



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO
DELL'INTERNO



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



CITTÀ DI
CARPI

OPERE DI VIABILITA' COMPLEMENTARE AL NUOVO POLO SPORTIVO

Città di Carpi

CITTA' DI CARPI - Settore S5 Opere Pubbliche e Manutenzione della Città

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

Finanziato dall'Unione Europea NextGenerationEU

Missione M5 - Componente C2 - Misura Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale - Investimento 2.1

Progetto n.55/22:

"OPERE DI VIABILITA' COMPLEMENTARE AL NUOVO POLO SPORTIVO" - ID 8660

CUI: L00184280360202000024 - CUP: C91B21002880005

PROGETTAZIONE:



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Marcello Mancone

COORDINATORE DI PROGETTO
Ing. Alessandro Cecchelli

OPERE A VERDE, ASPETTI PAESAGGISTICI E
URBANISTICI
Arch. Maria Cristina Fregni

PROGETTAZIONE OPERE STRADALI
Ing. Alessio Gori

PROGETTAZIONE OPERE IDRAULICHE
Ing. Alessandro Cecchelli

PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI
Ing. Luciano Viscanti

CANTIERIZZAZIONE E FASI
ESPROPRI ED INTERFERENZE
Ing. Stefano Simonini

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI
Ing. Francesco Frassinetti

COORD. SICUREZZA IN PROGETTAZIONE
Geom. Stefano Caccianiga

GEOLOGIA
Dott. Pietro Accolti Gil

TEAM DI PROGETTO
Ing. Mattia De Caro
Ing. Stefano Tronconi
Ing. Giulio Melosi
Arch. Daniela Corsini
Arch. Althea Giroto
Ing. Matteo Falcini
Ing. Davide Vescovini
Arch. Emma Ibba
Geom. Franco Mariotti

ELABORATO

PROGETTO STRADALE

Relazione tecnica analisi trasportistiche

PROGETTO ESECUTIVO

PARTE D'OPERA	DISCIPLINA	DOC. E PROG.	FASE	REV.
RO	ST	RT02	3	1

Cartella	File name	Prot.	Scala	Formato
04	ROSTR02_31_5094	5094	-	A4

5					
4					
3					
2					
1	REVISIONE	GIU 2023	A. Pratelli	A.Cecchelli	M.Mancone
0	EMISSIONE	MAG 2023	A. Pratelli	A.Cecchelli	M.Mancone
REV.	DESCRIZIONE	Data	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. STUDIO INIZIALE E ANALISI DEI DATI DI TRAFFICO	4
3. ANALISI DELLE POSSIBILI SOLUZIONI	6
3.1 Caratteristiche generali di un'intersezione a rotatoria	6
3.2 Simulazioni Rotatoria senza impianti semaforici	7
3.3 Simulazioni Rotatoria con impianti semaforici a chiamata pedonale	12
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	17

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica trasportistica fa parte dello studio relativo alla messa in sicurezza dell'incrocio tra Via Peruzzi e la Tangenziale Bruno Losi della Città di Carpi.

Allo stato attuale l'incrocio è composto da un'intersezione a raso regolata da impianti semaforici.

Il nuovo progetto invece prevede la progettazione di una intersezione a rotatoria a 4 rami.



Figura 1- Inquadramento dell'area di studio allo stato attuale

Lo studio trasportistico è stato realizzato a partire dall'acquisizione e dalla successiva e conseguente elaborazione dei rilievi di traffico forniti dall'Ufficio Viabilità e Trasporti del Comune di Carpi. Durante l'elaborazione sono state ricostruite le matrici Origine/Destinazione (matrici O/D) dell'intersezione poiché esse sono state utilizzate come input, assieme alla geometria di progetto della rotatoria, per il software di simulazione.

Il software che è stato selezionato per condurre le simulazioni è Aimsun™ 8.1, un software di simulazione dinamica di modellazione del traffico.

2. STUDIO INIZIALE E ANALISI DEI DATI DI TRAFFICO

Per prima cosa sono stati ricostruiti i dati di traffico relativi all'intersezione considerata. In particolare, come anticipato, sono stati presi in considerazione i rilievi di traffico del 2016 forniti dall'Ufficio di Viabilità e Trasporti del Comune di Carpi.

