



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 321

DATA : 20/07/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Frison

MATERIA : Fondamenti di Infrastrutture Vierendelesche
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.**

POLITECNICO DI TORINO

I Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Fondamenti di Infrastrutture Viarie

A.A. 2011/2012

Codice del corso: 02EPMEV

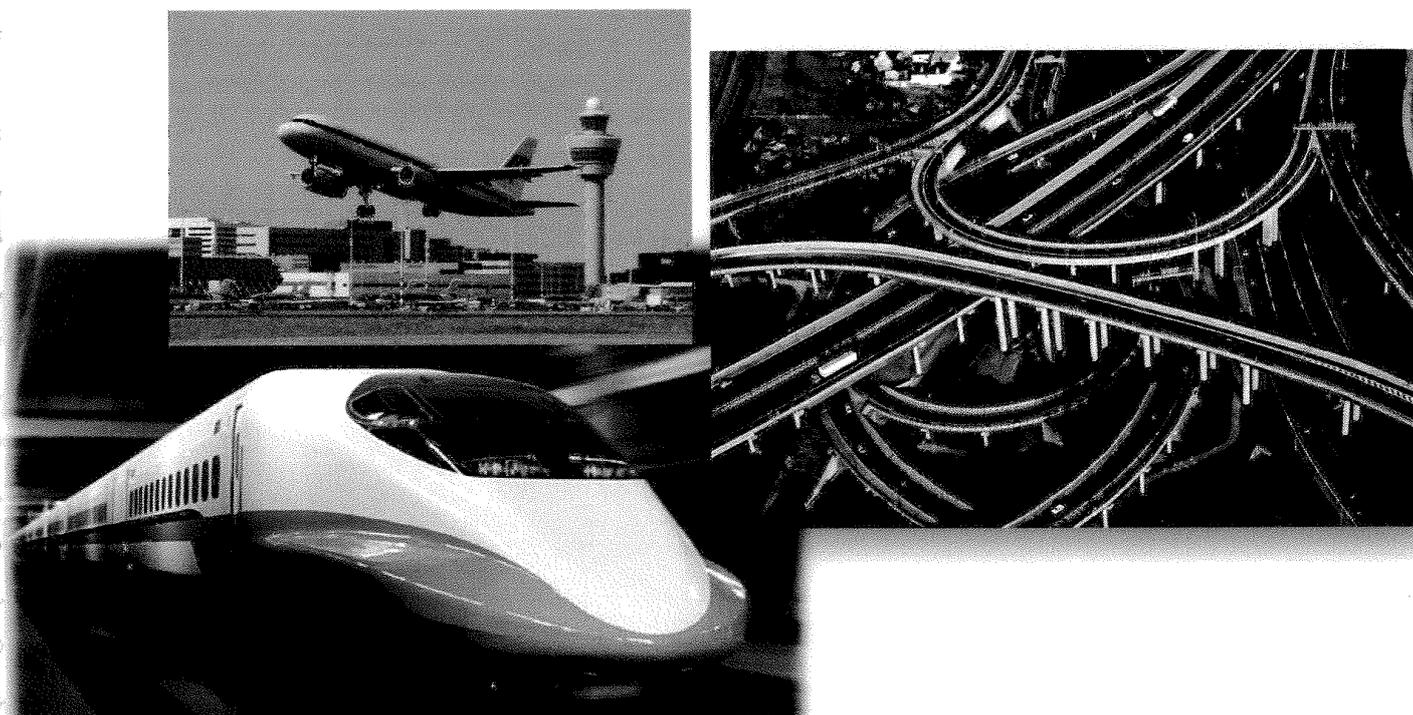


Docente: Prof. Ing. Marco Bassani

Esercitatore: Ing. Pier Paolo Riviera

Studente: Corrado Frison (s162456)

Esercitazioni



Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Politecnico di Torino

I Facoltà di Ingegneria

Corso di Fondamenti di Infrastrutture Viarie

A.A. 2011/12

ESERCITAZIONE 1 del 20 ottobre 2011

Nome: Corrado

Cognome: Frison

Matricola: s162456

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

Esercizio 2

Individuare la scelta modale di spostamento tra il Politecnico di Torino ed il centro commerciale 8 Gallery, calcolando le differenti probabilità di distribuzione nei tre modi di trasporto $m_{ij,spostamento}$.

	Tempo	Costo
Auto	40'	4 €
Bus	39'	1 €
Piedi	1h 4'	-

Tabella 2: Tempi e costi dei differenti tipi di spostamento

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

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.

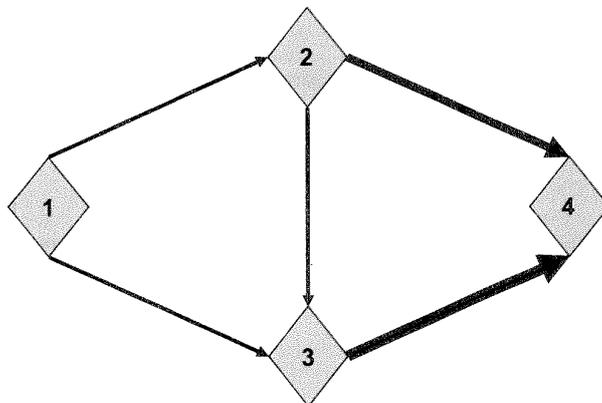


Figura 3: Rete (3)

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)

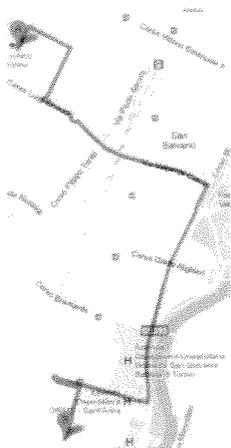
I flussi partenti dai centroidi sono:

- $f_{1-2} = 1500$ veicoli/unità di tempo;
- $f_{2-4} = 1000$ veicoli/unità di tempo;
- $f_{3-4} = 800$ veicoli/unità di tempo.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 2: scelta modale

Individuare la scelta modale di spostamento tra il Politecnico di Torino ed il centro commerciale 8 Gallery, calcolando le differenti probabilità di distribuzione nei tre modi di trasporto $m_{ij,spostamento}$.



	Tempo	Costo
Auto	40'	4 €
Bus	39'	1 €
Piedi	1h 4'	-

Tabella 2: Tempi e costi dei differenti tipi di spostamento

RISOLUZIONE:

- Calcolo delle funzioni di utilità:

$$U_{ij,auto} = 1 - (0,1 \cdot t_{ij,auto}) - (0,05 \cdot C_{ij,auto}) = 1 - (0,1 \cdot 40) - (0,05 \cdot 4) = -3,20$$

$$U_{ij,bus} = -(0,1 \cdot t_{ij,bus}) - (0,05 \cdot C_{ij,bus}) = -(0,1 \cdot 39) - (0,05 \cdot 1) = -3,95$$

$$U_{ij,piedi} = -0,05 - (0,1 \cdot t_{ij,piedi}) = -0,05 - (0,1 \cdot 64) = -6,45$$

- Calcolo delle medie percentuali:

$$m_{ij,auto} = \frac{e^{U_{ij,auto}}}{e^{U_{ij,auto}} + e^{U_{ij,bus}} + e^{U_{ij,piedi}}} = \frac{e^{-3,20}}{e^{-3,20} + e^{-3,95} + e^{-6,45}} = 0,662$$

66,2% delle persone prenderanno l'auto.

$$m_{ij,bus} = \frac{e^{U_{ij,bus}}}{e^{U_{ij,auto}} + e^{U_{ij,bus}} + e^{U_{ij,piedi}}} = \frac{e^{-3,95}}{e^{-3,20} + e^{-3,95} + e^{-6,45}} = 0,312$$

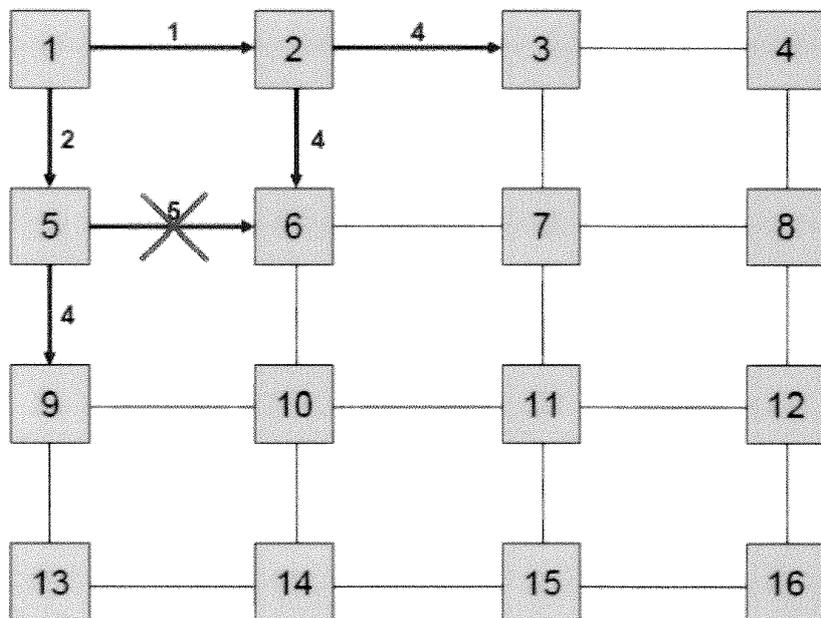
31,2% delle persone prenderanno il bus.

$$m_{ij,piedi} = \frac{e^{U_{ij,piedi}}}{e^{U_{ij,auto}} + e^{U_{ij,bus}} + e^{U_{ij,piedi}}} = \frac{e^{-6,45}}{e^{-3,20} + e^{-3,95} + e^{-6,45}} = 0,026$$

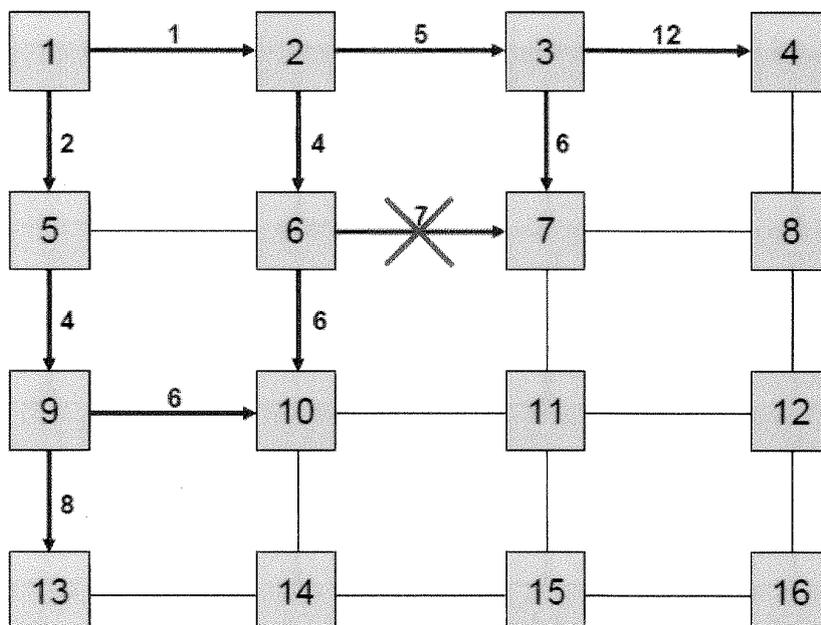
2,6% delle persone andranno a piedi.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Analisi del nodo 2 e 5 → 3, 6 e 9

