



Università degli Studi di Trieste

Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Laurea Magistrale: Ingegneria civile

Corso: Progettazione Funzionale delle Strade (492MI-2)



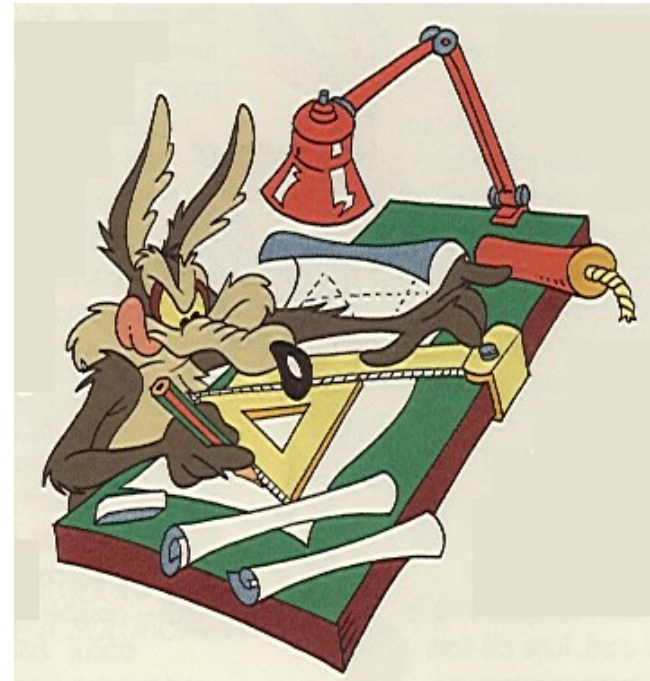
Esercizi

Roberto Roberti

Tel.: 040 558 3588

E-mail: roberto.roberti@dia.units.it

Anno accademico 2025/2026



Esercizio N° 1

Sono stati misurati i passaggi di veicoli su una corsia stradale durante intervalli della durata di 15 secondi per un totale di 64 intervalli consecutivi (960 secondi complessivi di osservazione, 16 minuti), ottenendo il risultato della tabella (colonne I e II).

Si richiede, per tre distribuzioni, Poisson, Binomiale, Poisson generalizzata:

- Media, mediana, moda campionarie;
- Varianza campionaria
- Frequenze teoriche.

Individuare la distribuzione che approssima meglio i dati.

La colonna I rappresenta le classi (numero di veicoli transitati in un intervallo di 15 s) in cui abbiamo suddiviso le osservazioni.

La colonna II rappresenta le frequenze osservate, f_i , cioè il numero di intervalli di 15 s nei quali sono transitati un numero x_i di veicoli.

I	II
$x \equiv$ veicoli/15 s	Frequenze osservate f_i
$x_1 = 0$	0
$x_2 = 1$	0
$x_3 = 2$	0
$x_4 = 3$	3
$x_5 = 4$	0
$x_6 = 5$	8
$x_7 = 6$	10
$x_8 = 7$	11
$x_9 = 8$	10
$x_{10} = 9$	11
$x_{11} = 10$	9
$x_{12} = 11$	1
$x_{13} > 12$	1
	64

Esercizio N° 2

Si vuole confrontare 4 distribuzioni a parità di media con $Q = 720 \text{ v/h} = 0,2 \text{ v/s}$ in un intervallo di 20 s quindi con media $\mu = 4 \text{ v/20s}$.

Per la distribuzione di Poisson il parametro è $\mu = 4 \text{ v/20s}$

Per la Binomiale $\mu = n \cdot p = 20 \cdot 0,2 = 4 \text{ v/20s}$ (ipotizzando quindi che non possa arrivare più di un veicolo ogni secondo), $n = 20$ $p = 0,2$.

Per la Binomiale negativa, si ipotizzi $k = 2$

$$\mu = \frac{k \cdot (1 - p)}{p} = \frac{2 \cdot (1 - 0,3334)}{0,3334} = 4$$

Per la Poisson generalizzata, si ipotizzi $k = 2$ $\lambda = k \cdot \mu + 0,5 \cdot (k-1) = 2 \cdot 4 + 0,5 \cdot (2-1) = 8,5$

