.89	0.98	0.93	0.88
2	0.97	0.92	0.88	0.95	0.90	0.86
0	0.92	0.88	0.84	0.86	0.82	0.78

* Interpolation may be used for lane width or distance from traveled way to obstruction.

Tabella: f_W per strade a carreggiate separate

1 m \cong 3,28 ft

Sono in fase progettuale, quindi scelgo le migliori condizioni possibili: corsie aventi larghezza 12 ft (\cong 3,65 m) ed ostacoli ad una distanza maggiore di 6 ft (\cong 1,82 m) $\rightarrow f_W = 1.00$.

- f_{HV}

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

ove:

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;

Table 7.1 Level of Service Criteria for Freeways

Level of Service	Maximum Density (pc/mi/ln)	Minimum Speed (mph)	Maximum Service Flow Rate (pcphpl)	Maximum v/c Ratio
Free-Flow Speed = 70 mph				
A	10.0	70.0	700	0.318/0.304
B	16.0	70.0	1,120	0.509/0.487
C	24.0	68.5	1,644	0.747/0.715
D	32.0	63.0	2,015	0.916/0.876
E	36.7/39.7	60.0/58.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 65 mph				
A	10.0	65.0	650	0.295/0.283
B	16.0	65.0	1,040	0.473/0.452
C	24.0	64.5	1,548	0.704/0.673
D	32.0	61.0	1,952	0.887/0.849
E	39.3/43.4	56.0/53.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 60 mph				
A	10.0	60.0	600	0.272/0.261
B	16.0	60.0	960	0.436/0.417
C	24.0	60.0	1,440	0.655/0.626
D	32.0	57.0	1,824	0.829/0.793
E	41.5/46.0	53.0/50.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 55 mph				
A	10.0	55.0	550	0.250/0.239
B	16.0	55.0	880	0.400/0.383
C	24.0	55.0	1,320	0.600/0.574
D	32.0	54.8	1,760	0.800/0.765
E	44.0/47.9	50.0/48.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var

Tabella: LOS per strade a carreggiate separate

1 km \cong 0.621 mph

Velocità di progetto di 113 km/h \rightarrow 70.173 mph \cong 70 mph.

Suppongo C = 2200 v/h/c (**N=2**) \rightarrow guardando la tabella: $\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_C} = 0.747$

Quindi si ha che:

$$N = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P} = \frac{5200 \left[\frac{v}{h}\right]}{2200[v/h/c] \cdot 0.747 \cdot 1.00 \cdot 0.92 \cdot 0.87} = 3.95[c]$$

Si ha dunque incompatibilità con l'ipotesi fatta di 2 corsie.

Esercizio 6

Calcolare il numero di corsie per un'autostrada extraurbana su terreno pianeggiante per una portata veicolare direzionale di 1700 v/h. Si consideri una percentuale di traffico pesante del 10% e di traffico turistico del 4%.

Svolgimento

$$Q_{LOS_i} = C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P \rightarrow N = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P}$$

Calcolo dei fattori di correzione:

- f_W

Table 7.2 Adjustment Factor for Restricted Lane Width and Lateral Clearance (for Freeways)

Distance from Traveled Way to Obstruction* (ft)	Adjustment Factor					
	Obstructions on One Side			Obstructions on Two Sides		
	Lane Width* (ft)					
	≥12	11	10	≥12	11	10
≥6	1.00	0.95	0.90	1.00	0.95	0.90
4	0.99	0.94	0.89	0.98	0.93	0.88
2	0.97	0.92	0.88	0.95	0.90	0.86
0	0.92	0.88	0.84	0.86	0.82	0.78

* Interpolation may be used for lane width or distance from traveled way to obstruction.

Tabella: f_W per strade a carreggiate separate

1 m \cong 3,28 ft

Sono in fase progettuale, quindi scelgo le migliori condizioni possibili: corsie aventi larghezza 12 ft (\cong 3,65 m) ed ostacoli ad una distanza maggiore di 6 ft (\cong 1,82 m) $\rightarrow f_W = 1.00$.

- f_{HV}

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

ove:

- P_T = percentuale di traffico pesante sul traffico totale;
- P_R = percentuale di veicoli turistici e commerciali sul traffico totale;

Table 7.1 Level of Service Criteria for Freeways

Level of Service	Maximum Density (pc/mi/ln)	Minimum Speed (mph)	Maximum Service Flow Rate (pcphpl)	Maximum v/c Ratio
Free-Flow Speed = 70 mph				
A	10.0	70.0	700	0.318/0.304
B	16.0	70.0	1,120	0.509/0.487
C	24.0	68.5	1,644	0.747/0.715
D	32.0	63.0	2,015	0.916/0.876
E	36.7/39.7	60.0/58.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 65 mph				
A	10.0	65.0	650	0.295/0.283
B	16.0	65.0	1,040	0.473/0.452
C	24.0	64.5	1,548	0.704/0.673
D	32.0	61.0	1,952	0.887/0.849
E	39.3/43.4	56.0/53.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 60 mph				
A	10.0	60.0	600	0.272/0.261
B	16.0	60.0	960	0.436/0.417
C	24.0	60.0	1,440	0.655/0.626
D	32.0	57.0	1,824	0.829/0.793
E	41.5/46.0	53.0/50.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 55 mph				
A	10.0	55.0	550	0.250/0.239
B	16.0	55.0	880	0.400/0.383
C	24.0	55.0	1,320	0.600/0.574
D	32.0	54.8	1,760	0.800/0.765
E	44.0/47.9	50.0/48.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var

Tabella: LOS per strade a carreggiate separate

1 km \cong 0.621 mph

Suppongo una velocità di progetto di 113 km/h \rightarrow 70.173 mph \cong 70 mph.

Suppongo C = 2200 v/h/c (**N=2**) \rightarrow guardando la tabella: $\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_B} = 0.509$.

Quindi si ha che:

$$N = \frac{Q_{LOS_i}}{C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P} = \frac{1700 \left[\frac{v}{h}\right]}{2200[v/h/c] \cdot 0.509 \cdot 1.00 \cdot 0.95 \cdot 0.87} = 1.83[c]$$

Si ha dunque compatibilità con l'ipotesi fatta di 2 corsie.

ESERCITAZIONE 4

Esercizi 2-3-4

Costruire la trattrice e la curva base di un veicolo stradale nella manovra di parcheggio ed individuare la minima distanza che lo stallo deve avere per poterla effettuare con una sola manovra e la larghezza minima della corsia dell'area di parcheggio per i seguenti veicoli stradali:

- Smart FORTWO (passo p 187 cm, lunghezza 270 cm, larghezza 156 cm, massimo angolo di sterzata a 27°);
- Mercedes R 500 Lunga (passo p 322 cm, lunghezza 516 cm, larghezza 192 cm, massimo angolo di sterzata a 35°);
- Land Rover RANGE ROVER 4.4 TDV8 (passo p 288 cm, lunghezza 497 cm, larghezza 222 cm, massimo angolo di sterzata a 36°).

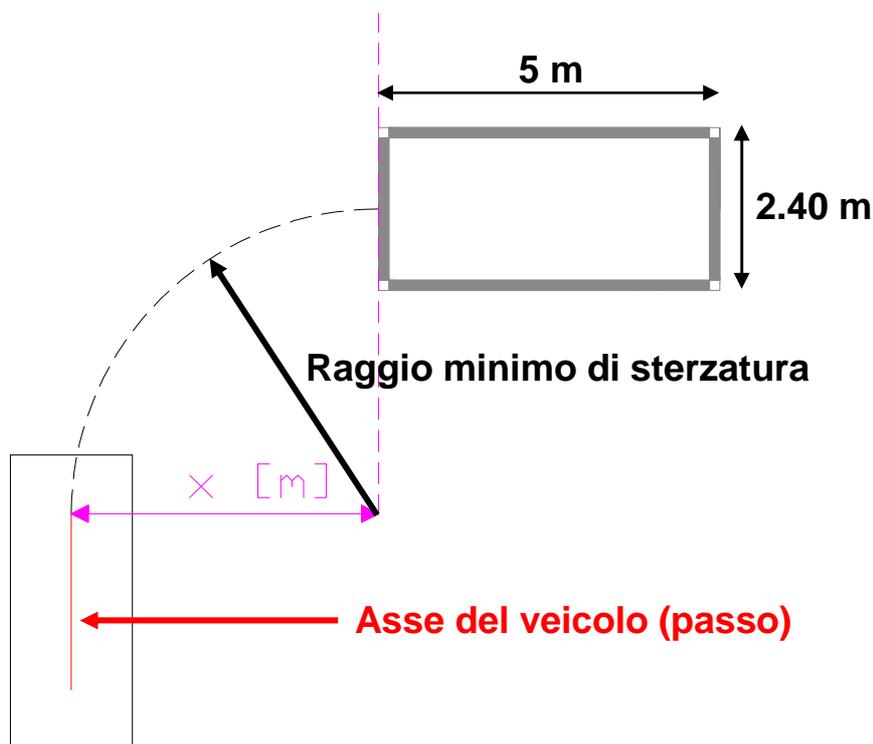
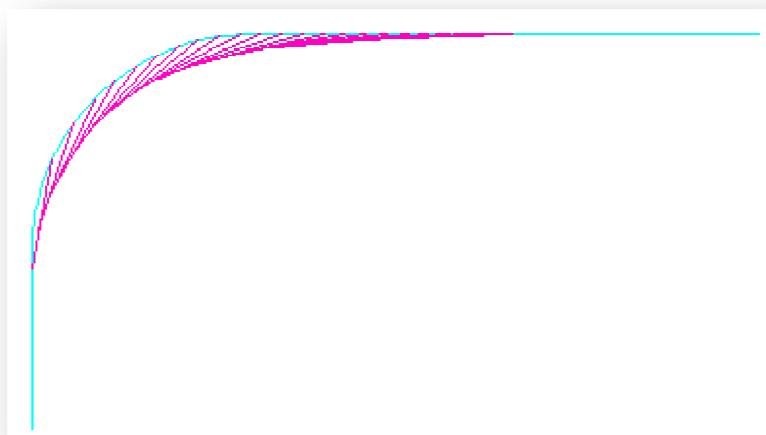
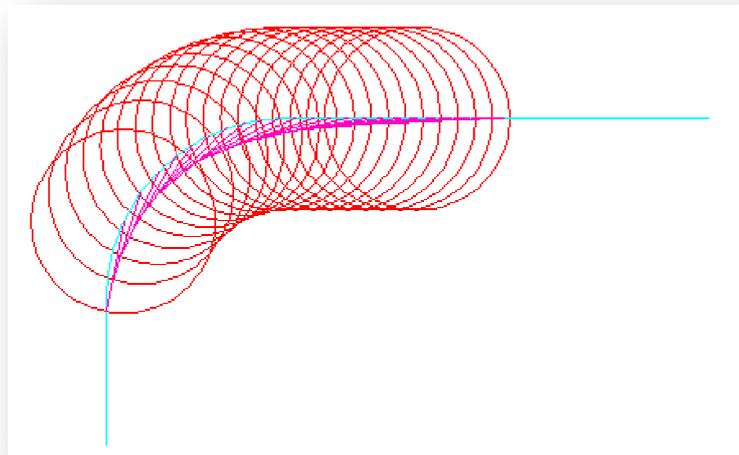
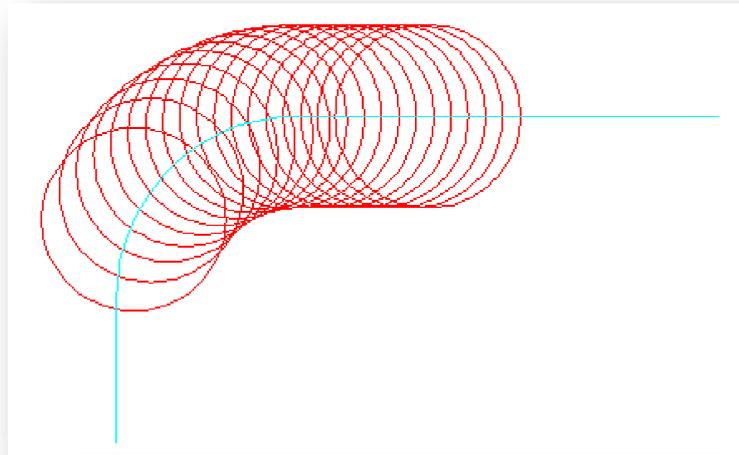


Figura: Schematizzazione della manovra di parcheggio

❖ Costruzione della trattrice: individuazione progressiva della posizione dell'asse



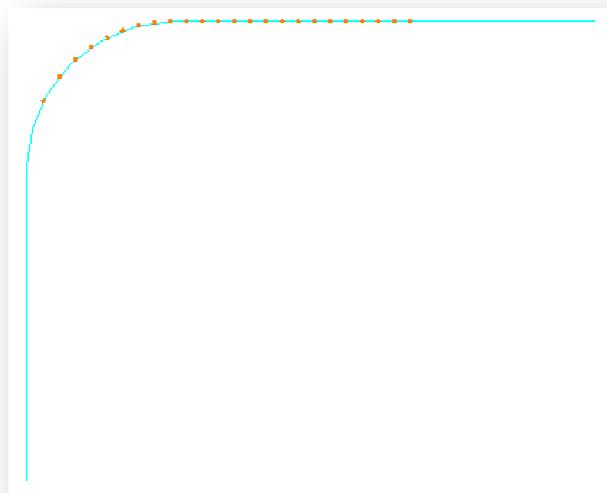
- Mercedes R 500 Lunga (passo p 322 cm, lunghezza 516 cm, larghezza 192 cm, massimo angolo di sterzata a 35°);



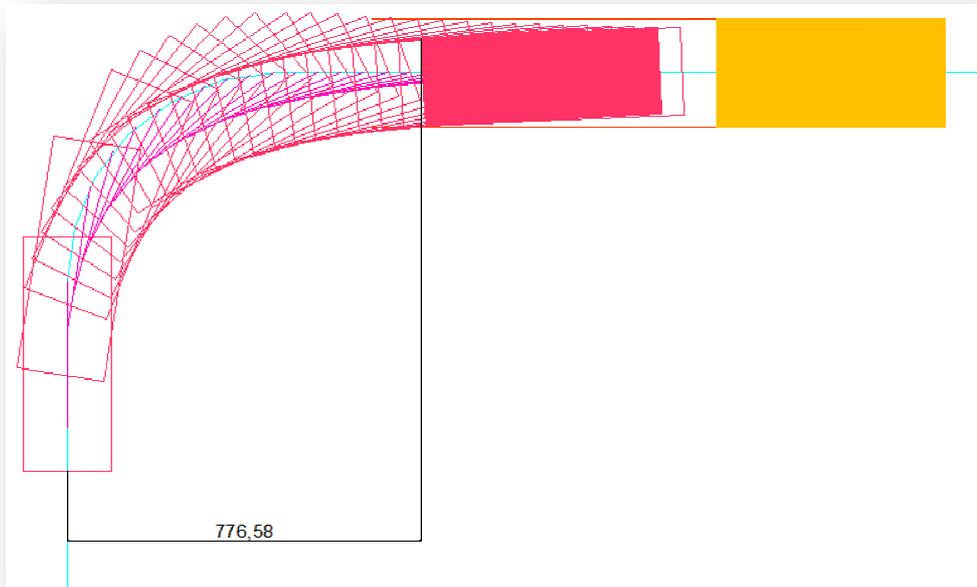
- ❖ Calcolo il raggio minimo della curva che tale veicolo può compiere sterzando completamente:

$$R_{min} = \frac{p}{tg(\alpha)} = \frac{322[cm]}{tg(35^\circ)} \cong 460 \text{ cm}$$

- ❖ Costruzione della trattrice: individuazione dei punti di passaggio. Discretizzo la curva base stabilendo un passo (in orizzontale) di 50 cm.



- ❖ Individuazione della minima distanza a cui lo stallo deve trovarsi per poter effettuare il parcheggio con una sola manovra:



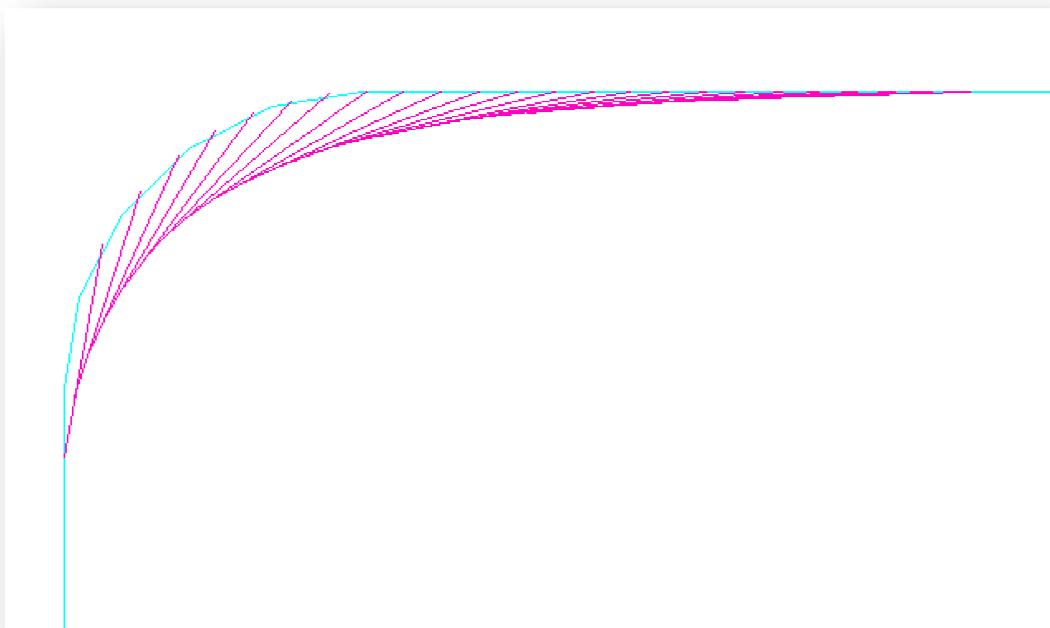
Tale minima distanza risulta dunque pari a 7,77 m.

- ❖ Individuazione della larghezza minima della corsia dell'area di parcheggio:

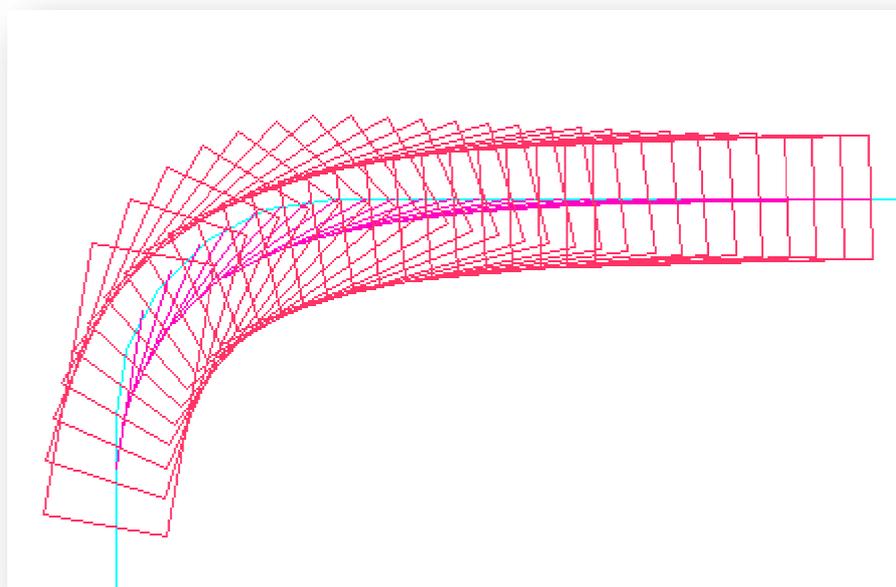
$$L_{min} = x + \frac{\text{larghezza}_{veicolo}}{2} + \text{franco}_{laterale} = 7.77 + \frac{1.92}{2} + k \cong 8.7 \text{ m} + k$$

La larghezza del franco laterale è a discrezione del progettista; tendenzialmente si pone circa uguale a 0,5 m (o comunque non inferiore a 0,5 m).

❖ Costruzione della trattrice: individuazione progressiva della posizione dell'asse



❖ Costruzione della trattrice: costruzione della sagoma del veicolo



Esercizio 5

Individuare la larghezza minima della corsia della rampa di uno svincolo autostradale interessata, nel caso di raggio operativo pari a 35 m ed a 40 m, dal passaggio di un autoarticolato avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- $L_R = L = 255$ cm;
- $D_R = 775$ cm;
- $D = 307$ cm;
- $S_A = 143$ cm;
- $R = 35$ m e 40 m.