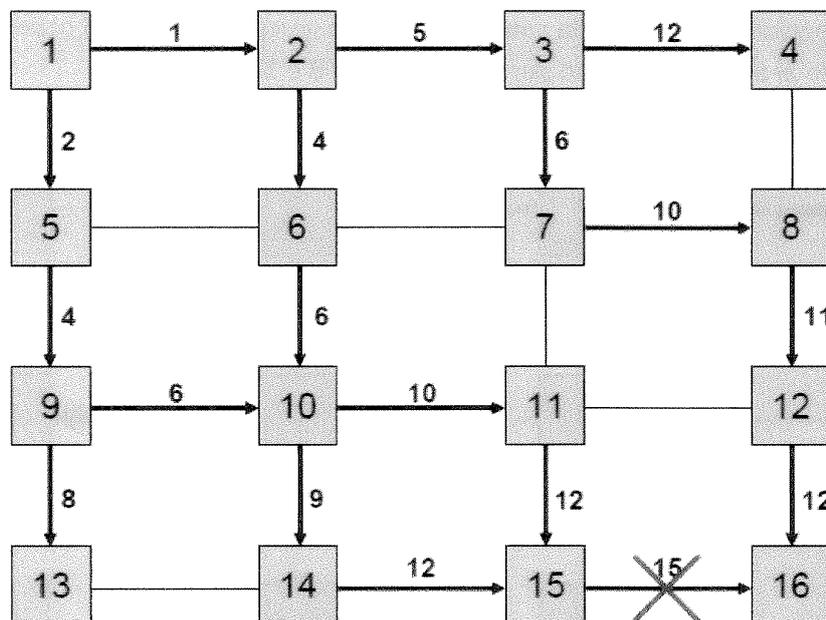


Analisi del nodo 3, 6 e 9 → 4, 7, 10 e 13

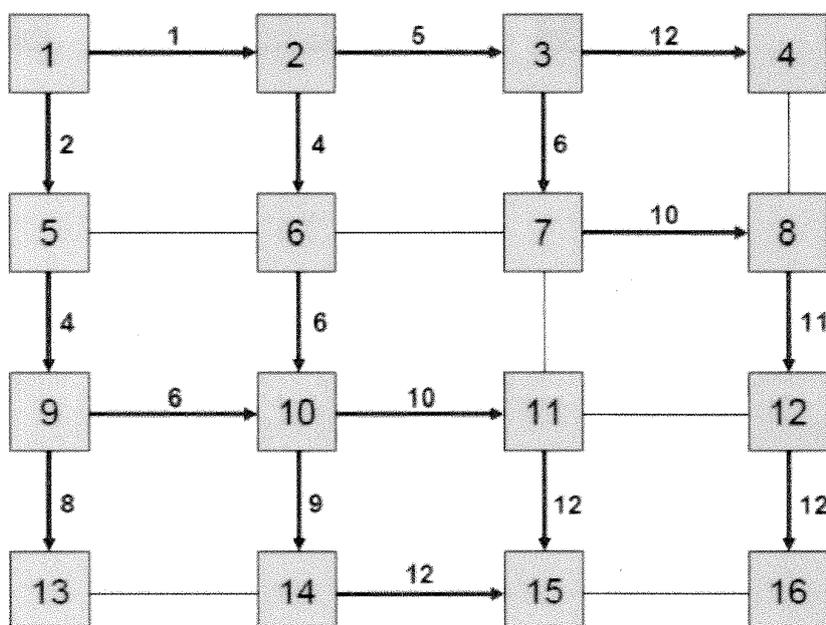


Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Analisi del nodo 12 e 15 → 16



Risultato complessivo dopo le analisi:



Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 4: ricerca del minimo percorso

Data la rete (2) in **Figura 2**, individuare i percorsi che uniscono il nodo A a tutti gli altri nodi e determinare il minimo percorso che da A porta ad F.

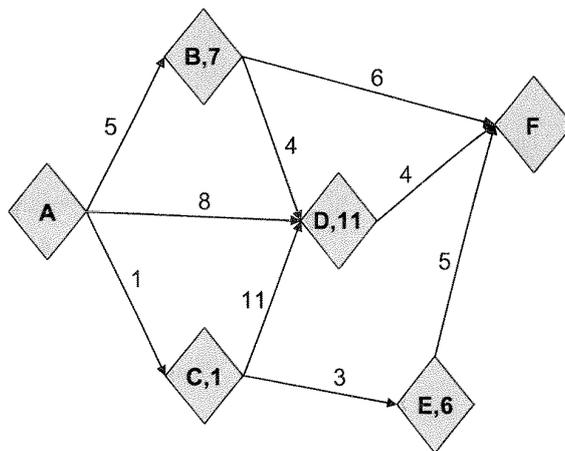
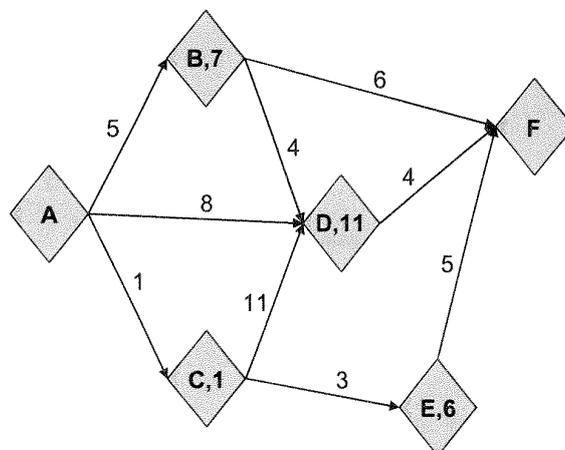


Figura 2: Rete (2)

RISOLUZIONE:

Cinque possibili percorsi:

- A → B → D → F
- A → B → F
- A → C → D → F
- A → C → E → F
- A → D → F



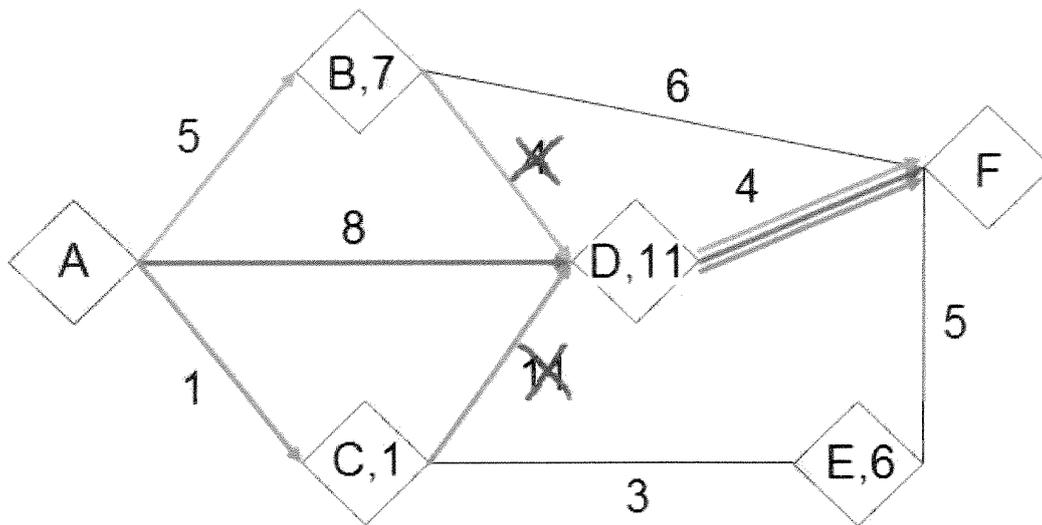
Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

- Analisi del nodo D:

D → F COSTO = 8 + 11 + 4 = 23 (percorso da A)

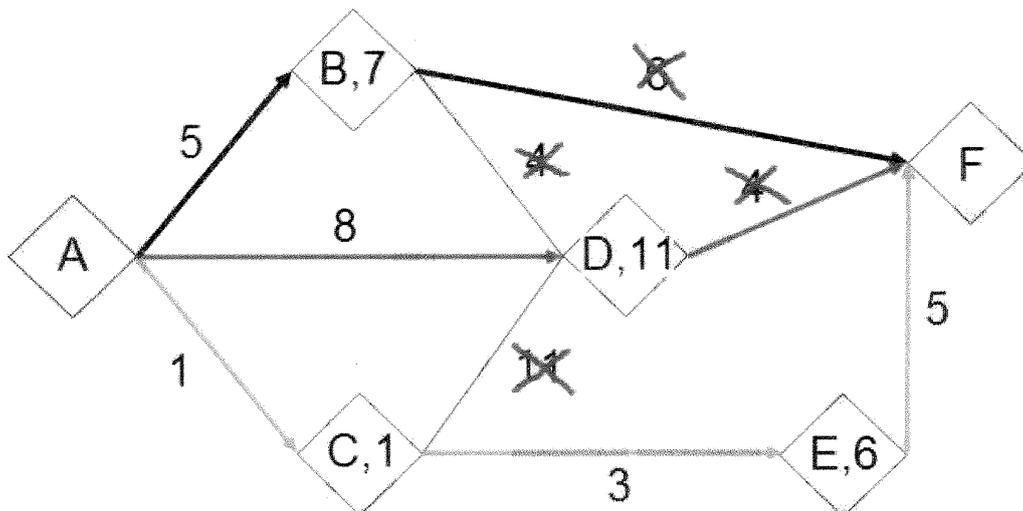
D → F COSTO = 5 + 7 + 4 + 11 + 4 = 31 (percorso da B)

D → F COSTO = 1 + 1 + 11 + 11 + 4 = 28 (percorso da C)



- Analisi del nodo E:

E → F COSTO = 1 + 1 + 3 + 6 + 5 = 16



Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 5: assegnazione ad una rete

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.