Esercizio N° 3

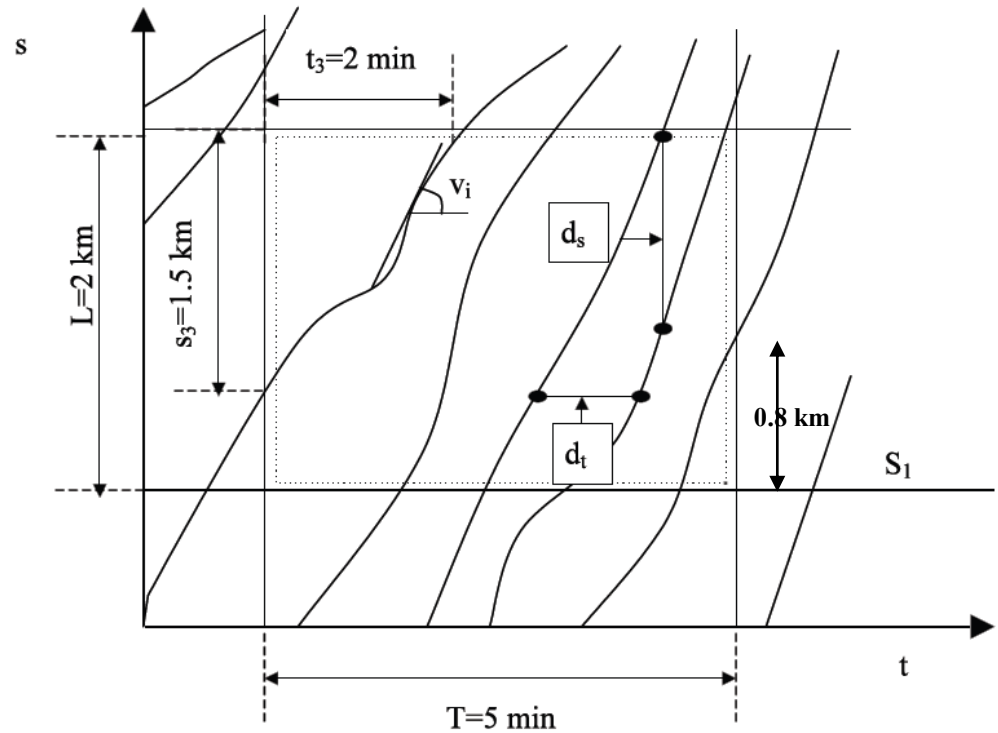
Un osservatore registra il numero dei veicoli che passano in una sezione stradale durante un intervallo di 30 sec. Ripete l'osservazione 120 volte (cioè tiene sotto controllo la sezione stradale complessivamente per un'ora) e registra i risultati delle osservazioni nella tabella seguente.

- a) Disegnare l'istogramma della distribuzione delle frequenze (assolute e relative);
- b) Tabellare e disegnare la distribuzione cumulata delle frequenze assolute e/o relative;
- c) Trovare la media (speranza matematica), la varianza del campione;
- d) Individuare la mediana e la moda della distribuzione;
- e) Stimare media e varianza della popolazione a cui il campione appartiene;
- f) Confrontare le frequenze relative (calcolate nel punto a) con i valori forniti dalla legge di probabilità di Poisson avente media uguale a quella del campione osservato;
- g) Verificare attraverso un test statistico l'ipotesi che la v.a. sia distribuita come una variabile di Poisson

numero classe	x_i (numero di veicoli che passano in un intervallo di 30 sec)	f_i frequenza assoluta (numero di intervalli in cui sono giunti x_i veicoli)
1	0	1
2	1	5
3	2	10
4	3	18
5	4	19
6	5	17
7	6	18
8	7	10
9	8	13
10	9	3
11	10	2
12	11	3
13	12	1

Esercizio N° 4

Calcolare il volume medio di traffico
nella sezione S1 e lungo il tronco di
lunghezza L nel periodo di tempo T.



Esercizio N° 5

Si supponga di aver eseguito 200 misure della velocità istantanea dei veicoli che transitano in una sezione stradale (vedi tabella).

- 1) Trovare la media e la varianza del campione di 200 misure e stimare quelle della popolazione;
- 2) Disegnare il diagramma della distribuzione delle frequenze assolute;
- 3) Tabellare e disegnare la distribuzione cumulata delle frequenze e relative;
- 4) Trovare la mediana e la moda della distribuzione;
- 5) Trovare la velocità dell'85° percentile;
- 6) Verificare l'adattamento ad una distribuzione normale.

Tab. 2 - Rilievo di V. istantanee - Strada c/limite a 90km/h (ss195, km 10, 1990)

Classe veloc. [n]	Limiti di classe [km/h]	V_{med} di classe, u_i [km/h]	Frequenze di classe		Frequenze cumulate	
			assolute [n_i]	relative $f_i = n_i/N$	assolute [Σn_i]	in % $100 \Sigma n_i/N$
1	40,1÷45,0	42,5	02	0,01	002	01
2	45,1÷50,0	47,5	08	0,04	010	05
3	50,1÷55,0	52,5	18	0,09	028	14
4	55,1÷60,0	57,5	42	0,21	070	35
5	60,1÷65,0	62,5	48	0,24	118	59
6	65,1÷70,0	67,5	40	0,20	158	79
7	70,1÷75,0	72,5	24	0,12	182	91
8	75,1÷80,0	77,5	11	0,055	193	96,5
9	80,1÷85,0	82,5	05	0,025	198	99
10	85,1÷90,0	87,5	02	0,01	N=200	100

Esercizio N° 6

Nella tabella sono riportati i tempi di viaggio di 5 veicoli che hanno attraversato un tronco di strada lungo 3 km e le velocità istantanee degli stessi veicoli in una sezione del medesimo tronco.

- 1) Determinare la velocità media nel tempo.
- 2) Determinare la velocità media nello spazio.