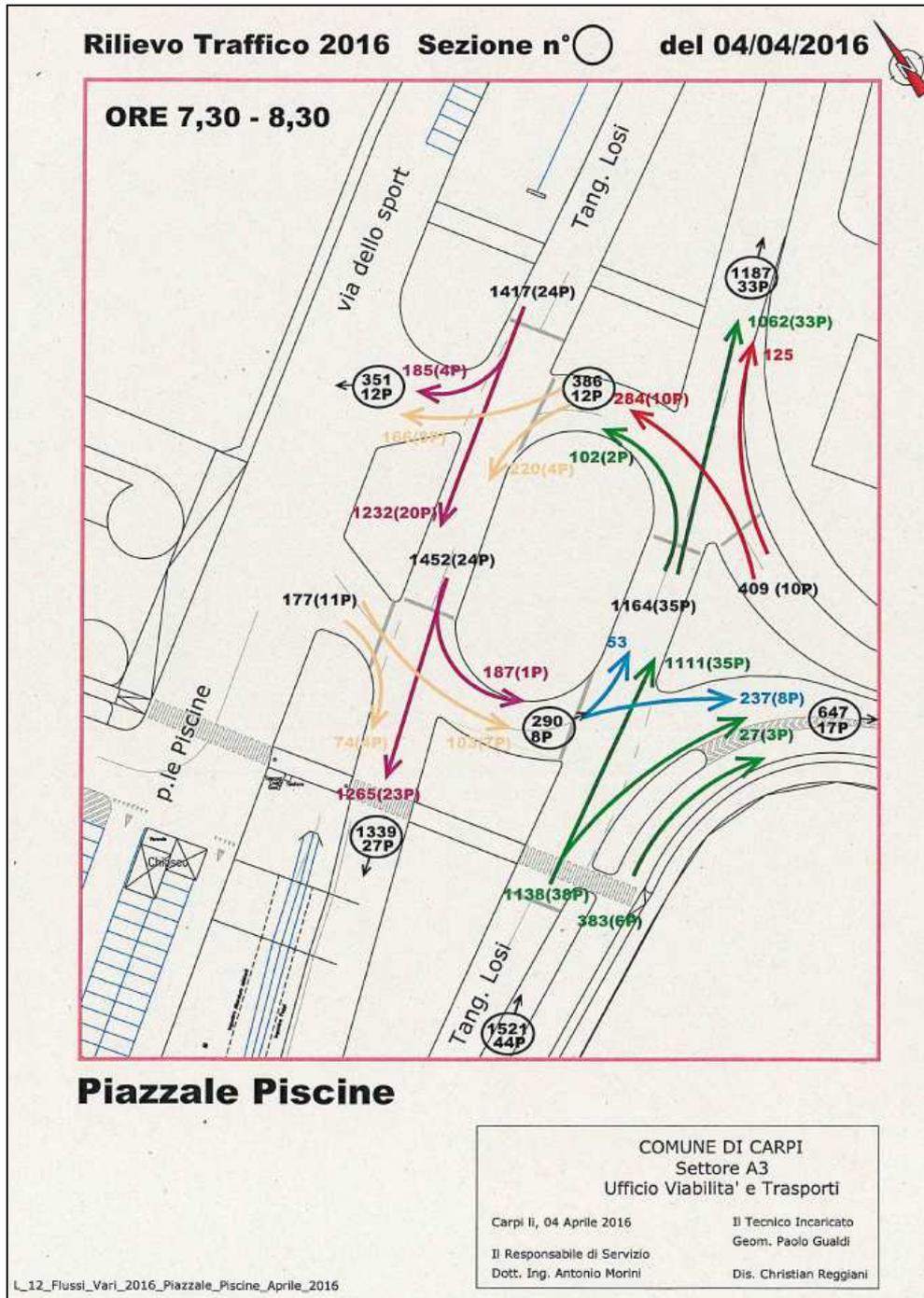


Figura 2- Rilievi di Traffico forniti dal Comune di Carpi

Da tali rilievi è stato possibile ricostruire le matrici O/D dei flussi di traffico dell'intersezione (una relativa ai mezzi leggeri e una relativa ai mezzi pesanti). In dettaglio, esse sono state ricostruite applicando il cosiddetto "Metodo

Delta”: un metodo iterativo che permette di distribuire i volumi di traffico tra le entrate e le uscite dell’intersezione ripartendo i valori degli scostamenti misurati e totali delle righe e, alternativamente, delle colonne in ragione del rispettivo peso percentuale del singolo elemento di matrice sul totale di riga e, alternativamente, di colonna.