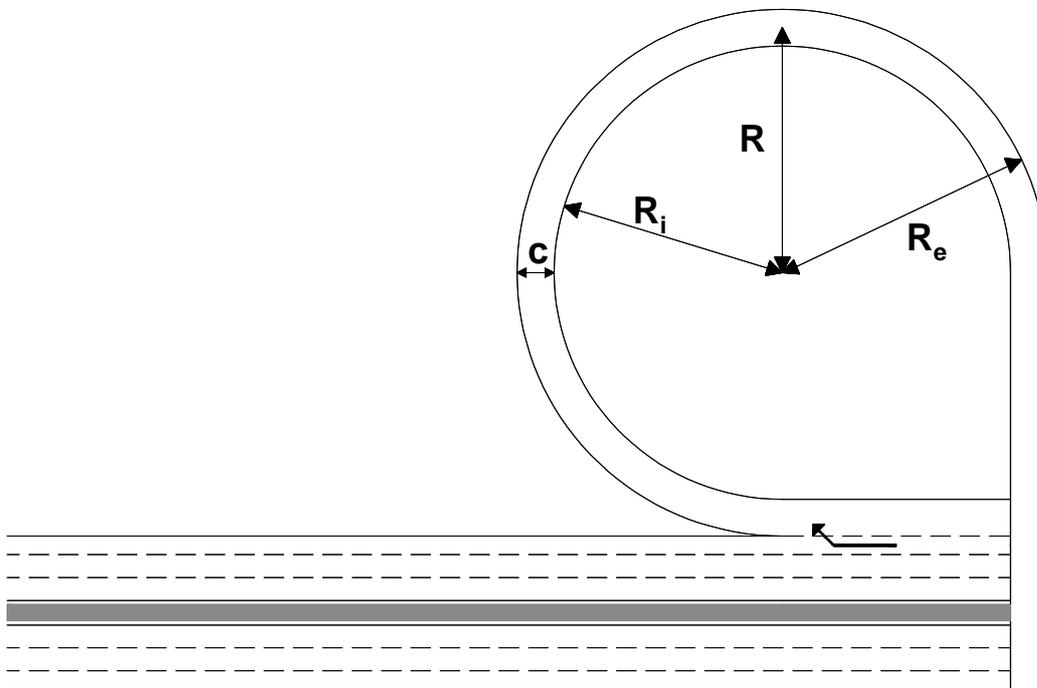
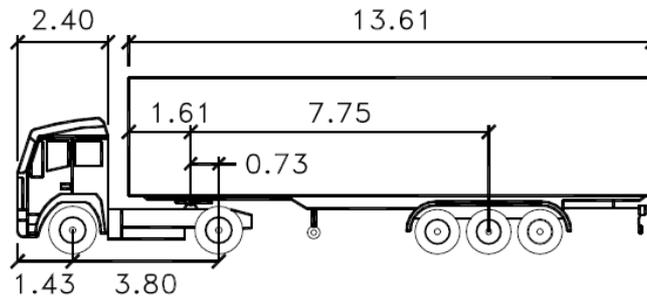


Figura: Schema dello svincolo autostradale

Svolgimento

Caso in cui il raggio operativo è pari a 35 m:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(R_i + \frac{L_R}{2} \right)^2 + D_R^2 = R_1^2 \\ \left(R_1 + \frac{L}{2} \right)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + D^2 = R^2 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \left(R_i + \frac{2.55}{2} \right)^2 + 7.75^2 = R_1^2 \\ \left(R_1 + \frac{2.25}{2} \right)^2 + (3.07 + 1.43)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + 3.07^2 = 35^2 \end{array} \right. \rightarrow$$

Esercizio 6

Individuare la larghezza minima della corsia della rampa di uno svincolo autostradale interessata, nel caso di raggio operativo pari a 35 m ed a 40 m, dal passaggio di un autotreno articolato avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- $L_R = L = 255$ cm;
- $D_R = 500$ cm;
- $D = 530$ cm;
- $S_A = 130$ cm;
- $S_p = T = 290$ cm;
- $R = 35$ m e 40 m.

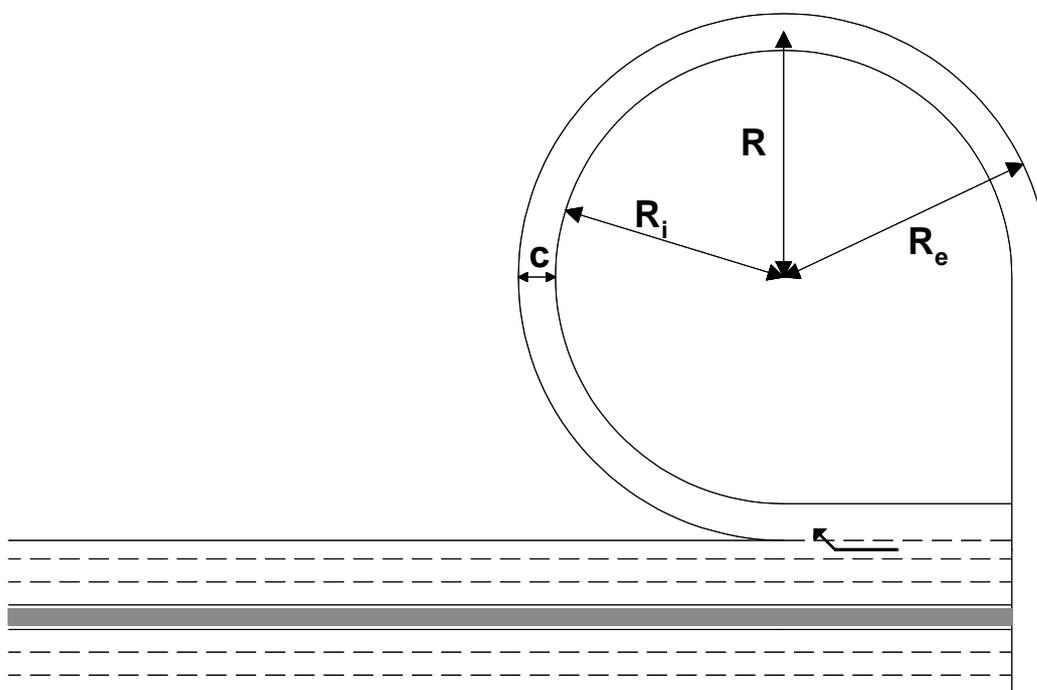
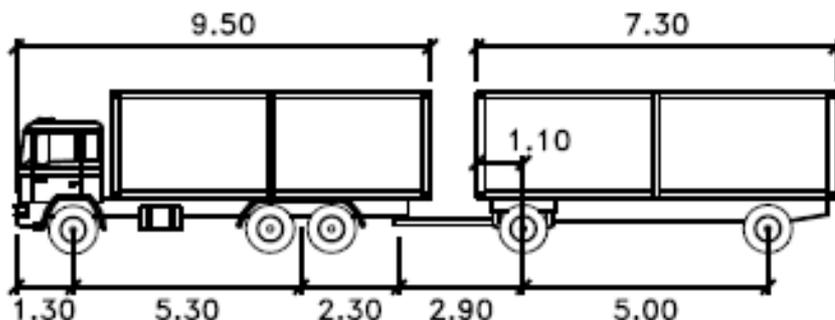


Figura: Schema dello svincolo autostradale

Svolgimento

Caso in cui il raggio operativo è pari a 35 m:

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_1 \cong 39.6 \text{ m} \\ \left(R_1 + \frac{2.55}{2}\right)^2 + (5.30 + 1.30)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + 2.90^2 = R_2^2 \\ R_3^2 + 2.90^2 = R_2^2 \\ \left(R_i + \frac{2.55}{2}\right)^2 + 5.00^2 = R_3^2 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_1 \cong 39.6 \text{ m} \\ R_e \cong 41.4 \text{ m} \\ R_2 \cong 39.8 \text{ m} \\ R_3^2 + 2.90^2 = R_2^2 \\ \left(R_i + \frac{2.55}{2}\right)^2 + 5.00^2 = R_3^2 \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_1 \cong 39.6 \text{ m} \\ R_e \cong 41.4 \text{ m} \\ R_2 \cong 39.8 \text{ m} \\ R_3 \cong 39.6 \text{ m} \\ \left(R_i + \frac{2.55}{2}\right)^2 + 5.00^2 = R_3^2 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_1 \cong 39.6 \text{ m} \\ R_e \cong 41.4 \text{ m} \\ R_2 \cong 39.8 \text{ m} \\ R_3 \cong 39.6 \text{ m} \\ R_i \cong 38.1 \text{ m} \end{array} \right.$$

La larghezza minima della corsia della rampa dello svincolo autostradale è:

$$B = (R_e - R_i) = 41.4 - 38.1 = 3.3 \text{ m}$$

ESERCITAZIONE 5

Esercizio 1

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

- r_{RD} : 20 [N/kN];
- δ : 1.204 [Nm^{-4}s^2] (alla temperatura di 20°C e per una pressione di 1 atm);
- S : 2.2 [m^2];
- c : 0.45.

Svolgimento

Le resistenze ordinarie sono quelle sempre presenti quando il veicolo è in movimento; sono cioè presenti in rettilineo e su strada pianeggiante; sono formate da un duplice contributo:

➤ **Resistenza al rotolamento:** $R_{RD} = P \cdot r_{RD}$

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

ove:

- δ = densità dell'aria;

- v = velocità del veicolo in m/s;

- c = coefficiente di resistenza aerodinamica dipendente dalla forma del veicolo;

- S = area della proiezione della superficie investita su un piano normale alla direzione del moto (è chiamata superficie maestra).

Dunque nel nostro caso si ha:

➤ Resistenza al rotolamento: $R_{RD} = \left(\frac{1114 \cdot 9.81}{1000}\right) [kN] \cdot 20 \left[\frac{N}{kN}\right] = 218.57 N$

➤ Resistenza dell'aria: $R_a = \left(\frac{1}{2} 1.204 \left[\frac{N \cdot s^2}{m^4}\right] \cdot \left(\frac{100}{3.6} \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2\right) \cdot 0.45 \cdot 2.2 [m^2] = 459.86 N$

La resistenza ordinaria si ottiene sommando i due contributi:

$$R_{ord} = 218.57 + 459.86 = 678.43 N$$

Esercizio 3

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

Sono inoltre noti:

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

Svolgimento

La pendenza massima superabile da un veicolo dipende sia dalla potenza del motore (o meglio dalla potenza disponibile alle ruote, dato che i rendimenti degli organi di trasmissione non sono mai unitari), sia dalle condizioni al contatto (cioè dal massimo valore di aderenza disponibile).

- Calcolo la pendenza massima superabile in funzione della potenza del motore $\rightarrow T=W/v$:

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

Il termine inerziale è nullo in quanto la velocità è costante; si cerca infatti di calcolare un valore di pendenza che non sia superabile grazie allo slancio iniziale, ma che possa essere superato in condizioni di moto uniforme:

$$= \frac{\frac{(60 \cdot 1000)[W]}{\left(\frac{100}{3.6}\right)\left[\frac{m}{s}\right]} - \frac{1}{2} \cdot 1.247 \left[\frac{N \cdot s^2}{m^4}\right] \cdot 0.30 \cdot 2.2[m^2] \cdot \left(\frac{100}{3.6}\left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{(16 \cdot 1000)[N]} - \frac{15}{1000} \left[\frac{N}{N}\right] = 0.100$$

Esercizio 5

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

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

Svolgimento

La risoluzione avviene per via iterativa, supponendo un numero iniziale di locomotori pari ad 1 e verificando che sia sufficiente a garantire le prestazioni richieste. Nel caso non lo fosse, si aumenta progressivamente il numero di locomotori sino a quando la verifica delle prestazioni richieste non venga soddisfatta.

1° passo: calcolo delle resistenze ordinarie

$$r_{of} = a + b \cdot V^2 \quad \text{formula binomia}$$

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

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

Calcolo delle resistenze ordinarie per unità di peso dei singoli elementi

$$r_{ord, locomotore} = a + b \cdot V^2 = 3.0 + 0.00050 \cdot 100^2 = 8 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

$$r_{ord, carro merci} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00040 \cdot 100^2 = 6.5 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

$$r_c = \frac{m}{R - n} = \frac{650}{400 - 55} = 1.88 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

Calcolo della pendenza da superare

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

3° passo: calcolo della potenza necessaria (e del numero di locomotori)

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

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

$$\left(\frac{6.57}{1000} + \frac{19.02}{1000} + \frac{1.88}{1000} \right) \cdot [(1 \cdot 706.32[kN] + 20 \cdot 706.32[kN]) \cdot 1000][N] \cdot \frac{100}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right] =$$

$$= 11318189 \text{ W} = 11318 \text{ kW}$$

Poiché la potenza di ogni singolo locomotore è pari a 3000 kW, il numero di locomotori occorrente è il seguente:

$$\frac{11318 \text{ kW}}{3000 \text{ kW}} = 4 \quad \rightarrow \quad \text{servono 4 locomotori}$$

4° passo: verifica

La verifica si rende necessaria poiché al variare del numero di locomotori variano anche le resistenze ordinarie. Devo quindi verificare che la potenza espressa da quattro locomotori sia in grado di far superare la pendenza i calcolata prima.

Calcolo delle resistenze ordinarie per unità di peso dei singoli elementi

$$r_{ord, locomotore} = 8 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

$$r_{ord, carro merci} = 6.5 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

Calcolo della resistenza ordinaria totale per il convoglio

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

Calcolo della massima pendenza superabile con il nuovo convoglio

$$\frac{W}{P \cdot v} = r_{ord} + i + r_c \quad \rightarrow \quad i_{max} = \frac{W_{max}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_c =$$

$$= \frac{[(5 \cdot 3000[kW]) \cdot 1000][W]}{[(5 \cdot 706.32[kN] + 20 \cdot 706.32[kN]) \cdot 1000][N] \cdot \frac{100}{3.6} \left[\frac{m}{s}\right]} - \frac{6.8}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 0.0219 =$$

$$= 21.9 \text{ ‰}$$

↓

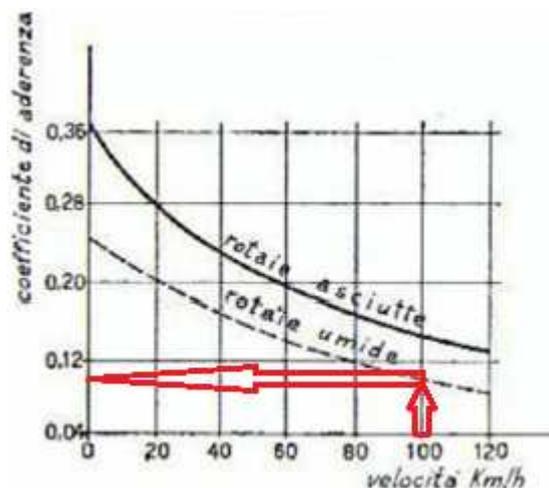
$$21.9 \text{ ‰} > 19.02 \text{ ‰}$$

Per il convoglio dato, per poter circolare sulla tratta avente grado di prestazione 20, sono necessari 5 locomotori.

È opportuno effettuare un'ulteriore verifica, ovvero valutare la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia.

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

Supponiamo che tutto il peso dei locomotori sia aderente e di trovarci in condizioni di rotaia bagnata (la verifica va fatta nelle condizioni peggiori).



$$f_a = 0.10$$

Figura: Coefficiente di aderenza f_a in ambito ferroviario

$$= \frac{[(6 \cdot 3000[kW]) \cdot 1000][W]}{[(6 \cdot 706.32[kN] + 20 \cdot 706.32[kN]) \cdot 1000][N] \cdot \frac{100}{3.6} \left[\frac{m}{s}\right]} - \frac{6.85}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 0.0266 =$$

$$= 26.6 \text{ ‰}$$

↓

$$26.6 \text{ ‰} > 19.02 \text{ ‰}$$

La prima verifica è andata a buon fine.

Valuto ora la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia.

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

$$i_{max} = \frac{0.10 \cdot 6 \cdot 706.32 \cdot 1000}{[(6 \cdot 706.32[kN] + 20 \cdot 706.32[kN]) \cdot 1000][N]} - \frac{6.85}{1000} - \frac{1.88}{1000} =$$

$$= 0.01435 = 14.35 \text{ ‰}$$

↓

$$14.35 \text{ ‰} < 19.02 \text{ ‰}$$

Tenendo in considerazione l'aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia, le prestazioni richieste non vengono soddisfatte utilizzando cinque locomotori. Per questo si devono ripetere entrambe le analisi con 7 locomotori.

✚ *Considero dunque 7 locomotori:*

Calcolo delle resistenze ordinarie per unità di peso dei singoli elementi

$$r_{ord, locomotore} = 8 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

$$r_{ord, carro merci} = 6.5 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

Tenendo in considerazione l'aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia, le prestazioni richieste non vengono soddisfatte utilizzando cinque locomotori. Per questo si devono ripetere entrambe le analisi con 8 locomotori.

✚ *Considero dunque 8 locomotori:*

Calcolo delle resistenze ordinarie per unità di peso dei singoli elementi

$$r_{ord,locomotore} = 8 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

$$r_{ord,carro\ merci} = 6.5 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

Calcolo della resistenza ordinaria totale per il convoglio

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

Calcolo della resistenza ordinaria totale per unità di peso del convoglio

$$r_{ord,convoglio} = \frac{137026.08 \text{ [N]}}{8 \cdot 706.32 \text{ [kN]} + 20 \cdot 706.32 \text{ [kN]}} = 6.93 \left[\frac{N}{kN} \right]$$

Calcolo della massima pendenza superabile con il nuovo convoglio

$$\frac{W}{P \cdot v} = r_{ord} + i + r_c \quad \rightarrow \quad i_{max} = \frac{W_{max}}{P \cdot v} - r_{ord} - r_c =$$

$$= \frac{[(8 \cdot 3000 \text{ [kW]}) \cdot 1000] \text{ [W]}}{[(8 \cdot 706.32 \text{ [kN]} + 20 \cdot 706.32 \text{ [kN]}) \cdot 1000] \text{ [N]} \cdot \frac{100 \text{ [m]}}{3.6 \text{ [s]}}} - \frac{6.93}{1000} - \frac{1.88}{1000} = 0.0349 =$$

$$= 34.9 \text{ ‰}$$

↓

$$34.9 \text{ ‰} > 19.02 \text{ ‰}$$

L a prima verifica è andata a buon fine.

Valuto ora la massima pendenza superabile dal convoglio così determinato in relazione al massimo valore di aderenza esplicabile al contatto ruota-rotaia.

Esercizio 6

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

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

sia in condizioni di pavimentazione asciutta che pavimentazione bagnata.

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

Tabella: Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente f_e

Svolgimento

La distanza di arresto è data da due contributi: quello della frenatura (cioè della parte puramente meccanica nello spazio di arresto) e quello soggettivo (cioè la distanza nella quale il conducente si accorge che c'è un pericolo e comincia a frenare). Si ha dunque che:

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

1. Discesa al 3% e strada asciutta:

$$\begin{aligned} d_a &= v \cdot (2.8 - 0.01 \cdot V) + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]} = \\ &= \left(\frac{95}{3.6}\right) \left[\frac{m}{s}\right] \cdot \left(2.8 - 0.01 \cdot 95 \left[\frac{km}{h}\right]\right) [s] + \frac{\left(\frac{95}{3.6} \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot [0.56 - 0.03]} = \\ &= 48.8 + 67.0 = 115.8 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Discesa al 3% e strada bagnata:

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

ESERCITAZIONE 6

Esercizio 2

Di un tratto di strada di categoria C, di cui si conosce l'andamento altimetrico (**Figura 1**), si deve valutare se sia necessario inserire una corsia di arrampicamento.

A questo proposito viene assunto come veicoli 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);
- $m = 56000 \text{ kg}_m$;
- $S = 6 \text{ m}^2$;
- $c = 0,9$;
- $\delta = 1,204 \text{ [Nm}^{-4}\text{s}^2]$ ($T = 20^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ bar}$);
- $\beta = 1,1$.

Si rediga il diagramma delle velocità del veicolo di progetto con entrambi i metodi, tenendo conto che il tratto viene affrontato ad una velocità iniziale di 10 km/h.

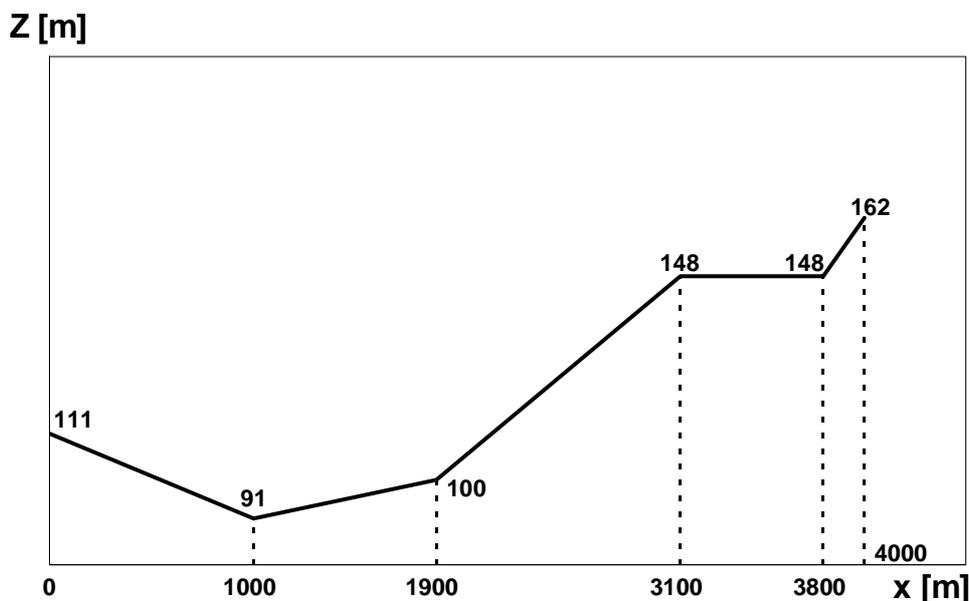


Figura 1: andamento altimetrico

$$i_3 = \frac{\Delta z_3}{L_3} = \frac{48}{1200} = 0.04 = 4 \%$$

- 4^a livelletta:

$$\Delta z_4 = z_5 - z_4 = 148 - 148 = 0 \text{ m}$$

$$L_4 = 3800 - 3100 = 700 \text{ m}$$

↓

$$i_4 = \frac{\Delta z_4}{L_4} = \frac{0}{700} = 0 \%$$

- 5^a livelletta:

$$\Delta z_5 = z_6 - z_5 = 162 - 148 = 14 \text{ m}$$

$$L_5 = 4000 - 3800 = 200 \text{ m}$$

↓

$$i_5 = \frac{\Delta z_5}{L_5} = \frac{14}{200} = 0,07 = 7 \%$$

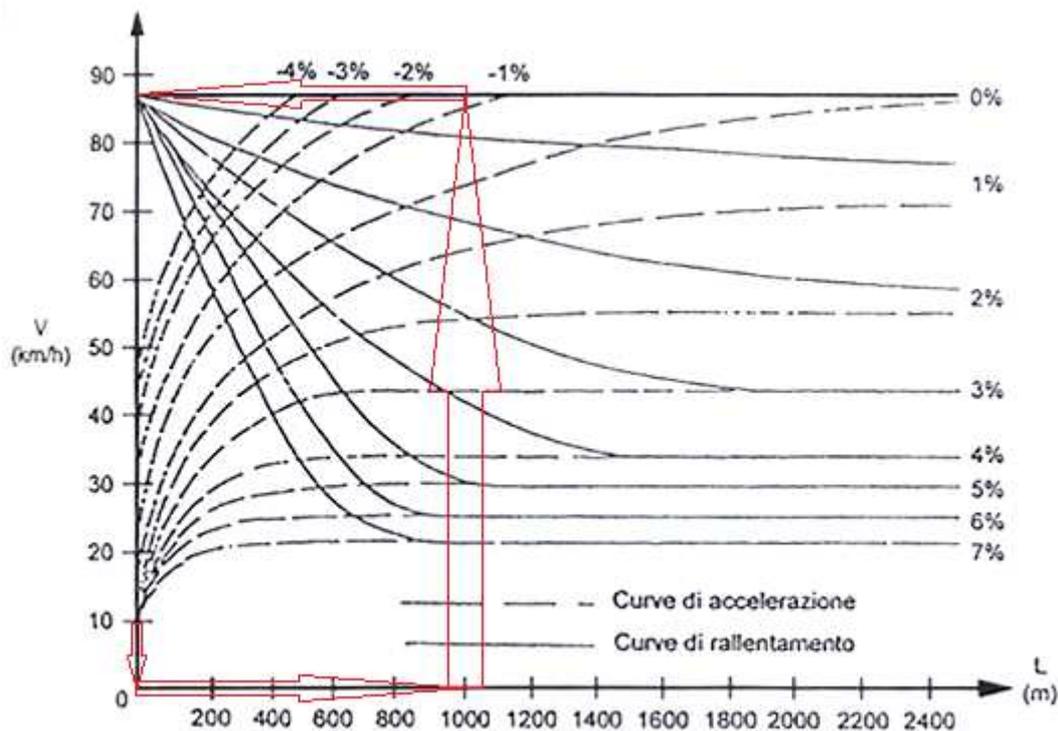
Livellotta	Pendenza	Sviluppo
1	-2%	1000 m
2	1%	900 m
3	4%	1200 m
4	0%	700 m
5	7%	200 m