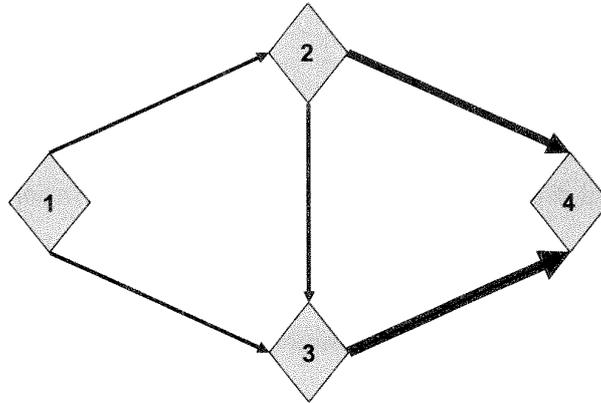


Figura 3: Rete (3)

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

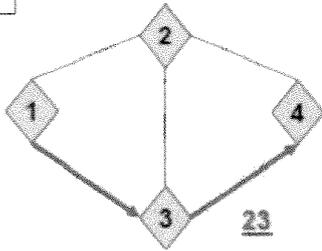
Tabella 3: Costi e capacità dei differenti archi costituenti la rete (3)

I flussi partenti dai centroidi sono:

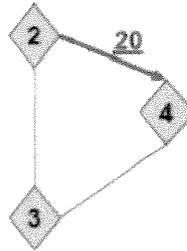
- $f_{1-2} = 1500$ veicoli/unità di tempo;
- $f_{2-4} = 1000$ veicoli/unità di tempo;
- $f_{3-4} = 800$ veicoli/unità di tempo.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

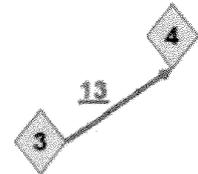
f_{1-4}



f_{2-4}



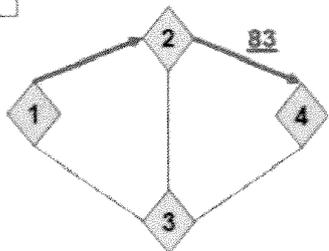
f_{3-4}



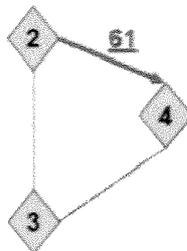
Assegnazione del 40% del flusso:

Arco	% assegnazione	c_0	f_0		C	c_1
1 - 2	40	22	0	0	1000	22
1 - 3		10	600	600	1000	234
2 - 3		11	0	0	1000	11
2 - 4		20	400	400	2500	61
3 - 4		13	600+320	920	3300	77

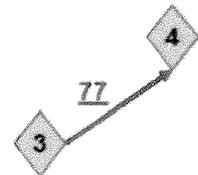
f_{1-4}



f_{2-4}



f_{3-4}



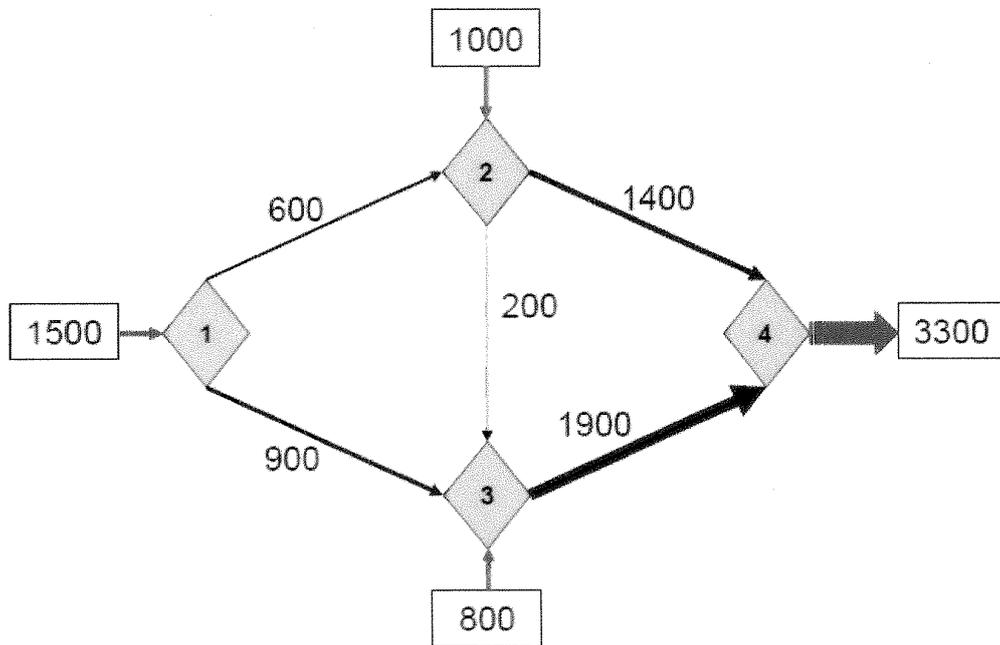
Assegnazione del 30% del flusso:

Arco	% assegnazione	c_0	c_1	f_1		C	c_2
1 - 2	30	22	22	0 + 450	450	1000	287
1 - 3		10	234	600 + 0	600	1000	234
2 - 3		11	11	0 + 0	0	1000	11
2 - 4		20	61	400 + 450 + 300	1150	2500	272
3 - 4		13	77	920 + 240	1160	3300	109

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Infine occorre verificare se la rete è bilanciata, cioè se il flusso entrante in ciascun centroide è equivalente a quella uscente.

Arco	Q	C	Q/C
1 - 2	600	1000	0.6
1 - 3	900	1000	0.9
2 - 3	200	1000	0.2
2 - 4	1400	2500	0.6
3 - 4	1900	3300	0.6



Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Valutare inoltre la capacità, sia in presenza che in assenza di stazioni in linea, qualora la linea sia gestita con convogli aventi una velocità massima in esercizio pari a:

- 200 km/h;
- 250 km/h.

Esercizio 3

Valutare la capacità di una pista aeroportuale con la seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità (**Tabella 1**):

Classe	Velocità	Percentuale
1	100 mph	20%
2	120 mph	20%
3	135 mph	50%
4	150 mph	10%

Tabella 1: Ripartizione dei velivoli in classi di velocità (3)

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.

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.

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).

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

- Calcolo della capacità massima della linea ferroviaria:

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot j \cdot L}{a} + t_R}} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (15 \cdot 25)}{1} + 2}} = 63,4 \text{ convogli/h}$$

- Calcolo della velocità massima in esercizio del convoglio:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot a \cdot L}{k \cdot j}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot (15 \cdot 25)}{2 \cdot 2}} = 13,7 \text{ m/s} \cdot 3,6 = 49,3 \text{ km/h}$$

La massima capacità della linea è quindi di 63,4 convogli/ora raggiunti con una velocità ideale del convoglio pari a 49 km/h.

- Calcolo della capacità della linea ferroviaria:

$$C_{90} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{(15 \cdot 25)}{\frac{90}{3,6}} + \frac{2 \cdot 2 \cdot \frac{90}{3,6}}{2 \cdot 1} + 2} = 53,7 \text{ convogli/h}$$

$$C_{180} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{max}}{2a} + t_R} = \frac{3600}{\frac{(15 \cdot 25)}{\frac{180}{3,6}} + \frac{2 \cdot 2 \cdot \frac{180}{3,6}}{2 \cdot 1} + 2} = 32,9 \text{ convogli/h}$$

La capacità della linea è di:

- 53,7 convogli/ora per una velocità del convoglio di 90 km/h.
- 32,9 convogli/ora per una velocità del convoglio di 180 km/h.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 2: capacità di una linea ferroviaria

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

- convoglio composto da 9 unità tra vagoni e locomotore;
- lunghezza di ogni singola unità pari a 30 m;
- tempo di percezione e reazione t_R pari a 3 s;
- decelerazione a di 2 m/s^2 ;
- fattore di sicurezza k pari a 2;
- tre sezioni di blocco.

Valutare inoltre la capacità, sia in presenza (tempo di sosta pari a 3') che in assenza di stazioni in linea, qualora la linea sia gestita con convogli aventi una velocità massima in esercizio pari a:

- 200 km/h;
- 250 km/h.

RISOLUZIONE:

- Capacità di una linea ferroviaria:

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

- Capacità massima di una linea ferroviaria:

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

in cui:

- L = lunghezza del convoglio;
- v_{max} = velocità massima in esercizio del convoglio;
- a = decelerazione del convoglio;
- k = fattore di sicurezza;
- j = numero di sezioni di blocco;
- t_R = tempo di percezione e reazione.

- Calcolo della capacità massima della linea ferroviaria:

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot j \cdot L}{a}} + t_R} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (9 \cdot 30)}{2}} + 3} = 83,2 \text{ convogli/h}$$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

- Capacità di una linea ferroviaria nel caso di presenza di stazioni in linea:

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

N.B. tempo di sosta = 3' = 180"

- Calcolo della capacità della linea ferroviaria:

$$C_{200} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{max}}{2a} + t_R + t_S} = \frac{3600}{\frac{(9 \cdot 30)}{\frac{200}{3,6}} + \frac{2 \cdot 3 \cdot \frac{200}{3,6}}{2 \cdot 2} + 3 + 180} =$$

$$C_{200} = 13,3 \text{ convogli/h}$$

$$C_{250} = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{max}}{2a} + t_R + t_S} = \frac{3600}{\frac{(9 \cdot 30)}{\frac{250}{3,6}} + \frac{2 \cdot 3 \cdot \frac{250}{3,6}}{2 \cdot 2} + 3 + 180} =$$

$$C_{250} = 12,4 \text{ convogli/h}$$

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

- 13,3 convogli/ora per una velocità del convoglio di 200 km/h.
- 12,4 convogli/ora per una velocità del convoglio di 250 km/h.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Il traffico che costituisce un aeroporto sarà costituito da aeromobili raggruppabili in classi discrete di velocità (v_1, v_2, \dots) a cui si può associare una percentuale di ripartizione degli arrivi (P_1, P_2, \dots).

Classe	Velocità	Percentuale
1	v_1	P_1
2	v_2	P_2
3	v_3	P_3
4	v_4	P_4

Per la risoluzione del problema occorre effettuare i seguenti passaggi:

1) Costruire la matrice degli intervalli minimi t_{ij} [s] di separazione tra la classe di aeromobili i-esima che segue la classe j-esima:

t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{14}
t_{21}	t_{22}	t_{23}	t_{24}
t_{31}	t_{32}	t_{33}	t_{34}
t_{41}	t_{42}	t_{43}	t_{44}

2) Valutare la media ponderata dei tempi minimi di separazione t_{medio} :

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

3) Valutare la capacità C della pista aeroportuale:

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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

⬇ Sopra la diagonale principale principale $v_i < v_j$:

$$t_{ij} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right)$$

$$t_{12} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right) = \left(\frac{3}{100} \cdot 3600 \right) + \left[6 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{120} \right) \cdot 3600 \right] = 144 \text{ s}$$

$$t_{13} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right) = \left(\frac{3}{100} \cdot 3600 \right) + \left[6 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{135} \right) \cdot 3600 \right] = 164 \text{ s}$$

$$t_{14} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right) = \left(\frac{3}{100} \cdot 3600 \right) + \left[6 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{150} \right) \cdot 3600 \right] = 180 \text{ s}$$

$$t_{23} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right) = \left(\frac{3}{120} \cdot 3600 \right) + \left[6 \cdot \left(\frac{1}{120} - \frac{1}{135} \right) \cdot 3600 \right] = 110 \text{ s}$$

$$t_{24} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right) = \left(\frac{3}{120} \cdot 3600 \right) + \left[6 \cdot \left(\frac{1}{120} - \frac{1}{150} \right) \cdot 3600 \right] = 126 \text{ s}$$

$$t_{34} = \frac{\delta}{v_i} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_i} - \frac{1}{v_j} \right) = \left(\frac{3}{135} \cdot 3600 \right) + \left[6 \cdot \left(\frac{1}{135} - \frac{1}{150} \right) \cdot 3600 \right] = 96 \text{ s}$$

Riportando i risultati ottenuti nella matrice si ottiene:

108	144	164	180
90	90	110	126
80	80	80	96
72	72	72	72

ed effettuando i prodotti come segue, si ricava il t_{medio} :

20%	108	144	164	180
20%	90	90	110	126
50%	80	80	80	96
10%	72	72	72	72

•

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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 4: capacità di una pista aeroportuale

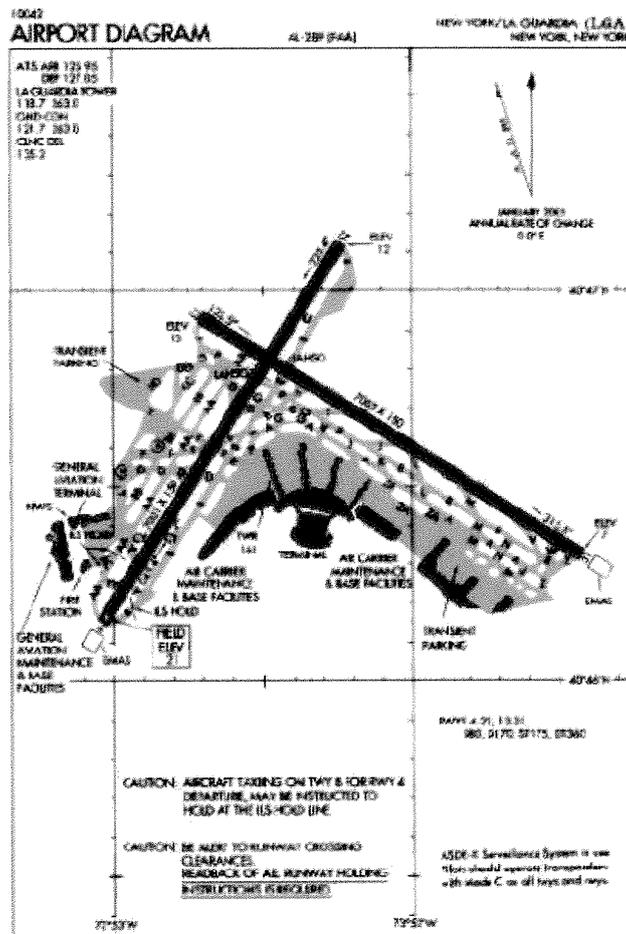
Valutare la capacità della pista dell'aeroporto La Guardia di New York, avente la ripartizione degli aeromobili in classi di velocità riportata in **Tabella 2**:

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.



Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Per la risoluzione del problema occorre effettuare i seguenti passaggi:

1) Costruire la matrice degli intervalli minimi t_{ij} [s] di separazione tra la classe di aeromobili i-esima che segue la classe j-esima:

t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{14}
t_{21}	t_{22}	t_{23}	t_{24}
t_{31}	t_{32}	t_{33}	t_{34}
t_{41}	t_{42}	t_{43}	t_{44}

2) Valutare la media ponderata dei tempi minimi di separazione t_{medio} :

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

3) Valutare la capacità C della pista aeroportuale:

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

- Matrice degli intervalli minimi t_{ij} :

✦ Lungo la diagonale principale $v_i = v_j$:

$$t_{ij} = \frac{\delta}{v_i}$$

$$t_{11} = \frac{\delta}{v_i} = \frac{3}{100} \cdot 3600 = 108 \text{ s}$$

$$t_{22} = \frac{\delta}{v_i} = \frac{3}{120} \cdot 3600 = 90 \text{ s}$$

$$t_{33} = \frac{\delta}{v_i} = \frac{3}{135} \cdot 3600 = 80 \text{ s}$$

$$t_{44} = \frac{\delta}{v_i} = \frac{3}{150} \cdot 3600 = 72 \text{ s}$$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Riportando i risultati ottenuti nella matrice si ottiene:

108	144	164	180
90	90	110	126
80	80	80	96
72	72	72	72

ed effettuando i prodotti come segue, si ricava il t_{medio} :

20%	•	108	144	164	180	•	20%	15%	35%	30%
15%		90	90	110	126		20%	15%	35%	30%
35%		80	80	80	96		20%	15%	35%	30%
30%		72	72	72	72		20%	15%	35%	30%

$$\begin{aligned}
 t_{medio} = & (0,2 \cdot 108 \cdot 0,2) + (0,2 \cdot 144 \cdot 0,15) + (0,2 \cdot 164 \cdot 0,35) + (0,2 \cdot 180 \cdot 0,3) + \\
 & + (0,15 \cdot 90 \cdot 0,2) + (0,15 \cdot 90 \cdot 0,15) + (0,15 \cdot 110 \cdot 0,35) + \\
 & + (0,15 \cdot 126 \cdot 0,3) + (0,35 \cdot 80 \cdot 0,2) + (0,35 \cdot 80 \cdot 0,15) + \\
 & + (0,35 \cdot 80 \cdot 0,35) + (0,35 \cdot 96 \cdot 0,3) + (0,3 \cdot 72 \cdot 0,2) + (0,3 \cdot 72 \cdot 0,15) + \\
 & + (0,3 \cdot 72 \cdot 0,35) + (0,3 \cdot 72 \cdot 0,3) =
 \end{aligned}$$

$$t_{medio} = 98,37 \text{ s}$$

- Capacità della pista aeroportuale:

$$C = \frac{3600}{98,37} = 36,60 \text{ a/h}$$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Politecnico di Torino

I Facoltà di Ingegneria

Corso di Fondamenti di Infrastrutture Viarie

A.A. 2011/12

ESERCITAZIONE 3 del 3 novembre 2011

Nome: Corrado

Cognome: Frison

Matricola: s162456

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 entrambe 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.

Esercizio 2

Una strada extraurbana principale (categoria B) a due corsie per carreggiata si colloca su un terreno pianeggiante e presenta una velocità di flusso libero di 89 km/h, larghezza delle corsie di 3,66 m ed ostacoli su un solo lato a 0,61 m.

Il traffico giornaliero medio per l'intera sezione è di 12000 veicoli (presenza di utenti occasionali).

Considerando una percentuale di traffico pesante del 10% e di traffico turistico del 50%, determinare il livello di servizio sia utilizzando i valori medi degli intervalli di calcolo che quelli più penalizzanti.

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.

Febbraio 2012

Frison Corrado

Pagina 42

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

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 2: f_w per strade a carreggiate separate

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 3: E_T e E_R per strade a carreggiate separate

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 4: f_p per strade a carreggiate separate

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Table 7.16 Adjustment for Effects of Narrow Lanes and Restricted Shoulder Widths (for Two-Lane Highways)

Usable ^a Shoulder Width (ft)	12-ft		11-ft		10-ft		9-ft	
	LOS	LOS ^b	LOS	LOS ^b	LOS	LOS ^b	LOS	LOS ^b
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
≥ 6	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
4	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
2	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

^a Where shoulder width is different on each side of the roadway, use the average shoulder width.

^b Factor applies for all speeds less than 45 mph.

Tabella 7: f_w per strade a carreggiata unica

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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

SVOLGIMENTO ESERCITAZIONE 3

Esercizio 1: LOS in strade a carreggiate separate

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 entrambe 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.

RISOLUZIONE:

- Deflusso nelle strade a carreggiate separate:

Il calcolo viene distinto per direzione (N corsie) mediante la seguente equazione:

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

$$\longrightarrow C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot N : \text{condizioni ideali}$$

$$\longrightarrow f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P : \text{condizioni reali}$$

in cui:

- C: 2200 v/h/corsia (N = 2), 2300 v/h/corsia (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.

- Volume dell'ora di punta:

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

in cui:

- TGM: traffico medio giornaliero;
- k' : coefficiente;
- PHF: fattore dell'ora di punta (peak hour factor).

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

2) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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

→ $f_{HV} = 0,50$

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,20 \cdot (6 - 1) + 0,00 \cdot (4 - 1)} = 0,50$$

3) f_p : fattore di correzione che tiene conto della presenza di utenti pendolari

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

→ $f_p = 0,87$

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

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS} = \frac{Q_{LOS}}{C \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_p} = \frac{1203,5}{2300 \cdot 3 \cdot 0,88 \cdot 0,50 \cdot 0,87} = 0,456$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS} = 0,456 \text{ LOS B}$$

Table 7.1 Level of Service Criteria for Freeways

Level of Service	Maximum Density (pc/mi/ln)	Minimum Speed (mph)	Maximum Service Flow Rate (pc/hp/l)	Maximum v/c Ratio
Free-Flow Speed = 70 mph				
A	10.0	70.0	200	0.315/0.304
B	16.0	70.0	1,720	0.769/0.487
C	24.0	68.5	1,994	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	58.0/53.0	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	350	0.250/0.239
B	16.0	55.0	880	0.400/0.383
C	24.0	53.0	1,320	0.600/0.574
D	32.0	54.5	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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

2) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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

→ $f_{HV} = 0,50$

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,20 \cdot (6 - 1) + 0,00 \cdot (4 - 1)} = 0,50$$

3) f_p : fattore di correzione che tiene conto della presenza di utenti pendolari

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	0.75-0.95

→ $f_p = 0,75$

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

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS} = \frac{Q_{LOS}}{C \cdot N \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_p} = \frac{1376,5}{2300 \cdot 3 \cdot 0,88 \cdot 0,50 \cdot 0,75} = 0,605$$

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS} = 0,605 \text{ LOS C}$$

Non accettabile come risultato.

Dovranno essere rivalutate le condizioni geometriche iniziali del problema.

Table 7.1 Level of Service Criteria for Freeways

Level of Service	Maximum Density (pc/ml/ln)	Minimum Speed (mph)	Maximum Service Flow Rate (pc/hpl)	Maximum v/c Ratio
Free-Flow Speed = 70 mph				
A	10.0	70.0	700	0.348/0.304
B	16.0	70.0	1,420	0.500/0.482
C	24.0	65.5	1,844	0.747/0.715
D	32.0	61.0	2,052	0.916/0.878
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	58.0/53.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 60 mph				
A	10.0	60.0	600	0.277/0.261
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	0.820/0.793
E	41.5/45.0	53.0/48.0	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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Hp: consideriamo i valori medi degli intervalli di calcolo.

- Calcolo della domanda:

$$Q_{LOS} = VHP = \frac{TGM \cdot k'}{PHF} = \frac{12000 \cdot 0,175}{0,915} = 2295 \text{ v/h}$$

$$Q_{LOS} = \frac{2295}{2} = 1147,5 \text{ v/h/carr}$$

I valori di k' e PHF sono stati prelevati dalla seguente tabella:

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

C = 2200 v/h/c

N = 2

- Calcolo dell'offerta:

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

Calcolo dei fattori di correzione:

1) f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

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

→ $f_W = 0,97$

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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Hp: consideriamo i valori più penalizzanti degli intervalli di calcolo.

- Calcolo della domanda:

$$Q_{LOS} = VHP = \frac{TGM \cdot k'}{PHF} = \frac{12000 \cdot 0,2}{0,88} = 2727 \text{ v/h}$$

$$Q_{LOS} = \frac{2727}{2} = 1363,5 \text{ v/h/carr}$$

I valori di k' e PHF sono stati prelevati dalla seguente tabella:

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

C = 2200 v/h/c

N = 2

- Calcolo dell'offerta:

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

Calcolo dei fattori di correzione:

1) f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

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

→ $f_W = 0,97$

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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 3: LOS in strade a carreggiata unica

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.