Una volta quindi ottenute le matrici O/D dei volumi di traffico, esse sono state convertite in matrici O/D delle portate orarie utilizzando un phf (peak hour factor o fattore dell’ora di punta) pari a 0,9.

Per convenzione i rami della rotatoria sono stati numerati da 1 a 4 partendo da Sud e procedendo in senso antiorario come indicato nella seguente figura.

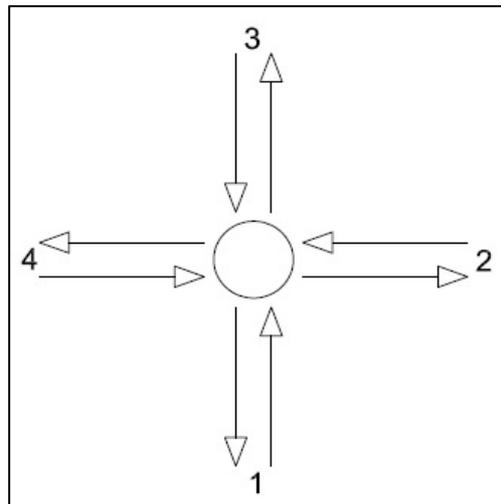


Figura 3- Numerazione rami della rotatoria

Si riportano quindi le matrici O/D ottenute, una relativa ai veicoli leggeri e una ai veicoli pesanti.

Veicoli Leggeri Q (veic/h)				
Matrice O/D	1	2	3	4
1	0	380	1068	193
2	232	0	179	32
3	1096	299	0	152
4	90	25	69	0

Veicoli Pesanti Q (veic/h)				
Matrice O/D	1	2	3	4
1	0	12	29	8
2	6	0	4	1
3	17	5	0	4
4	6	2	4	0

3. ANALISI DELLE POSSIBILI SOLUZIONI

3.1 Caratteristiche generali di un'intersezione a rotatoria

Le caratteristiche generali delle intersezioni a rotatoria moderne sono le seguenti:

- evitano fenomeni di blocco dell'anello (se una rotatoria è ben progettata per il traffico a cui è sottoposta, non si creeranno mai o quasi mai fenomeni di blocco che a cose normali provocherebbero la congestione delle strade confluenti nell'intersezione);
- incrementano la sicurezza mediante la riduzione dei punti di conflitto (come si vede in figura, i punti di conflitto di un'intersezione a raso sono in numero maggiore rispetto a un'intersezione a rotatoria ed oltre a questo, le rotatorie cancellano del tutto i conflitti ad incrocio che invece sono preponderanti nelle intersezioni a raso classiche);

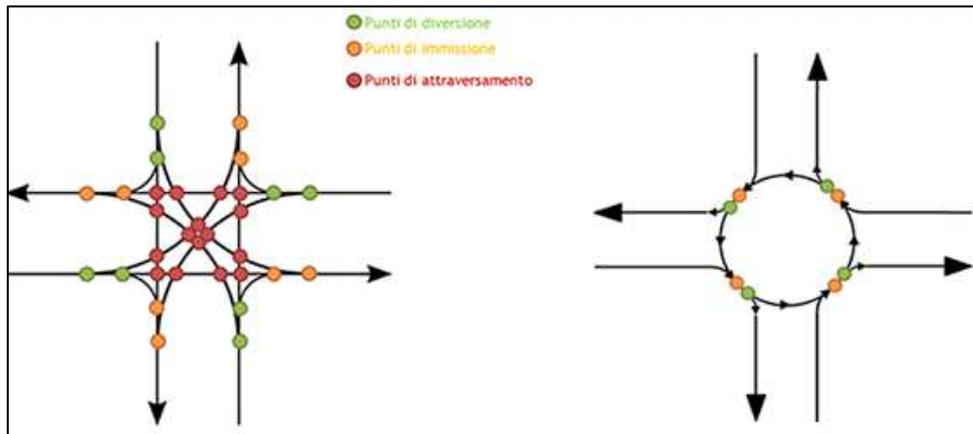


Figura 4- Punti di Conflitto in un'intersezione classica e in un'intersezione a rotatoria