↓

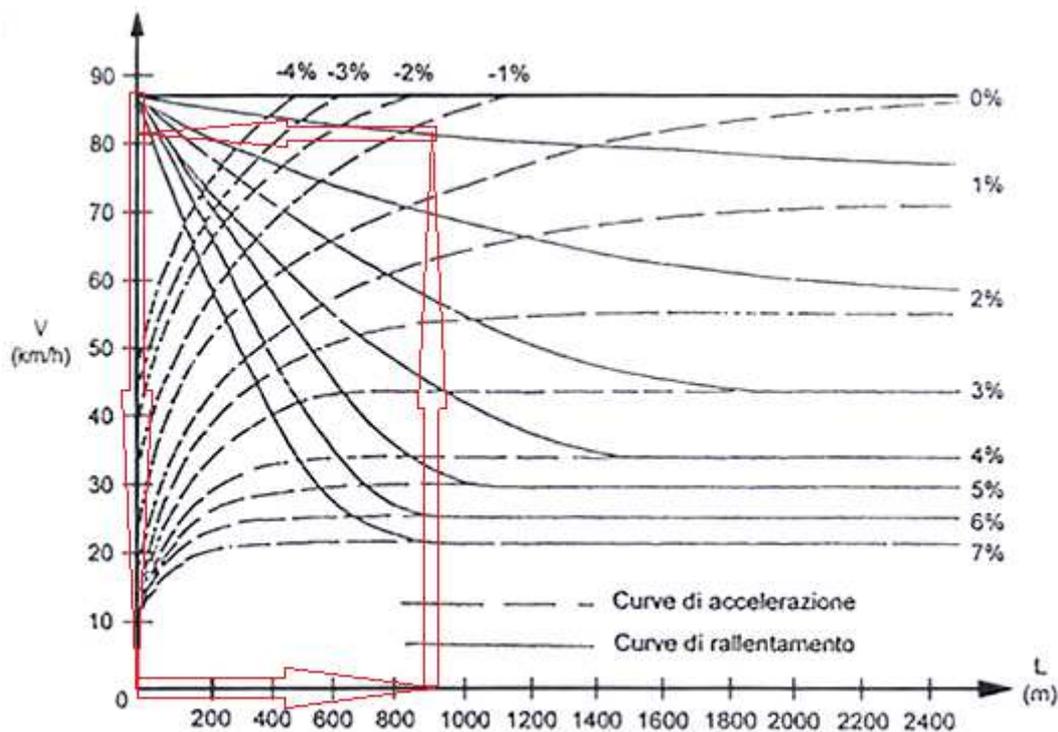
Si può ora procedere alla determinazione del diagramma delle velocità, individuando la velocità che il veicolo di progetto avrà al termine di ogni livelletta.

(2° passo)

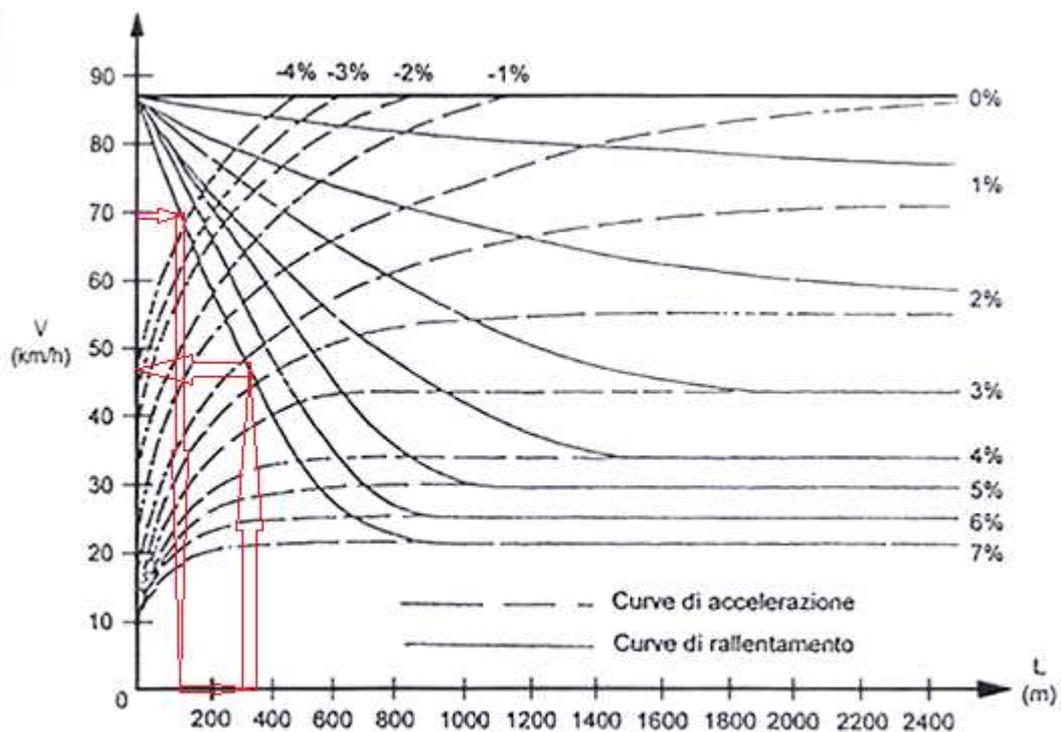
- 1^a livelletta: $V_i = 10 \frac{km}{h}$, $i = -2 \%$, $L = 1000 m \rightarrow V_f = 88 \frac{km}{h}$



- 2^a livelletta: $V_i = 88 \frac{km}{h}$, $i = 1 \%$, $L = 900 m \rightarrow V_f = 82 \frac{km}{h}$



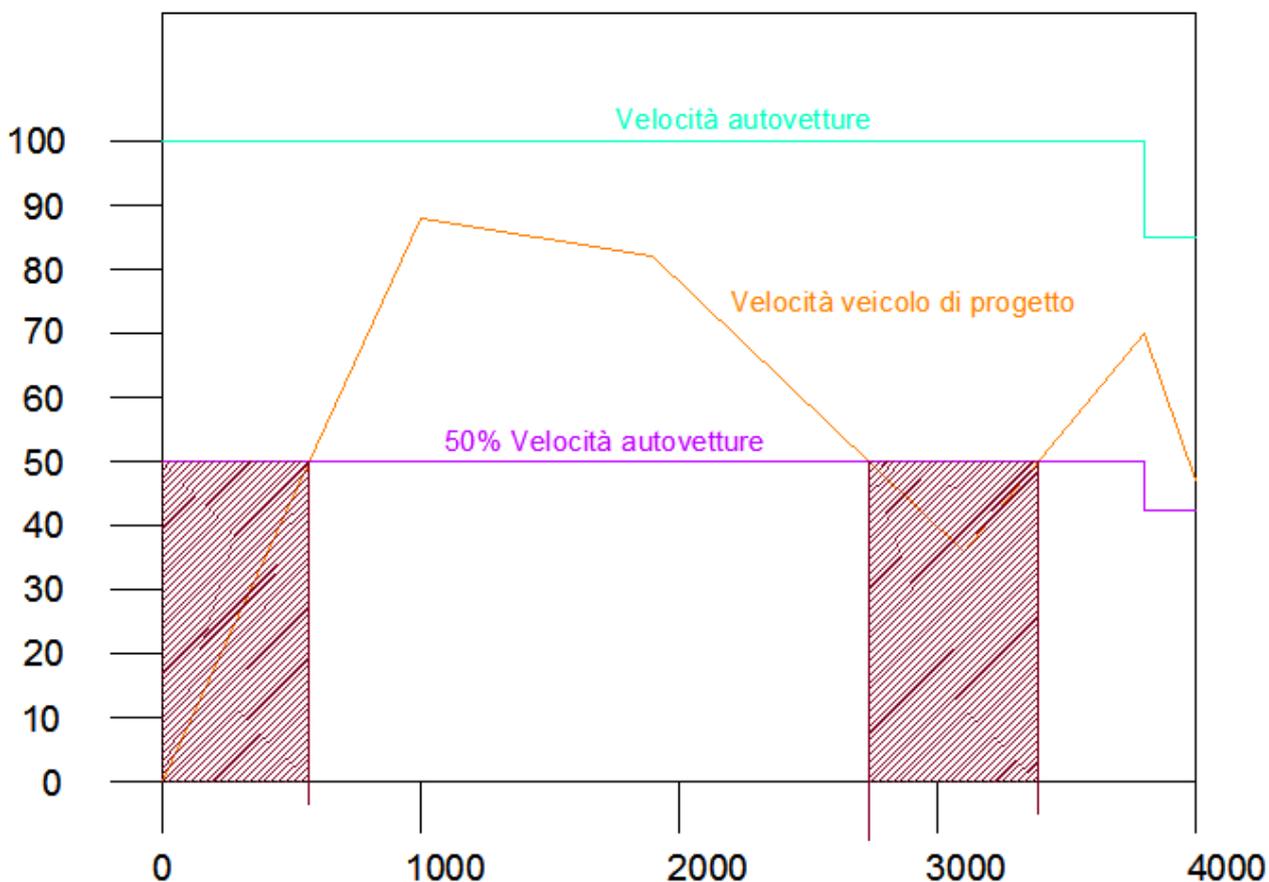
- 5^a livelletta: $V_i = 70 \frac{km}{h}$, $i = 7\%$, $L = 200 m \rightarrow V_f = 47 \frac{km}{h}$



3° passo: costruzione del diagramma delle velocità

Livellotta	V_i	V_f
1	10 km/h	88 km/h
2	88 km/h	82 km/h
3	81 km/h	36 km/h
4	36 km/h	70 km/h
5	70 km/h	47 km/h

Livelletta	Pendenza	V _{autovetture}	50% V _{autovetture}
1	-2%	100 km/h	50 km/h
2	1%	100 km/h	50 km/h
3	4%	100 km/h	50 km/h
4	0%	100 km/h	50 km/h
5	7%	85 km/h	42.5 km/h



Necessità di inserire una corsia di arrampicamento tra le progressive:

- 0 ÷ 568
- 2734 ÷ 3388

2° metodo: equazione della trazione con il metodo delle differenze finite

$$v_{i+1} = \frac{g}{\beta \cdot v_i^2} \cdot \left[\frac{W}{P} - v_i \cdot (i + r_0) \right] \cdot \Delta x + v_i$$

Dobbiamo calcolarci le resistenze ordinarie:

125	11,90	16480,8	460,2	0,031	-0,02	12,03
130	12,03	16480,8	470,5	0,031	-0,02	12,16
135	12,16	16480,8	480,6	0,031	-0,02	12,29
140	12,29	16480,8	490,6	0,031	-0,02	12,41
145	12,41	16480,8	500,5	0,031	-0,02	12,53
150	12,53	16480,8	510,2	0,031	-0,02	12,65
155	12,65	16480,8	519,9	0,031	-0,02	12,76
160	12,76	16480,8	529,3	0,031	-0,02	12,87
165	12,87	16480,8	538,7	0,031	-0,02	12,98
170	12,98	16480,8	547,9	0,031	-0,02	13,09
175	13,09	16480,8	557,1	0,031	-0,02	13,20
180	13,20	16480,8	566,1	0,031	-0,02	13,30
185	13,30	16480,8	575,0	0,031	-0,02	13,40
190	13,40	16480,8	583,8	0,031	-0,02	13,50
195	13,50	16480,8	592,6	0,031	-0,02	13,60
200	13,60	16480,8	601,2	0,031	-0,02	13,70
205	13,70	16480,8	609,7	0,031	-0,02	13,79
210	13,79	16480,8	618,2	0,031	-0,02	13,88
215	13,88	16480,8	626,5	0,031	-0,02	13,97
220	13,97	16480,8	634,8	0,031	-0,02	14,06
225	14,06	16480,8	643,0	0,031	-0,02	14,15
230	14,15	16480,8	651,1	0,031	-0,02	14,24
235	14,24	16480,8	659,2	0,031	-0,02	14,33
240	14,33	16480,8	667,2	0,031	-0,02	14,41
245	14,41	16480,8	675,1	0,031	-0,02	14,49
250	14,49	16480,8	682,9	0,031	-0,02	14,58
255	14,58	16480,8	690,7	0,031	-0,02	14,66
260	14,66	16480,8	698,4	0,031	-0,02	14,74
265	14,74	16480,8	706,0	0,031	-0,02	14,82
270	14,82	16480,8	713,6	0,031	-0,02	14,89
275	14,89	16480,8	721,1	0,031	-0,02	14,97
280	14,97	16480,8	728,5	0,031	-0,02	15,05
285	15,05	16480,8	735,9	0,031	-0,02	15,12
290	15,12	16480,8	743,2	0,031	-0,02	15,19
295	15,19	16480,8	750,5	0,031	-0,02	15,27
300	15,27	16480,8	757,7	0,031	-0,02	15,34
305	15,34	16480,8	764,9	0,031	-0,02	15,41
310	15,41	16480,8	772,0	0,031	-0,02	15,48
315	15,48	16480,8	779,0	0,031	-0,02	15,55
320	15,55	16480,8	786,1	0,031	-0,02	15,62
325	15,62	16480,8	793,0	0,031	-0,02	15,69
330	15,69	16480,8	799,9	0,031	-0,02	15,75
335	15,75	16480,8	806,8	0,031	-0,02	15,82
340	15,82	16480,8	813,6	0,031	-0,02	15,89
345	15,89	16480,8	820,3	0,031	-0,02	15,95

575	18,33	16480,8	1092,3	0,032	-0,02	18,37
580	18,37	16480,8	1097,5	0,032	-0,02	18,42
585	18,42	16480,8	1102,7	0,032	-0,02	18,46
590	18,46	16480,8	1107,9	0,032	-0,02	18,50
595	18,50	16480,8	1113,0	0,032	-0,02	18,55
600	18,55	16480,8	1118,2	0,032	-0,02	18,59
605	18,59	16480,8	1123,3	0,032	-0,02	18,63
610	18,63	16480,8	1128,4	0,032	-0,02	18,67
615	18,67	16480,8	1133,5	0,032	-0,02	18,71
620	18,71	16480,8	1138,5	0,032	-0,02	18,76
625	18,76	16480,8	1143,5	0,032	-0,02	18,80
630	18,80	16480,8	1148,5	0,032	-0,02	18,84
635	18,84	16480,8	1153,5	0,032	-0,02	18,88
640	18,88	16480,8	1158,5	0,032	-0,02	18,92
645	18,92	16480,8	1163,4	0,032	-0,02	18,96
650	18,96	16480,8	1168,3	0,032	-0,02	19,00
655	19,00	16480,8	1173,2	0,032	-0,02	19,04
660	19,04	16480,8	1178,1	0,032	-0,02	19,08
665	19,08	16480,8	1183,0	0,032	-0,02	19,12
670	19,12	16480,8	1187,8	0,032	-0,02	19,15
675	19,15	16480,8	1192,6	0,032	-0,02	19,19
680	19,19	16480,8	1197,4	0,032	-0,02	19,23
685	19,23	16480,8	1202,2	0,032	-0,02	19,27
690	19,27	16480,8	1207,0	0,032	-0,02	19,31
695	19,31	16480,8	1211,7	0,032	-0,02	19,34
700	19,34	16480,8	1216,5	0,032	-0,02	19,38
705	19,38	16480,8	1221,2	0,032	-0,02	19,42
710	19,42	16480,8	1225,8	0,032	-0,02	19,46
715	19,46	16480,8	1230,5	0,032	-0,02	19,49
720	19,49	16480,8	1235,2	0,032	-0,02	19,53
725	19,53	16480,8	1239,8	0,032	-0,02	19,57
730	19,57	16480,8	1244,4	0,032	-0,02	19,60
735	19,60	16480,8	1249,0	0,032	-0,02	19,64
740	19,64	16480,8	1253,6	0,032	-0,02	19,67
745	19,67	16480,8	1258,2	0,032	-0,02	19,71
750	19,71	16480,8	1262,7	0,032	-0,02	19,74
755	19,74	16480,8	1267,2	0,032	-0,02	19,78
760	19,78	16480,8	1271,7	0,032	-0,02	19,81
765	19,81	16480,8	1276,2	0,032	-0,02	19,85
770	19,85	16480,8	1280,7	0,032	-0,02	19,88
775	19,88	16480,8	1285,2	0,032	-0,02	19,92
780	19,92	16480,8	1289,6	0,032	-0,02	19,95
785	19,95	16480,8	1294,1	0,032	-0,02	19,99
790	19,99	16480,8	1298,5	0,032	-0,02	20,02
795	20,02	16480,8	1302,9	0,032	-0,02	20,05

1025	21,16	16480,8	1455,2	0,033	0,01	21,12
1030	21,12	16480,8	1450,4	0,033	0,01	21,09
1035	21,09	16480,8	1445,5	0,033	0,01	21,05
1040	21,05	16480,8	1440,8	0,033	0,01	21,02
1045	21,02	16480,8	1436,0	0,033	0,01	20,98
1050	20,98	16480,8	1431,2	0,033	0,01	20,95
1055	20,95	16480,8	1426,5	0,033	0,01	20,91
1060	20,91	16480,8	1421,7	0,033	0,01	20,88
1065	20,88	16480,8	1417,0	0,033	0,01	20,84
1070	20,84	16480,8	1412,3	0,033	0,01	20,81
1075	20,81	16480,8	1407,6	0,033	0,01	20,77
1080	20,77	16480,8	1402,9	0,033	0,01	20,74
1085	20,74	16480,8	1398,3	0,033	0,01	20,71
1090	20,71	16480,8	1393,6	0,033	0,01	20,67
1095	20,67	16480,8	1389,0	0,033	0,01	20,64
1100	20,64	16480,8	1384,4	0,033	0,01	20,60
1105	20,60	16480,8	1379,8	0,033	0,01	20,57
1110	20,57	16480,8	1375,2	0,033	0,01	20,53
1115	20,53	16480,8	1370,7	0,032	0,01	20,50
1120	20,50	16480,8	1366,1	0,032	0,01	20,47
1125	20,47	16480,8	1361,6	0,032	0,01	20,43
1130	20,43	16480,8	1357,1	0,032	0,01	20,40
1135	20,40	16480,8	1352,6	0,032	0,01	20,36
1140	20,36	16480,8	1348,1	0,032	0,01	20,33
1145	20,33	16480,8	1343,6	0,032	0,01	20,30
1150	20,30	16480,8	1339,1	0,032	0,01	20,26
1155	20,26	16480,8	1334,7	0,032	0,01	20,23
1160	20,23	16480,8	1330,3	0,032	0,01	20,20
1165	20,20	16480,8	1325,8	0,032	0,01	20,16
1170	20,16	16480,8	1321,5	0,032	0,01	20,13
1175	20,13	16480,8	1317,1	0,032	0,01	20,10
1180	20,10	16480,8	1312,7	0,032	0,01	20,06
1185	20,06	16480,8	1308,4	0,032	0,01	20,03
1190	20,03	16480,8	1304,0	0,032	0,01	20,00
1195	20,00	16480,8	1299,7	0,032	0,01	19,96
1200	19,96	16480,8	1295,4	0,032	0,01	19,93
1205	19,93	16480,8	1291,1	0,032	0,01	19,90
1210	19,90	16480,8	1286,8	0,032	0,01	19,86
1215	19,86	16480,8	1282,6	0,032	0,01	19,83
1220	19,83	16480,8	1278,3	0,032	0,01	19,80
1225	19,80	16480,8	1274,1	0,032	0,01	19,76
1230	19,76	16480,8	1269,9	0,032	0,01	19,73
1235	19,73	16480,8	1265,7	0,032	0,01	19,70
1240	19,70	16480,8	1261,5	0,032	0,01	19,67
1245	19,67	16480,8	1257,4	0,032	0,01	19,63

