



PROPONENTE:

COMUNE DI MONSELICE

Piazza San Marco, 1 - 35043 Monselice (PD)

Tel. 0429/786911 Fax 0429/73092

PEC: monselice.pd@cert.ip-veneto.net

NUOVO CASELLO
MONSELICE -POZZONOVO (MONSELICE SUD)
E VIABILITA' AFFERENTI MONSELICE (PD)
Verifica di assoggettabilità a V.I.A. (art. 19 D.Lgs. 152/2006)

Coordinamento progettazione
e valutazioni ambientali

ING. SANDRO BENATO
ARCH. NICOLA VISENTINI



NET PROJECT S.R.L. - Piazza Modin 12 - 35129 Padova - Tel. 049 8935081 - Fax 049 8935137

Consulente: Progettazione Viaria

PROF. PASETTO ING. MARCO

Via Curtatone e Montanara 3- 35141 Padova - Tel./Fax 049 871135

Consulente: Progettazione strutture in C.A.

PROF. PIZZOCCHERO ING. TIZIANO

Via Leonardo da Vinci 32- 35010 Cadoneghe (PD) - Tel. 049 706480

Consulente: Progettazione strutture in acciaio

SPOLADORE ING. LUCA

Via G. Mazzini 4 - 35010 Vigonza (PD) - Tel. 349 4663410

Consulente: Progettazione geotecnica

PROF. MAZZUCATO ING. ALBERTO

Via Santa Rosa 52 - 35100 Padova - Tel. 049 8910298

VERIFICA FUNZIONALE
ROTATORIA SU SR104

CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA EMISSIONE	VERSIONE
ELAB10	ELAB10.PDF	01.08.2018	REV. 0

SOMMARIO

PREMESSA	2
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
PROGETTO	3
<i>Inserimento e forma della rotatoria.....</i>	<i>3</i>
<i>Caratteristiche geometriche</i>	<i>4</i>
VERIFICA DELLA CAPACITÀ E INDIVIDUAZIONE DEL LIVELLO DI SERVIZIO	6
<i>Introduzione</i>	<i>6</i>
<i>Flussi veicolari.....</i>	<i>6</i>
<i>Metodologia High Capacity Manual 2000.....</i>	<i>8</i>
<i>Verifica funzionale e geometrica del tronco di scambio tra i rami 1-3.....</i>	<i>9</i>
<i>Verifica funzionale e geometrica del tronco di scambio tra i rami 3-2.....</i>	<i>20</i>
<i>Verifica funzionale e geometrica del tronco di scambio tra i rami 2-1.....</i>	<i>27</i>
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	33

PREMESSA

La risoluzione/realizzazione dell'intersezione tra la viabilità uscente dal casello di Monselice Sud e la S.R.104 è parte integrante dell'accordo Pubblico - Privato approvato con DCC n. 53 del 23.09.2016, che tra i vari punti prende in considerazione il collegamento diretto tra la vicina autostrada A13 PD- BO e il Polo Agrologic evitando il centro urbano di Monselice. L'intervento che verrà trattato nella presente relazione è la risoluzione dell'intersezione classificata come nodo omogeneo in base alla 'Matrice di rappresentazione di tutti i possibili nodi d'intersezione' del D.M. 19.04.2006.

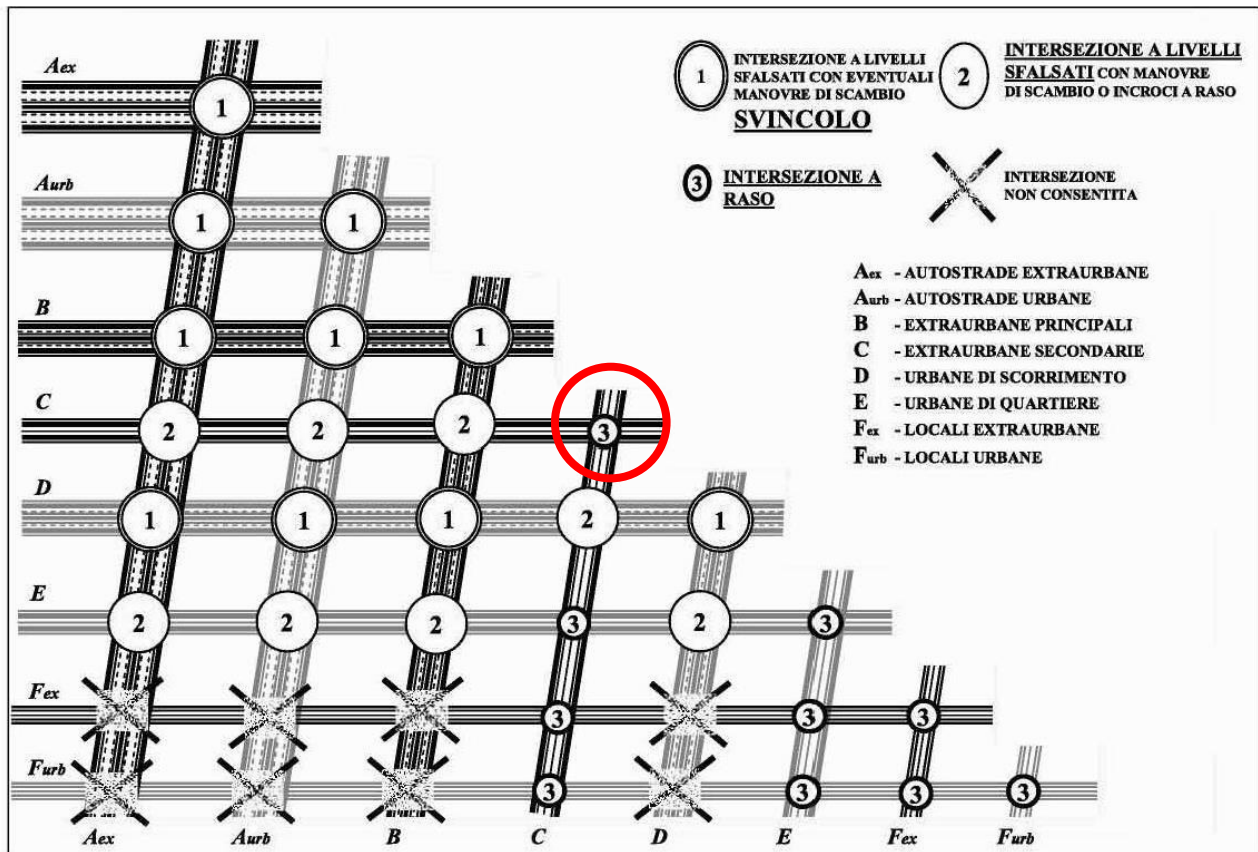


Figura 3 - Organizzazione delle reti stradali e definizione delle intersezioni ammesse (come livelli minimi).

La SR104 e la strada di collegamento con il casello sono entrambe strade di tipo C extraurbane secondarie i cui punti di conflitto possono essere risolti con un'intersezione a raso e, nel caso specifico qui presentato i punti di intersezione sono eliminati mediante la realizzazione di una rotatoria.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano la Normativa vigente e le linee guida utilizzate per la stesura della presente relazione tecnica:

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 19.04.2006, '*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*'
- Decreto Ministeriale, 05.11.2001, '*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*'
- Decreto Legislativo n.285, 30.04.1992, '*Codice della Strada e Regolamento di attuazione ed esecuzione*'
- Linee guida della Provincia di Padova D.G.P. n.389, 28/07/2003, '*Linee guida per la progettazione e la verifica delle intersezioni a rotatoria*'
- Linee guida Zone 30 della Regione Piemonte, 06.2007, '*Linee guida 19 Le Rotatorie*'
- Linee guida Zone di Intersezione della Regione Lombardia D.G.R. 7/20829, 16.02.2005

PROGETTO

La bretella di collegamento al nuovo casello di Monselice confluirà sulla S.R.104 all'altezza della progressiva chilometrica 1; al fine di risolvere l'intersezione che verrà a crearsi è stata progettata una rotatoria di diametro esterno pari a m.80,00.

L'ambito è quello extraurbano e la presenza di traffico pesante è consistente, per questo motivo il peso dato ad esso nell'analisi svolta successivamente è maggiore rispetto a quanto prevede la procedura.

La rotatoria avrà n.6 bracci confluenti: n.2 della S.R.104, n.1 della bretella autostradale e n.3 della viabilità locale; il traffico veicolare proveniente dalla viabilità locale, via Muraglie e via Basse, è da ritenersi ininfluenza in quanto si tratta di strade di collegamento a poche unità residenziali.