- riducono la velocità dei veicoli in attraversamento (uno dei motivi principali per cui si installa una rotatoria è proprio quello di ridurre la velocità dei veicoli che la attraversano, in modo da aumentare anche in questo modo la sicurezza);
- riducono i tempi di attesa alle entrate (sempre considerando che una rotatoria sia ben progettata, si può affermare che rispetto a un'intersezione a raso classica, i tempi di attesa e di conseguenza i Livelli di Servizio migliorano);
- riducono l'inquinamento acustico e chimico (nelle intersezioni a raso classiche sono sempre presenti dei cartelli di Stop, per cui i veicoli sono costretti a fermarsi e ripartire producendo inquinamento acustico e chimico, le rotatorie invece sono governate esclusivamente da cartelli di precedenza);
- permettono flessibilità degli itinerari (le rotatorie permettono anche manovre di inversione in tutta sicurezza, a differenza degli altri tipi di intersezione).

3.2 Simulazioni Rotatoria senza impianti semaforici

In questo paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni dinamiche effettuate con il software Aimsun™ 8.1. In particolare, all'interno del software, è stata ricostruita per prima cosa la geometria di progetto della rotatoria, contemporaneamente poi sono stati aggiunti i 4 centroidi generatori di veicoli (leggeri e pesanti) che seguendo gli input dettati dalle Matrici O/D hanno permesso al software di processare le simulazioni dinamiche.

Si riportano innanzitutto alcuni screen significativi delle simulazioni ed in particolare:

- 1) Un inquadramento generale della simulazione dinamica;
- 2) Uno zoom più dettagliato della simulazione all'interno della rotatoria;
- 3) Una vista 3D della simulazione.