1475	18,25	16480,8	1082,7	0,032	0,01	18,22
1480	18,22	16480,8	1079,3	0,032	0,01	18,19
1485	18,19	16480,8	1075,9	0,032	0,01	18,16
1490	18,16	16480,8	1072,5	0,032	0,01	18,13
1495	18,13	16480,8	1069,1	0,032	0,01	18,11
1500	18,11	16480,8	1065,7	0,032	0,01	18,08
1505	18,08	16480,8	1062,4	0,032	0,01	18,05
1510	18,05	16480,8	1059,0	0,032	0,01	18,02
1515	18,02	16480,8	1055,7	0,032	0,01	17,99
1520	17,99	16480,8	1052,4	0,032	0,01	17,96
1525	17,96	16480,8	1049,1	0,032	0,01	17,94
1530	17,94	16480,8	1045,9	0,032	0,01	17,91
1535	17,91	16480,8	1042,6	0,032	0,01	17,88
1540	17,88	16480,8	1039,4	0,032	0,01	17,85
1545	17,85	16480,8	1036,1	0,032	0,01	17,83
1550	17,83	16480,8	1032,9	0,032	0,01	17,80
1555	17,80	16480,8	1029,7	0,032	0,01	17,77
1560	17,77	16480,8	1026,6	0,032	0,01	17,74
1565	17,74	16480,8	1023,4	0,032	0,01	17,72
1570	17,72	16480,8	1020,2	0,032	0,01	17,69
1575	17,69	16480,8	1017,1	0,032	0,01	17,66
1580	17,66	16480,8	1014,0	0,032	0,01	17,63
1585	17,63	16480,8	1010,9	0,032	0,01	17,61
1590	17,61	16480,8	1007,8	0,032	0,01	17,58
1595	17,58	16480,8	1004,7	0,032	0,01	17,55
1600	17,55	16480,8	1001,7	0,032	0,01	17,53
1605	17,53	16480,8	998,6	0,032	0,01	17,50
1610	17,50	16480,8	995,6	0,032	0,01	17,47
1615	17,47	16480,8	992,6	0,032	0,01	17,45
1620	17,45	16480,8	989,6	0,032	0,01	17,42
1625	17,42	16480,8	986,6	0,032	0,01	17,40
1630	17,40	16480,8	983,7	0,032	0,01	17,37
1635	17,37	16480,8	980,7	0,032	0,01	17,34
1640	17,34	16480,8	977,8	0,032	0,01	17,32
1645	17,32	16480,8	974,9	0,032	0,01	17,29
1650	17,29	16480,8	972,0	0,032	0,01	17,27
1655	17,27	16480,8	969,1	0,032	0,01	17,24
1660	17,24	16480,8	966,2	0,032	0,01	17,21
1665	17,21	16480,8	963,4	0,032	0,01	17,19
1670	17,19	16480,8	960,5	0,032	0,01	17,16
1675	17,16	16480,8	957,7	0,032	0,01	17,14
1680	17,14	16480,8	954,9	0,032	0,01	17,11
1685	17,11	16480,8	952,1	0,032	0,01	17,09
1690	17,09	16480,8	949,3	0,032	0,01	17,06
1695	17,06	16480,8	946,6	0,032	0,01	17,04

1925	15,70	16480,8	800,9	0,031	0,04	15,59
1930	15,59	16480,8	790,4	0,031	0,04	15,49
1935	15,49	16480,8	779,9	0,031	0,04	15,39
1940	15,39	16480,8	769,6	0,031	0,04	15,28
1945	15,28	16480,8	759,3	0,031	0,04	15,18
1950	15,18	16480,8	749,0	0,031	0,04	15,08
1955	15,08	16480,8	738,9	0,031	0,04	14,97
1960	14,97	16480,8	728,8	0,031	0,04	14,87
1965	14,87	16480,8	718,8	0,031	0,04	14,77
1970	14,77	16480,8	708,9	0,031	0,04	14,66
1975	14,66	16480,8	699,1	0,031	0,04	14,56
1980	14,56	16480,8	689,3	0,031	0,04	14,46
1985	14,46	16480,8	679,6	0,031	0,04	14,36
1990	14,36	16480,8	670,0	0,031	0,04	14,25
1995	14,25	16480,8	660,5	0,031	0,04	14,15
2000	14,15	16480,8	651,1	0,031	0,04	14,05
2005	14,05	16480,8	641,8	0,031	0,04	13,95
2010	13,95	16480,8	632,5	0,031	0,04	13,85
2015	13,85	16480,8	623,4	0,031	0,04	13,75
2020	13,75	16480,8	614,3	0,031	0,04	13,65
2025	13,65	16480,8	605,3	0,031	0,04	13,54
2030	13,54	16480,8	596,4	0,031	0,04	13,44
2035	13,44	16480,8	587,6	0,031	0,04	13,34
2040	13,34	16480,8	578,9	0,031	0,04	13,24
2045	13,24	16480,8	570,3	0,031	0,04	13,15
2050	13,15	16480,8	561,7	0,031	0,04	13,05
2055	13,05	16480,8	553,3	0,031	0,04	12,95
2060	12,95	16480,8	545,0	0,031	0,04	12,85
2065	12,85	16480,8	536,7	0,031	0,04	12,75
2070	12,75	16480,8	528,6	0,031	0,04	12,65
2075	12,65	16480,8	520,6	0,031	0,04	12,56
2080	12,56	16480,8	512,6	0,031	0,04	12,46
2085	12,46	16480,8	504,8	0,031	0,04	12,37
2090	12,37	16480,8	497,1	0,031	0,04	12,27
2095	12,27	16480,8	489,4	0,031	0,04	12,18
2100	12,18	16480,8	481,9	0,031	0,04	12,08
2105	12,08	16480,8	474,5	0,031	0,04	11,99
2110	11,99	16480,8	467,2	0,031	0,04	11,89
2115	11,89	16480,8	460,0	0,031	0,04	11,80
2120	11,80	16480,8	452,8	0,031	0,04	11,71
2125	11,71	16480,8	445,9	0,031	0,04	11,62
2130	11,62	16480,8	439,0	0,031	0,04	11,53
2135	11,53	16480,8	432,2	0,031	0,04	11,44
2140	11,44	16480,8	425,5	0,031	0,04	11,35
2145	11,35	16480,8	419,0	0,031	0,04	11,26

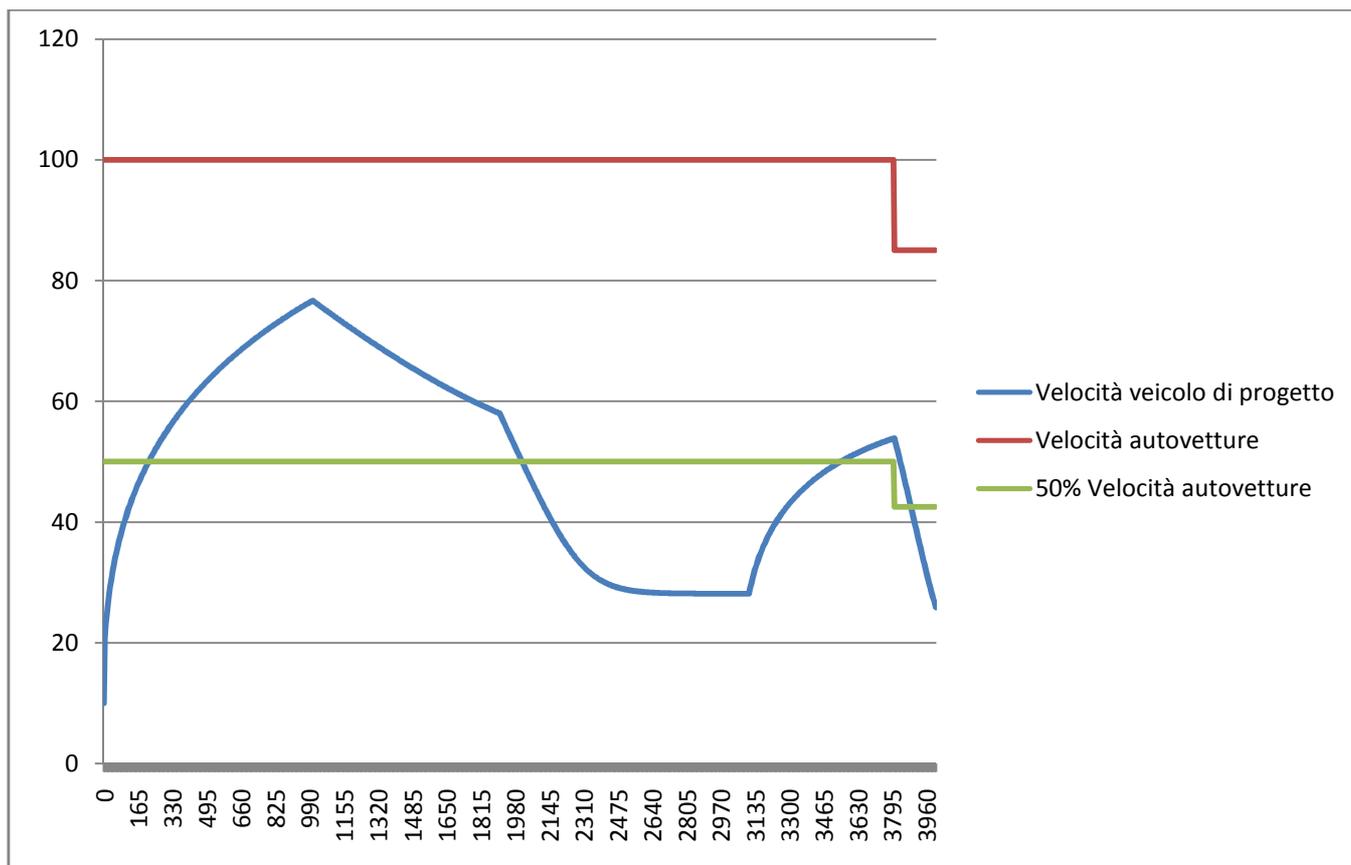
2375	8,53	16480,8	236,5	0,030	0,04	8,50
2380	8,50	16480,8	234,8	0,030	0,04	8,47
2385	8,47	16480,8	233,1	0,030	0,04	8,44
2390	8,44	16480,8	231,5	0,030	0,04	8,41
2395	8,41	16480,8	230,0	0,030	0,04	8,38
2400	8,38	16480,8	228,5	0,030	0,04	8,36
2405	8,36	16480,8	227,1	0,030	0,04	8,33
2410	8,33	16480,8	225,8	0,030	0,04	8,31
2415	8,31	16480,8	224,5	0,030	0,04	8,29
2420	8,29	16480,8	223,3	0,030	0,04	8,27
2425	8,27	16480,8	222,1	0,030	0,04	8,25
2430	8,25	16480,8	221,0	0,030	0,04	8,23
2435	8,23	16480,8	219,9	0,030	0,04	8,21
2440	8,21	16480,8	218,9	0,030	0,04	8,19
2445	8,19	16480,8	217,9	0,030	0,04	8,17
2450	8,17	16480,8	217,0	0,030	0,04	8,15
2455	8,15	16480,8	216,1	0,030	0,04	8,14
2460	8,14	16480,8	215,3	0,030	0,04	8,12
2465	8,12	16480,8	214,5	0,030	0,04	8,11
2470	8,11	16480,8	213,7	0,030	0,04	8,09
2475	8,09	16480,8	212,9	0,030	0,04	8,08
2480	8,08	16480,8	212,2	0,030	0,04	8,07
2485	8,07	16480,8	211,6	0,030	0,04	8,06
2490	8,06	16480,8	210,9	0,030	0,04	8,04
2495	8,04	16480,8	210,3	0,030	0,04	8,03
2500	8,03	16480,8	209,7	0,030	0,04	8,02
2505	8,02	16480,8	209,2	0,030	0,04	8,01
2510	8,01	16480,8	208,7	0,030	0,04	8,00
2515	8,00	16480,8	208,2	0,030	0,04	7,99
2520	7,99	16480,8	207,7	0,030	0,04	7,98
2525	7,98	16480,8	207,2	0,030	0,04	7,98
2530	7,98	16480,8	206,8	0,030	0,04	7,97
2535	7,97	16480,8	206,4	0,030	0,04	7,96
2540	7,96	16480,8	206,0	0,030	0,04	7,95
2545	7,95	16480,8	205,6	0,030	0,04	7,95
2550	7,95	16480,8	205,3	0,030	0,04	7,94
2555	7,94	16480,8	204,9	0,030	0,04	7,93
2560	7,93	16480,8	204,6	0,030	0,04	7,93
2565	7,93	16480,8	204,3	0,030	0,04	7,92
2570	7,92	16480,8	204,0	0,030	0,04	7,92
2575	7,92	16480,8	203,7	0,030	0,04	7,91
2580	7,91	16480,8	203,5	0,030	0,04	7,91
2585	7,91	16480,8	203,2	0,030	0,04	7,90
2590	7,90	16480,8	203,0	0,030	0,04	7,90
2595	7,90	16480,8	202,8	0,030	0,04	7,89

2825	7,82	16480,8	199,0	0,030	0,04	7,82
2830	7,82	16480,8	199,0	0,030	0,04	7,82
2835	7,82	16480,8	199,0	0,030	0,04	7,82
2840	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2845	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2850	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2855	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2860	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2865	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2870	7,82	16480,8	198,9	0,030	0,04	7,82
2875	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2880	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2885	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2890	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2895	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2900	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2905	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2910	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2915	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2920	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2925	7,82	16480,8	198,8	0,030	0,04	7,82
2930	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2935	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2940	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2945	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2950	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2955	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2960	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2965	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2970	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2975	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2980	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2985	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2990	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
2995	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3000	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3005	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3010	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3015	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3020	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3025	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3030	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3035	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3040	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82
3045	7,82	16480,8	198,7	0,030	0,04	7,82

3275	11,67	16480,8	442,4	0,031	0	11,73
3280	11,73	16480,8	447,1	0,031	0	11,79
3285	11,79	16480,8	451,8	0,031	0	11,85
3290	11,85	16480,8	456,4	0,031	0	11,91
3295	11,91	16480,8	460,9	0,031	0	11,96
3300	11,96	16480,8	465,4	0,031	0	12,02
3305	12,02	16480,8	469,8	0,031	0	12,08
3310	12,08	16480,8	474,1	0,031	0	12,13
3315	12,13	16480,8	478,4	0,031	0	12,18
3320	12,18	16480,8	482,6	0,031	0	12,24
3325	12,24	16480,8	486,7	0,031	0	12,29
3330	12,29	16480,8	490,8	0,031	0	12,34
3335	12,34	16480,8	494,8	0,031	0	12,39
3340	12,39	16480,8	498,8	0,031	0	12,44
3345	12,44	16480,8	502,7	0,031	0	12,48
3350	12,48	16480,8	506,6	0,031	0	12,53
3355	12,53	16480,8	510,4	0,031	0	12,58
3360	12,58	16480,8	514,2	0,031	0	12,62
3365	12,62	16480,8	517,9	0,031	0	12,67
3370	12,67	16480,8	521,6	0,031	0	12,71
3375	12,71	16480,8	525,2	0,031	0	12,75
3380	12,75	16480,8	528,8	0,031	0	12,80
3385	12,80	16480,8	532,3	0,031	0	12,84
3390	12,84	16480,8	535,8	0,031	0	12,88
3395	12,88	16480,8	539,2	0,031	0	12,92
3400	12,92	16480,8	542,6	0,031	0	12,96
3405	12,96	16480,8	546,0	0,031	0	13,00
3410	13,00	16480,8	549,3	0,031	0	13,04
3415	13,04	16480,8	552,6	0,031	0	13,08
3420	13,08	16480,8	555,8	0,031	0	13,11
3425	13,11	16480,8	559,1	0,031	0	13,15
3430	13,15	16480,8	562,2	0,031	0	13,19
3435	13,19	16480,8	565,4	0,031	0	13,22
3440	13,22	16480,8	568,5	0,031	0	13,26
3445	13,26	16480,8	571,5	0,031	0	13,29
3450	13,29	16480,8	574,6	0,031	0	13,33
3455	13,33	16480,8	577,6	0,031	0	13,36
3460	13,36	16480,8	580,5	0,031	0	13,40
3465	13,40	16480,8	583,4	0,031	0	13,43
3470	13,43	16480,8	586,3	0,031	0	13,46
3475	13,46	16480,8	589,2	0,031	0	13,50
3480	13,50	16480,8	592,1	0,031	0	13,53
3485	13,53	16480,8	594,9	0,031	0	13,56
3490	13,56	16480,8	597,6	0,031	0	13,59
3495	13,59	16480,8	600,4	0,031	0	13,62

3725	14,70	16480,8	702,2	0,031	0	14,72
3730	14,72	16480,8	703,9	0,031	0	14,73
3735	14,73	16480,8	705,7	0,031	0	14,75
3740	14,75	16480,8	707,5	0,031	0	14,77
3745	14,77	16480,8	709,2	0,031	0	14,79
3750	14,79	16480,8	710,9	0,031	0	14,81
3755	14,81	16480,8	712,6	0,031	0	14,82
3760	14,82	16480,8	714,3	0,031	0	14,84
3765	14,84	16480,8	716,0	0,031	0	14,86
3770	14,86	16480,8	717,7	0,031	0	14,88
3775	14,88	16480,8	719,3	0,031	0	14,89
3780	14,89	16480,8	721,0	0,031	0	14,91
3785	14,91	16480,8	722,6	0,031	0	14,93
3790	14,93	16480,8	724,2	0,031	0	14,94
3795	14,94	16480,8	725,8	0,031	0	14,96
3800	14,96	16480,8	727,4	0,031	0	14,98
3805	14,98	16480,8	729,0	0,031	0,07	14,78
3810	14,78	16480,8	710,4	0,031	0,07	14,59
3815	14,59	16480,8	691,9	0,031	0,07	14,40
3820	14,40	16480,8	673,6	0,031	0,07	14,20
3825	14,20	16480,8	655,5	0,031	0,07	14,00
3830	14,00	16480,8	637,5	0,031	0,07	13,81
3835	13,81	16480,8	619,7	0,031	0,07	13,61
3840	13,61	16480,8	602,0	0,031	0,07	13,41
3845	13,41	16480,8	584,6	0,031	0,07	13,21
3850	13,21	16480,8	567,3	0,031	0,07	13,01
3855	13,01	16480,8	550,2	0,031	0,07	12,81
3860	12,81	16480,8	533,3	0,031	0,07	12,61
3865	12,61	16480,8	516,6	0,031	0,07	12,40
3870	12,40	16480,8	500,1	0,031	0,07	12,20
3875	12,20	16480,8	483,9	0,031	0,07	12,00
3880	12,00	16480,8	467,8	0,031	0,07	11,79
3885	11,79	16480,8	452,0	0,031	0,07	11,59
3890	11,59	16480,8	436,5	0,031	0,07	11,38
3895	11,38	16480,8	421,1	0,031	0,07	11,18
3900	11,18	16480,8	406,1	0,031	0,07	10,97
3905	10,97	16480,8	391,3	0,031	0,07	10,77
3910	10,77	16480,8	376,7	0,031	0,07	10,56
3915	10,56	16480,8	362,5	0,031	0,07	10,35
3920	10,35	16480,8	348,6	0,031	0,07	10,15
3925	10,15	16480,8	334,9	0,031	0,07	9,95
3930	9,95	16480,8	321,6	0,031	0,07	9,74
3935	9,74	16480,8	308,6	0,031	0,07	9,54
3940	9,54	16480,8	295,9	0,031	0,07	9,34
3945	9,34	16480,8	283,6	0,031	0,07	9,14

Verifica delle velocità



Necessità di inserire una corsia di arrampicamento tra le progressive:

- 0 ÷ 220
- 2010 ÷ 3550
- 3885 ÷ 4000

Confronto tra i due metodi

Livelletta	Abachi	Differenze finite
	V _f	
1	88 km/h	77 km/h
2	82 km/h	58 km/h
3	36 km/h	28 km/h
4	70 km/h	54 km/h
5	47 km/h	26 km/h

ESERCITAZIONE 7

Esercizio 2

Calcolare la lunghezza di campo caratteristica L_{CC} per l'atmosfera internazionale standard del velivolo AIRBUS A320 assumendo un peso massimo al decollo (Maximum Take Off Weight, MTOW) pari a 755.4 kN ed una velocità di decollo pari a $1.2V_S$.

Sono inoltre noti:

- $T_{\text{decollo}} = 120$ kN/turbina;
- 2 turbine totali;
- $S_A = 122.6$ m²;
- $c_{p, \text{max}} = 1,8$ (in fase di crociera a V_S).

Svolgimento

Lo spazio di decollo normale è dato dalla somma di tre contributi:

- **S₁**: spazio necessario per passare da una velocità nulla ($V = 0$ km/h) ad una velocità $V_1 = 1.2 V_S$ ($V_S =$ velocità di stallo);
- **S₂**: spazio necessario per far ruotare il velivolo (dal punto in cui si alza il carrello anteriore a quello in cui si alza quello posteriore);
- **S₃**: spazio necessario per raggiungere un'altezza di 10.7 m con una velocità V pari a $1.2 V_S$.

Calcolo dello spazio s_1

$$s_1 = \frac{1,44 \cdot P^2}{g \cdot \delta \cdot S_A \cdot c_{p, \text{max}} \cdot (0,9 \cdot T)}$$

ove:

- $P =$ peso del velivolo;
- $g =$ accelerazione di gravità;
- $\delta =$ densità dell'aria in condizioni ideali (l'ICAO ci dice che in tali condizioni si ha $\delta = 1.225 \left[\frac{N \cdot s^2}{m^4} \right]$;
- $S_A =$ superficie alare;

$$R = \frac{(1.2 \cdot 74.8)^2 \left[\frac{m^2}{s^2} \right]}{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot (1.2 - 1)} \cong 4106 \text{ m}$$

$$s_3 = R \cdot \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{10.7}{R} \right) \right] = 4106 \cdot \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{10.7}{4106} \right) \right] \cong 296 \text{ m}$$

Spazio di decollo normale (lunghezza di campo caratteristica):

$$s_{DN} = s_1 + s_2 + s_3 = L_{CC} = 1434 + 269 + 296 = 1999 \text{ m}$$

$$t_a = 15^\circ - 0.0065 \cdot a = 15 - 0.0065 \cdot 4334 \cong -13.2^\circ$$

$$L_{CRT} = [4020 \cdot (10 - (-13.2)) \cdot 0.01] + 4020 \cong 4953 \text{ m}$$

Correzione relativa alla pendenza longitudinale della pista

$$L_{CR} = (L_{CRT} \cdot p \cdot 0.10) + L_{CRT}$$

La lunghezza della pista aumenta del 10% ogni punto percentuale in più di pendenza longitudinale della pista di volo.

$$L_{CR} = (4953 \cdot 2 \cdot 0.10) + 4953 \cong 5944 \text{ m}$$

ESERCITAZIONE 8

Esercizio 1

Individuare l'orientamento della pista di volo di un aeroporto avente i dati di distribuzione percentuale e di intensità dei venti riportati in **Tabella 1**. Si supponga un valore limite del vento trasversale ammissibile di 24 km/h.