RISOLUZIONE:

- Deflusso nelle strade a carreggiata unica:

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

$$\longrightarrow 2800 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} : \textit{condizioni ideali}$$

$$\longrightarrow f_D \cdot f_W \cdot f_{HV} : \textit{condizioni reali}$$

in cui:

- 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.

N.B.

I fattori di correzione dipendono dal livello di servizio, si procede per successive approssimazioni.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot (2 - 1) + 0,05 \cdot (1,6 - 1) + 0,02 \cdot (1,6 - 1)} = 0,92$$

→ $f_{HV} = 0,92$

- Livello di servizio:

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_E} = \frac{Q_{LOS_E}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{580}{2800 \cdot 0,83 \cdot 0,88 \cdot 0,92} = 0,308$$

$LOS_E \neq LOS_C$

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg. Speed	v/c Ratio*																		
			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. Speed	0	20	40	60	80	100	Avg. Speed	0	20	40	60	80	100		
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.04	≥ 37	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 34	0.14	0.09	0.07	0.04	0.03	0.01
B	≤ 45	≥ 51	0.21	0.18	0.14	0.10	0.10	≥ 34	0.26	0.21	0.17	0.13	0.11	0.11	≥ 31	0.25	0.20	0.16	0.13	0.10	0.10
C	≤ 60	≥ 45	0.40	0.30	0.20	0.15	0.15	≥ 31	0.42	0.34	0.25	0.20	0.18	0.18	≥ 29	0.39	0.31	0.24	0.20	0.15	0.15
D	≤ 75	≥ 38	0.64	0.50	0.35	0.25	0.25	≥ 28	0.62	0.50	0.38	0.30	0.26	0.26	≥ 26	0.58	0.48	0.37	0.30	0.23	0.23
E	> 75	≥ 45	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	0.75
F	100	< 45	—	—	—	—	—	< 40	—	—	—	—	—	< 35	—	—	—	—	—	—	—

* Ratio of flow rate to an ideal capacity of 2800 pcph in both directions.
 * 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; assume 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.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot (2 - 1) + 0,05 \cdot (1,6 - 1) + 0,02 \cdot (1,6 - 1)} = 0,92$$

→ $f_{HV} = 0,92$

- Livello di servizio:

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_D} = \frac{Q_{LOS_D}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{580}{2800 \cdot 0,83 \cdot 0,75 \cdot 0,92} = 0,362$$

LOS_D

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	Avg ^a Speed	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 ^a Speed	0	20	40	60	80	100	Avg ^a Speed	0	20	40	60	80	100
A	≤ 76	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥ 37	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 36	0.14	0.09	0.07	0.04	0.03	0.02
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18	0.18	≥ 34	0.26	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 34	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.11
C	≤ 25	≥ 52	0.43	0.38	0.34	0.31	0.30	0.30	≥ 31	0.42	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	≥ 29	0.39	0.33	0.28	0.23	0.21	0.19
D	≤ 15	≥ 50	0.64	0.57	0.53	0.50	0.49	0.49	≥ 28	0.62	0.52	0.50	0.46	0.44	0.43	≥ 28	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.35
E	≤ 7.5	≥ 45	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 26	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥ 25	0.93	0.87	0.84	0.82	0.80	0.79
F	100	< 45	—	—	—	—	—	< 26	—	—	—	—	—	—	< 25	—	—	—	—	—	—	—

^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; assume 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.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot (2,2 - 1) + 0,05 \cdot (2 - 1) + 0,02 \cdot (2,5 - 1)} = 0,87$$

→ $f_{HV} = 0,87$

- Livello di servizio:

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_C} = \frac{Q_{LOS_C}}{2800 \cdot f_D \cdot f_W \cdot f_{HV}} = \frac{580}{2800 \cdot 0,83 \cdot 0,75 \cdot 0,87} = 0,382$$

LOS_D

Table 7.15 Level of Service Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Percent Time Delay	v/c Ratio*																			
		Level Terrain					Rolling Terrain					Mountainous Terrain									
		Avg [†] Speed	Percent No-Passing Zones				Avg [†] Speed	Percent No-Passing Zones				Avg [†] Speed	Percent No-Passing Zones								
0	20	40	60	80	0	20	40	60	80	100	Speed	0	20	40	60	80	100				
A	≤ 30	≥ 58	0.15	0.12	0.09	0.07	0.04	≥ 37	0.25	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥ 30	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤ 45	≥ 55	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16	≥ 54	0.26	0.71	0.19	0.17	0.15	0.13	≥ 54	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.11
C	≤ 65	≥ 52	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	≥ 51	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	≥ 49	0.29	0.23	0.28	0.23	0.20	0.18
D	≤ 75	≥ 45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥ 48	0.67	0.57	0.53	0.48	0.46	0.43	≥ 45	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.35
E	> 75	< 45	—	—	—	—	—	≥ 46	0.97	0.94	0.97	0.91	0.90	0.90	≥ 35	0.93	0.87	0.84	0.82	0.80	0.79
F	100	< 40	—	—	—	—	—	< 46	—	—	—	—	—	< 35	—	—	—	—	—	—	—

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

† 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; assume 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.

In base alle tre analisi effettuate, si conclude che il livello di servizio è il D.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

➤ **Supponiamo un livello di servizio iniziale 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:

1) f_D : fattore di correzione che tiene conto della distribuzione del traffico nella sezione

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

→ $f_D = 0,89$

2) f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

Table 7.16 Adjustment for Effects of Narrow Lanes and Restricted Shoulder Widths (for Two-Lane Highways)

Usable ^a Shoulder Width (ft)	12-ft		11-ft		10-ft		9-ft	
	LOS A-D	LOS ^b E						
≥ 6	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
4	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
2	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

^a Where shoulder width is different on each side of the roadway, use the average shoulder width

^b Factor applies for all speeds less than 45 mph.

→ $f_W = 0,97$

3) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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	1.8	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	1.8	2.9	6.5

→ $f_{HV} = 0,93$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

➤ **Supponiamo un livello di servizio D:**

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

Calcolo dei fattori di correzione:

1) f_D : fattore di correzione che tiene conto della distribuzione del traffico nella sezione

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

→ $f_D = 0,89$

2) f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

Table 7.16 Adjustment for Effects of Narrow Lanes and Restricted Shoulder Widths (for Two-Lane Highways)

Usable* Shoulder Width (ft)	12-ft		11-ft		10-ft		9-ft	
	LOS A-D	LOS ^b E						
	≥ 6	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70
4	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
2	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

* Where shoulder width is different on each side of the roadway, use the average shoulder width.

^b Factor applies for all speeds less than 45 mph.

→ $f_W = 0,92$

3) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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
	B and C	2.2	5.0
	D and E	2.0	5.0
Recreational vehicles, E_R	A	2.2	5.2
	B and C	2.5	3.9
	D and E	2.6	3.3
Buses, E_B	A	1.8	3.0
	B and C	2.0	3.4
	D and E	1.6	2.9

→ $f_{HV} = 0,93$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

➤ **Supponiamo un livello di servizio C:**

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

Calcolo dei fattori di correzione:

1) f_D : fattore di correzione che tiene conto della distribuzione del traffico nella sezione

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

→ $f_D = 0,89$

2) f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

Table 7.16 Adjustment for Effects of Narrow Lanes and Restricted Shoulder Widths (for Two-Lane Highways)

Usable ^a Shoulder Width (ft)	12-ft		11-ft		10-ft		9-ft	
	LOS A-D	LOS ^b E	LOS A-D	LOS ^b E	LOS A-D	LOS ^b E	LOS A-D	LOS ^b E
	≥ 6	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70
4	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
2	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

^a Where shoulder width is different on each side of the roadway, use the average shoulder width.

^b Factor applies for all speeds less than 45 mph.

→ $f_W = 0,92$

3) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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
	A	2.2	3.2	5.0
Recreational vehicles, E_R	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
Buses, E_B	D and E	1.6	2.9	6.5

→ $f_{HV} = 0,91$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

➤ **Supponiamo un livello di servizio B:**

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

Calcolo dei fattori di correzione:

1) f_D : fattore di correzione che tiene conto della distribuzione del traffico nella sezione

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

→ $f_D = 0,89$

2) f_W : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

Table 7.16 Adjustment for Effects of Narrow Lanes and Restricted Shoulder Widths (for Two-Lane Highways)

Usable* Shoulder Width (ft)	12-ft		11-ft		10-ft		9-ft	
	LOS A-D	LOS ^b E	LOS A-D	LOS ^b E	LOS A-D	LOS ^b E	LOS A-D	LOS ^b E
	≥ 6	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70
4	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
2	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

* Where shoulder width is different on each side of the roadway, use the average shoulder width.

^b Factor applies for all speeds less than 45 mph.

→ $f_W = 0,92$

3) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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

→ $f_{HV} = 0,91$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 5: progetto di una sezione autostradale

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.

RISOLUZIONE:

- Deflusso nelle strade a carreggiate separate:

Il calcolo viene distinto per direzione (N corsie) mediante la seguente equazione:

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

$$\longrightarrow C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS_i} \cdot N : \text{condizioni ideali}$$

$$\longrightarrow f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P : \text{condizioni reali}$$

in cui:

- C: 2200 v/h/corsia (N = 2), 2300 v/h/corsia (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.

Dalla precedente equazione si possono ricavare il numero di corsie necessarie:

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

N.B.

Si suppone:

- ✚ C = 2200 v/h/c (N = 2).
- ✚ corsie aventi larghezza 12 ft ed ostacoli ad una distanza maggiore di 6 ft.

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Table 7.1 Level of Service Criteria for Freeways

Level of Service	Maximum Density (pc/mi/ln)	Minimum Speed (mph)	Maximum Service Flow Rate (pc/hpl)	Maximum v/c Ratio
Free-Flow Speed = 70 mph				
A	10.0	70.0	700	0.315/0.304
B	16.0	70.0	1,120	0.500/0.487
C	24.0	68.5	1,644	0.735/0.715
D	32.0	63.0	2,015	0.910/0.876
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	58.0/53.0	2,200/2,300	1.000
F	var	var	var	var
Free-Flow Speed = 60 mph				
A	10.0	60.0	600	0.277/0.261
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	0.820/0.793
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

$$\left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS} = 0,747$$

$$N = \frac{Q_{LOS}}{C \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)_{LOS} \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_P} = \frac{5200}{2200 \cdot 0,747 \cdot 1,00 \cdot 0,92 \cdot 0,87} = 3,95$$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Calcolo dei fattori di correzione:

1) f_w : fattore di correzione legato alla larghezza della corsia ed alla distanza dagli ostacoli

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

→ $f_w = 1,00$

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

2) f_{HV} : fattore di correzione legato alla presenza di veicoli pesanti

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

→ $f_{HV} = 0,94$

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,10 \cdot (1,5 - 1) + 0,04 \cdot (1,2 - 1)} = 0,94$$

3) f_p : fattore di correzione che tiene conto della presenza di utenti pendolari

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	0.75-1.99

→ $f_p = 0,87$

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

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Politecnico di Torino

I Facoltà di Ingegneria

Corso di Fondamenti di Infrastrutture Viarie

A.A. 2011/12

ESERCITAZIONE 4 del 17 novembre 2011

Nome: Corrado

Cognome: Frison

Matricola: s162456

Esercizi 1-2-3

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°).