	Lunghezza	Tempo di	Velocità	Velocità
veicolo	tronco - L	viaggio - ti	Ist. - si	viaggio sr
	km	ore	km/h	km/h
1	3	0,030	100,00	100,00
2	3	0,025	120,00	120,00
3	3	0,040	75,00	75,00
4	3	0,020	150,00	150,00
5	3	0,037	81,00	81,08
Totale	15,000	0,152		

Esercizio N° 7

Nel diagramma sono riportati i tempi di viaggio di 4 veicoli che hanno attraversato un tronco di strada lungo 50 m. Determinare la velocità media nello spazio esatta e attraverso formule approssimate (partendo dalla velocità media nel tempo).

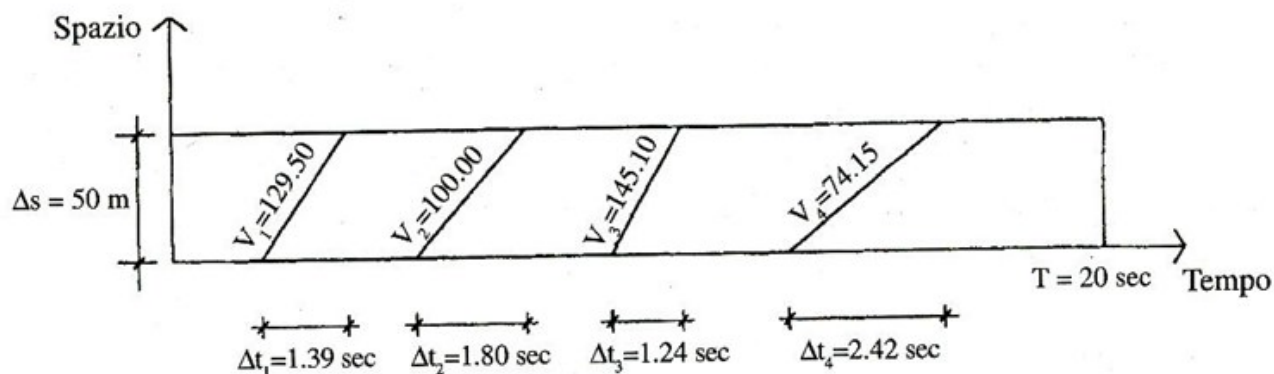


Fig.7 – Traiettorie veicolari in un dominio spazio-temporale elementare

	Δs_i	t_i	s_i	s_i
	[m]	[s]	[m/s]	[km/h]
1	50,00	1,3900	35,97	129,50
2	50,00	1,8000	27,78	100,00
3	50,00	1,2405	40,31	145,10
4	50,00	2,4275	20,60	74,15

Esercizio N° 8

ANALISI GLOBALE DEL LIVELLO DI SERVIZIO DI UNA STRADA ESISTENTE

Un'autostrada extraurbana a 4 corsie (2 per ogni senso di marcia) con una velocità di flusso libero di 110 km/h deve smaltire un traffico orario, nell'ora di punta, in una direzione di 2200 v/h con 8 % di veicoli pesanti 2 % di veicoli turistici e un PHF di 0,90. Le corsie hanno una larghezza di 3,50 m, larghezza banchine 0,90 m ed il tracciato è di tipo collinare (rolling), gli utenti sono abituali, si abbiano 0,4 svincoli per km.

Valutare il livello di servizio della strada, ed i volumi compatibili con i LOS da A ad E.

Esercizio N° 9

PROGETTO DI UNA SEZIONE STRADALE

Un'autostrada suburbana su terreno pianeggiante deve essere progettata per almeno un LOS "D". Il volume orario di traffico per cui l'autostrada deve essere progettata è 4000 veic/h per direzione, con 15 % di veicoli pesanti, 3 % di veicoli ricreativi e un PHF di 0,85, gli utenti sono di tipo abituale, 0,9 svincoli/km, corsie da 3,75 m banchine da 2,50 m.

Quante corsie sono necessarie per una velocità di flusso libero in condizioni ideali di 120 km/h ?

Esercizio N° 10

ANALISI SPECIFICA DI UN TRONCO STRADALE

Si consideri un'autostrada extraurbana esistente a 3 corsie per senso di marcia con BFBS = 120 km/h, corsie da 3,75 m, banchine in destra di 1,80 m, distanza tra gli svincoli > 3,5 km. L'andamento altimetrico è pianeggiante con l'esclusione di un tratto di pendenza 5 % con lunghezza 1600 m. Il volume orario di traffico nell'ora di punta per ciascuna direzione è 3000 veicoli/h, costituito dal 10 % di veicoli pesanti e 2% di veicoli turistici. Il fattore dell'ora di punta PHF = 0,88. Gli utenti sono abituali.

Determinare il LOS del tratto pianeggiante e di quello in pendenza sia in salita che discesa. Verificare se con l'aggiunta di una quarta corsia in salita si ripristina il LOS in piano.

Esercizio N° 11

Determinare il LOS per una strada extraurbana di tipo C1 (Corsie 3,75 m banchine 1,75 m) con:

BFFS = 95 km/h, terreno ondulato, 60 % di zone in cui non è consentito il sorpasso, frequenza accessi 3/km.