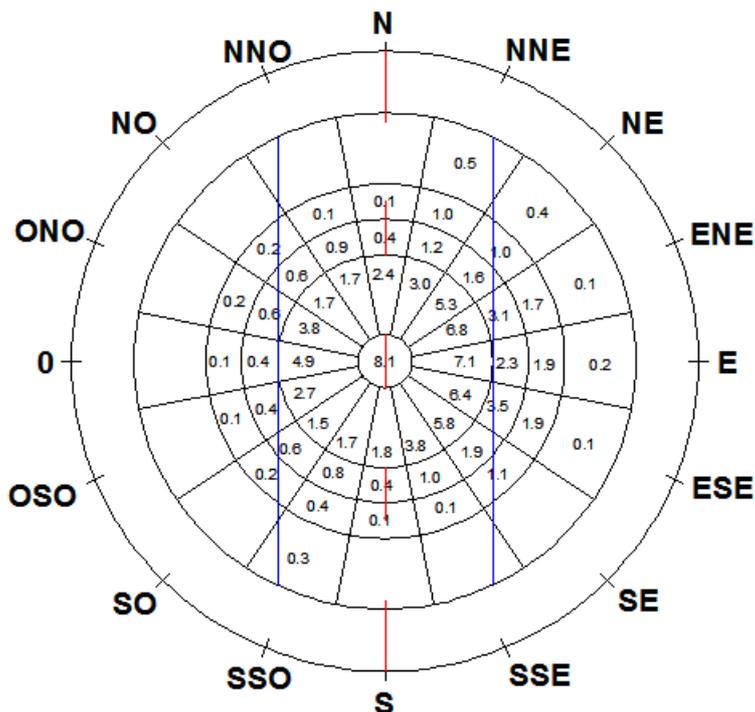
Direzione del vento	Frequenza [%]				Totale %
	6 ÷ 24 km/h	24 ÷ 32 km/h	32 ÷ 40 km/h	40 ÷ 56 km/h	
N	2.4	0.4	0.1	0.0	2.9
NNE	3.0	1.2	1.0	0.5	5.7
NE	5.3	1.6	1.0	0.4	8.3
ENE	6.8	3.1	1.7	0.1	11.7
E	7.1	2.3	1.9	0.2	11.5
ESE	6.4	3.5	1.9	0.1	11.9
SE	5.8	1.9	1.1	0.0	8.8
SSE	3.8	1.0	0.1	0.0	4.9
S	1.8	0.4	0.1	0.0	2.3
SSO	1.7	0.8	0.4	0.3	3.2
SO	1.5	0.6	0.2	0.0	2.3
OSO	2.7	0.4	0.1	0.0	3.2
O	4.9	0.4	0.1	0.0	5.4
ONO	3.8	0.6	0.2	0.0	4.6
NO	1.7	0.6	0.2	0.0	2.5
NNO	1.7	0.9	0.1	0.0	2.7
Calma					8.1

Tabella 1: Intensità e distribuzione percentuale dei venti nell'area aeroportuale

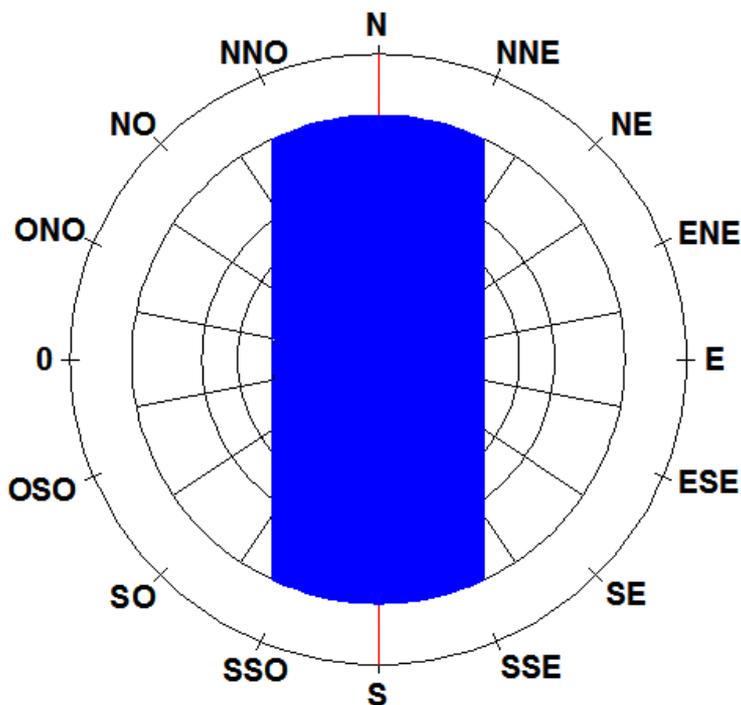
Per la stessa area aeroportuale, verificato che non si rispettano le limitazioni dettate dall'ICAO sulla percentuale di utilizzo della pista principale individuata in precedenza, individuare l'orientamento della pista ausiliaria.

Svolgimento

3° passo: disegnare la direzione dell'asse che individua la direzione della pista e due linee distanti dall'asse di una quantità pari alla massima velocità trasversale ammessa dalle norme tecniche (hp: 24 km/h)



4° passo: calcolare la percentuale di utilizzo pista sommando le percentuali di frequenza intercettate dalla fascia individuata dalle linee di estremità



Si ottiene dunque che le percentuali di utilizzo nelle varie direzioni sono:

Direzione asse	Percentuale di utilizzo [%]
0 / 18	82,9
1 / 19	83,2
2 / 20	84,2
3 / 21	85,4
4 / 22	86,6
5 / 23	88,1
6 / 24	89,4
7 / 25	90,5
8 / 26	91,1 (91,09)
9 / 27	90,8
10 / 28	91,1 (91,14)
11 / 29	90,3
12 / 30	88,8
13 / 31	86,9
14 / 32	85,4
15 / 33	84,2
16 / 34	83,4
17 / 35	83,0

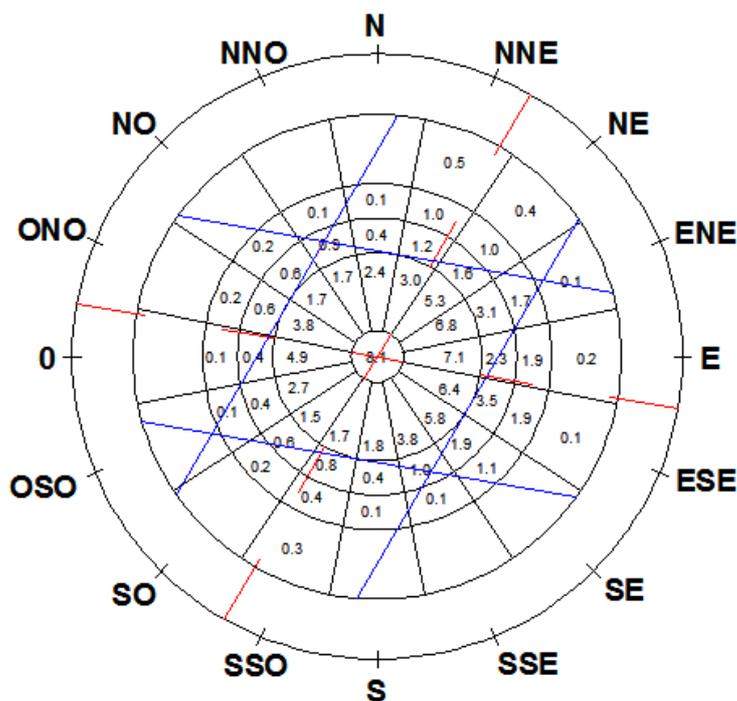
Note le percentuali di utilizzo nelle varie direzioni, è possibile individuare la direzione dell'asse della pista principale e cioè la direzione a cui spetta la percentuale maggiore. Infatti lungo tale direzione sarà massimo il tempo in cui la pista sarà operativa e cioè minimo il tempo in cui spirano venti trasversali al moto.

Direzione asse pista: 10 – 28: orientamento 10° rispetto al Nord (percentuale di utilizzo 91,1%).

Le percentuali di utilizzo nelle varie direzioni sono:

Direzione asse	Percentuale di utilizzo [%]
0 / 18	98,4
1 / 19	98,9
2 / 20	97,7
3 / 21	99,3
4 / 22	98,8
5 / 23	98,1
6 / 24	97,0
7 / 25	95,7
8 / 26	94,2
9 / 27	92,7
10 / 28	\
11 / 29	92,1
12 / 30	92,7
13 / 31	93,3
14 / 32	93,9
15 / 33	94,8
16 / 34	96,0
17 / 35	97,3

Direzione asse pista sussidiaria: 3 – 21: orientamento 30° rispetto al Nord (percentuale di utilizzo totale 99,3%).



Esercizio 3

Costruire il diagramma delle velocità ed effettuare le opportune verifiche relative ad un tronco di strada di categoria C (intervallo di velocità di progetto $60 \div 100$ km/h) avente il seguente andamento planimetrico (**Figura 2**):

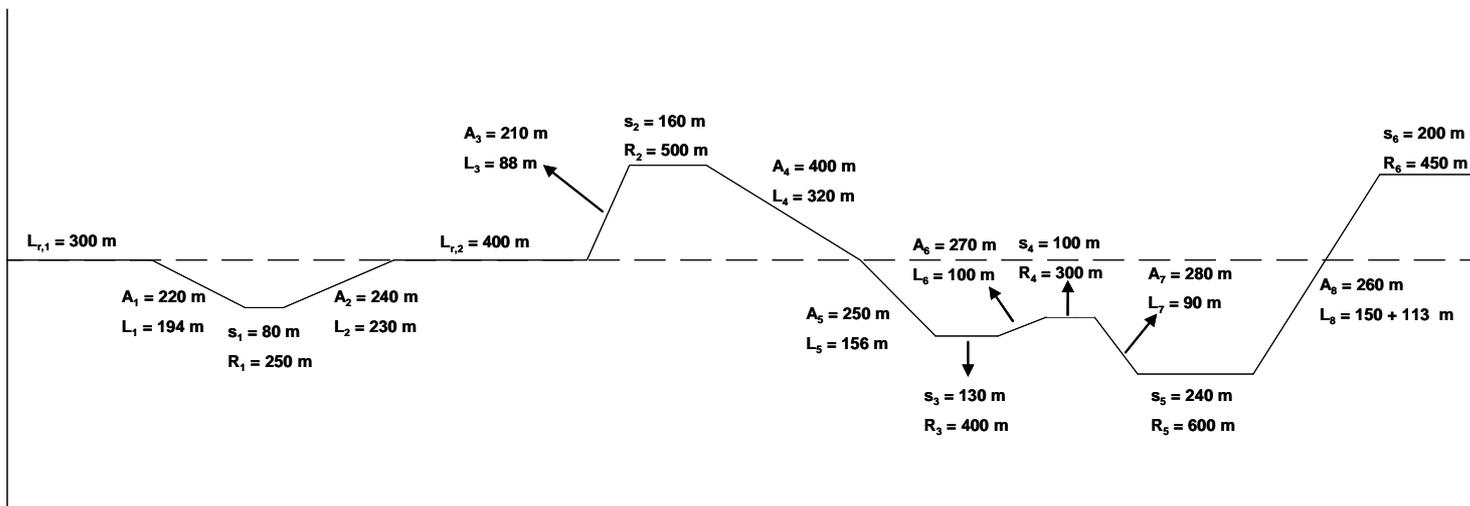
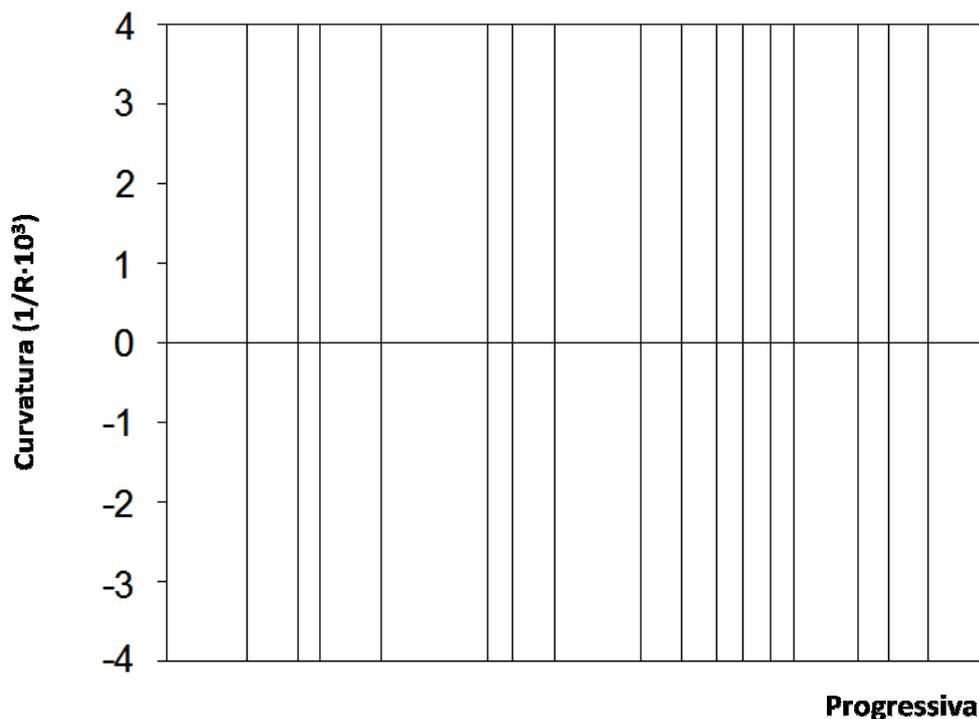


Figura 2: Andamento planimetrico

Svolgimento

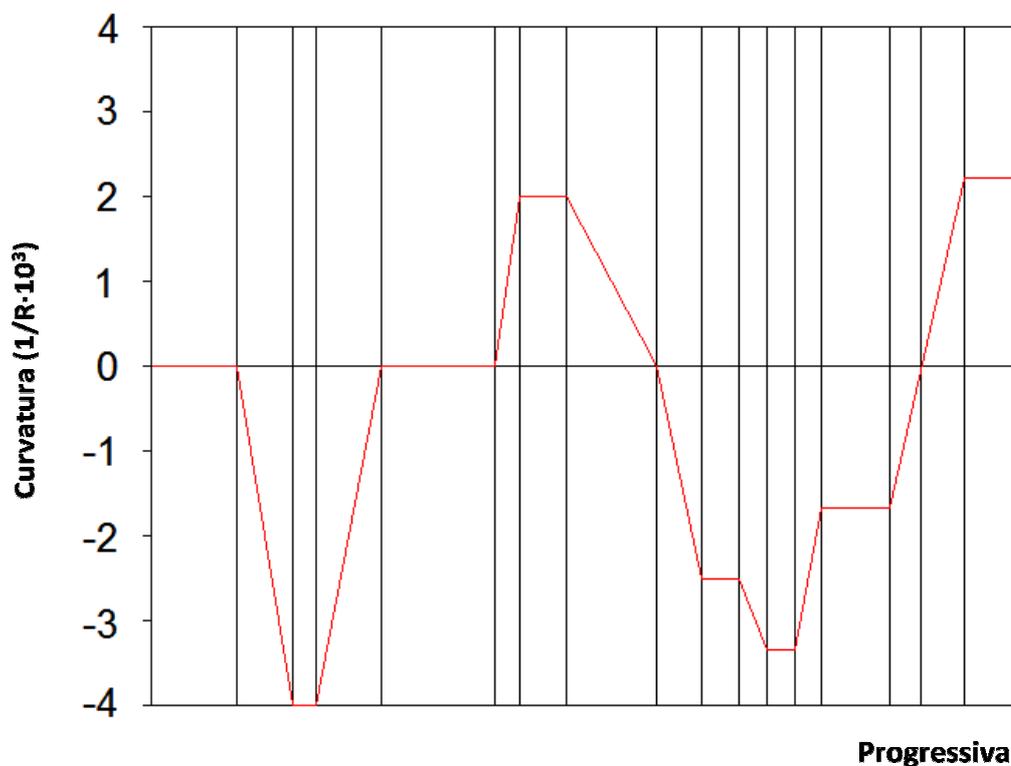
1. Costruire il diagramma delle curvature: individuazione dei punti di variazione degli elementi planimetrici.

DIAGRAMMA DELLE CURVATURE



1. Costruire il diagramma delle curvature: raccordo con gli elementi a curvatura variabile.

DIAGRAMMA DELLE CURVATURE



2. Costruire il diagramma delle velocità: calcolo dei raggi caratteristici.

Strada di categoria C:

- intervallo di velocità di progetto 60 ÷ 100 km/h;

- $q_{max} = 7\%$;

- $f_{t,max}$ tabulato:

Coefficiente di aderenza trasversale – Norme Italiane							
Vp [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
A, B, C, F extraurbane	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
D, E, F urbane	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

$$R_{min} = \frac{v_{p,min}^2}{g \cdot (q_{max} + f_{t,max})} = \frac{\left(\frac{60}{3.6} \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot (0.07 + 0.17)} = 118 \text{ m (118 m da abaco)}$$

- Curva di raggio $R_1 = 250$ m ($R_{\min} < R_1 < R^*$). Ipotizziamo $f_{t,\max} = 0.11$:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{250[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.11 + 0.07)} = 76 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 76 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1516:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{250[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.1516 + 0.07)} = 84 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 84 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1421:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{250[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.1421 + 0.07)} = 82 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 82 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1445:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{250[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.1445 + 0.07)} = 83 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

↓

$$V_{R_1=250 \text{ m}} = 83 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

- Curva di raggio $R_2 = 500$ m ($R_2 > R^*$) → $V_{R_2=500 \text{ m}} = V_{P,\max} = 100$ km/h.

- Curva di raggio $R_3 = 400$ m ($R_{\min} < R_3 < R^*$). Ipotizziamo $f_{t,\max} = 0.11$:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{400[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.11 + 0.07)} = 96 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 96 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1279:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{400[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.1279 + 0.07)} = 100 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 100 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1231:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{400[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.1231 + 0.07)} = 99 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

↓

$$V_{R_3=400 \text{ m}} = 99 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

- Curva di raggio $R_4 = 300$ m ($R_{\min} < R_4 < R^*$). Ipotizziamo $f_{t,\max} = 0.11$:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{300[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.11 + 0.07)} = 83 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 83 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1433:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{300[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.1433 + 0.07)} = 90 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 90 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.135:

$$v_{250} = \sqrt{R \cdot g \cdot (f_{t,\max} + q_{\max})} = \sqrt{300[\text{m}] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (0.135 + 0.07)} = 88 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Per una velocità di 88 km/h il valore appropriato di $f_{t,\max}$ è 0.1445:

$$D_T = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot a}$$

- ❖ Passaggio da $V_r = 100$ km/h a $V_1 = 83$ km/h:

$$D_T = \frac{\left(\frac{83}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 - \left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 \cdot (-0.8) \left[\frac{m}{s}\right]} = 150.0 \text{ m}$$

- ❖ Passaggio da $V_1 = 83$ km/h a $V_r = 100$ km/h:

$$D_T = \frac{\left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 - \left(\frac{83}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 \cdot 0.8 \left[\frac{m}{s}\right]} = 150.0 \text{ m}$$

- ❖ Passaggio da $V_r = 100$ km/h a $V_2 = 100$ km/h:

$$D_T = \frac{\left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 - \left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 \cdot 0.8 \left[\frac{m}{s}\right]} = 0 \text{ m}$$

- ❖ Passaggio da $V_2 = 100$ km/h a $V_f = 100$ km/h:

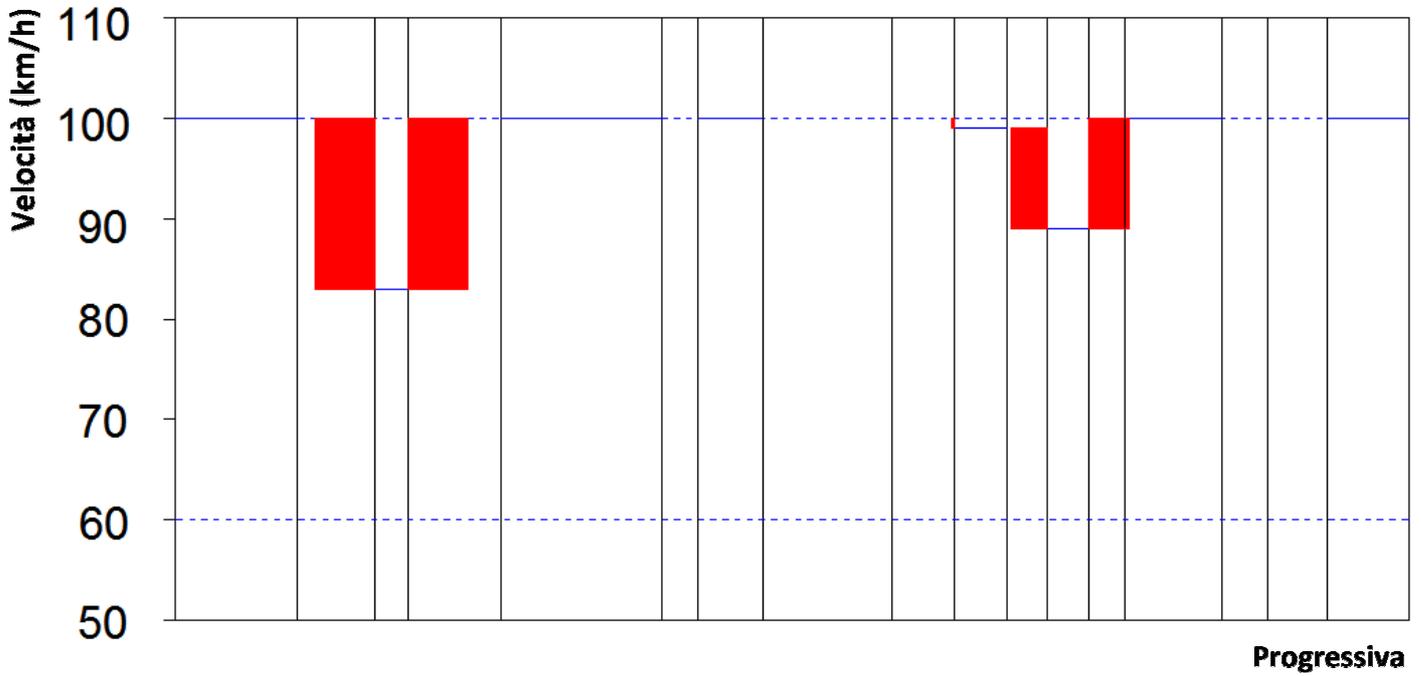
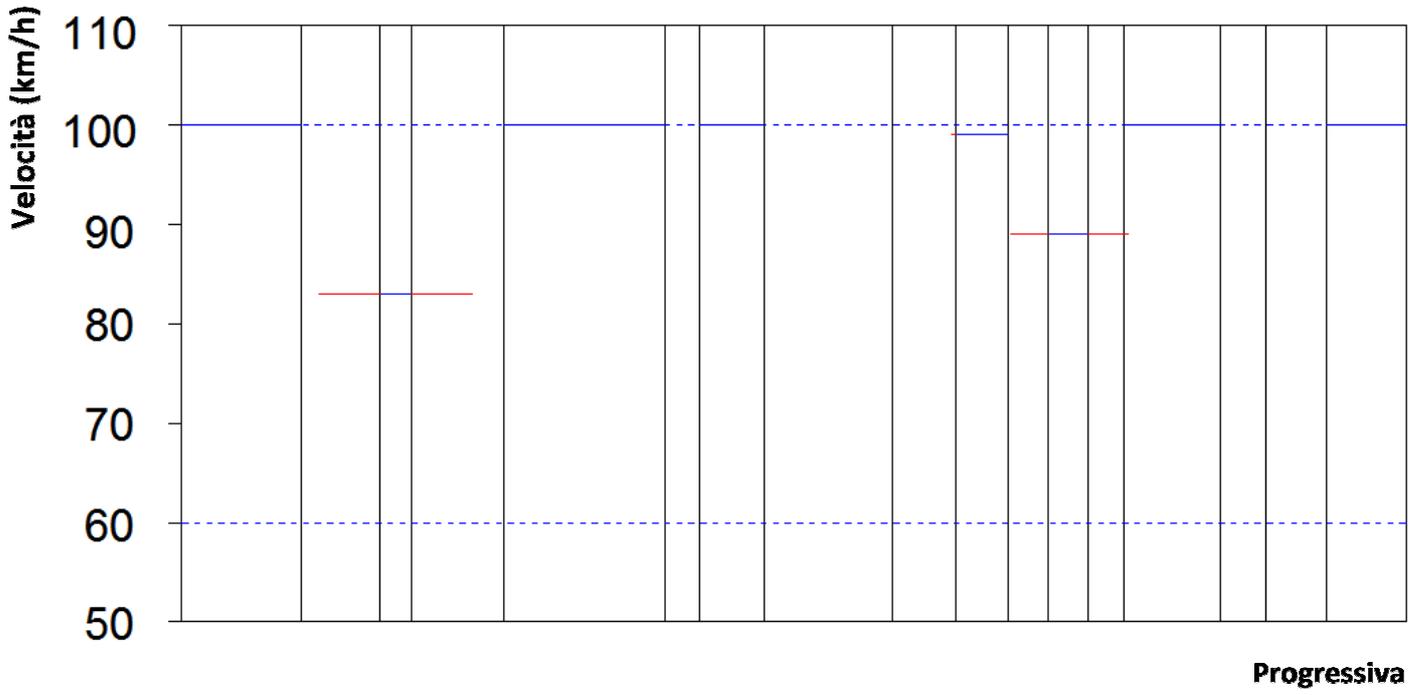
$$D_T = \frac{\left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 - \left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 \cdot 0.8 \left[\frac{m}{s}\right]} = 0 \text{ m}$$