Inserimento e forma della rotatoria

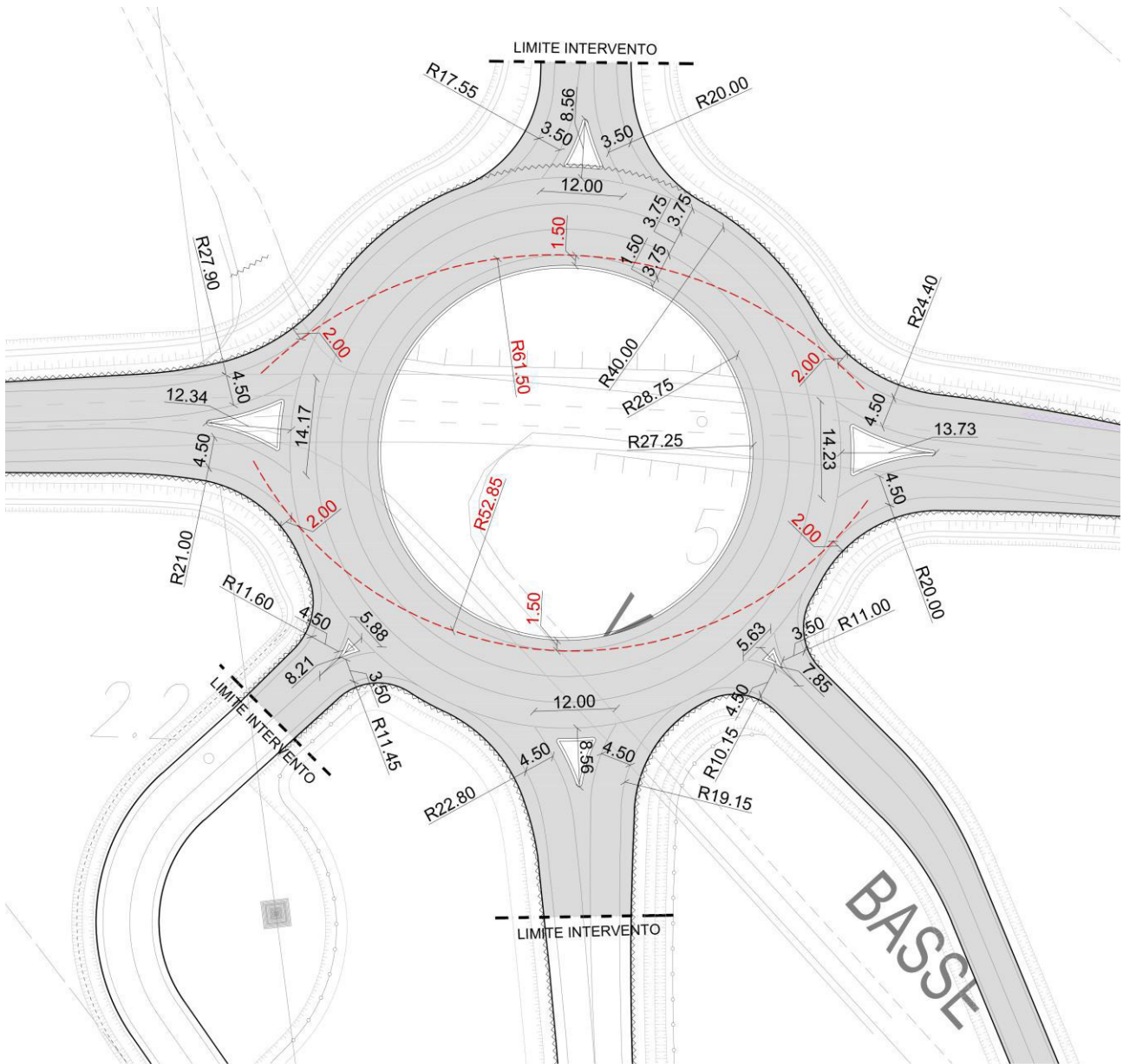
Il progetto posiziona il centro la rotatoria lungo l'asse della direttrice est-ovest ovvero la S.R.104 in prossimità dell'intersezione con via Muraglie e via Basse; l'asse della direttrice principale sarà perpendicolare all'asse della bretella autostradale.

Caratteristiche geometriche

Lo stato rilevato mostra che la larghezza della sede stradale asfaltata della S.R.104 è di circa m.10,50 con affiancate banchine di larghezza di larghezza variabile.

Le caratteristiche geometriche della rotatoria sono:

- Raggio esterno m. 40;
- Larghezza anello m. 11,25;
- Banchina interna/esterna anello m. 1,5;
- Banchina esterne corsie di ingresso-uscita m. 2;
- Banchina interna corsie di ingresso-uscita m. 1,5;
- Raggio isola centrale m. 27,25;
- Larghezza entrata strade locali come da D.M. 19.04.06 m. 3,50;
- Larghezza entrata SR104 come richiesto da Veneto Strade SpA m. 4,50;
- Larghezza uscita strade locali come da D.M. 19.04.06 m. 4,50;
- Larghezza uscita SR104 come richiesto da Veneto Strade SpA m. 4,50;
- Raggio entrata min. m. 11,00 – max m. 24,40;
- Larghezza isole separatrici min. m. 5,60 - max m. 14,20;
- Lunghezza isole separatrici min. m. 7,85 – max. m. 13,75;
- Raggio uscita min. m. 10,15 max m. 27,90;
- Raggio di deflessione su ingresso opposto max. m. 61,50;
- Pendenza verso l'esterno compresa tra 1,5%÷2,5%.



Planimetria rotatoria SR104, caratteristiche geometriche

VERIFICA DELLA CAPACITÀ E INDIVIDUAZIONE DEL LIVELLO DI SERVIZIO

Introduzione

Il D.M. 19.04.2006 diversifica le intersezioni a rotatoria in base al diametro della circonferenza esterna in tre tipologie:

- Mini rotatorie con diametro compreso tra 14 e 25 m;
- Rotatorie compatte con diametro compreso tra 25 e 40 m;
- Rotatorie convenzionali con diametro compreso tra 40 e 50 m.

La Norma vigente afferma inoltre *'Per sistemazioni con circolazione rotatoria che non rientrano nelle tipologie su esposte, il dimensionamento e la composizione geometrica debbono essere definiti con il metodo dei tronchi di scambio tra due bracci contigui.'*

Di conseguenza si è proceduto con la verifica della rotatoria in oggetto utilizzando la metodologia dei tronchi di scambio proposta nell'High Capacity Manual 2000.

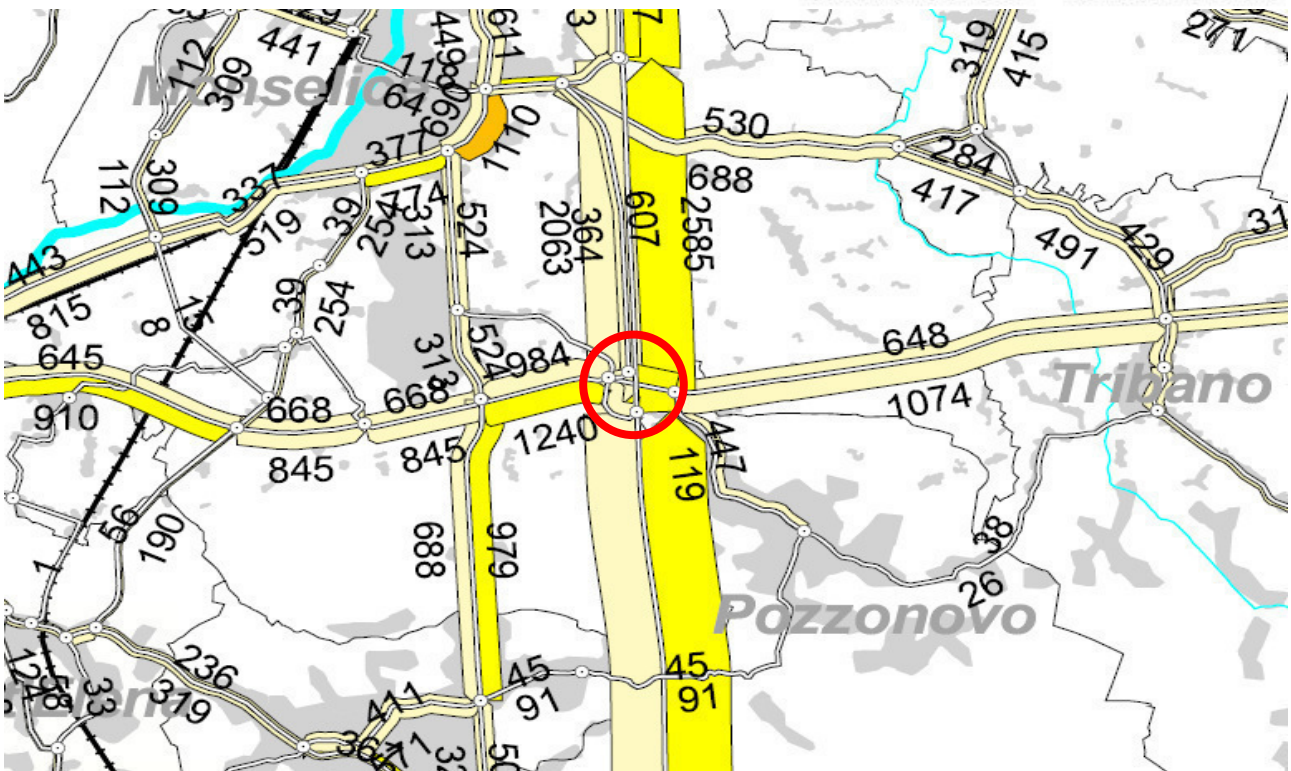
Flussi veicolari

La geometria di progetto della rotatoria prevede n. 6 bracci confluenti nella corona ma visto il traffico esiguo su tre di essi, via Muraglie via Basse e la via locale di nuova realizzazione, nel calcolo del Livello di Servizio non si è tenuto conto della loro presenza perché il flusso veicolare prodotto può ritenersi pari a zero. Si è quindi considerata un'intersezione a rotatoria con n. 3 bracci confluenti: il braccio della SR104 proveniente da Monselice, il braccio proveniente dal casello autostradale e, il braccio della SR104 proveniente da Chioggia.