$V = 1200$ veic./h; $PHF = 0,88$; Distribuzione traffico nei due sensi 60 % e 40 %, 6 % di veicoli pesanti, 2 % veicoli ricreativi;

Esercizio N° 12

Determinare il LOS per una strada extraurbana di tipo C1 singolarmente nelle due direzioni (Corsie 3,75 m banchine 1,50 m) e complessivamente per entrambe le direzioni con:

Volume dell'ora di punta nella direzione in esame $V_d = 420$ veic./h;

Volume dell'ora di punta nella direzione opposta $V_o = 380$ veic./h;

Fattore dell'ora di punta $PHF = 0,90$;

12 % di veicoli pesanti;

Andamento altimetrico collinare (ondulato);

80 % di zone in cui non è consentito il sorpasso,

Velocità base di flusso libero $BFFS = 100$ km/h

Frequenza accessi 2/km.

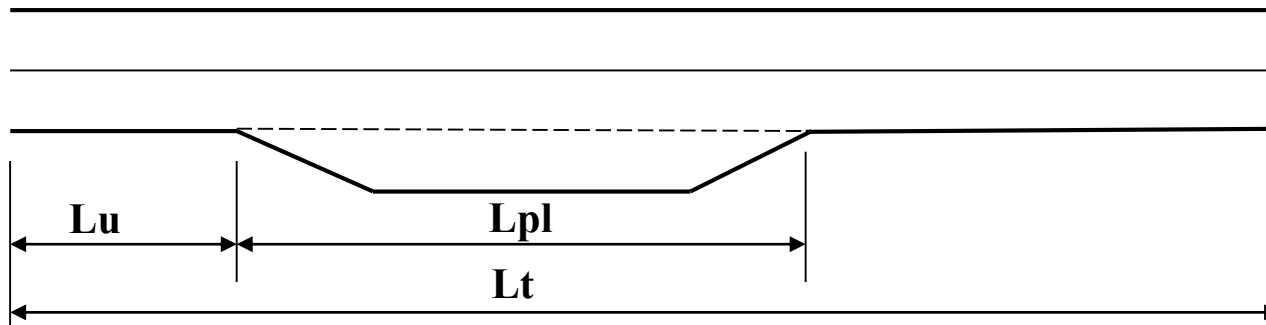
Esercizio N° 13

Determinare il LOS per la strada dell'esercizio precedente nella direzione di maggior traffico in conseguenza della introduzione di una corsia di sorpasso con le seguenti ipotesi:

Lunghezza del tratto precedente la corsia di sorpasso $L_u = 1$ km

Lunghezza della corsia di sorpasso $L_{pl} = 1,5$ km;

Lunghezza totale del tronco stradale $L_t = 9,0$ km



Esercizio N° 14

Una strada di tipo C1 (Corsie 3,75 m banchine 1,75 m) di lunghezza complessiva $L = 12$ km è formata da un primo tratto pianeggiante di lunghezza $L1 = 4$ km, da un secondo tratto di lunghezza $L2 = 3,2$ km con pendenza del 6%, e da un terzo tratto di lunghezza $L3 = 4,8$ km pianeggiante. Volume dell'ora di punta egualmente distribuito nelle due direzioni è $V = 540$ veic./h;

Fattore dell'ora di punta $PHF = 0,85$;

10 % di veicoli pesanti, di cui il 40 % viaggia in discesa con velocità ridotta (37 km/h);

Andamento altimetrico collinare (ondulato);

40 % di zone in cui non è consentito il sorpasso,

Velocità base di flusso libero $BFFS = 96$ km/h

Frequenza accessi 3/km.

Determinare il LOS per i tronchi pianeggianti ed in quello intermedio nel verso della salita, valutando l'opportunità di inserire una corsia di arrampicamento nel tratto intermedio.

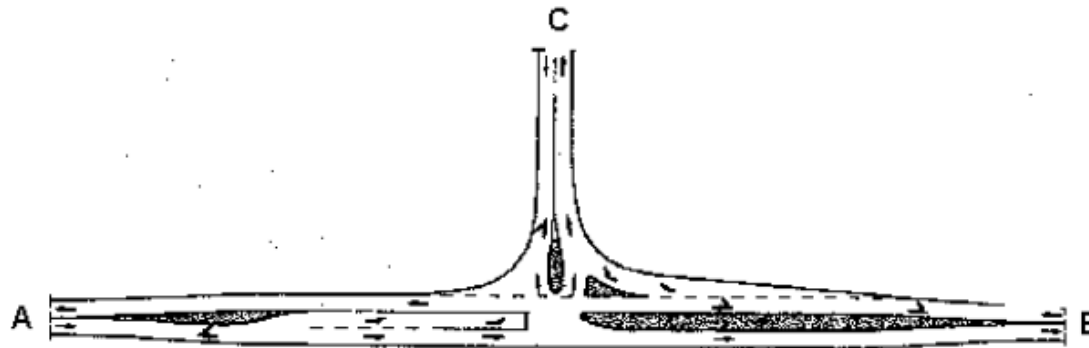
Esercizio N° 15

Table 1: Measure of accepted gap and the maximum rejected gap (s).