- ❖ Passaggio da $V_f = 100$ km/h a $V_3 = 99$ km/h:

$$D_T = \frac{\left(\frac{99}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 - \left(\frac{100}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 \cdot (-0.8) \left[\frac{m}{s}\right]} = 9.6 \text{ m}$$

- ❖ Passaggio da $V_3 = 99$ km/h a $V_4 = 89$ km/h:

$$D_T = \frac{\left(\frac{89}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2 - \left(\frac{99}{3.6}\right)^2 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 \cdot (-0.8) \left[\frac{m}{s}\right]} = 90.7 \text{ m}$$



ESERCITAZIONE 9

Esercizio 2

Si vuole realizzare una strada di categoria B (strada extraurbana secondaria, intervallo di velocità di progetto $70 \div 120$ km/h, **Figura 2**). Dimensionare, progettare e tracciare per punti le clotoidi di transizione che dovranno raccordare la poligonale d'asse riportata in **Figura 3**:

Soluzione base a 2+2 corsie di marcia

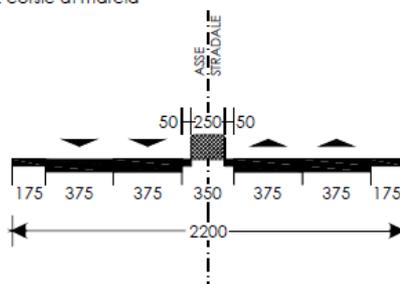


Figura 2: Sezione tipo B

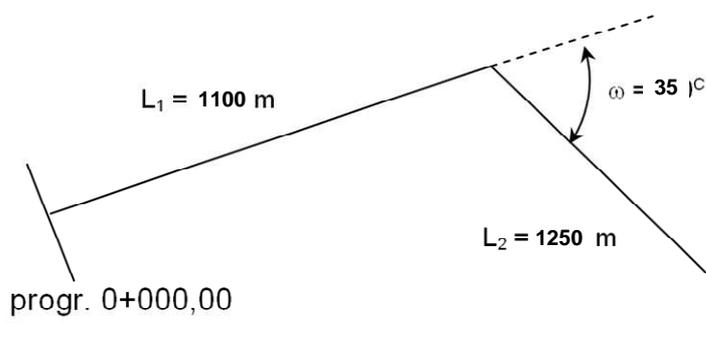


Figura 3: Poligonale d'asse

Disegnare quindi il diagramma delle curvature e quello delle velocità e verificarlo.

- Vincolo sulla percettività ottica della clotoide:

$$A \geq A_{\min} = \frac{R}{3} = \frac{1000}{3} = 333.3 \text{ m}$$

- Vincolo sulla percettività ottica del raccordo circolare:

$$A \leq A_{\max} = R = 1000 \text{ m}$$

Adotto un fattore di scala pari a 340 m ($333.3 \leq A \leq 1000$).

4. Progetto della clotoide.

Si deve valutare l'angolo di deviazione τ :

$$\tau = \frac{A^2}{2 \cdot R^2} = \frac{340^2}{2 \cdot 1000^2} = 0.0578 \text{ rad} = 3.679662284^\circ$$

↓

Utilizzo la tabella della clotoide unitaria:

A [m]	L [m]	R [m]	τ [°]	x_f [m]	y_f [m]	X_M [m]	Y_M [m]	ΔR [m]
1	0,34	2,941176	3,679662	0,339886	0,006549	0,169981	2,942814	0,001637
340	115,6	1000	3,679662	115,6	2,2	57,8	1000,6	0,6

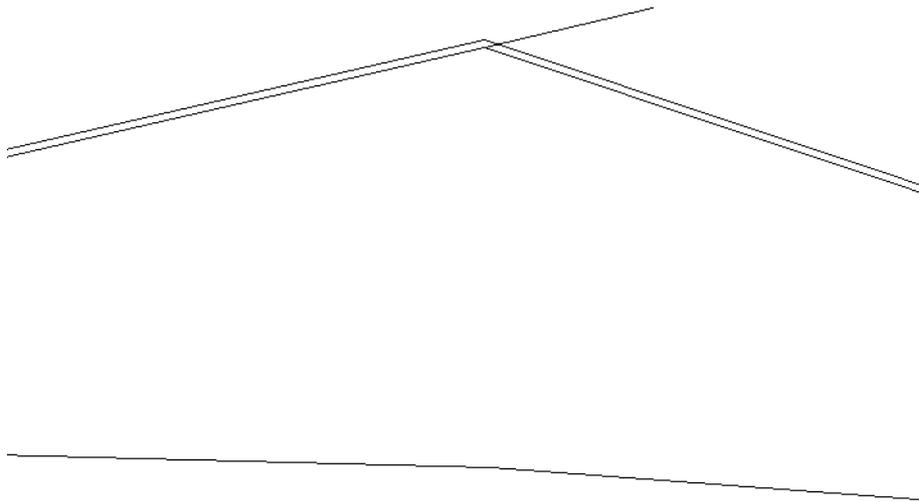
Le Norme Tecniche Italiane richiedono che gli archi di cerchio non vengano percorsi in meno di 2.5 s (poiché solo con un tempo maggiore di 2.5 s l'utente ha la percezione di attraversare un arco circolare).

$$\omega = \alpha + 2\tau \rightarrow \alpha = \omega - 2\tau = \frac{31.5^\circ \cdot \pi}{180} [\text{rad}] - 2 \cdot \frac{3.31^\circ \cdot \pi}{180} = 0.43 \text{ rad}$$

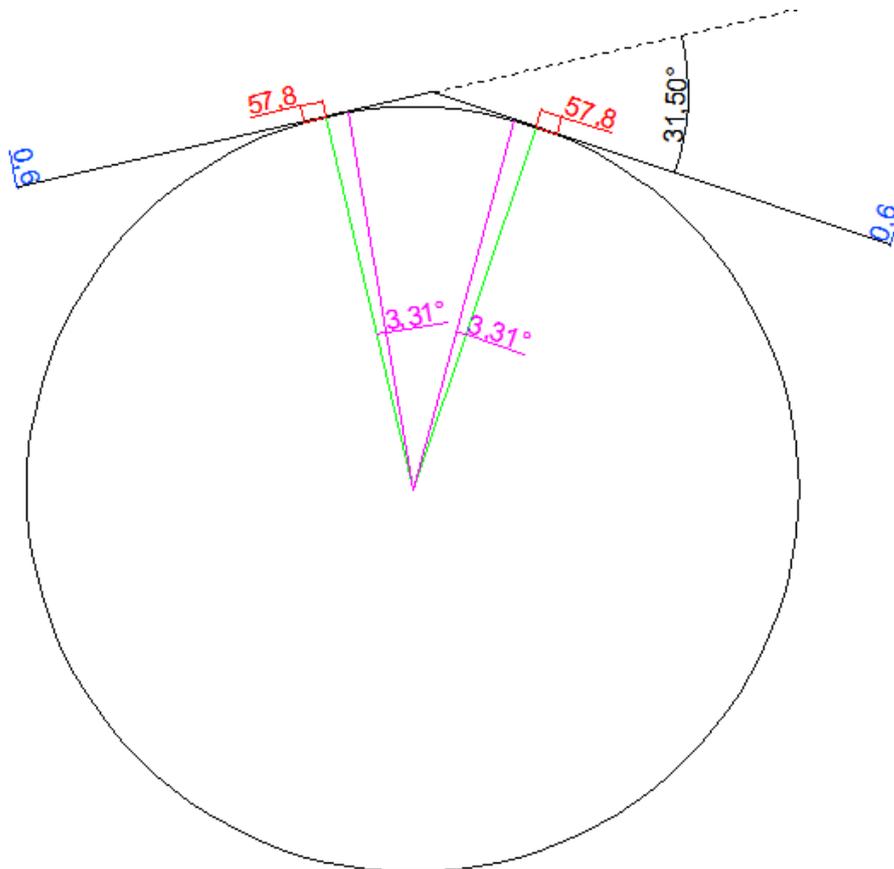
↓

$$L_{\text{curva}} = \alpha \cdot R = 0.43 \text{ rad} \cdot 1000 = 433.9 \text{ m}$$

Dunque il tempo di percorrenza della curva sarà dato dal rapporto tra la lunghezza della curva (L_{curva}) e la velocità di percorrenza della curva (V_{curva}).

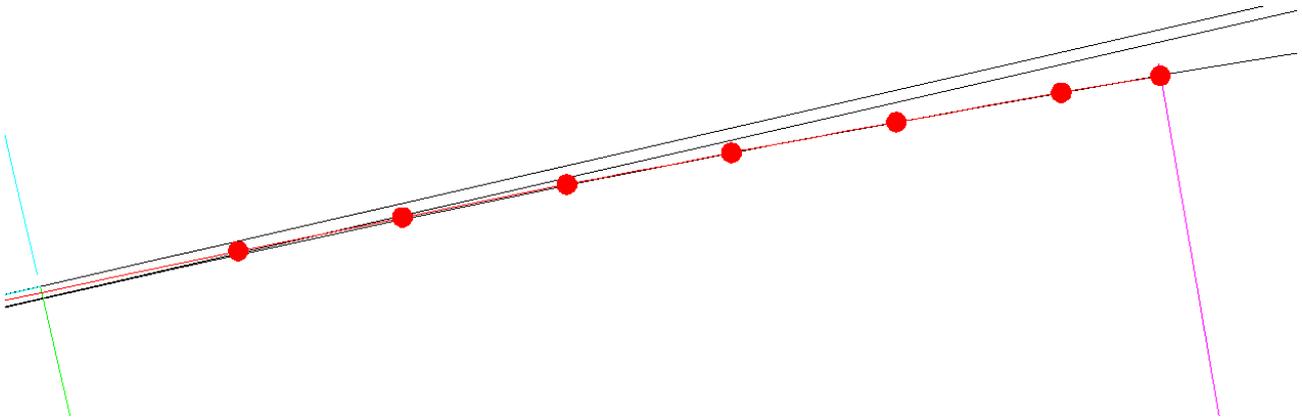
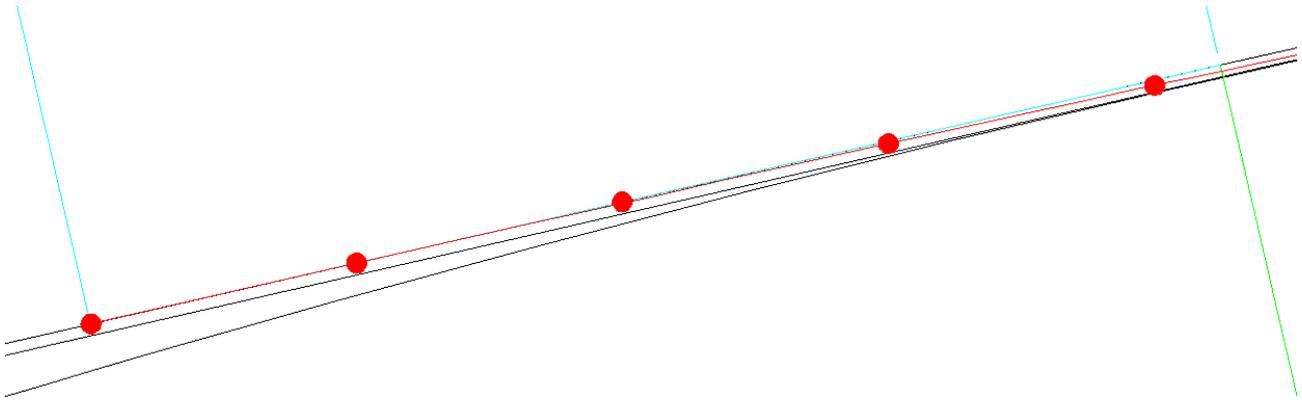


Noto l'arretramento X_M , posso individuare il sistema di riferimento su cui disegnare la clotoide:

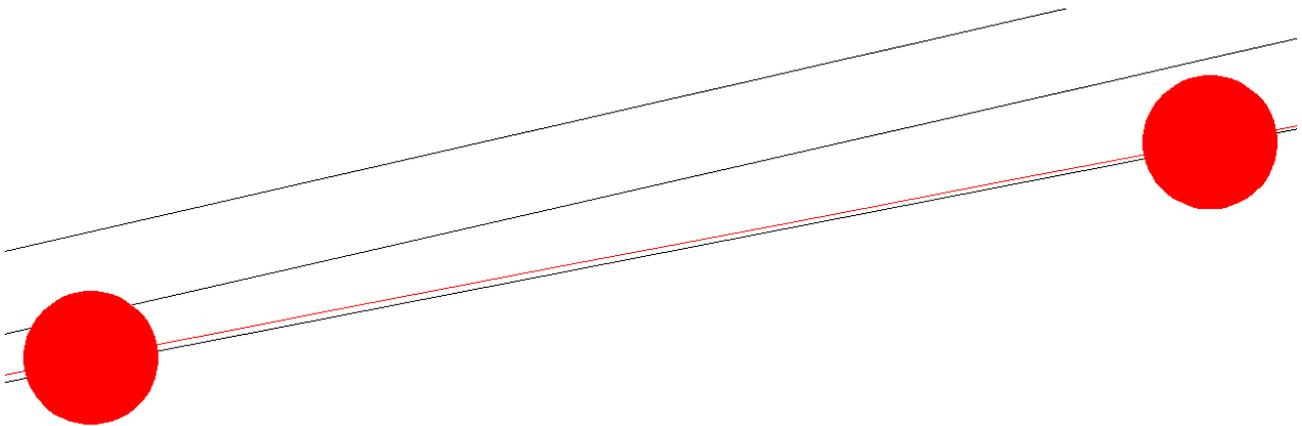


5. Tracciamento per punti della clotoide.

Suddivido il raccordo in un certo numero di punti. In questo caso i valori della Tabella della Clotoide Unitaria che interessano lo sviluppo del raccordo sono 69 ($0 \div 0.340$). Prendo un punto ogni 10 per i primi 40 valori ed uno ogni 5 per i restanti:



Faccio uno zoom per far notare la differenza tra clotoide e curva circolare:



ESERCITAZIONE 10

Esercizio 1

Si progetti una transizione ferroviaria per un tracciato della rete ordinaria italiana avente il seguente modello di esercizio:

$$V_{MAX} = 160 \text{ km/h}$$

$$V_{MIN} = 80 \text{ km/h}$$

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

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

$$c_{MAX} = 0,45 \text{ m/s}^3$$

Dimensionare e tracciare per punti la clotoide e la parabola cubica aventi il medesimo raggio finale e lo stesso scostamento tra cerchio e rettilifo.

Il raggio è da calcolare con la seguente equazione:

$$R = R_{min} + N \cdot 10 + C \cdot 15$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Si richiede di confrontare attraverso la sovrapposizione i due tracciamenti avendo cura di far coincidere i centri dei due cerchi.

Riportare inoltre i diagrammi della sopraelevazione per entrambe le curve.

$$H = 7.49 \cdot \frac{V_{\max}^2}{R} = 7.49 \cdot \frac{\left(160 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]\right)^2}{1690 [\text{m}]} = 113.5 \text{ mm}$$

3.Determinazione del fattore di scala A e dello sviluppo L, validi sia per la clotoide che per la parabola cubica:

Per entrambe le curve è possibile individuare il fattore di scala A in funzione del contraccollo:

$$A = \sqrt{\frac{v^3}{c}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{160 [\text{m}]}{3.6 [\text{s}]}\right)^3}{0.45 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^3}\right]}} = 442 \text{ m}$$

Poiché $R \cdot L = A^2$, allora posso ricavare lo sviluppo della clotoide (sulla progressiva):

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{(442 [\text{m}])^2}{1690 [\text{m}]} = 115.6 \text{ m}$$

4.Determinazione dello scostamento ΔR, valido sia per la clotoide che per la parabola cubica:

$$\Delta R \cong \frac{A^4}{24 \cdot R^3} = \frac{(442 [\text{m}])^4}{24 \cdot (1690 [\text{m}])^3} = 0.33 \text{ m}$$

5.Clotoide: valutazione dell'angolo di deviazione τ della clotoide. Mediante la tabella della clotoide unitaria si valuta inoltre l'arretramento X_M e tutte le coordinate necessarie per il tracciamento per punti della clotoide:

$$\tau = \frac{A^2}{2 \cdot R^2} = \frac{442^2}{2 \cdot 1690^2} = 0.0342 \text{ rad} = 2.177314961 \text{ } ^\circ$$

↓

Utilizzo la tabella della clotoide unitaria:

S	τ ^c	x _f	y _f	x _M	y _M	Δr	l	t _k	r	l _c
0,260	2,15178	0,25997	0,00293	0,13000	3,84689	0,00073	0,17334	0,08668	3,84615	0,25999
0,265	2,23533	0,26497	0,00310	0,13250	3,77436	0,00078	0,17668	0,08834	3,77359	0,26499

Poiché nella tabella della clotoide unitaria non è presente il valore di τ = 2.177314961 °, effettuo un'interpolazione lineare per trovare i valori corrispondenti a tale angolo di deviazione:

L'arretramento del sistema di riferimento vale:

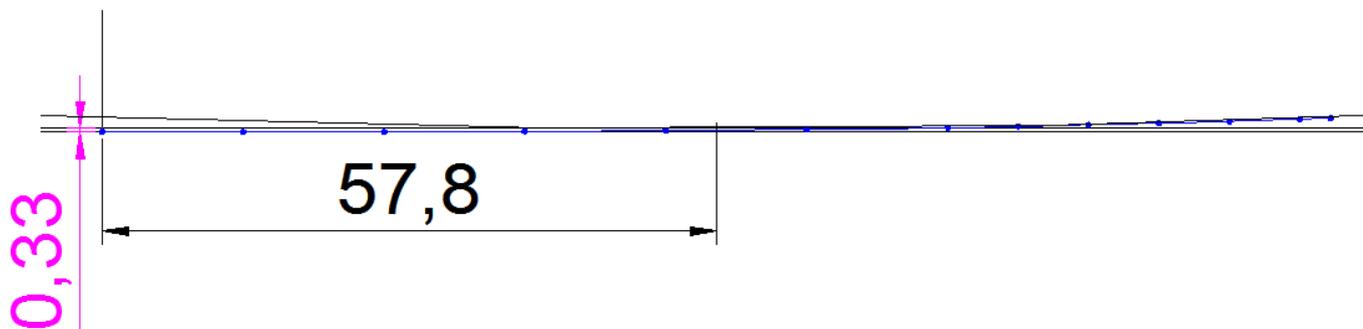
$$x_p = \frac{L}{2} = \frac{115.6[m]}{2} = 57.8 [m]$$

Per ricavare le coordinate dei punti utilizzo l'equazione:

$$y = \frac{1}{6 \cdot A^2} \cdot x^3$$

Utilizzo le stesse X ricavate nel caso della clotoide, mentre per le Y uso la formula di cui sopra:

Xi [m]	Yi [m]
0	0
13,26	0,001989
26,52	0,015912
39,78	0,053703
53,039558	0,127293
66,299116	0,248615
79,55779	0,429588
86,186906	0,54617
92,81558	0,68213
99,443812	0,838953
106,07116	1,018113
112,698066	1,221107
115,6	1,317265



6. Disegnare le due transizioni avendo cura di far coincidere i centri dei cerchi ed i rettili

Poiché l'arretramento è lo stesso e le coordinate dei punti differiscono dopo la quarta cifra decimale, i due raccordi (clotoide e parabola cubica) risultano praticamente sovrapposti.