Con riferimento ai dati forniti dal Piano Provinciale della Viabilità, in particolare dalla *'Valutazione dello scenario completo con assegnazione dei flussi di traffico sulla rete stradale al 2020'*, si può stimare che, allo stato attuale di progetto, il traffico equivalente entrante complessivo nelle ore di punta è:

- S.R.104 dir. Chioggia 1240 veq
- S.R.104 dir. Monselice 648 veq

I dati del Piano sono già comprensivi dell'ipotesi di aumento dei flussi derivante dalla realizzazione del casello Monselice Sud come si vede in figura.



Nello scenario provinciale inoltre, è stato considerato anche il traffico veicolare generato dalla realizzazione del Polo Agroindustriale 'Agrologic', non si è quindi ritenuto necessario aumentare ulteriormente il flusso in gioco.

Per quanto riguarda invece i dati sul traffico inerenti il casello, ci si è basati sulle stime fornite dalla Società Spea Engineering S.p.A. per conto di Autostrade per l'Italia che tengono in considerazione le opere di ampliamento della terza corsia autostradale e la realizzazione del casello proiettate all'anno 2040.

Scenario progettuale							
Casello	Dir	T					
		2025		2035		2040	
		ingr	usc	ingr	usc	ingr	usc
Monselice NEW.	PD	530	106	594	124	601	122
Monselice NEW.	BO	151	239	141	260	133	270
Totale flussi						734	392

I valori di carico veicolare considerati sono stati stimati e simulati per l'ora di punta mattutina del giorno feriale espressi in veicoli equivalenti (Veq).

Metodologia High Capacity Manual 2000

La procedura descritta nel HCM 2000 per la progettazione dei tronchi di scambio deriva dalla fusione e integrazione di più fonti e studi condotti negli Stati Uniti a partire dagli anni '70, tuttavia presenta dei limiti di applicazione che richiedono modifiche e adattamenti da parte dell'analista, alcuni casi studio infatti, non sono specificatamente compresi nella manualistica:

- corsie speciali nel tronco di scambio
- misurazione della rampa di ingresso nel caso in cui questa sia parte del tronco di scambio
- condizioni operative specifiche quando si verificano condizioni di sovrasaturazione
- effetti dei limiti di velocità sulle operazioni del tronco di scambio
- effetti della tecnologia a trasporto intelligente sui tronchi di scambio
- tronchi di scambio sulle strade urbane
- tronchi di scambio multipli

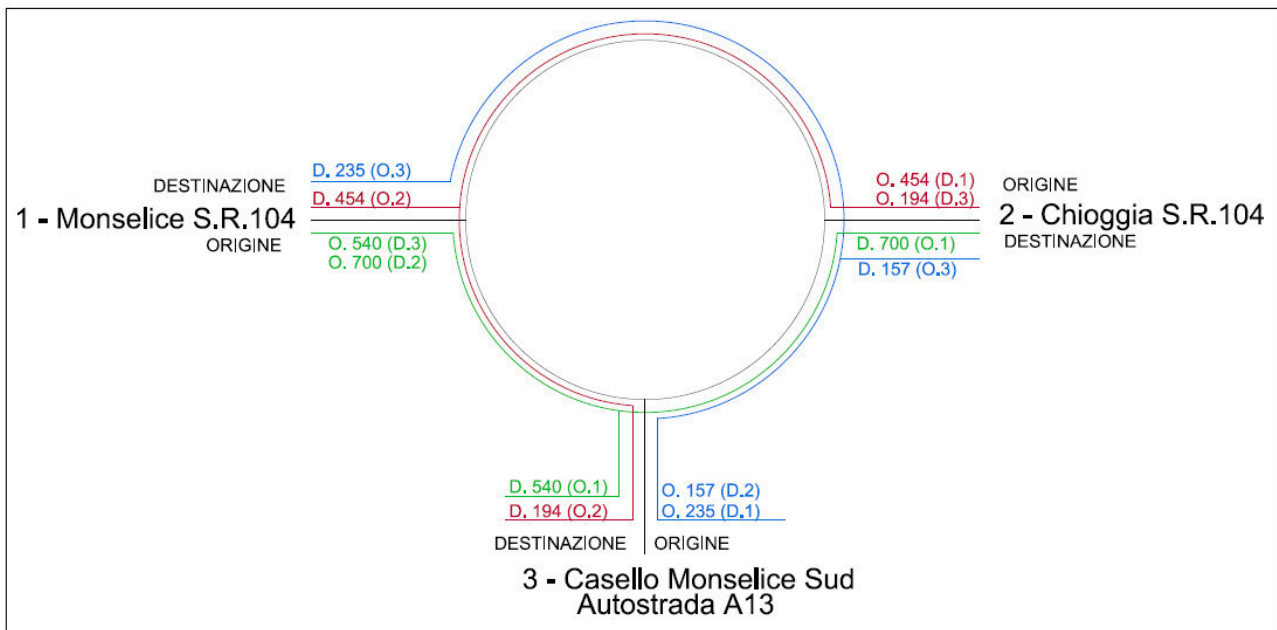
La metodologia qui presentata si rifà passo passo a quella del HCM che si scompone nelle seguenti cinque componenti principali riassuntive.

- modelli che prevedono la velocità media di scorrimento dei veicoli scambianti e non, i modelli sono specifici per ogni tipo di configurazione dello scambio e per operazioni vincolate e non
- modelli che descrivono l'uso delle corsie da parte dei veicoli scambianti e non per determinare se le operazioni sono vincolate oppure no
- un algoritmo che converte le velocità previste in densità media
- definizione del Livello di Servizio LOS basato sulla densità all'interno del tronco di scambio
- un modello per la determinazione della capacità del tronco di scambio

Verifica funzionale e geometrica del tronco di scambio tra:

- 1. il braccio della SR104 proveniente da Monselice**
- 3. il braccio proveniente dal casello autostradale.**

Il punto di partenza prevede l'individuazione e la successiva scomposizione dei flussi di traffico in base alle previsioni di destinazione dei veicoli circolanti all'interno dell'intersezione.

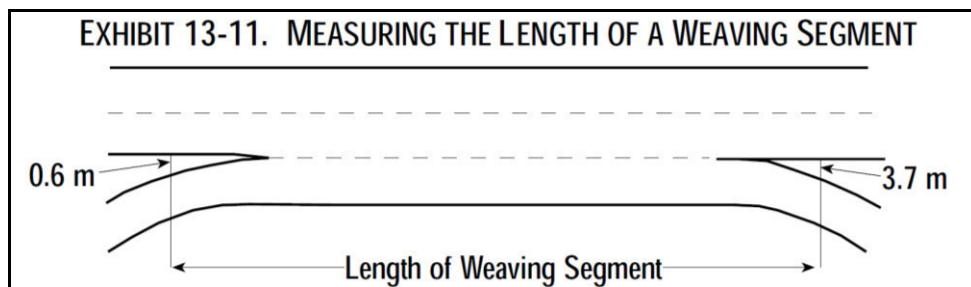


Successivamente si identificano alcuni parametri derivanti dalla geometria della rotatoria:

- il numero totale di corsie all'interno dei tronchi di scambio:

$$\mathbf{N = 3}$$

- la lunghezza del tratto di scambio:



$$\mathbf{L = 61\ m}$$

- tipo di configurazione dell'intersezione: la configurazione del tronco si basa sul numero minimo di cambi di corsia richiesti da ogni movimento di scambio. Esistono tre differenti configurazioni, come si vede in Tabella, date dal numero di variazioni di corsia effettuate da ciascun flusso.