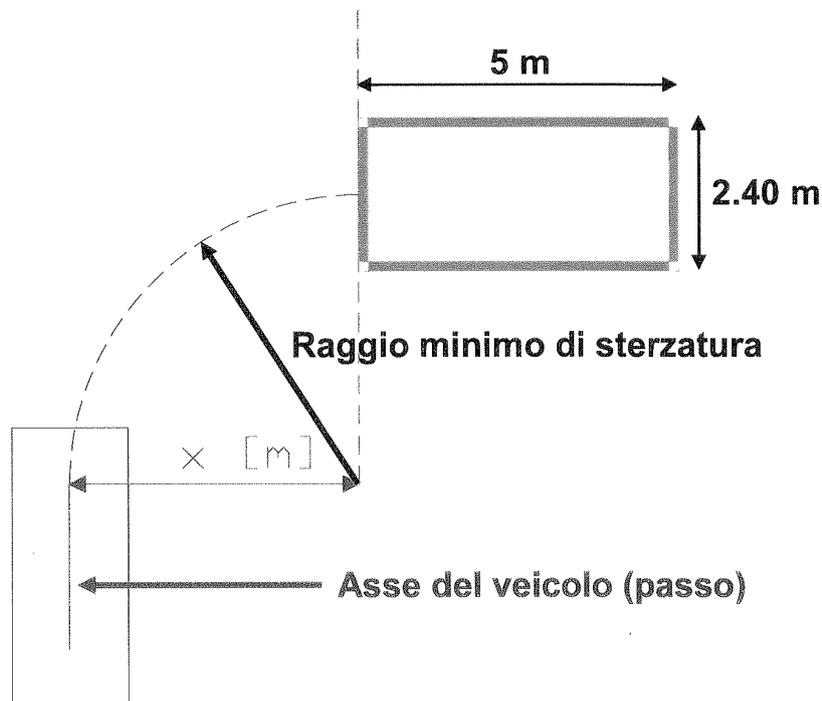


Figura 1: Schematizzazione della manovra di parcheggio

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

SVOLGIMENTO ESERCITAZIONE 4

Esercizi 1-2-3: applicazione della trattrice di un veicolo stradale nella manovra di parcheggio

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°).

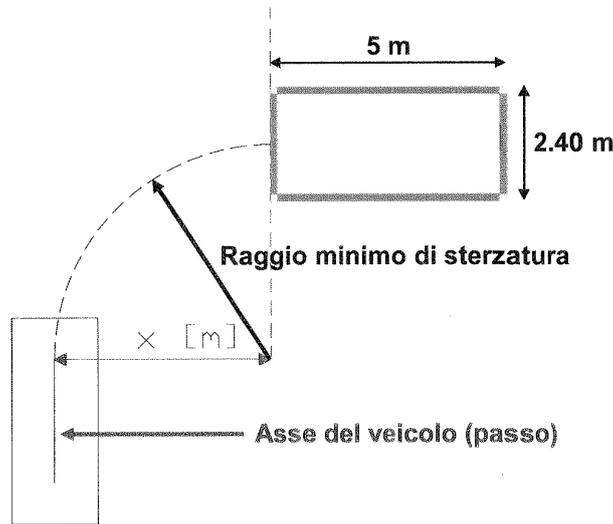


Figura 1: Schematizzazione della manovra di parcheggio

RISOLUZIONE:

- Calcolo del raggio minimo:

Smart FORTWO

$$R_{min} = \frac{p}{tg(\alpha)} = \frac{187}{tg(27^\circ)} = 367 \text{ cm}$$

Mercedes R 500 Lunga

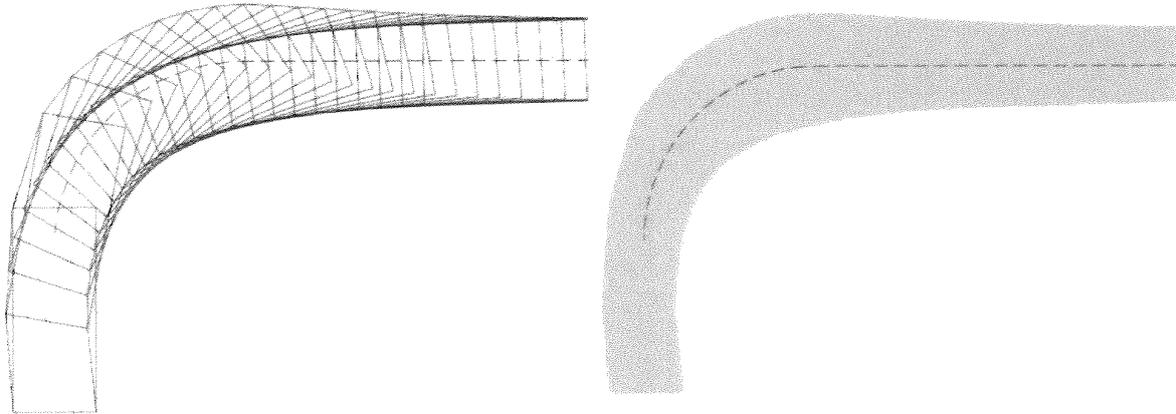
$$R_{min} = \frac{p}{tg(\alpha)} = \frac{322}{tg(35^\circ)} = 460 \text{ cm}$$

Land Rover RANGE ROVER 4.4 TDV8

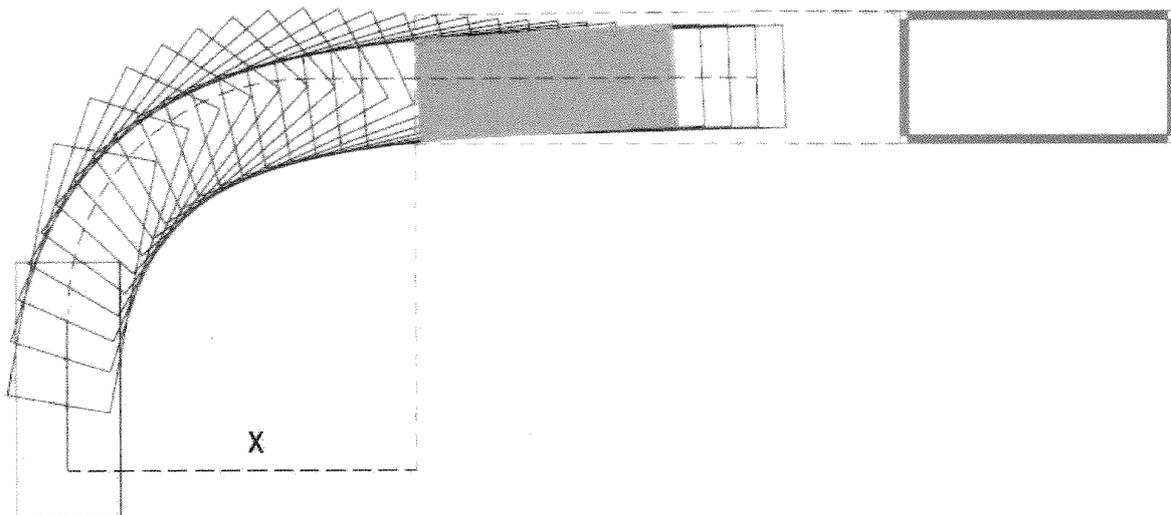
$$R_{min} = \frac{p}{tg(\alpha)} = \frac{288}{tg(36^\circ)} = 397 \text{ cm}$$

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

4) Costruzione della trattrice: individuazione della fascia di ingombro laterale del veicolo.



5) Individuazione della minima distanza L_{min} a cui lo stallo deve trovarsi per poter effettuare il parcheggio.

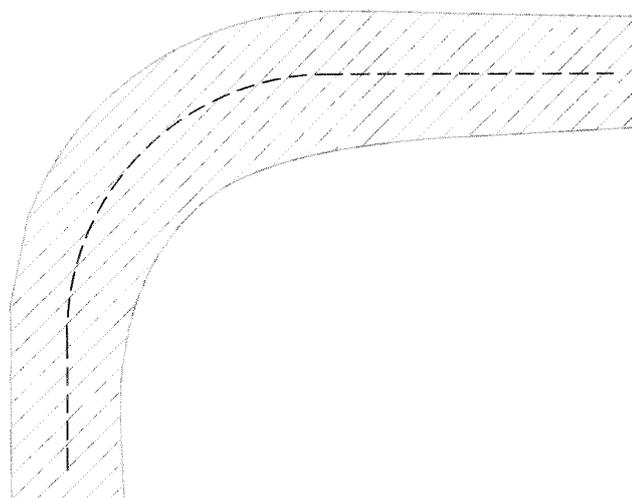
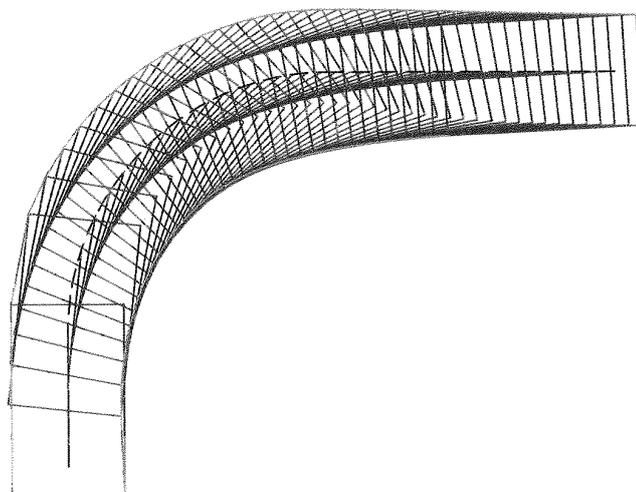


$$L_{min} = x + \frac{\text{larghezza}_{veicolo}}{2} + \text{franco}_{laterale}$$

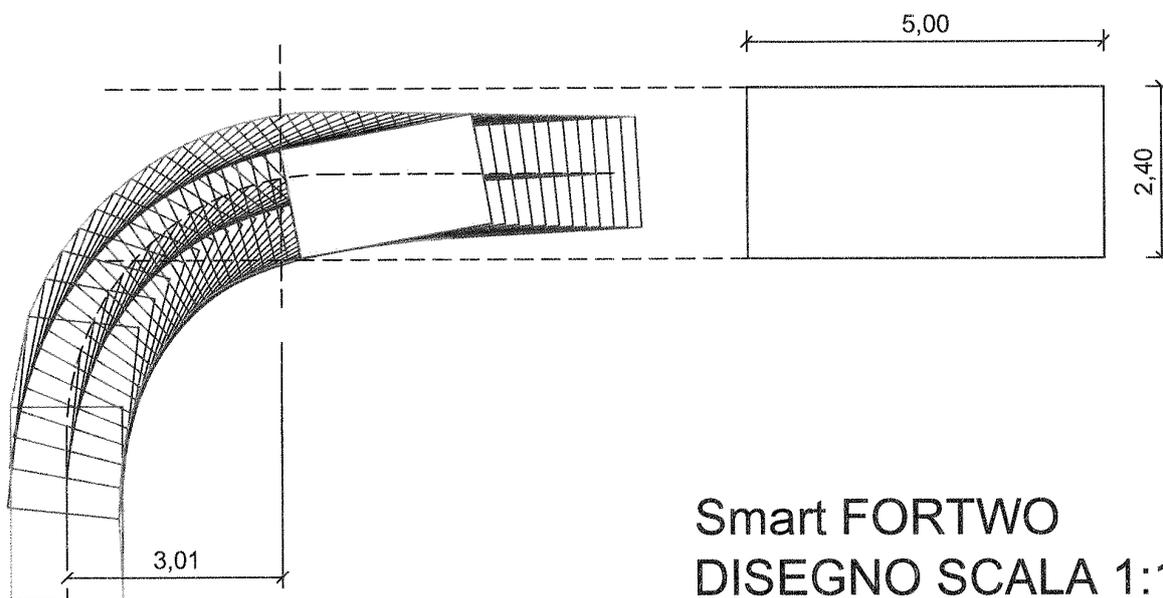
Nelle pagine che seguono sono riportate le costruzioni grafiche effettuate per ogni singola autovettura dell'esercizio.