ESERCITAZIONE 11

Esercizio 1

Progettare, verificare e tracciare un raccordo concavo e due convessi (uno per condizione da soddisfare) per una strada di categoria C (60 ÷ 100 km/h, **Figura 1**):

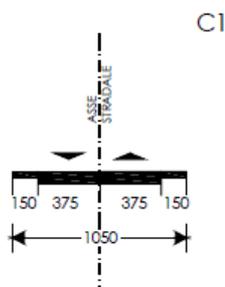


Figura 1: Sezione tipo C1

Si supponga che la velocità di percorrenza, desunta dal diagramma delle velocità, sia di 95 km/h e che i profili altimetrici da raccordare siano i seguenti (**Figura 2**):

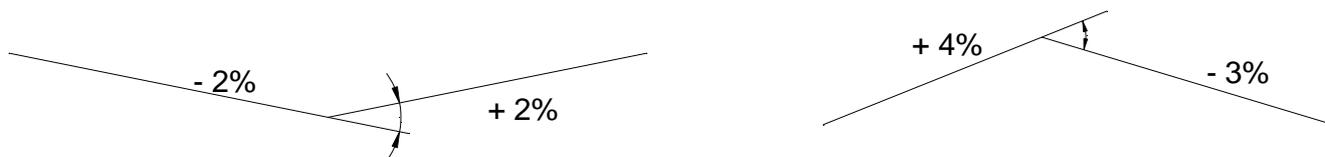


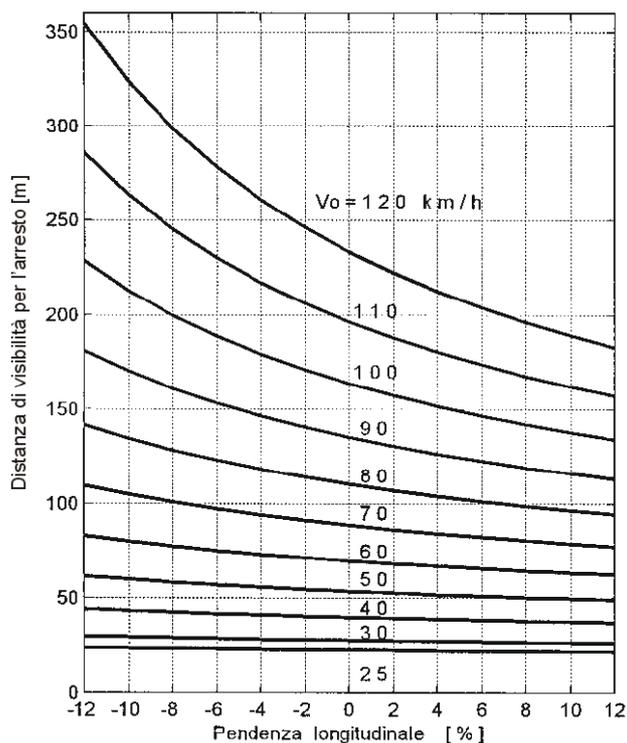
Figura 2: Profili altimetrici da raccordare

Svolgimento

RACCORDO CONCAVO

La prima operazione da compiere è il calcolo della distanza di visibilità **D** all'interno del raccordo verticale (siamo nel caso di raccordo concavo, l'unica distanza da valutare è quella di arresto). Possiamo utilizzare l'abaco presente all'interno della Norma Tecnica oppure la relazione analitica desunta dall'equazione della trazione.

In funzione della pendenza longitudinale e della velocità operativa del tratto stradale in



$$L = R_V \cdot \frac{\Delta i}{100} = 4300[m] \cdot \frac{4}{100} = 172 \text{ m}$$

Utilizzando le relazioni analitiche (caso $D < L$: $167.1 < 172$):

$$R_V = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \cdot \sin\vartheta)} = \frac{(167.1[m])^2}{2 \cdot (0.5[m] + 167.1[m] \cdot \sin(1^\circ))} = 4086.6 \text{ m}$$

$$L = \frac{\Delta i}{2 \cdot 100 \cdot (h + D \cdot \sin\vartheta)} D^2 = \frac{4}{2 \cdot 100 \cdot (0.5[m] + 167.1[m] \cdot \sin(1^\circ))} (167.1[m])^2 = 163.5 \text{ m}$$

Questi sono i valori minimi da garantire.

Verifiche:

- nessuna parte del veicolo, eccetto le ruote, deve avere contatti con la superficie stradale:

$$R_V \geq 40m \rightarrow \textit{verificato}$$

- comfort di marcia:

$$a_V = \frac{v_P^2}{R_V} \leq a_{lim}$$

↓

$$R_V \geq 1.67 \cdot v_P^2 = 0.129 \cdot V_P^2 = 1.67 \cdot \left(\frac{95}{3.6} \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2 = 1162.9 \text{ m} \rightarrow \textit{verificato}$$

Per il tracciamento è opportuno ricordare alcune relazioni importanti:

$$y = \frac{i_2 - i_1}{2 \cdot 100 \cdot L} \cdot x^2 + \frac{i_1}{100} \cdot x \quad \textit{Equazione generale dei raccordi parabolici}$$

Coordinate del vertice A della parabola

$$x_A = L \cdot \left(\frac{i_1}{i_1 - i_2}\right)$$

$$y_A = \frac{i_1^2 \cdot L}{2 \cdot 100 \cdot (i_1 - i_2)}$$

RACCORDO CONVESSO

La prima operazione da compiere è il calcolo della distanza di visibilità **D** all'interno del raccordo verticale (siamo nel caso di raccordo convesso, in base alla categoria della strada dobbiamo stabilire quali condizioni verificare). La categoria è C, quindi le condizioni da analizzare sono:

- ostacolo fisso presente sulla corsia;
- veicolo che procede in senso opposto sulla stessa carreggiata nel caso di sorpasso consentito.

Anche in questo caso possiamo, per la distanza di arresto, utilizzare l'abaco delle Norme Tecniche oppure la relazione analitica:

- $V = 95 \text{ km/h}$,
- $i_{media} = \frac{+4\% - 3\%}{2} = 0.5\%$,
- $f_e = 0.30$ (strada bagnata, cioè condizioni peggiori).
-

$$d_a = v \cdot t_{PR} + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]} = \frac{95}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right] \cdot (2.8 - 0.01 \cdot 95) [s] + \frac{\left(\frac{95}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot (0.3 + 0.005)} =$$

$$= 165.2 \text{ m}$$

La prima condizione (presenza di ostacolo fisso) richiede pertanto una distanza di visuale libera da garantire di 165.2 m.

$$d_s = 20 \cdot v = 20 \cdot \frac{95}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right] = 527.8 \text{ m}$$

La seconda condizione (presenza di un veicolo che procede in senso opposto sulla stessa carreggiata) richiede pertanto una distanza di visuale libera da garantire di 527.8 m.

❖ *Presenza di ostacolo fisso*

Si può ora procedere al calcolo del raggio verticale. Possiamo utilizzare sia gli abachi presenti nella Norma Tecnica ($h_1 = 1.1 \text{ m}$, $h_2 = 0.1 \text{ m}$) che le relazioni analitiche:

- $\Delta i = |i_2 - i_1| \% = 7\%$
- $D = 165.2 \text{ m}$

Verifiche:

- nessuna parte del veicolo, eccetto le ruote, deve avere contatti con la superficie stradale:

$$R_V \geq 20m \rightarrow \textit{verificato}$$

- comfort di marcia:

$$a_V = \frac{v_p^2}{R_V} \leq a_{lim}$$

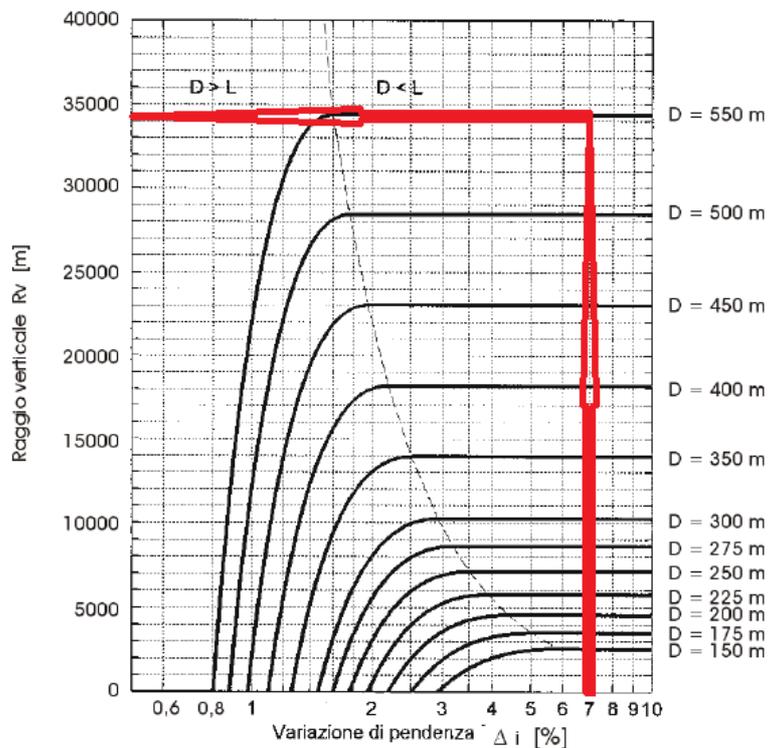
↓

$$R_V \geq 1.67 \cdot v_p^2 = 0.129 \cdot V_p^2 = 1.67 \cdot \left(\frac{95}{3.6} \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2 = 1162.9 m \rightarrow \textit{verificato}$$

❖ **Presenza di veicolo in verso opposto sulla stessa carreggiata**

Si può ora procedere al calcolo del raggio verticale. Possiamo utilizzare sia gli abachi presenti nella Norma Tecnica ($h_1 = 1.1 m$, $h_2 = 1.1 m$) che le relazioni analitiche:

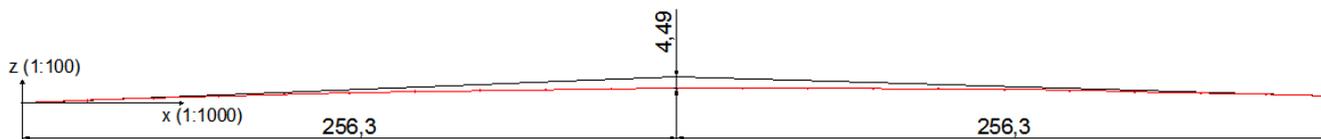
- $\Delta i = |i_2 - i_1| \% = 7\%$
- $D = 527.8 m$



La curva relativa a 527.8 m non c'è; scelgo dunque quella immediatamente superiore (andando a favore di sicurezza):

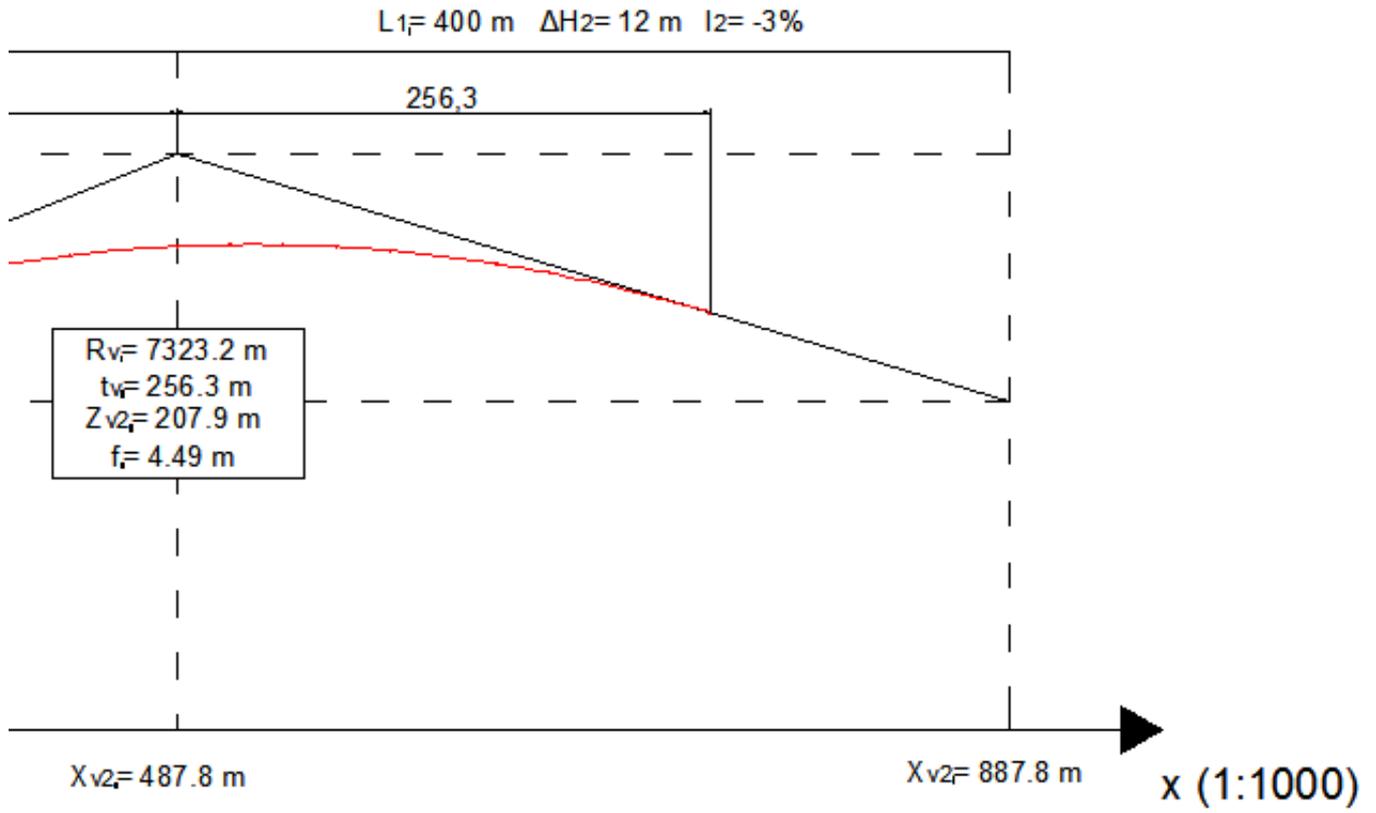
Punto	x	z
1	0	0
2	25,63	0,980348
3	51,26	1,87099
4	76,89	2,671928
5	102,52	3,38316
6	128,15	4,004688
7	153,78	4,53651
8	179,41	4,978628
9	205,04	5,33104
10	230,67	5,593748
11	256,3	5,76675
12	281,93	5,850048
13	307,56	5,84364
14	333,19	5,747528
15	358,82	5,56171
16	384,45	5,286188
17	410,08	4,92096
18	435,71	4,466028
19	461,34	3,92139
20	486,97	3,287048
21	512,6	2,563

Traccio il raccordo nel sistema di riferimento locale:



Inserisco il raccordo all'interno del profilo longitudinale. La lunghezza fornita delle livellette è inferiore allo sviluppo del raccordo, quindi allungo la livelletta:

$$L_1 = 460 \text{ m}, \quad L_2 = 400 \text{ m}$$



ESERCITAZIONE 12

Esercizio 1

Data una strada di categoria C, rappresentare l'andamento dei cigli per il seguente andamento planimetrico (**Figura 1**). Verificare inoltre il valore Δi secondo quanto riportato nella Norma Tecnica.

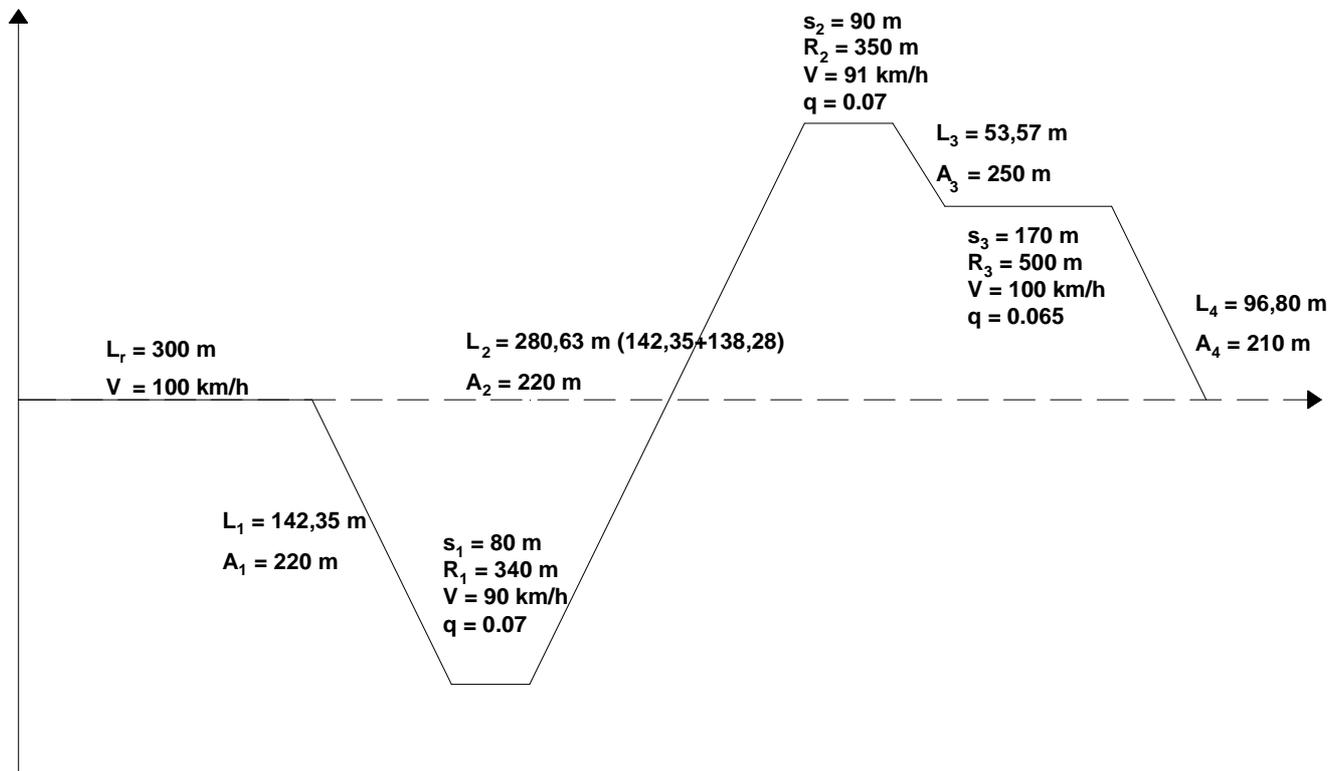


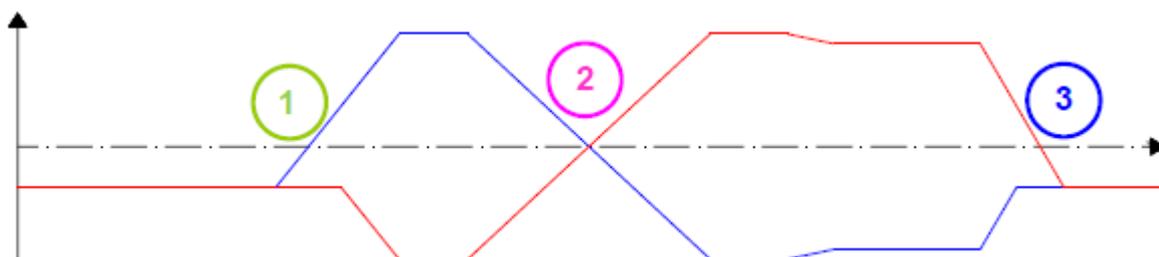
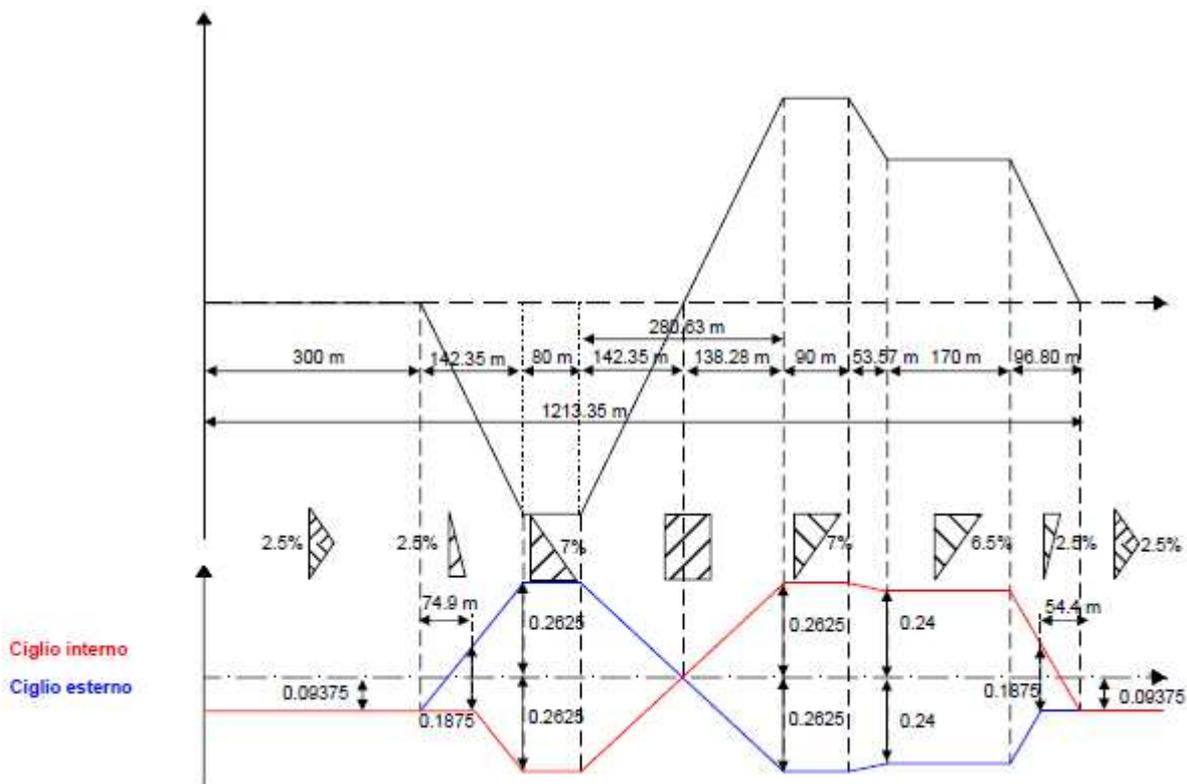
Figura 1: Andamento planimetrico

Dimensionare, infine, la clotoide di continuità in modo da rispettare il limite imposto da normativa.