Number of Lane Changes Required by Movement v_{w1}	Number of Lane Changes Required by Movement v_{w2}		
	0	1	≥ 2
0	Type B	Type B	Type C
1	Type B	Type A	N/A
≥ 2	Type C	N/A	N/A

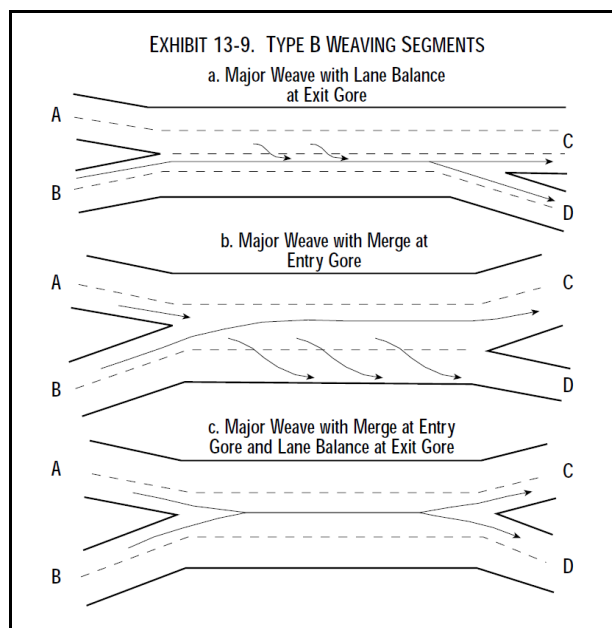
Note:
 N/A = not applicable; configuration is not feasible.

La configurazione di Tipo A è caratterizzata dall'obbligo di effettuare un cambio di corsia da parte di ogni flusso scambiante di veicoli per completare la manovra.

Il Tipo B è rappresentato da un flusso di veicoli che può terminare la manovra senza effettuare la variazione di corsia mentre l'altro flusso scambiante deve compiere un cambio.

Il Tipo C è contrassegnato da un flusso di veicoli che può terminare la manovra senza effettuare lo scambio di corsia mentre l'altro flusso scambiante deve compiere almeno due variazioni di corsia per completare la manovra.

Date le definizioni sopra riportate, si è deciso di assegnare al caso oggetto di studio la configurazione di Tipo B, i cui schemi di flussi scambianti sono riportati nella Tabella seguente.



Tutti i tronchi di scambio di **Tipo B** rientrano nella tipologia in cui gli scambi hanno almeno 3 bracci di ingresso e uscita a corsie multiple ed è la corsia in cui scambiano i veicoli che caratterizza questa tipologia: uno scambio può essere fatto senza alcun cambio di corsia mentre l'altro movimento richiede al massimo un cambio di corsia. Nel caso specifico chi è dentro l'anello, se percorre la corsia più esterna e deve uscire per il casello non è obbligato a cambiare corsia mentre chi proviene da Monselice è obbligato ad entrare nella rotatoria cambiando corsia.

- Tipo di terreno: **Pianeggiante**

Tutti i modelli di calcolo del Manuale si basano sulle Portate di Flusso considerate in un Picco di 15 min. per autovetture equivalenti all'ora; è quindi necessario convertire il Volume orario in questa unità di misura utilizzando la seguente formula:

$$v = \frac{V}{PHF * f_{HV} * f_p} \quad (24-1)$$

where

- v = peak 15-min flow rate in an hour (pc/h),
- V = hourly volume (veh/h),
- f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor (from basic freeway segment or multilane highway methodology), and
- f_p = driver population factor (from basic freeway segment or multilane highway methodology).

Dove:

V = 1434 Volume orario

PHF = 0.88 Peak Hour Factor, nelle aree extraurbane come da Tabella seguente

Factor	Area	
	Urban	Rural
PHF	0.92	0.88
K	0.09	0.10
D	0.60	0.60

f_{HV} = Heavy-vehicle adjustment factor, espressione di una serie di parametri come da equazione seguente:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (23-3)$$

where

E_T, E_R = passenger-car equivalents for trucks/buses and recreational vehicles (RVs) in the traffic stream, respectively;

P_T, P_R = proportion of trucks/buses and RVs in the traffic stream, respectively; and

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor.

in cui **$E_T = 1.5$** Fattore equivalente per bus e camion, definito dalla Tabella seguente:

Factor	Type of Terrain		
	Level	Rolling	Mountainous
E_T (trucks and buses)	1.5	2.5	4.5
E_R (RVs)	1.2	2.0	4.0

$P_T = 20\% = 0.2$ Percentuale di camion e bus nel flusso di traffico. In questo specifico caso si è scelta questa quantità, invece del 10% previsto dal Manuale visto che l'intervento si trova al di fuori dell'ambito urbano e data la vicinanza delle zone industriali di Monselice, Pozzonovo e Tribano

I parametri **P_R e $E_R = 0$** sono considerati nulli perché fanno riferimento ai veicoli ricreativi (camper e roulotte) che nel caso studio specifico sono ritenuti ininfluenti.

A questo punto si ricava:

$f_{HV} = 0.91$

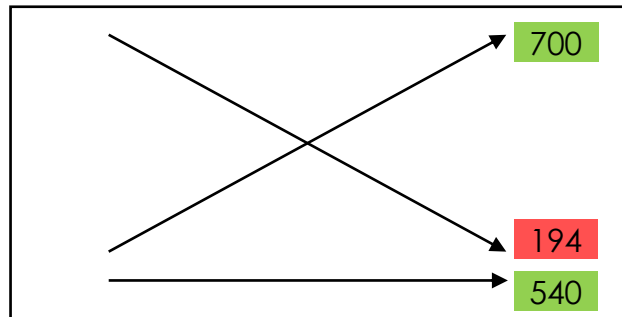
$f_p = 1$ Fattore di popolazione automobilista pari a 1 come da Manuale

Dalla (24-1) si ricava ora:

$v = 1793$

Ora che il Volume è stato convertito in portata di picco, si può disegnare il Diagramma di scambio per rendere più agevole e di immediata comprensione le fasi successive. Il Diagramma che rappresenta in maniera simbolica i flussi che scambiano e quelli che non scambiano, servirà come riferimento per l'inserimento dei dati richiesti nell'applicazione della metodologia utilizzata per il

dimensionamento delle intersezioni con il Principio di scambio e illustrata in questa relazione.



Come si può vedere dallo schema, i flussi di traffico nel tratto di scambio considerato vengono divisi in quattro: i due flussi che scambiano, chi proviene da Monselice (verde) e chi proviene da Chioggia (rosso) e i due flussi, provenienti dalle stesse origini, che non scambiano; nel caso specifico il flusso non scambiante proveniente da Chioggia è nullo in quanto il caso studiato è un'intersezione a 3 bracci e nelle ipotesi iniziali tutti i veicoli entranti da un braccio si ripartiscono uscendo, nei restanti bracci di destinazione.

Il cuore dell'analisi dei tronchi di scambio è la misurazione della velocità media di scorrimento dei flussi scambianti e non scambianti all'interno del tronco di scambio. Le due velocità sono distinte e calcolate separatamente perché date certe condizioni, possono presentarsi in maniera molto difforme tra loro e lo studio in opera deve tenerne conto.

Si tratta di una predizione di calcolo effettuata mediante la formula seguente:

$$S_i = S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{1 + W_i} \quad (24-2)$$

where

- S_i = average speed of weaving ($i = w$) or nonweaving ($i = nw$) vehicles (km/h),
- S_{min} = minimum speed expected in a weaving segment (km/h),
- S_{max} = maximum speed expected in a weaving segment (km/h), and
- W_i = weaving intensity factor for weaving ($i = w$) and nonweaving ($i = nw$) flows.

Secondo quanto riportato nel Manuale HCM la S_{min} , ovvero la minima velocità di scorrimento, può essere impostata a 24 km/h mentre la S_{max} è considerata come

la velocità media di scorrimento nei tratti antecedenti e successivi il tronco di scambio incrementata di 8 km/h. Tale incremento adegua la tendenza dell'algoritmo di sottostimare le alte velocità. Nella presente relazione la velocità media di percorrenza della rotatoria può essere stimata in 40 km/h.

Date le ultime considerazioni la (24-2) diventa:

$$S_i = 24 + \frac{S_{FF} - 16}{1 + W_i} \quad (24-3)$$

Le stime iniziali della velocità sono sempre basate sull'ipotesi di manovre non vincolate che successivamente verranno verificate ed eventualmente le velocità di scorrimento saranno rettificata tenendo in considerazione le manovre vincolate. L'osservazione delle due equazioni precedenti porta alla luce alcune consistenti sensibilità relative alle manovre osservate all'interno dei segmenti di scambio:

- con l'aumentare della lunghezza del tratto di scambio, incrementa anche la velocità e diminuisce l'intensità delle variazioni di corsia
- con l'aumentare del rapporto tra veicoli scambianti e flusso totale VR, la velocità diminuisce dovuto all'incremento della turbolenza causata dal rapporto maggiore tra il flusso scambiante e quello totale
- con l'aumentare del flusso totale medio v/N , la velocità decresce rispecchiando una più intensa richiesta
- le manovre vincolate portano ad una velocità di scambio minore e una maggiore velocità di non scambio per le manovre non vincolate poiché i veicoli che richiedono lo scambio hanno a disposizione un minore spazio di quello che richiederebbe la situazione di equilibrio mentre i veicoli non scambianti hanno, al contrario, più spazio di quello che il livello di equilibrio necessita.