t_a	t_r	t_a	t_r	t_a	t_r	t_a	t_r	t_a	t_r	t_a	t_r
5.26	1.68	3.29	0	3.86	0	4.11	0	2.31	0	1.8	1.43
3.46	1.16	3.35	1.93	2.97	0	5.21	3.01	5.11	2.45	3.22	0
4.76	2.08	4.22	2.44	3.49	0	3.14	0	3.69	0	5.21	2.18
1.97	0	4.06	2.44	2.48	0	3.54	0	4.99	3	2.46	1.68
5.75	0	4.01	1.93	3.78	1.92	2.01	0	5.54	2.36	3.67	1.93
2.72	0	3.32	1.68	2.89	2.61	6	0	4.21	0	2.59	0
5.05	0	2.89	0	2.59	2.41	4.51	0	3.32	0	2.94	0
4.26	1.55	3.13	0	3.06	1.4	3.33	0	3.68	2	6.82	4.06
3.22	0	4.66	3.35	3.97	2.77	3.56	2.24	3.96	2.1	7.24	2.18
2.18	1.16	4.26	2.94	4.22	2.18	4.25	2.14	5.25	1.89	3.49	2.32
3.49	0	4.22	3.6	3.6	2.69	5.21	2.54	5.47	2.58	4.1	2.72
3.74	2.72	5.26	2.34	3.13	1.39	3.45	0	4.12	2.47	5.16	2.56
2.72	0	2.86	0	4.53	1.93	2.88	2.01	2.36	0	2.32	2.08
1.93	0	3.78	0	5.05	2.16	3.23	0	2.98	0	3.42	2.03
2.18	1.42	2.56	0	4.42	0	4.1	0	3.56	0	4.21	1.56
4.12	0	3.55	2.11	3.03	1.48	2.64	0	4.25	2.45	5.21	2.22
4	2.63	2.88	0	5.5	3.12	4.26	2.41				

Determinare l'intervallo critico sulla base delle seguenti rilevazioni di intervalli accettati e rifiutati da 100 veicoli su un'intersezione.

Esercizio N° 16



DATI INIZIALI

- Velocità di riferimento per la strada principale A-B pari a $V_{85}=70$ km/h (è la velocità di progetto " V_p " dedotta dal diagramma di velocità, per le strade di nuova, costruzione o l'85° percentile della distribuzione delle velocità istantanee " V_{85} " per le strade esistenti).
- Portate dei flussi diretti ed in svolta

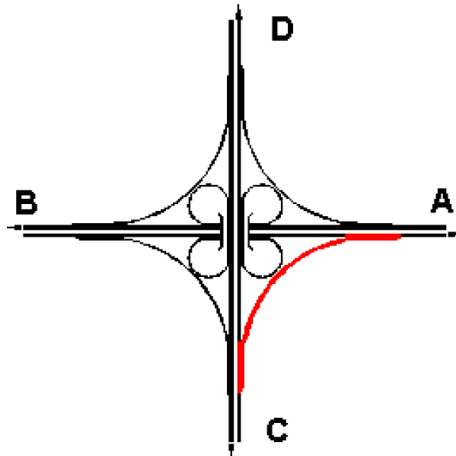
Matrice Origine-Destinazione

ORIGINE	DESTINAZIONE		
	A	B	C
A		700	100
B	750		150
C	190	60	

Progettare gli elementi (corsie specializzate e isole di canalizzazione) dell'intersezione indicata. Si valuti il livello di servizio delle varie manovre. Si valutino inoltre i triangoli di visibilità supponendo che la strada secondaria sia dotata di STOP.

Esercizio N° 17

Progettare le rampe, di almeno un quadrante, dello svincolo in figura tra due strade di categoria A, e valutarne il livello di servizio.



I dati sono:

$$V_{pCD} = 120 \text{ [km/h]} = 33.33 \text{ [m/sec]}$$

$$V_{pBA} = 120 \text{ [km/h]} = 33.33 \text{ [m/sec]}$$

Portata direzionale:

Volume di traffico per direzione a monte dell'intersezione sulla strada A-B:

$$V_A = V_B = TGM \cdot 0.10 = 28000 \cdot 0.10 = 2800 \text{ [veic/h]}$$

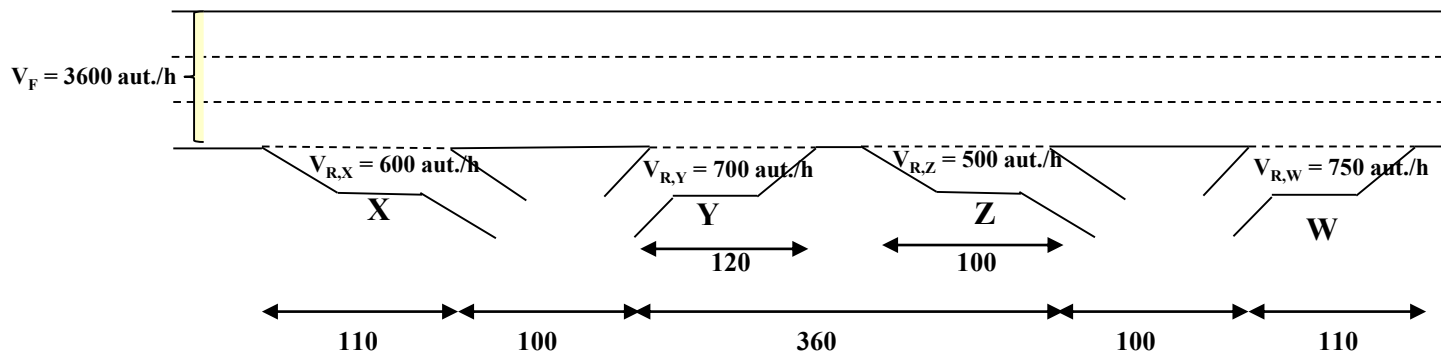
% veicoli pesanti = 10 %

% veicoli turistici = 1%

Origine / Destinazione	A	B	C	D
A		2100	270	430
B	2100		450	250
C	450	250		300
D	200	450	450	

Volume di traffico diretto per senso di marcia [veic/ora]	Traffico diretto	Restante nella corsia	
	Autostrada a 8 corsie	Autostrada a 6 corsie	Autostrada a 4 corsie
≥6500	10	-	-
6000+6499	10	-	-
5500+5999	10	-	-
5000+5499	9	-	-
4500+4999	9	18	-
4000+4499	8	14	-
3500+3999	8	10	-
3000+3499	8	6	40
2500+2999	8	6	35
2000+2499	8	6	30
1500+1999	8	6	25
1499≤	8	6	20

Esercizio N° 18



In figura è rappresentata schematicamente la successione di quattro rampe (X,Y,Z,W) di una carreggiata autostradale a tre corsie. Tale situazione si potrebbe presentare, ad esempio, per gli svincoli a quadrifoglio, nella quale non si prevede tra le rampe Y e Z una corsia unica ausiliaria (quindi senza zona di scambio).

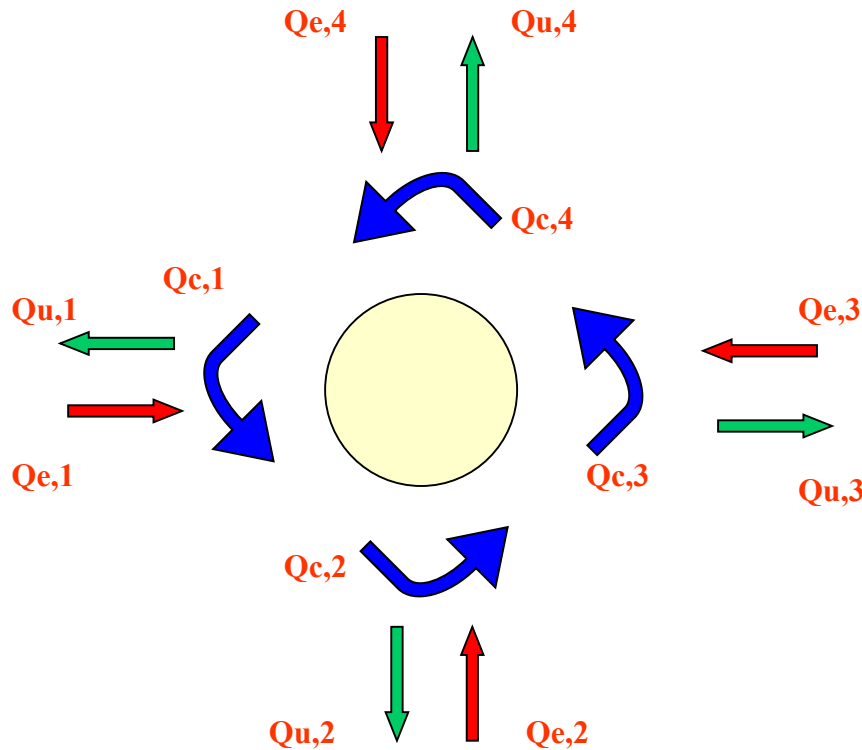
Si vuole valutare il LOS delle quattro aree di influenza con i dati riportati in figura e le seguenti velocità:

Velocità di flusso libero dell'autostrada $S_{FF} = 120$ km/h;

Velocità di flusso libero delle rampe X e W $S_{FF,X} = S_{FF,W} = 70$ km/h;

Velocità di flusso libero delle rampe Y e Z $S_{FF,Y} = S_{FF,Z} = 55$ km/h.