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

Costruzione della trattrice:
individuazione della fascia di ingombro laterale del veicolo



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



Smart FORTWO
DISEGNO SCALA 1:100

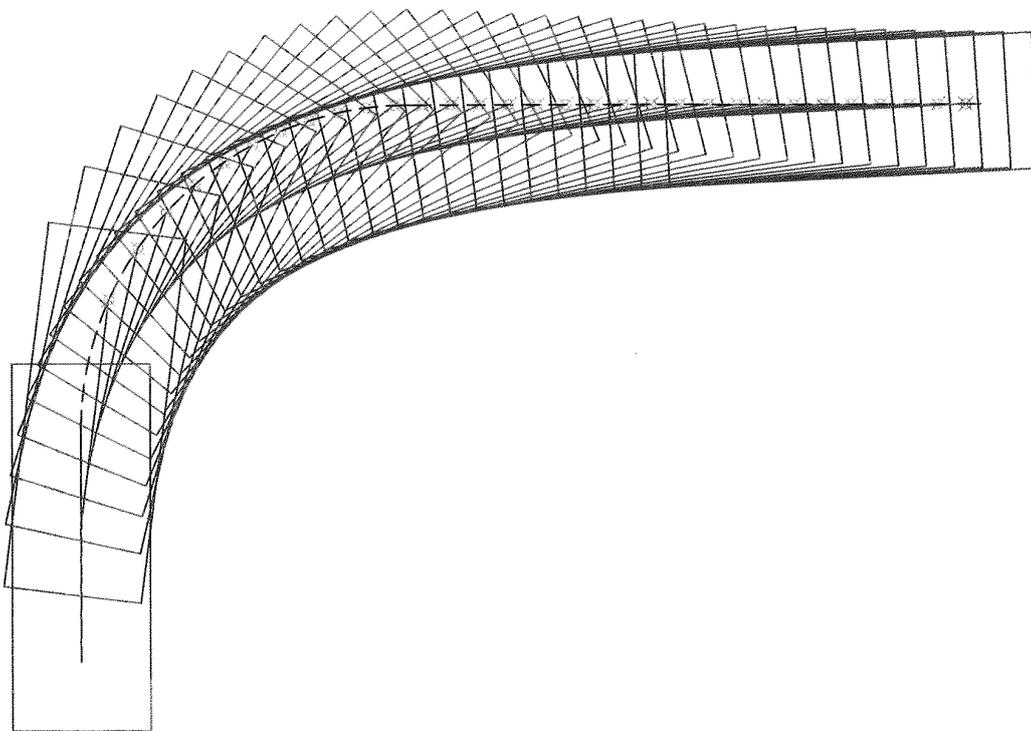
CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

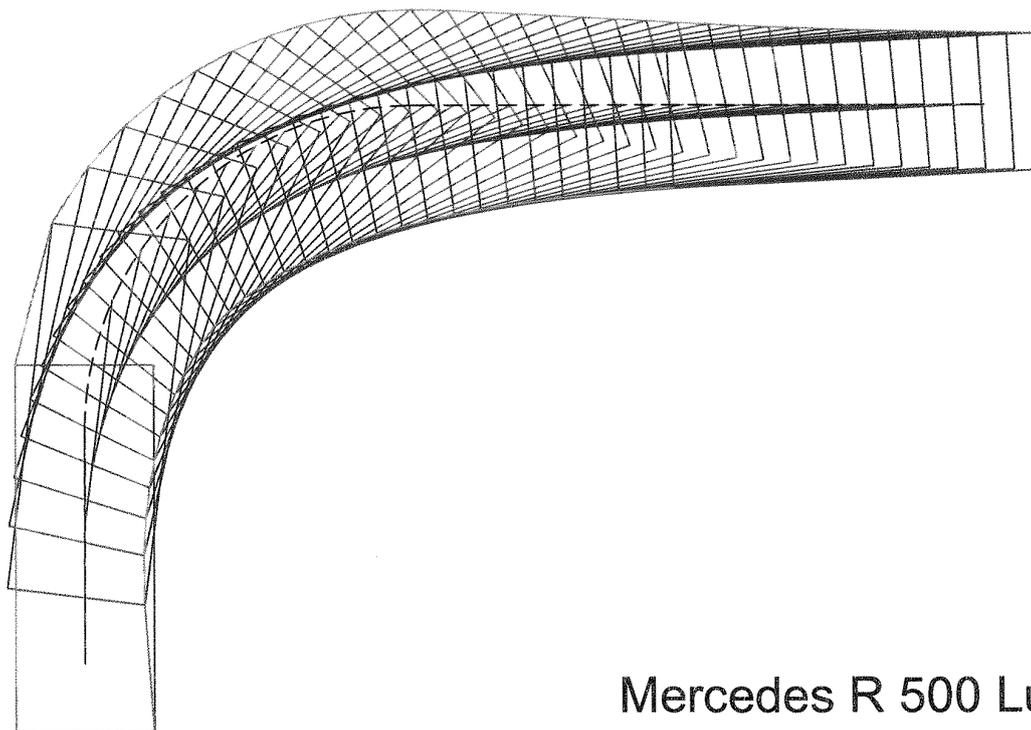
CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

Costruzione della trattrice:
costruzione della sagoma del veicolo



Costruzione della trattrice:
individuazione della fascia di ingombro laterale del veicolo



Mercedes R 500 Lunga
DISEGNO SCALA 1:100

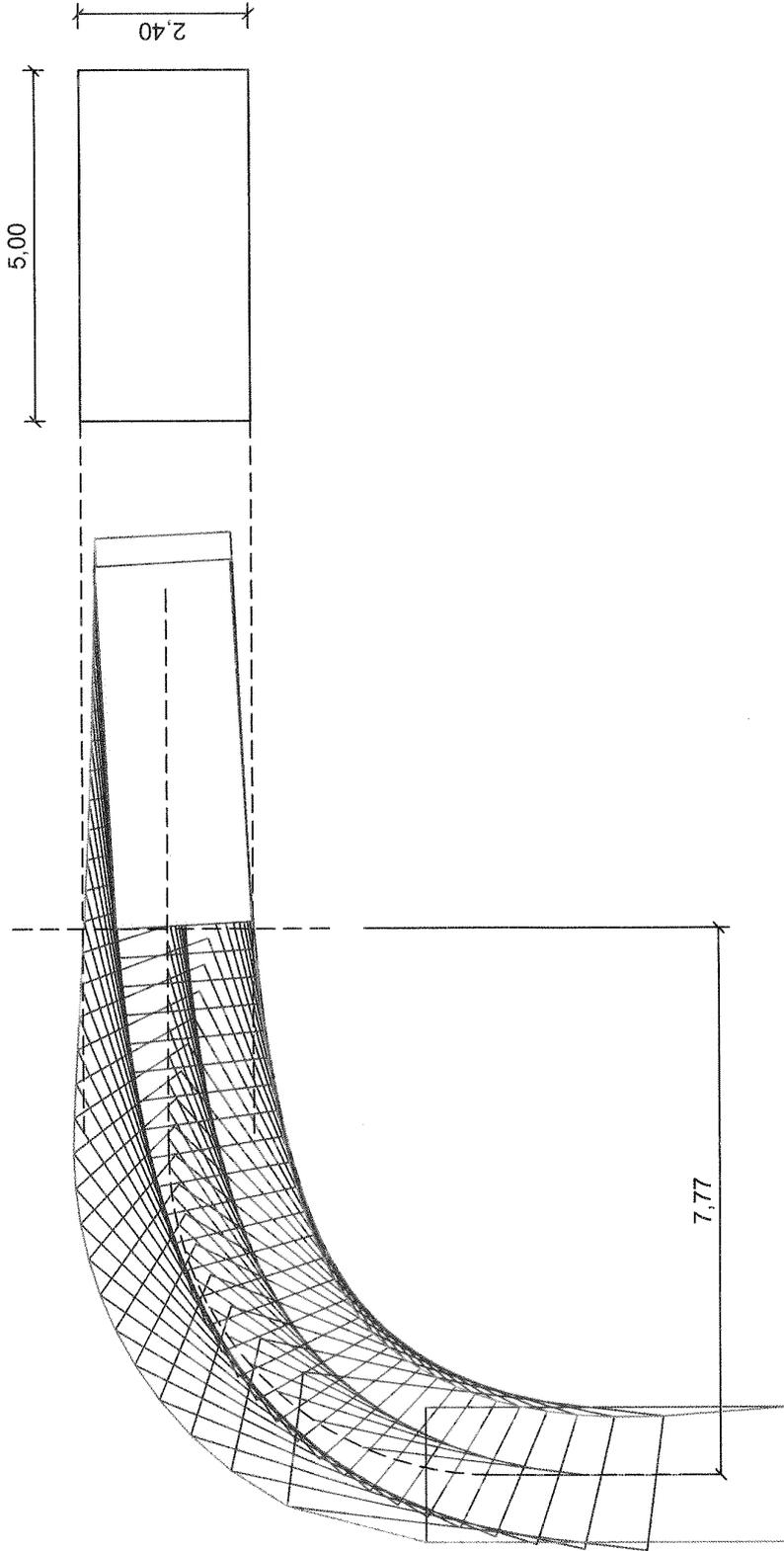
CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