Tornando alla formula (24-3), la W indica il fattore di intensità dello scambio che si diversifica per i flussi scambianti e quelli non scambianti. Il parametro viene calcolato in base alla seguente equazione:

EXHIBIT 24-6. CONSTANTS FOR COMPUTATION OF WEAVING INTENSITY FACTORS								
General Form								
$W = \frac{a(1+VR)^b \left(\frac{v}{N}\right)^c}{(3.28L)^d}$								
	Constants for Weaving Speed, S_w				Constants for Nonweaving Speed, S_{nw}			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Type A Configuration								
Unconstrained	0.15	2.2	0.97	0.80	0.0035	4.0	1.3	0.75
Constrained	0.35	2.2	0.97	0.80	0.0020	4.0	1.3	0.75
Type B Configuration								
Unconstrained	0.08	2.2	0.70	0.50	0.0020	6.0	1.0	0.50
Constrained	0.15	2.2	0.70	0.50	0.0010	6.0	1.0	0.50
Type C Configuration								
Unconstrained	0.08	2.3	0.80	0.60	0.0020	6.0	1.1	0.60
Constrained	0.14	2.3	0.80	0.60	0.0010	6.0	1.1	0.60

Dove:

VR = 0.50 Rapporto veicoli scambianti/flusso totale

v/N = 598 Flusso totale medio

In base alla Tabella sopraesposta si trovano i valori delle costanti per i flussi scambianti in base al tipo di configurazione ipotizzando manovre non vincolate:

a = 0.08

b = 2.2

c = 0.7

d = 0.5

Si può ora calcolare il fattore di intensità dello scambio per i flussi scambianti in base alla formula di cui sopra:

W_w = 1.21

Sempre dalla Tabella si ricavano le costanti per i flussi non scambianti:

a = 0.002

b = 6

c = 1

d = 0.5

Da cui:

W_{nw} = 0.96

Dalla Tabella delle costanti per il calcolo del fattore di intensità dello scambio si ricavano alcune importanti considerazioni in merito alla diversificazione delle tipologie di intersezione:

- la configurazione di Tipo B è quella più efficiente per la gestione di grandi flussi di traffico. Le velocità di scambio sono maggiori rispetto ai Tipi A e C di uguale lunghezza e larghezza
- la soggettività della velocità in relazione alla lunghezza è maggiore per il tipo A perché i veicoli scambianti sono in accelerazione/decelerazione mentre attraversano il segmento di scambio
- la soggettività della velocità di non scambio in relazione al rapporto tra veicoli scambianti e flusso totale VR è maggiore per i Tipi B e C perché queste configurazioni possono gestire maggiori quantità di veicoli scambianti e perché hanno una corsia di attraversamento per la manovra di scambio, inoltre è più probabile che i veicoli non scambianti condividano la corsia con quelli che scambiano rispetto alla configurazione di Tipo A dove la probabilità di confinamento è maggiore

L'ultimo punto evidenzia la differenza essenziale tra il Tipo A e le altre configurazioni: nel primo caso, i veicoli scambianti devono attraversare una corsia lungo lo scambio e tendono a concentrarsi sulle due linee adiacenti quella di scambio mentre i veicoli non scambianti, gravitano sulle corsie esterne. Questa tipologia porta ad una segregazione maggiore tra i due tipi di flusso.

La velocità dei Tipi A è solitamente più alta dei Tipi B e C date la stessa lunghezza, larghezza e portata dei flussi, tuttavia questo non significa che la configurazione A funzioni in maniera migliore poiché gli scambi di Tipo A hanno restrizioni più severe riguardo il traffico scambiante rispetto a quello gestito dalle rimanenti configurazioni.

Tornando alla verifica di funzionalità della rotatoria, si possono ora ricavare le velocità medie di scorrimento dei flussi scambianti e non, tramite la formula (24-3).

Riassumendo:

$S_{min} = 24 \text{ km/h}$

$S_{FF} = S_{max} = 48 \text{ km/h}$

$W_w = 1.21$

$W_{nw} = 0.96$

$S_w = 38.50 \text{ km/h}$

$S_{nw} = 40 \text{ km/h}$

Il prossimo paragrafo riguarda la determinazione del tipo di manovra, se vincolata o no, in base alla comparazione di due variabili: Il numero di corsie N_w che devono essere utilizzate dai veicoli scambianti per raggiungere l'equilibrio o la manovra senza vincoli e, il massimo numero di corsie $N_{w(max)}$ che possono essere usate dai veicoli scambianti per una data configurazione. Dal confronto dei due parametri si ottengono due possibilità:

- se $N_w < N_{w(max)}$ le manovre possono ritenersi non vincolate poiché non essitono impedimenti per i flussi scambianti ad utilizzare il numero di corsie richieste per ottenere il livello di equilibrio
- se $N_w \geq N_{w(max)}$ i veicoli che scambiano sono costretti ad utilizzare il numero massimo $N_{w(max)}$ di corsie e di conseguenza non possono occupare la maggior parte di carreggiata necessaria ad ottenere l'equilibrio.

Il calcolo dei suddetti paramentri si effettua tramite la formula sottoindicata relativa alla configurazione di Tipo B:

EXHIBIT 24-7. CRITERIA FOR UNCONSTRAINED VERSUS CONSTRAINED OPERATION OF WEAVING SEGMENTS		
Configuration	Number of Lanes Required for Unconstrained Operation, N_w	$N_{w(max)}$
Type A	$1.21(N) VR^{0.571} L^{0.234} / S_w^{0.438}$	1.4
Type B	$N[0.085 + 0.703VR + (71.57/L) - 0.0112(S_{nw} - S_w)]$	3.5
Type C	$N[0.761 + 0.047VR - 0.00036L - 0.0031(S_{nw} - S_w)]$	3.0 ^a

Note:
a. For two-sided weaving segments, all freeway lanes may be used by weaving vehicles.

Quindi risulta essere:

$N_w = 4.77$

$N_{w(max)} = 3.5$

dato che $N_w \geq N_{w(max)}$ allora è necessario ricalcolare il fattore di intensità dello scambio W e le velocità medie di scorrimento tenendo conto, nell'individuazione delle costanti in Tabella 24-6, che ci si trova in una situazione di manovra vincolata, di conseguenza:

Flussi scambiati	Flussi non scambiati
$a = 0.15$	$a = 0.001$
$b = 2.2$	$b = 6$
$c = 0.7$	$c = 1$
$d = 0.5$	$d = 0.5$
$W_w = 2.27$	$W_{nw} = 0.48$
$S_w = 34$	$S_{nw} = 45.50$

La corsia di scambio nella configurazione di Tipo B fornisce una maggiore occupazione delle corsie da parte dei veicoli che scambiano, inoltre in questa tipologia l'aumento della lunghezza ha conseguenze minori sulla velocità di scambio.

A questo punto, stabilito il tipo di manovra, vincolata e, calcolate le velocità di scorrimento, si determina la velocità media di scorrimento di tutti i veicoli all'interno del segmento di scambio tramite l'equazione:

$$S = \frac{v}{\left(\frac{v_w}{S_w}\right) + \left(\frac{v_{nw}}{S_{nw}}\right)} \quad (24-5)$$

where

- S = space mean speed of all vehicles in the weaving segment (km/h),
- S_w = space mean speed of weaving vehicles in the weaving segment (km/h),
- S_{nw} = space mean speed of nonweaving vehicles in the weaving segment (km/h),
- v = total flow rate in the weaving segment (pc/h),
- v_w = weaving flow rate in the weaving segment (pc/h), and
- v_{nw} = nonweaving flow rate in the weaving segment (pc/h).

Quindi risulta:

S = 47 km/h

Ora tramite i valori fin qui calcolati si può specificare la densità totale all'interno del tratto di scambio con la formula:

$$D = \frac{\left(\frac{V}{N}\right)}{S} \quad (24-6)$$

where D is the average density for all vehicles in the weaving segment (pc/km/ln).

Facendo i calcoli:

D = 12.72

Concludendo, ora che tutti i parametri e le variabili in gioco sono state calcolate, è possibile attribuire all'intersezione oggetto di studio della presente, il Livello di Servizio LOS adeguato basandosi sulla densità quantificata precedentemente.

EXHIBIT 24-2. LOS CRITERIA FOR WEAVING SEGMENTS		
LOS	Density (pc/km/ln)	
	Freeway Weaving Segment	Multilane and Collector-Distributor Weaving Segments
A	≤ 6.0	≤ 8.0
B	> 6.0–12.0	> 8.0–15.0
C	> 12.0–17.0	> 15.0–20.0
D	> 17.0–22.0	> 20.0–23.0
E	> 22.0–27.0	> 23.0–25.0
F	> 27.0	> 25.0

Dalla tabella risulta quindi:

LOS = B

Il Livello di Servizio è quel criterio di giudizio utilizzato per valutare il grado di qualità del flusso totale all'interno del tronco di scambio, tuttavia gli studi effettuati sottolineano che in determinate condizioni, ad esempio quelle di manovre vincolate, i veicoli non scambianti possono raggiungere una qualità maggiore delle manovre rispetto ai veicoli non scambianti.