Esercizio N° 19

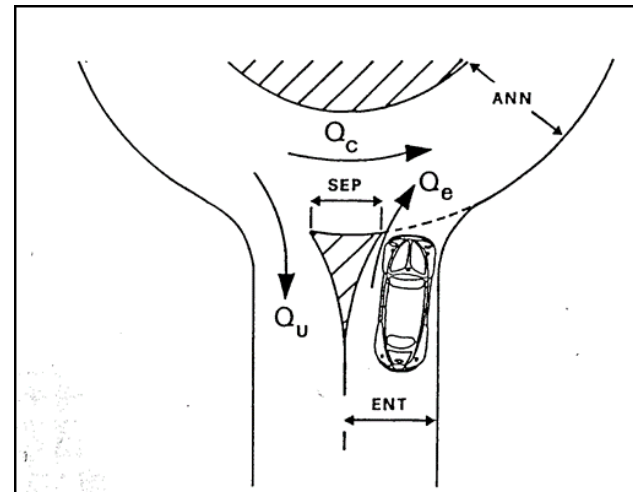


$$Q_{e,1} = 340 \text{ v/h} \quad Q_{u,1} = 380 \text{ v/h} \quad Q_{c,1} = 190 \text{ v/h}$$

$$Q_{e,2} = 236 \text{ v/h} \quad Q_{u,2} = 230 \text{ v/h} \quad Q_{c,2} = 300 \text{ v/h}$$

$$Q_{e,3} = 477 \text{ v/h} \quad Q_{u,3} = 322 \text{ v/h} \quad Q_{c,3} = 214 \text{ v/h}$$

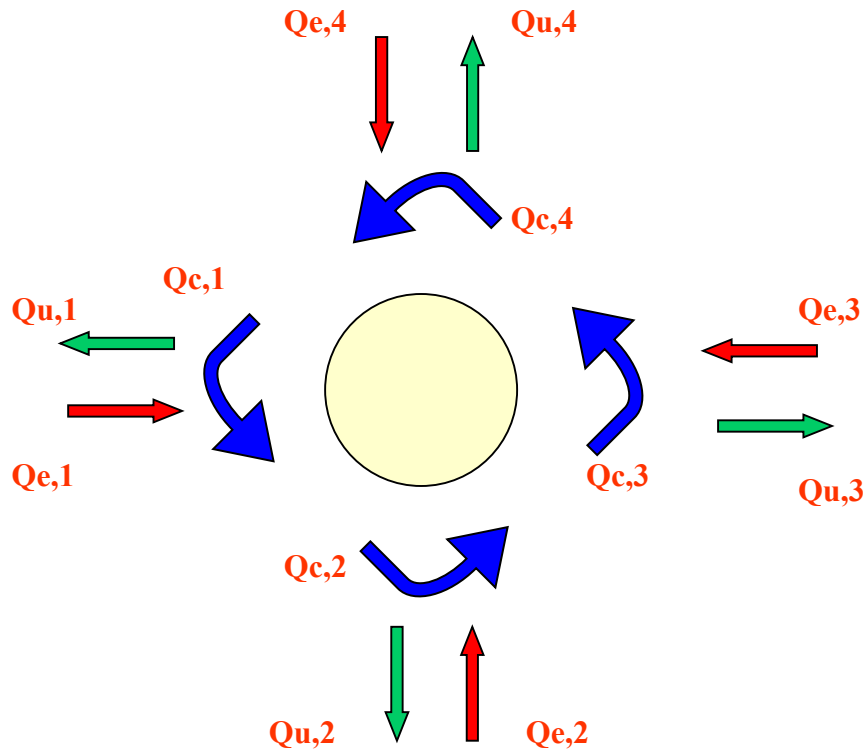
$$Q_{e,4} = 152 \text{ v/h} \quad Q_{u,4} = 271 \text{ v/h} \quad Q_{c,4} = 418 \text{ v/h}$$



Si consideri una rotatoria a quattro bracci avente le seguenti caratteristiche: larghezza anello $ANN = 8 \text{ m}$ a una corsia; Larghezza bracci entrata $ENT = 6 \text{ m}$ a una corsia; larghezza isola spartitraffico $SEP = 15 \text{ m}$, Raggio isola centrale $R = 20 \text{ m}$, larghezza bracci in uscita 6 m

Calcolare le capacità degli ingressi con i vari metodi

Esercizio N° 20



Uscite Ingressi	1	2	3	4
1	0,00	0,18	0,65	0,17
2	0,20	0,00	0,21	0,59
3	0,72	0,10	0,00	0,18
4	0,20	0,70	0,10	0,00

$Qe,1=700$; $Qe,2=525$; $Qe,3=310$; $Qe,4=430$

Si consideri una rotatoria a quattro bracci avente le seguenti caratteristiche: larghezza anello ANN = 8 m a una corsia; Larghezza bracci ENT = 6 m a una corsia; larghezza isola spartitraffico SEP = 15 m, Raggio isola centrale R = 20 m.