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



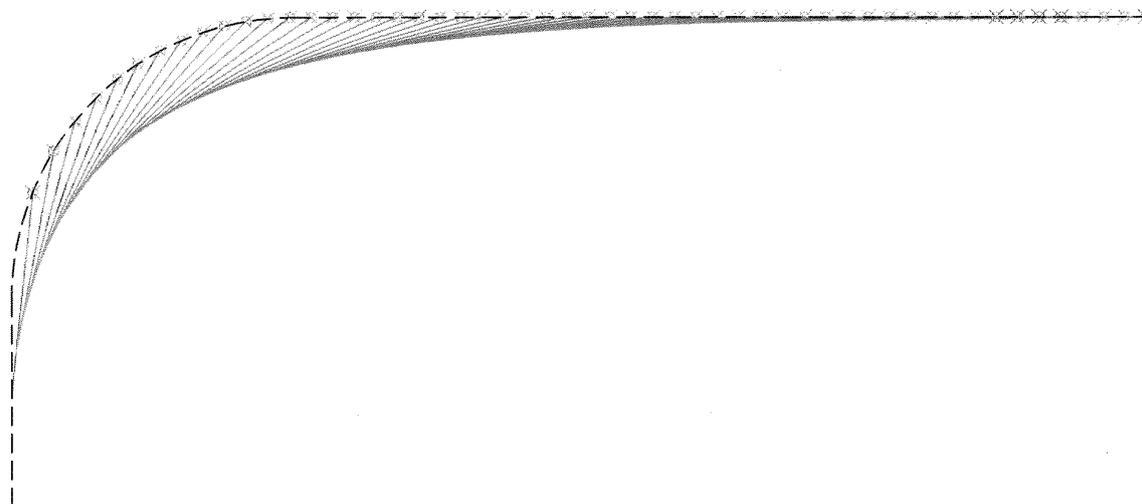
Mercedes R 500 Lunga
DISEGNO SCALA 1:100

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

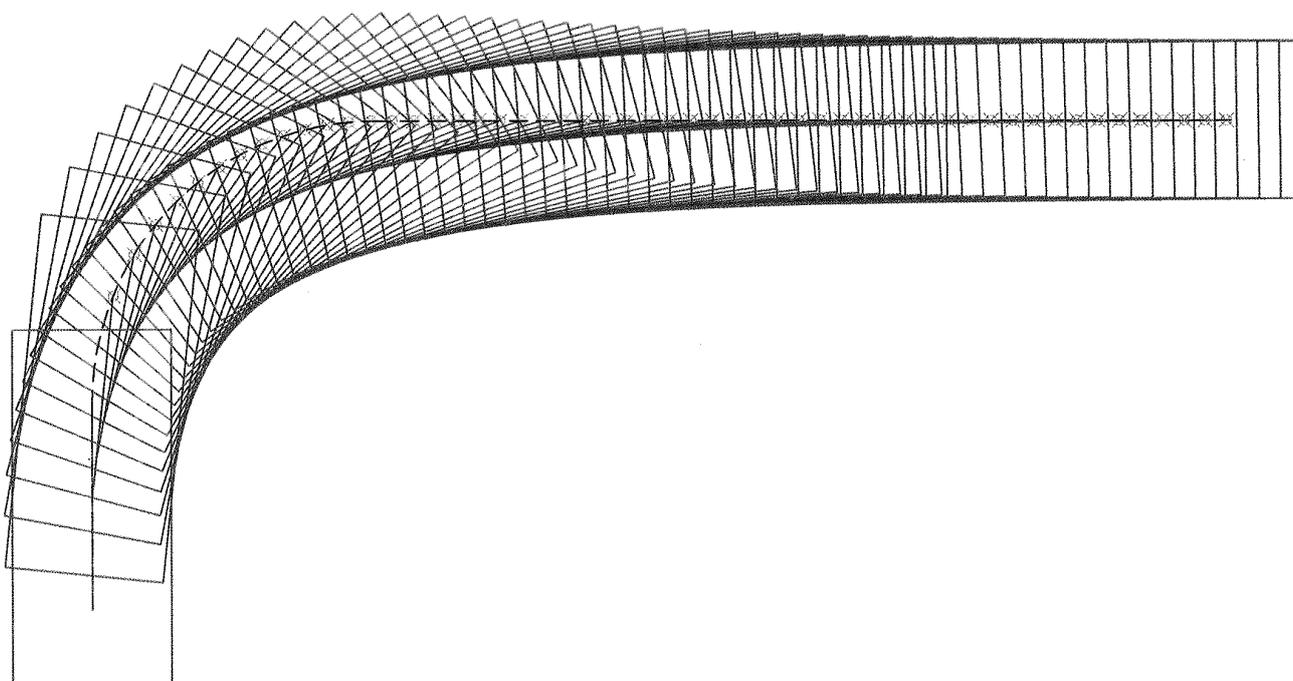
CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

Costruzione della trattrice:
individuazione progressiva della posizione dell'asse



Costruzione della trattrice:
costruzione della sagoma del veicolo



Land Rover RANGE ROVER 4.4 TDV8
DISEGNO SCALA 1:100

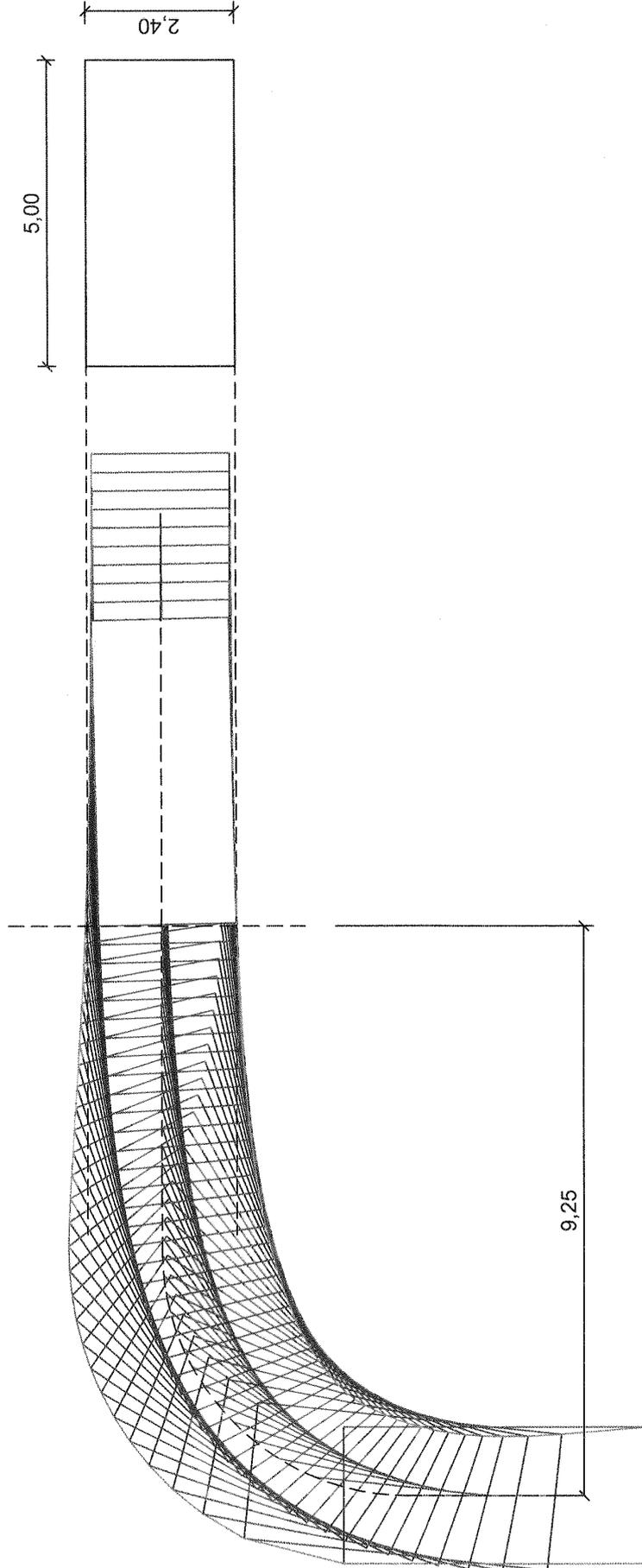
CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

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



Land Rover RANGE ROVER 4.4 TDV8
DISEGNO SCALA 1:100

CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

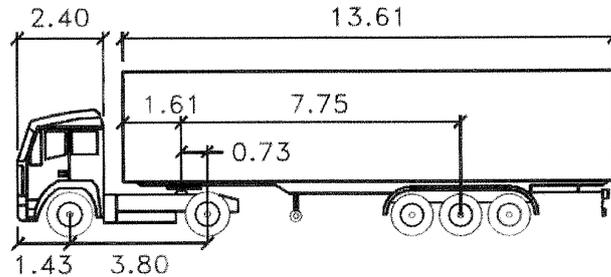
CREATO CON LA VERSIONE EDUCATIVA DI UN PRODOTTO AUTODESK

Fondamenti di infrastrutture viarie - Esercitazioni

Esercizio 4: ingombro di un autoarticolato

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.



RISOLUZIONE (caso 1: $R = 35$ m)

Per individuare la larghezza minima della corsia della rampa dello svincolo autostradale ($B=R_e - R_i$), occorre risolvere il seguente sistema di tre equazioni in tre incognite:

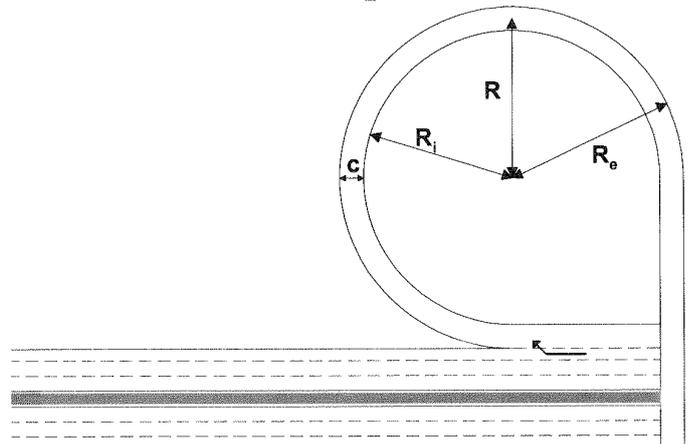
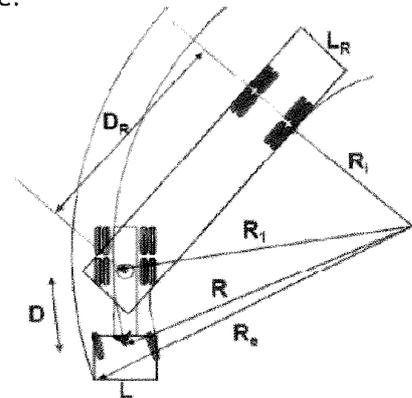
$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{L_R}{2}\right)^2 + D_R^2 = R_1^2 \\ \left(R_1 + \frac{L}{2}\right)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + D^2 = R^2 \end{cases}$$

(vedi figure a lato)

in cui:

- R_i : raggio interno
- R_e : raggio esterno
- R : raggio operativo
- R_1 : raggio "fittizio"

$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{2,55}{2}\right)^2 + 7,75^2 = R_1^2 \\ \left(R_1 + \frac{2,55}{2}\right)^2 + (3,07 + 1,43)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + 3,07^2 = 35^2 \end{cases}$$



Sviluppando la 3° equazione del sistema, si ottiene il valore del raggio R_1 :

$$R_1^2 + 9,42 = 1225$$

$$R_1^2 = 1215,58$$

$$R_1 = +34,86 \text{ m (valore accettabile)}$$

$$R_1 = -34,86 \text{ m (valore non accettabile)}$$