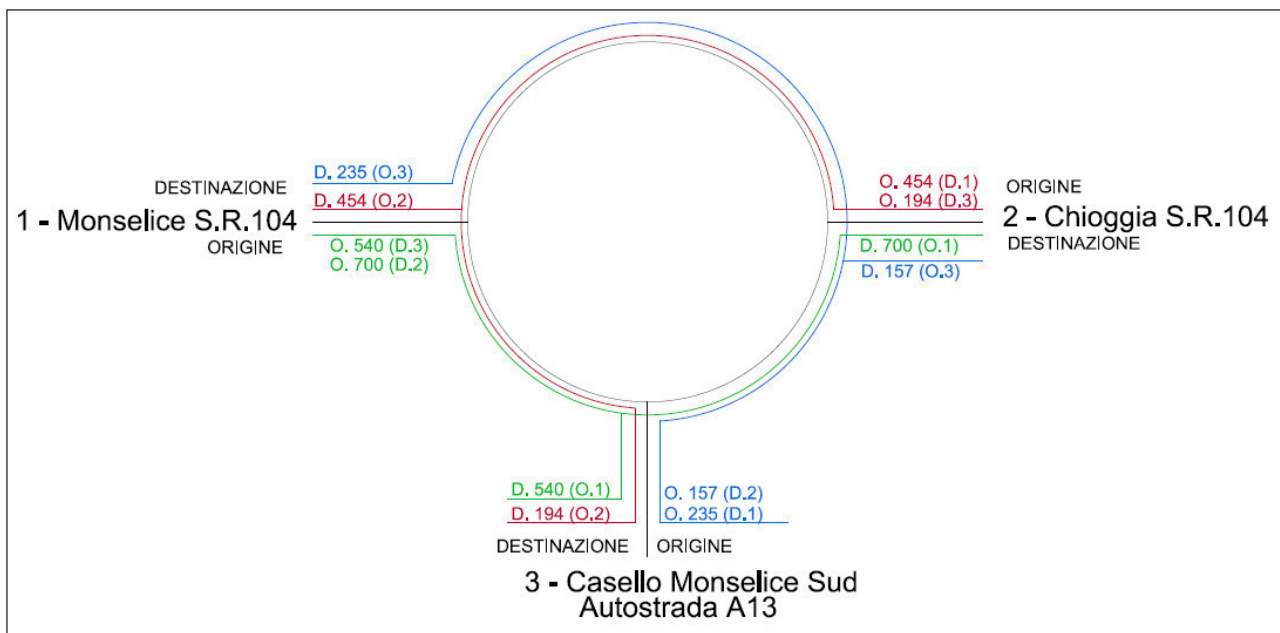
Si procederà ora alla verifica dei restanti tronchi di scambio con la medesima procedura fin qui illustrata procedendo in maniera più sintetica.

Verifica funzionale e geometrica del tronco di scambio tra:

3. il braccio proveniente dal casello autostradale

2. il braccio della SR104 proveniente da Chioggia

Si procede con l'individuazione e la successiva scomposizione dei flussi di traffico in base alle previsioni di destinazione dei veicoli circolanti all'interno dell'intersezione.



Successivamente si identificano alcuni parametri derivanti dalla geometria della rotatoria:

- il numero totale di corsie all'interno dei tronchi di scambio:

$$\mathbf{N = 3}$$

- la lunghezza del tratto di scambio:

$$\mathbf{L = 54 \text{ m}}$$

- tipo di configurazione dell'intersezione:

Tipo B

- Tipo di terreno:

Pianeggiante

Tutti i modelli di calcolo del Manuale si basano sulle Portate di Flusso considerate in un Picco di 15 min. per autovetture equivalenti all'ora; è quindi necessario convertire il Volume orario in questa unità di misura utilizzando la formula (24-1):

$$v = \frac{V}{PHF * f_{HV} * f_p} \quad (24-1)$$

where

- v = peak 15-min flow rate in an hour (pc/h),
- V = hourly volume (veh/h),
- f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor (from basic freeway segment or multilane highway methodology), and
- f_p = driver population factor (from basic freeway segment or multilane highway methodology).

Dove:

V = 1092 Volume orario

PHF = 0.88 Peak Hour Factor, nelle aree extraurbane

f_{HV} = Heavy-vehicle adjustment factor, espressione di una serie di parametri tra cui:

E_T = 1.5 Fattore equivalente per bus e camion

P_T = 20% = 0.2 Percentuale di camion e bus nel flusso di traffico.

I parametri **P_R e E_R = 0** sono considerati nulli perché fanno riferimento ai veicoli ricreativi (camper e roulotte) che nel caso studio specifico sono ritenuti ininfluenti.

A questo punto si ricava:

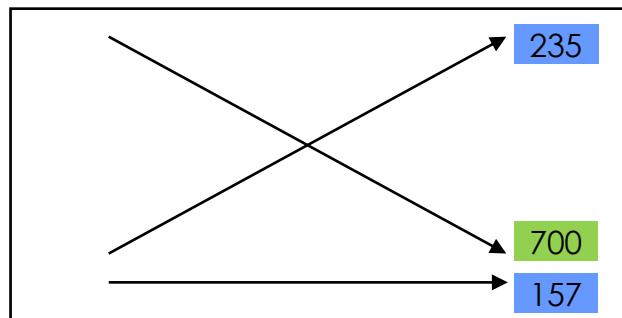
f_{HV} = 0.91

f_p = 1 Fattore di popolazione automobilista pari a 1 come da Manuale

Dalla (24-1) si ricava ora:

v = 1365

Ora che il Volume è stato convertito in portata di picco, si può disegnare il Diagramma di scambio per rendere più agevole e di immediata comprensione le fasi successive. Il Diagramma che rappresenta in maniera simbolica i flussi che scambiano e quelli che non scambiano, servirà come riferimento per l'inserimento dei dati richiesti nell'applicazione della metodologia utilizzata per il dimensionamento delle intersezioni con il Principio di scambio e illustrata in questa relazione.



Come si può vedere dallo schema, i flussi di traffico nel tratto di scambio considerato vengono divisi in quattro: i due flussi che scambiano, chi proviene da Monselice (verde) e chi proviene dal casello (blu) e i due flussi, provenienti dalle stesse origini, che non scambiano; nel caso specifico il flusso non scambiante proveniente da Monselice è nullo in quanto il caso studiato è un'intersezione a 3 bracci e nelle ipotesi iniziali tutti i veicoli entranti da un braccio si ripartiscono uscendo, nei restanti bracci di destinazione.

Il cuore dell'analisi dei tronchi di scambio è la misurazione della velocità media di scorrimento dei flussi scambianti e non scambianti all'interno del tronco di scambio. Le due velocità sono distinte e calcolate separatamente tramite una predizione di calcolo effettuata mediante la formula (24-2).

Ricordando che, secondo quanto riportato nel Manuale HCM la S_{min} , ovvero la minima velocità di scorrimento, può essere impostata a 24 km/h mentre la S_{max} è considerata come la velocità media di scorrimento nei tratti antecedenti e successivi il tronco di scambio incrementata di 8 km/h. Nella presente relazione la velocità media di percorrenza della rotatoria può essere stimata in 40 km/h.

Date le ultime considerazioni la (24-2) diventa:

$$S_i = 24 + \frac{S_{FF} - 16}{1 + W_i} \quad (24-3)$$

Le stime iniziali della velocità sono sempre basate sull'ipotesi di manovre non vincolate che successivamente verranno verificate ed eventualmente le velocità di scorrimento saranno rettificare tenendo in considerazione le manovre vincolate.

Tornando alla formula (24-3), la W indica il fattore di intensità dello scambio che si diversifica per i flussi scambiati e quelli non scambiati. Il parametro viene calcolato in base alla seguente equazione:

EXHIBIT 24-6. CONSTANTS FOR COMPUTATION OF WEAVING INTENSITY FACTORS								
General Form								
$W = \frac{a(1+VR)^b \left(\frac{v}{N}\right)^c}{(3.28L)^d}$								
	Constants for Weaving Speed, S_w				Constants for Nonweaving Speed, S_{nw}			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Type A Configuration								
Unconstrained	0.15	2.2	0.97	0.80	0.0035	4.0	1.3	0.75
Constrained	0.35	2.2	0.97	0.80	0.0020	4.0	1.3	0.75
Type B Configuration								
Unconstrained	0.08	2.2	0.70	0.50	0.0020	6.0	1.0	0.50
Constrained	0.15	2.2	0.70	0.50	0.0010	6.0	1.0	0.50
Type C Configuration								
Unconstrained	0.08	2.3	0.80	0.60	0.0020	6.0	1.1	0.60
Constrained	0.14	2.3	0.80	0.60	0.0010	6.0	1.1	0.60

Dove:

VR = 0.68 Rapporto veicoli scambiati/flusso totale

v/N = 455 Flusso totale medio

In base alla Tabella sopraesposta si trovano i valori delle costanti per i flussi scambiati in base al tipo di configurazione ipotizzando manovre non vincolate:

a = 0.08

b = 2.2

c = 0.7

d = 0.5

Si può ora calcolare il fattore di intensità dello scambio per i flussi scambianti in basse alla formula di cui sopra:

$$\underline{W_w = 1.37}$$

Sempre dalla Tabella si ricavano le costanti per i flussi non scambianti:

$$\underline{a = 0.002}$$

$$\underline{b = 6}$$

$$\underline{c = 1}$$

$$\underline{d = 0.5}$$

Da cui:

$$\underline{W_{nw} = 1.54}$$

Procedendo con la verifica di funzionalità della rotatoria, si possono ora ricavare le velocità medie di scorrimento dei flussi scambianti e non, tramite l'espressione prima presentata (24-3).