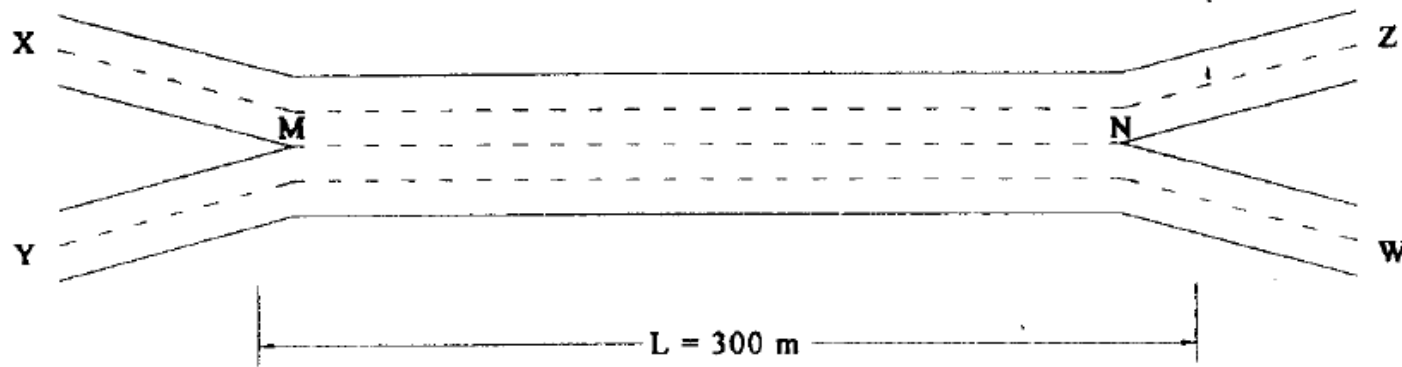
Calcolare la capacità semplice, le riserve di capacità, la lunghezza delle code in ingresso, i tempi di attesa e la capacità totale, utilizzando diversi metodi.

Esercizio N° 21

La zona di scambio principale, riportata in figura, è formata da carreggiate autostradali la cui velocità di flusso libero è 120 km/h (S_{FF}). Si determini il livello di servizio (LOS) conoscendo i flussi di seguito indicati:

$$V_{X-Z} = V_{0,1} = 1700 \text{ autovet./h}; \quad V_{Y-W} = V_{0,2} = 1400 \text{ autovet./h};$$

$$V_{Y-Z} = V_{w,2} = 1500 \text{ autovet./h}; \quad V_{X-W} = V_{w,1} = 800 \text{ autovet./h}.$$



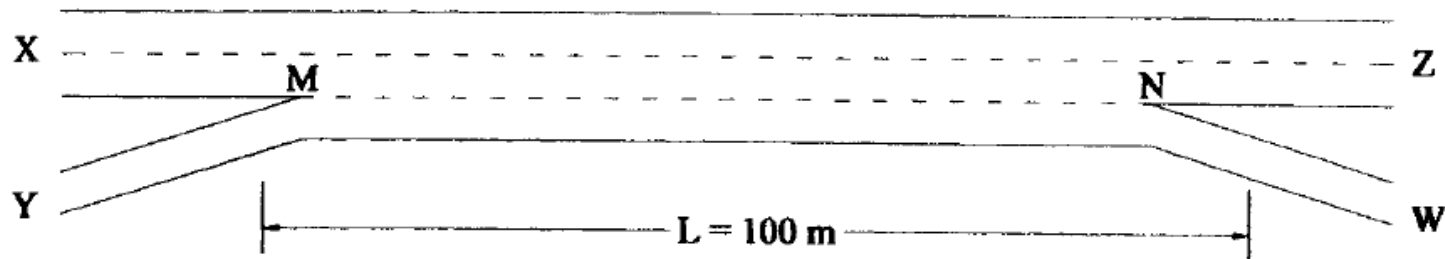
Esercizio N° 22

Si consideri la situazione in figura che si verifica ad esempio in uno svincolo a quadrifoglio.

Si vuole verificare se con la lunghezza della corsia ausiliaria $L = 100$ m e con i flussi di seguito indicati si raggiunge almeno il LOS C. Si consideri la velocità di flusso libero SFF = 110 km/h.

$$V_{X-Z} = V_{0,1} = 1600 \text{ autovet./h}; \quad V_{Y-W} = V_{0,2} = 0 \text{ autovet./h};$$

$$V_{Y-Z} = V_{w,2} = 380 \text{ autovet./h}; \quad V_{X-W} = V_{w,1} = 500 \text{ autovet./h}.$$



Esercizio N° 23

Si consideri la situazione dell'esercizio 17 per calcolare il tratto tra le due rampe indirette (cappi) come zona di scambio e non come somma di dure corsie di immissione e uscita.

Si vuole individuare con la lunghezza della corsia minima (tenuto dei raggi di curvatura delle clotoidi e della larghezza dell'impalcato) $L = 200$ m (sarebbe 191 m) e con i flussi previsti (ma che per semplicità si sono considerate solo autovetture) di seguito indicati quale LOS si ottiene. Si consideri la velocità di flusso libero, quella indicata nell'esercizio 17, $SFF = 120$ km/h.

$$Q_{BA} = V_{X-Z} = V_{0,1} = 2100 \text{ autovet./h};$$

$$V_{Y-W} = V_{0,2} = 0 \text{ autovet./h};$$

$$Q_{DA} = V_{Y-Z} = V_{w,2} = 200 \text{ autovet./h};$$

$$Q_{BD} = V_{X-W} = V_{w,1} = 250 \text{ autovet./h}.$$