Svolgimento

Dapprima disegno il diagramma delle curvature e l'andamento dei cigli:

Tratto	R [m]	A [m]	L [m]	Curvatura ($1/R \cdot 10^3$)
Rettilineo	∞	\	300	0
Curva R variabile sinistrorsa	\	220	142,35	\
Curva R costante sinistrorsa	340	\	80	2,941176471

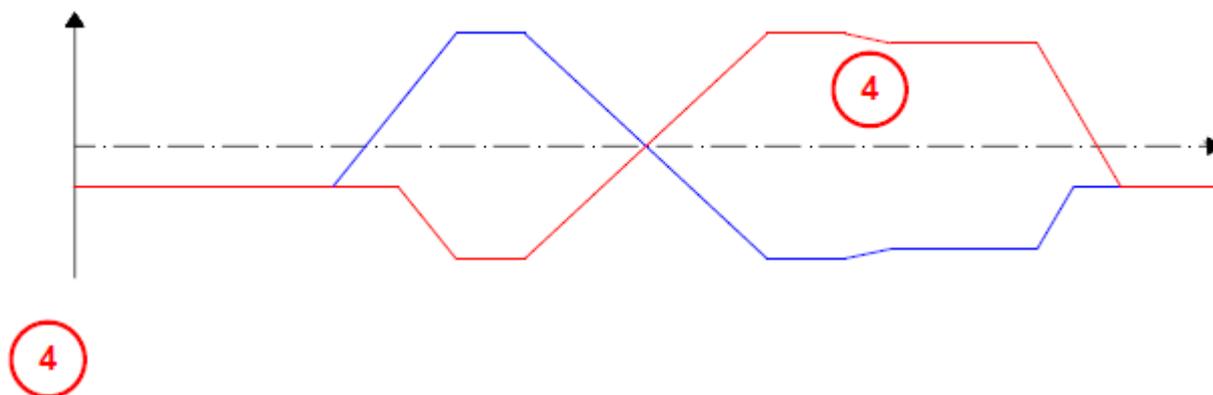


1

$$\Delta i_{min} = 0.1 \cdot 3.75 = 0.375\%$$

$$\Delta i_{max} = 18 \cdot \frac{3.75}{100} = 0.675\%$$

$$\Delta i = \frac{(q_i + q_f) \cdot B}{L_1} = \frac{(0.025 + 0.07) \cdot 3.75}{142.35} = 0.0025 = 0.25\% < \Delta i_{min}$$



$$\Delta i_{min} = 0.1 \cdot 3.75 = 0.375\%$$

$$\Delta i_{max} = 18 \cdot \frac{3.75}{100} = 0.675\%$$

$$\Delta i = \frac{(q_i + q_f) \cdot B}{L_1} = \frac{(0.07 - 0.065) \cdot 3.75}{53.57} = 0.0004 = 0.04\%$$

Pur non rispettando il Δi_{min} non è necessario spezzare il ciglio in quanto non vi sono problemi di smaltimento delle acque meteoriche (poiché ci troviamo nella transizione fra due curve con pendenza maggiore del 2.5%).

ESERCITAZIONE 13

Esercizio 1

Sia data una strada di categoria C (60 ÷ 100 km/h). Si supponga la sede stradale delimitata lateralmente da barriere di sicurezza ed avente pendenza longitudinale del +2%.

Si individui il raggio planimetrico da utilizzare in grado di garantire la visibilità del ciglio interno nelle due condizioni sotto riportate, supponendo una velocità (desunta dal diagramma delle velocità) di 90 km/h:

- presenza di ostacolo sulla carreggiata;
- presenza di un veicolo che arriva in direzione opposta sulla stessa carreggiata.

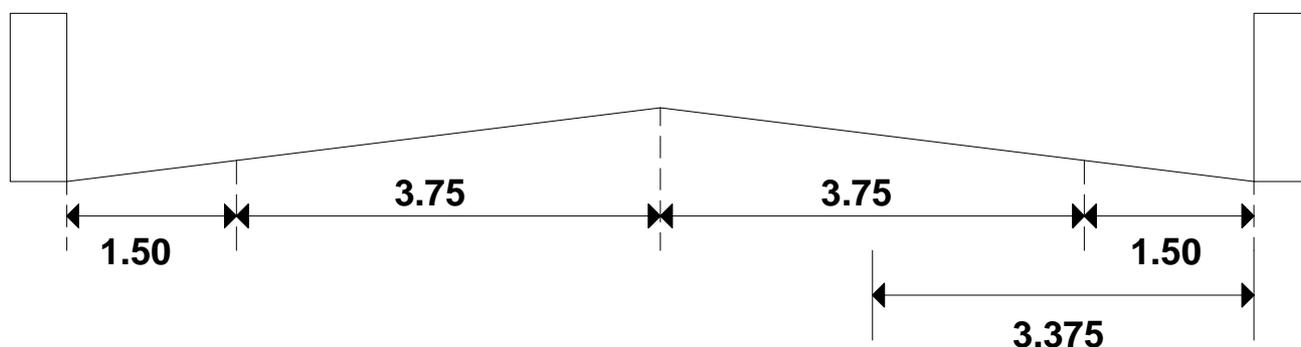


Figura 1: Sede stradale

Svolgimento

Presenza di un ostacolo fisso sulla carreggiata

- $V = 90 \text{ km/h}$,
- $i_{media} = +2\%$,
- $f_e = 0.30$ (strada bagnata, cioè condizioni peggiori).

$$d_a = v \cdot t_{PR} + \frac{v^2}{2g \cdot [f_e(v) \pm i]} = \frac{90 \left[\frac{m}{s} \right]}{3.6 \left[\frac{s}{m} \right]} \cdot (2.8 - 0.01 \cdot 90) [s] + \frac{\left(\frac{90 \left[\frac{m}{s} \right]}{3.6 \left[\frac{s}{m} \right]} \right)^2}{2 \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot (0.3 + 0.02)} =$$

$$= 147.0 \text{ m}$$

La distanza da assumere come distanza in cui garantire la visuale è pertanto di 147.0 m.

8647,6	8947,9	300,3
8947,9	9102,0	154,0
9102,0	9180,0	78,0
9180,0	9219,3	39,3
9219,3	9239,0	19,7
9239,0	9248,8	9,9
9248,8	9253,8	4,9
9253,8	9256,2	2,5
9256,2	9257,5	1,2
9257,5	9258,1	0,6

Dunque si ha:

D_{arresto}	D_{sorpasso}
R ≥ 798 m	R ≥ 9257 m

A questo punto si deve verificare se, per il raggio minimo individuato, la velocità di progetto sia congruente:

D_{arresto}	D_{sorpasso}
R ≥ 798 m	R ≥ 9257 m
V = 100 km/h	V = 100 km/h

È evidente che per un raggio dell'asse planimetrico pari a $R = (798 + 3.75/2) = 799,88$ m la velocità di progetto da considerare è di 100 km/h. A questo punto con un calcolo iterativo si dovrebbero ridefinire le distanze di visibilità e, conseguentemente, i nuovi raggi minimi secondo il processo prima indicato.

In alternativa, si deve spostare l'ostacolo alla visibilità di una quantità tale da rendere per la velocità di 90 km/h il raggio derivato dalla condizione di equilibrio (dall'abaco si ricava $R = 339$ m).

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

$$339 - \frac{3.75}{2} = \frac{147}{2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{\Delta_{arresto}}{337.13}\right)} \rightarrow \Delta_{arresto} = 7.98 \text{ m}$$

$$339 - \frac{3.75}{2} = \frac{500}{2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{\Delta_{sorpasso}}{337.13}\right)} \rightarrow \Delta_{sorpasso} = 88.52 \text{ m}$$

Esercizio 2

Sia data la porzione di strada di categoria C (60 ÷ 100 km/h) riportata in **Figura 2**.

Si rappresenti il diagramma di visibilità disponibile e quelli necessari ai fini dell'arresto e del sorpasso. Si supponga una pendenza longitudinale nulla.

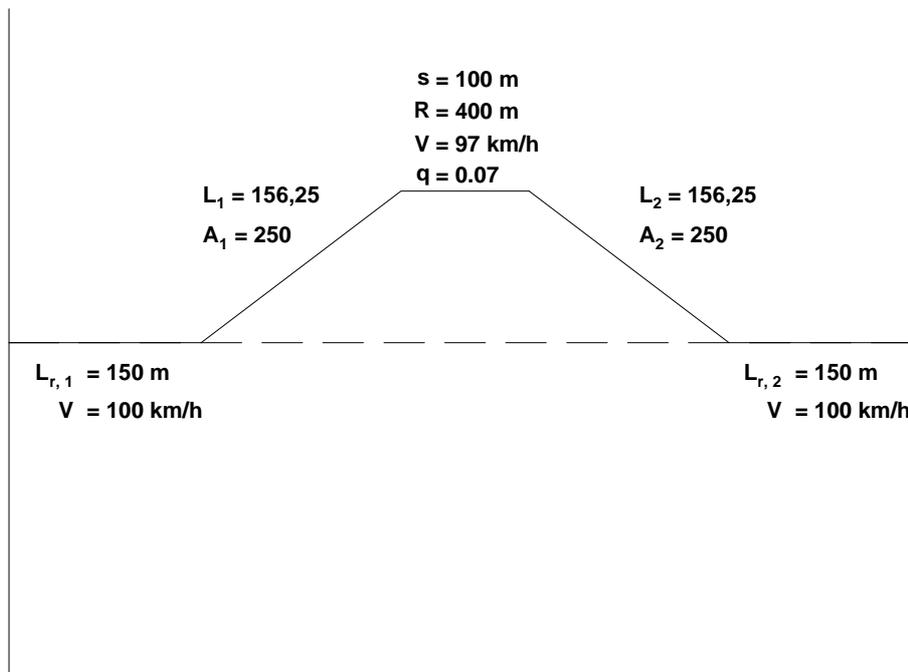


Figura 2: Porzione di strada

Risolvere il problema di visibilità sia incrementando Δ (utilizzando la relazione analitica) sia imponendo un limite di velocità al tratto in oggetto.

Svolgimento

La prima operazione da fare è disegnare il tracciato planimetrico della corsia interna:

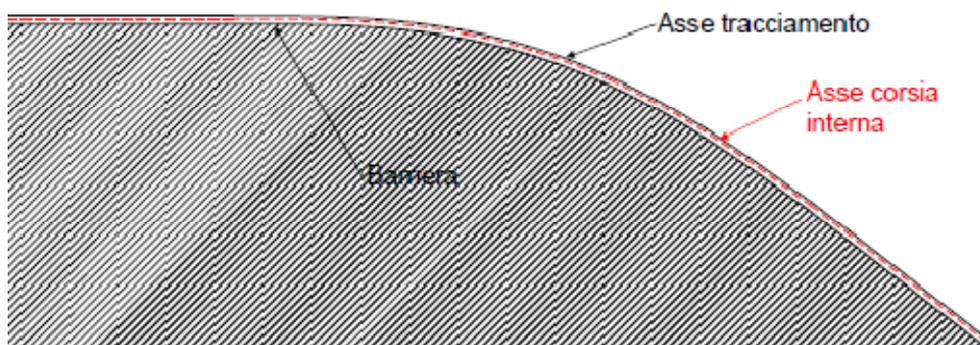
- Calcolo della deviazione τ :

$$\tau = \frac{A^2}{2 \cdot R^2} = \frac{250^2}{2 \cdot 400^2} = 0.195313 \text{ rad} = 12.433980^\circ$$

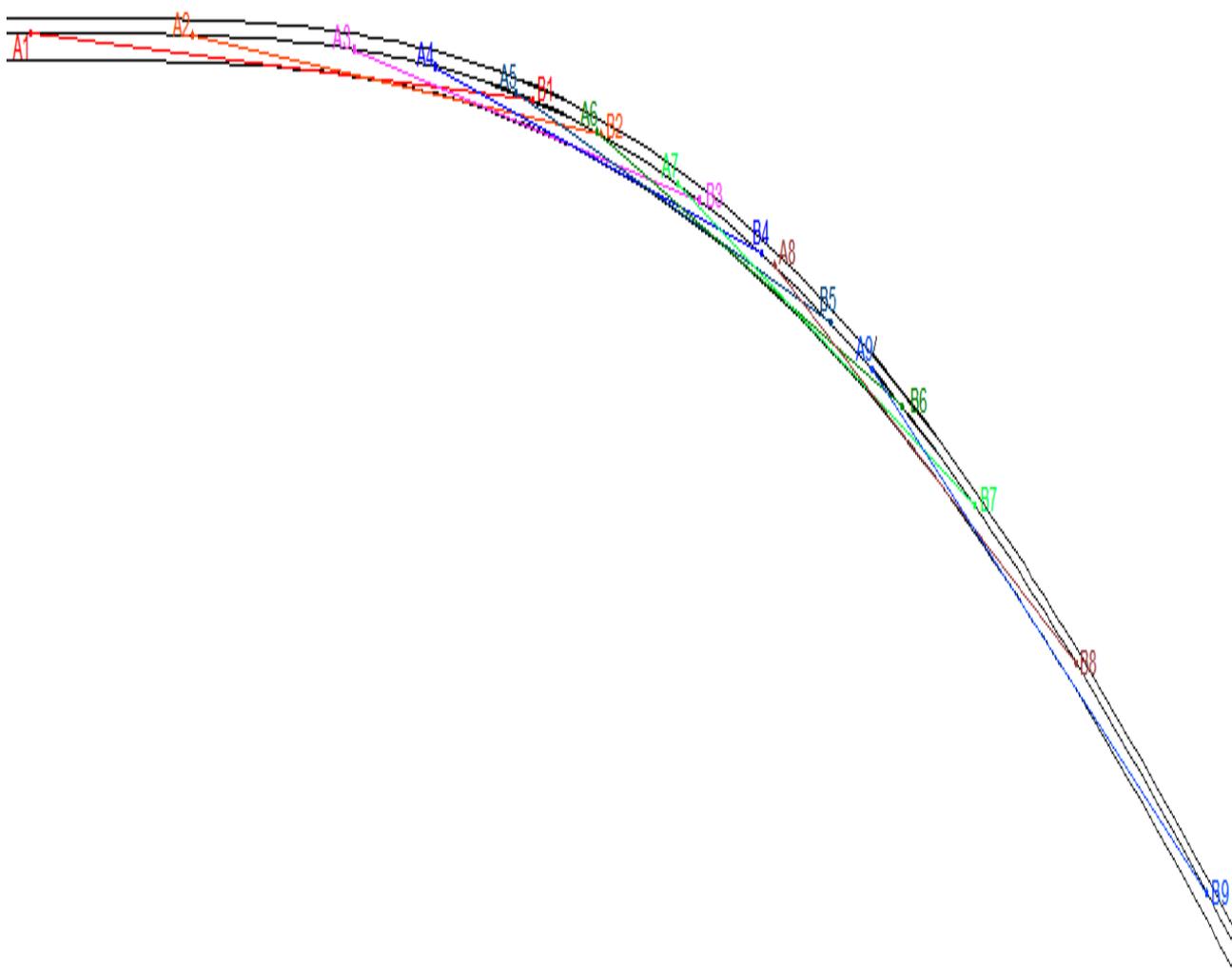
↓

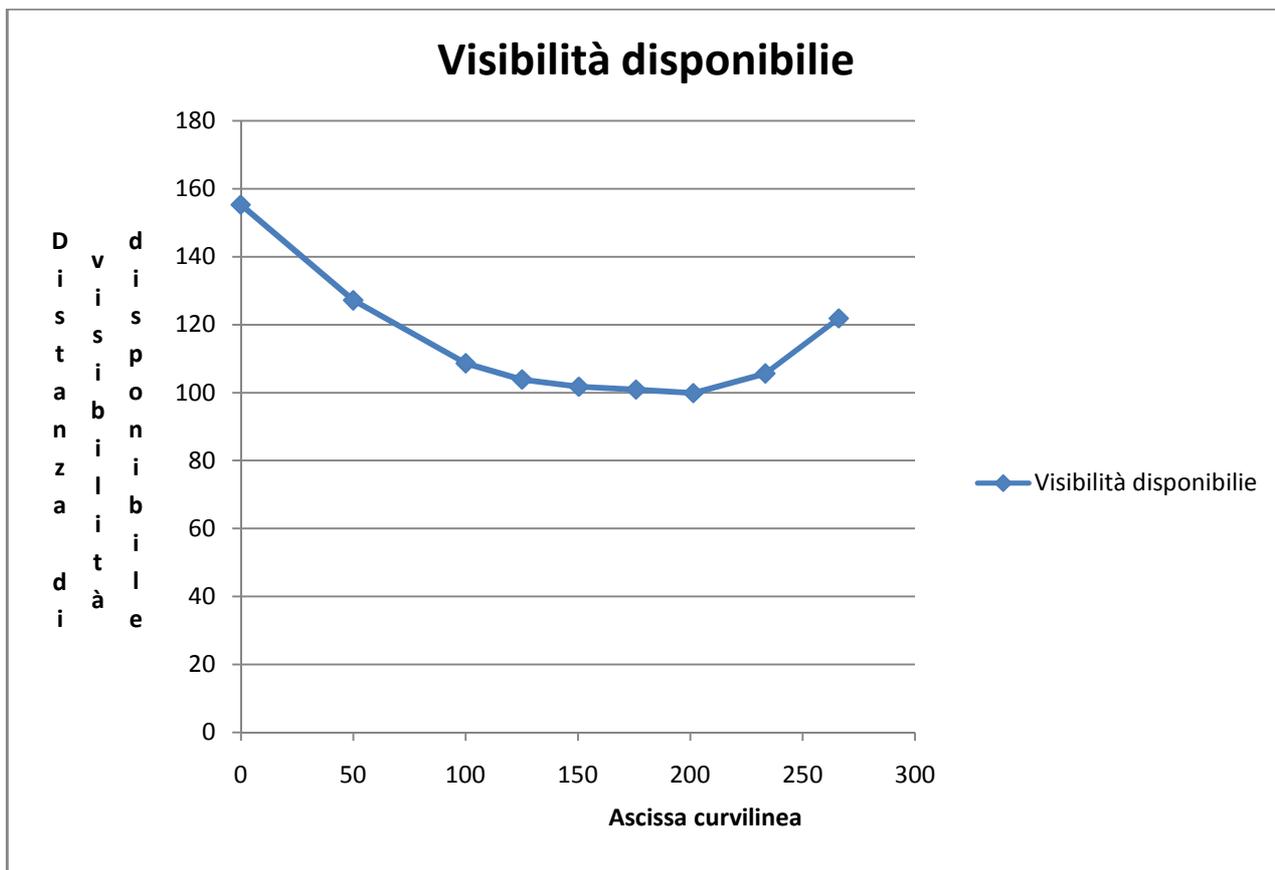
Utilizziamo la Tabella della Clotoide Unitaria:

A [m]	L [m]	τ [c]	xf [m]	yf [m]	XM [m]	YM [m]	ΔR [m]
1	0,625	12,433980	0,622620	0,040579	0,312103	1,610159	0,010159
250	156,25	12,433980	155,7	10,1	78,0	402,5	2,5



Si suddivide lo sviluppo della strada in un certo numero di punti. Da ogni punto di sezionamento si traccia una retta tangente all'ostacolo fisso sino ad intercettare l'asse della corsia stessa. In questo caso si consideri la presenza di una barriera di sicurezza che le norme vigenti stabiliscono si debba installare a filo della banchina. Misurando la distanza disponibile, così individuata, per ogni punto di sezionamento otteniamo la distanza di visibilità disponibile.





Calcolo delle distanze necessarie:

Arresto:

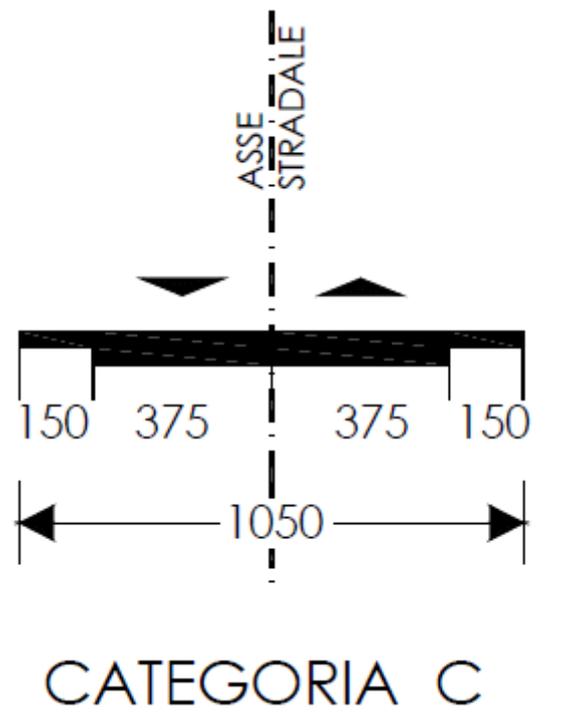
- rettilo (V = 100 km/h): 164 m (da abaco);
- curva (V = 97 km/h): 152 m (da abaco).

Sorpasso:

- rettilo (V = 100 km/h): 555.5 m (=20*v);
- curva (V = 97 km/h): 538.9 m (=20*v).

Elemento	Progressiva [m]	Distanza arresto [m]
Rettilo	0	164
	10	164
Curva	166,25	152
	266,25	152
Rettilo	422,5	164
	572,5	164

❖ INCREMENTO DI Δ :



Poichè la porzione di strada considerata è di categoria C, Δ vale:

$$\Delta = \left(\frac{3.75}{2}\right) + 1.5 = 3.375 \text{ m}$$

Ricordo la condizione di visibilità in curva:

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

Quindi si ha:

$$400 - \frac{3.75}{2} = \frac{152}{2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{\Delta_{\text{arresto}}}{398.13}\right)} \rightarrow \Delta_{\text{arresto}} = 7.23 \text{ m}$$

❖ ADOZIONE DI UN LIMITE DI VELOCITA':

Il punto di minimo del grafico rappresentante la distanza di visibilità disponibile è pari a:

$$d_{\text{min}} = 99.85 \text{ m}$$