Riassumendo:

$$\underline{S_{min} = 24 \text{ km/h}}$$

$$\underline{S_{FF} = S_{max} = 48 \text{ km/h}}$$

$$\underline{W_w = 1.37}$$

$$\underline{W_{nw} = 1.54}$$

$$\underline{S_w = 37.50 \text{ km/h}}$$

$$\underline{S_{nw} = 36.50 \text{ km/h}}$$

Successivamente si passa alla determinazione del tipo di manovra, se vincolata o no, in base alla comparazione di due variabili: Il numero di corsie N_w che devono essere utilizzate dai veicoli scambianti per raggiungere l'equilibrio o la manovra senza vincoli e, il massimo numero di corsie $N_{w(max)}$ che possono essere usate dai veicoli scambianti per una data configurazione. Dal confronto dei due parametri si ottengono due possibilità:

- se $N_w < N_{w(max)}$ le manovre possono ritenersi non vincolate
- se $N_w \geq N_{w(max)}$ i veicoli che scambiano sono costretti ad utilizzare il numero massimo $N_{w(max)}$ di corsie.

Il calcolo dei suddetti paramentri si effettua tramite la formula della tabella 24-7 soprariportata, relativa alla configurazione di Tipo B. Quindi risulta essere:

$N_w = 5.64$

$N_{w(max)} = 3.5$

dato che $N_w \geq N_{w(max)}$ allora è necessario ricalcolare il fattore di intensità dello scambio W e le velocità medie di scorrimento tenendo conto, nell'individuazione delle costanti in Tabella 24-6, che ci si trova in una situazione di manovra vincolata, di conseguenza:

Flussi scambiati	Flussi non scambiati
$a = 0.15$	$a = 0.001$
$b = 2.2$	$b = 6$
$c = 0.7$	$c = 1$
$d = 0.5$	$d = 0.5$
$W_w = 2.56$	$W_{nw} = 0.77$
$S_w = 33$	$S_{nw} = 42$

A questo punto, stabilito il tipo di manovra, vincolata e, calcolate le velocità di scorrimento, si determina la velocità media di scorrimento di tutti i veicoli all'interno del segmento di scambio tramite l'equazione (24-5). Quindi risulta:

$S = 42.50 \text{ km/h}$

Ora tramite i valori fin qui calcolati si può specificare la densità totale all'interno del tratto di scambio con la formula:

$$D = \frac{\left(\frac{V}{N}\right)}{S} \quad (24-6)$$

where D is the average density for all vehicles in the weaving segment (pc/km/ln).

Facendo i calcoli:

$D = 10.71$

Concludendo, ora che tutti i parametri e le variabili in gioco sono state calcolate, è possibile attribuire all'intersezione oggetto di studio della presente, il Livello di Servizio LOS adeguato basandosi sulla densità quantificata precedentemente.

EXHIBIT 24-2. LOS CRITERIA FOR WEAVING SEGMENTS		
LOS	Density (pc/km/ln)	
	Freeway Weaving Segment	Multilane and Collector-Distributor Weaving Segments
A	≤ 6.0	≤ 8.0
B	> 6.0–12.0	> 8.0–15.0
C	> 12.0–17.0	> 15.0–20.0
D	> 17.0–22.0	> 20.0–23.0
E	> 22.0–27.0	> 23.0–25.0
F	> 27.0	> 25.0

Dalla tabella risulta quindi:

LOS = B

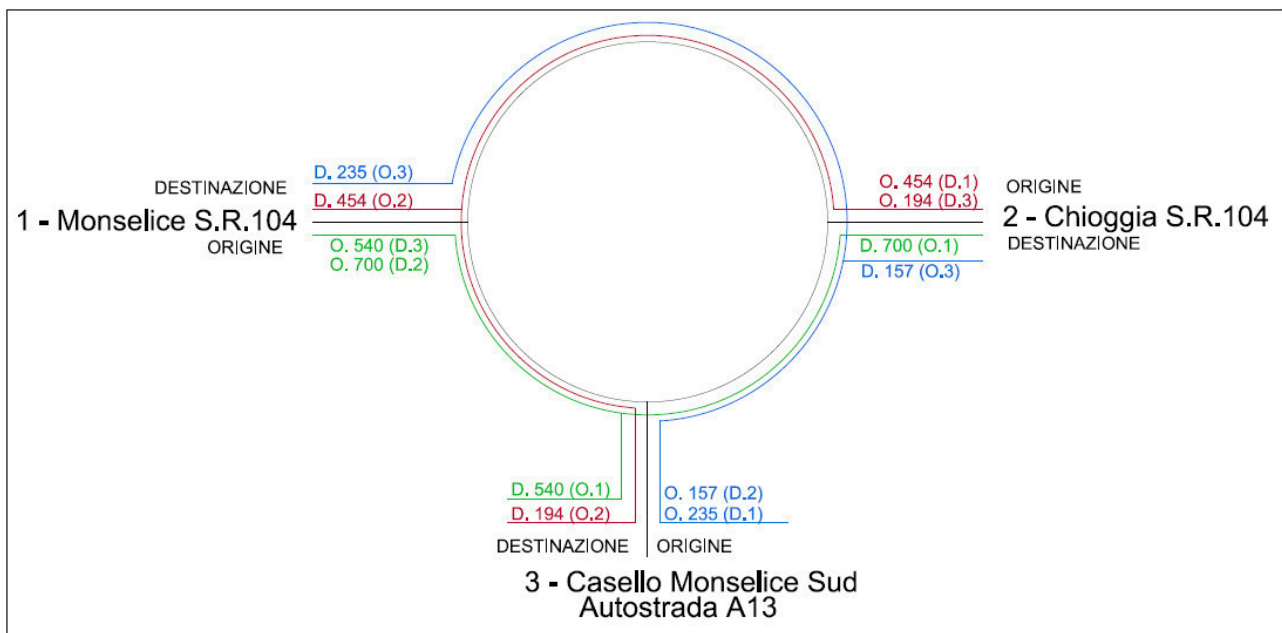
Dati i risultati ottenuti, si noti che nel tratto di scambio compreso tra il ramo proveniente dal casello autostradale e il ramo della SR104 proveniente da Chioggia, il Livello di Servizio è uguale a quello del tronco verificato in precedenza ma la densità all'interno è diminuita come si poteva facilmente immaginare inizialmente dati i minori flussi veicolari in gioco e la lunghezza simile dei tratti di scambio. Una minore densità nel segmento significa una maggiore qualità delle manovre seppur con velocità paragonabili al tronco 1-3.

Verifica funzionale e geometrica del tronco di scambio tra:

2. il braccio della SR104 proveniente da Chioggia

1. il braccio della SR104 proveniente da Monselice

Si procede con l'individuazione e la successiva scomposizione dei flussi di traffico in base alle previsioni di destinazione dei veicoli circolanti all'interno dell'intersezione.



Successivamente si identificano alcuni parametri derivanti dalla geometria della rotatoria:

- il numero totale di corsie all'interno dei tronchi di scambio:

$$\mathbf{N = 3}$$

- la lunghezza del tratto di scambio:

$$\mathbf{L = 112 \text{ m}}$$

- tipo di configurazione dell'intersezione:

Tipo B

- Tipo di terreno:

Pianeggiante

Tutti i modelli di calcolo del Manuale si basano sulle Portate di Flusso considerate in un Picco di 15 min. per autovetture equivalenti all'ora; è quindi necessario convertire il Volume orario in questa unità di misura utilizzando la formula:

$$v = \frac{V}{PHF * f_{HV} * f_p} \quad (24-1)$$

where

- v = peak 15-min flow rate in an hour (pc/h),
- V = hourly volume (veh/h),
- f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor (from basic freeway segment or multilane highway methodology), and
- f_p = driver population factor (from basic freeway segment or multilane highway methodology).

Dove:

V = 883 Volume orario

PHF = 0.88 Peak Hour Factor

f_{HV} = Heavy-vehicle adjustment factor, espressione di una serie di parametri tra cui:

E_T = 1.5 Fattore equivalente per bus e camion

P_T = 20% = 0.2 Percentuale di camion e bus nel flusso di traffico.

I parametri **P_R e E_R = 0** sono considerati nulli perché fanno riferimento ai veicoli ricreativi (camper e roulotte) che nel caso studio specifico sono ritenuti ininfluenti.

A questo punto si ricava:

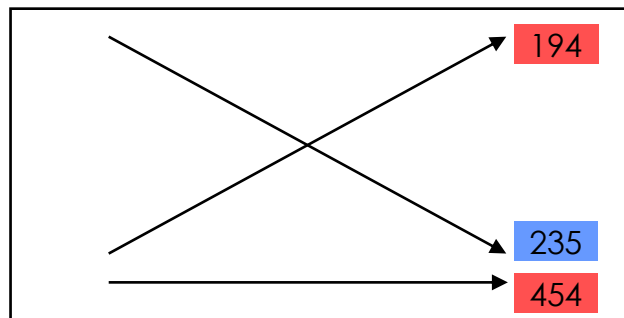
f_{HV} = 0.91

f_p = 1 Fattore di popolazione automobilista pari a 1 come da Manuale

Dalla (24-1) si ricava ora:

v = 1104

Ora che il Volume è stato convertito in portata di picco, si può disegnare il Diagramma di scambio per rendere più agevole e di immediata comprensione le fasi successive. Il Diagramma che rappresenta in maniera simbolica i flussi che scambiano e quelli che non scambiano, servirà come riferimento per l'inserimento dei dati richiesti nell'applicazione della metodologia utilizzata per il dimensionamento delle intersezioni con il Principio di scambio e illustrata in questa relazione.



Come si può vedere dallo schema, i flussi di traffico nel tratto di scambio considerato vengono divisi in quattro: i due flussi che scambiano, chi proviene da Chiovia (rosso) e chi proviene dal casello (blu) e i due flussi, provenienti dalle stesse origini, che non scambiano; nel caso specifico il flusso non scambiante proveniente dal casello autostradale è nullo in quanto il caso studiato è un'intersezione a 3 bracci e nelle ipotesi iniziali tutti i veicoli entranti da un braccio si ripartiscono uscendo, nei restanti bracci di destinazione.

Il cuore dell'analisi dei tronchi di scambio è la misurazione della velocità media di scorrimento dei flussi scambianti e non scambianti all'interno del tronco di scambio. Le due velocità sono distinte e calcolate separatamente tramite una predizione di calcolo effettuata mediante la formula (24-2).

Ricordando che, secondo quanto riportato nel Manuale HCM la S_{min} , ovvero la minima velocità di scorrimento, può essere impostata a 24 km/h mentre la S_{max} è considerata come la velocità media di scorrimento nei tratti antecedenti e successivi il tronco di scambio incrementata di 8 km/h. Nella presente relazione la velocità media di percorrenza della rotatoria può essere stimata in 40 km/h.

Date le ultime considerazioni la (24-2) diventa:

$$S_i = 24 + \frac{S_{FF} - 16}{1 + W_i} \quad (24-3)$$

Le stime iniziali della velocità sono sempre basate sull'ipotesi di manovre non vincolate che successivamente verranno verificate ed eventualmente le velocità di scorrimento saranno rettificare tenendo in considerazione le manovre vincolate.

Tornando alla formula (24-3), la W indica il fattore di intensità dello scambio che si diversifica per i flussi scambiati e quelli non scambiati. Il parametro viene calcolato in base alla seguente equazione:

EXHIBIT 24-6. CONSTANTS FOR COMPUTATION OF WEAVING INTENSITY FACTORS								
General Form								
$W = \frac{a(1+VR)^b \left(\frac{v}{N}\right)^c}{(3.28L)^d}$								
	Constants for Weaving Speed, S_w				Constants for Nonweaving Speed, S_{nw}			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Type A Configuration								
Unconstrained	0.15	2.2	0.97	0.80	0.0035	4.0	1.3	0.75
Constrained	0.35	2.2	0.97	0.80	0.0020	4.0	1.3	0.75
Type B Configuration								
Unconstrained	0.08	2.2	0.70	0.50	0.0020	6.0	1.0	0.50
Constrained	0.15	2.2	0.70	0.50	0.0010	6.0	1.0	0.50
Type C Configuration								
Unconstrained	0.08	2.3	0.80	0.60	0.0020	6.0	1.1	0.60
Constrained	0.14	2.3	0.80	0.60	0.0010	6.0	1.1	0.60

Dove:

VR = 0.39 Rapporto veicoli scambiati/flusso totale

v/N = 368 Flusso totale medio

In base alla Tabella sopraesposta si trovano i valori delle costanti per i flussi scambiati in base al tipo di configurazione ipotizzando manovre non vincolate:

a = 0.08

b = 2.2

c = 0.7

d = 0.5

Si può ora calcolare il fattore di intensità dello scambio per i flussi scambianti in basse alla formula di cui sopra:

$$\underline{W_w = 0.54}$$

Sempre dalla Tabella si ricavano le costanti per i flussi non scambianti:

$$\underline{a = 0.002}$$

$$\underline{b = 6}$$

$$\underline{c = 1}$$

$$\underline{d = 0.5}$$

Da cui:

$$\underline{W_{nw} = 0.28}$$

Proseguendo con la verifica di funzionalità della rotatoria, si possono ora ricavare le velocità medie di scorrimento dei flussi scambianti e non, tramite l'espressione prima presentata (24-3).

Riassumendo:

$$\underline{S_{min} = 24 \text{ km/h}}$$

$$\underline{S_{FF} = S_{max} = 48 \text{ km/h}}$$

$$\underline{W_w = 0.54}$$

$$\underline{W_{nw} = 0.28}$$

$$\underline{S_w = 45 \text{ km/h}}$$

$$\underline{S_{nw} = 49 \text{ km/h}}$$

Successivamente si passa alla determinazione del tipo di manovra, se vincolata o no, in base alla comparazione di due variabili: Il numero di corsie N_w che devono essere utilizzate dai veicoli scambianti per raggiungere l'equilibrio o la manovra senza vincoli e, il massimo numero di corsie $N_{w(max)}$ che possono essere usate dai veicoli scambianti per una data configurazione. Dal confronto dei due parametri si ottengono due possibilità:

- se $N_w < N_{w(max)}$ le manovre possono ritenersi non vincolate
- se $N_w \geq N_{w(max)}$ i veicoli che scambiano sono costretti ad utilizzare il numero massimo $N_{w(max)}$ di corsie.

Il calcolo dei suddetti paramentri si effettua tramite la formula della tabella 24-7 sopraripotata, relativa alla configurazione di Tipo B. Quindi risulta essere:

$N_w = 2.86$

$N_{w(max)} = 3.5$

dato che $N_w < N_{w(max)}$ allora si può ritenere la manovra in questo segmento un'operazione non vincolata: l'equazione è in grado di prevedere il numero di corsie necessario ai veicoli che intendono effettuare il cambio di corsia per il raggiungimento della velocità di scorrimento determinata precedentemente.

A questo punto, stabilito il tipo di manovra, non vincolata e, calcolate le velocità di scorrimento, si determina la velocità media di scorrimento di tutti i veicoli all'interno del segmento di scambio tramite l'equazione (24-5). Quindi risulta:

$S = 58.50 \text{ km/h}$

Ora tramite i valori fin qui calcolati si può specificare la densità totale all'interno del tratto di scambio con la formula:

$$D = \frac{\left(\frac{V}{N}\right)}{S} \quad (24-6)$$

where D is the average density for all vehicles in the weaving segment (pc/km/ln).

Facendo i calcoli:

$D = 6.29$

Concludendo, è possibile ora attribuire all'intersezione il Livello di Servizio LOS adeguato basandosi sulla densità trovata.

EXHIBIT 24-2. LOS CRITERIA FOR WEAVING SEGMENTS		
LOS	Density (pc/km/ln)	
	Freeway Weaving Segment	Multilane and Collector-Distributor Weaving Segments
A	≤ 6.0	≤ 8.0
B	> 6.0–12.0	> 8.0–15.0
C	> 12.0–17.0	> 15.0–20.0
D	> 17.0–22.0	> 20.0–23.0
E	> 22.0–27.0	> 23.0–25.0
F	> 27.0	> 25.0

Dalla tabella risulta quindi:

LOS = A

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Analizzando i dati ottenuti, si può concludere affermando che il funzionamento dell'intersezione, oggetto di studio della presente relazione, è ampiamente verificato e le operazioni di scambio avranno un livello qualitativo più che soddisfacente in tutti e tre i segmenti assicurando un LOS più elevato rispetto a quello compatibile (LOS C) con la categoria della viabilità confluyente nella rotatoria.

In particolare, il tratto tra la SR104 proveniente da Monselice e la strada extraurbana secondaria proveniente dal casello autostradale, in cui il flusso veicolare è maggiore, avrà un Livello di Servizio B con una velocità di scorrimento media all'interno dell'anello della rotatoria pari a 47 km/h, in questo tronco di scambio le manovre si manifesteranno in maniera fluida senza evidenti criticità.