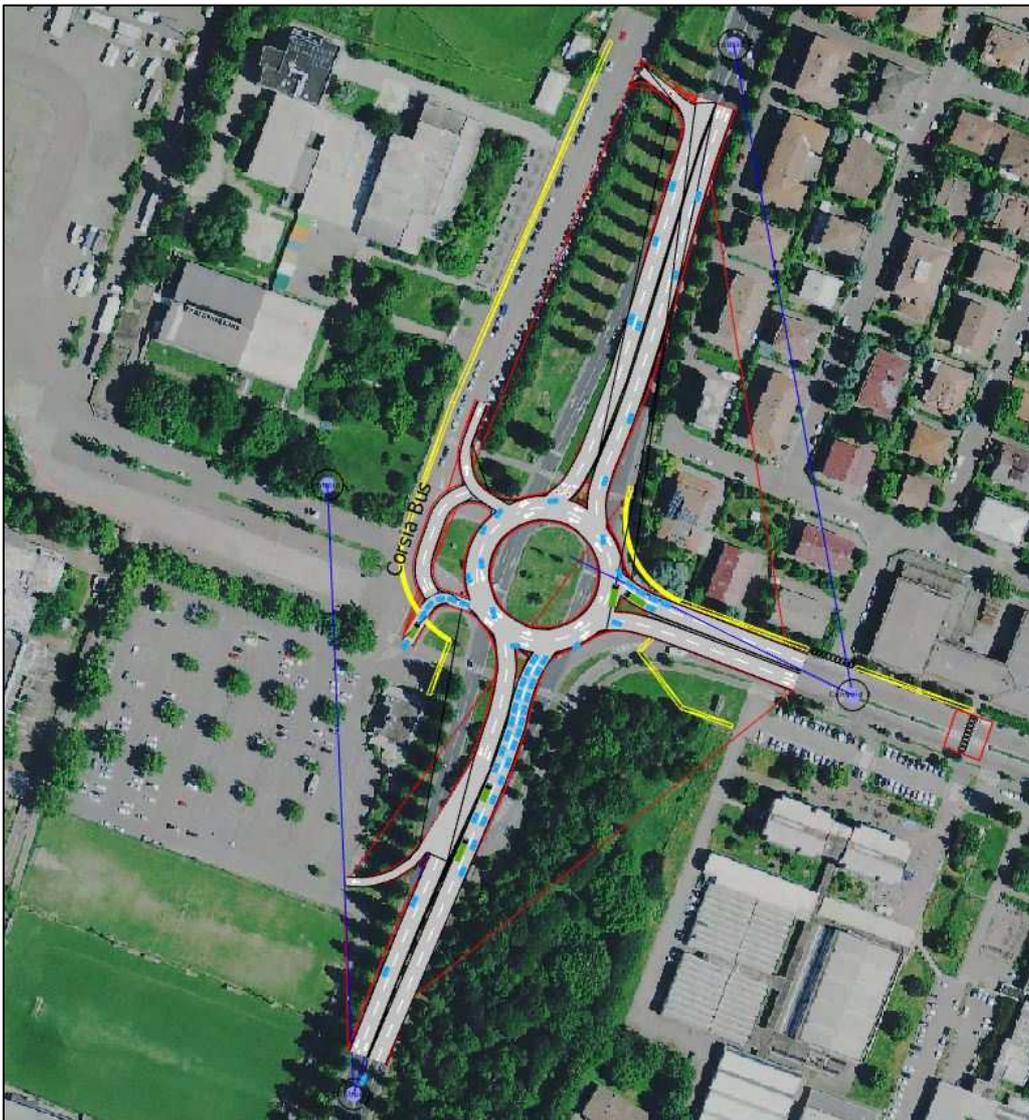


Figura 5- Inquadramento generale simulazione dinamica rotatoria senza semafori

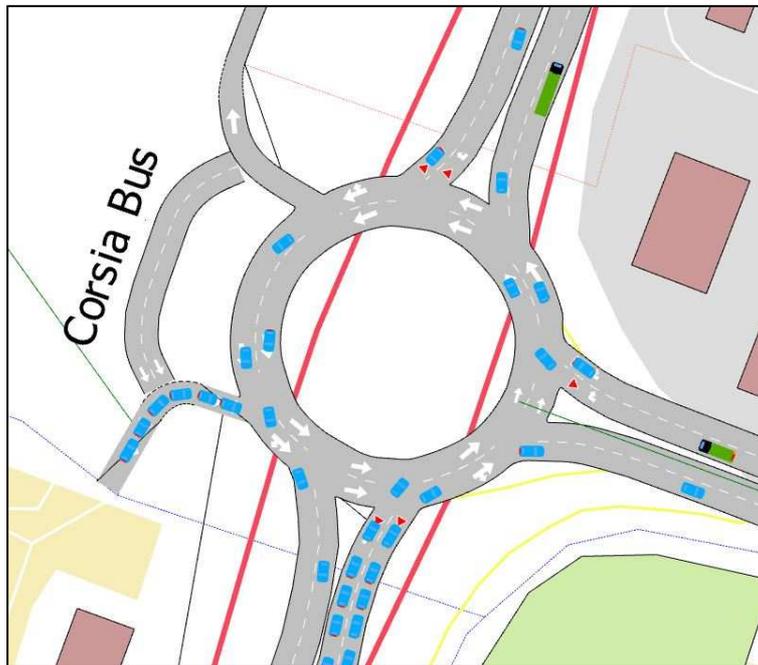


Figura 6- Zoom sulla rotonda senza semafori all'interno della simulazione



Figura 7- Vista 3D della simulazione dinamica della rotonda senza semafori

Inoltre, si riportano anche gli output principali delle simulazioni effettuate ovvero le cosiddette "Time Series". In esse è possibile vedere e valutare la media (Value), la deviazione standard (Standard Deviation) e l'unità di misura (Units) delle principali grandezze trasportistiche. Per ognuna di esse si possono leggere 3 diversi valori, uno generale relativo a tutti i veicoli (All), uno relativo ai veicoli leggeri (Car) e uno relativo ai veicoli pesanti (Truck). Le 2 grandezze più importanti che si trovano all'interno dei diversi output sono sicuramente il tempo di ritardo (Delay Time) e la velocità (Speed) di cui per completezza si riportano anche i grafici relativi a un'ora di simulazione, suddivisi in intervalli di 10 minuti.

Time Series	Value	Standard Deviation	Units
Delay Time - All	72	12	sec/km
Delay Time - Car	71	12	sec/km
Delay Time - Truck	113	18	sec/km
Density - All	20	2	veh/km
Density - Car	19	2	veh/km
Density - Truck	1	0	veh/km
Flow - All	3876	82	veh/h
Flow - Car	3782	84	veh/h
Flow - Truck	94	10	veh/h
Harmonic Speed - All	28	0	km/h
Harmonic Speed - Car	28	0	km/h
Harmonic Speed - Truck	21	0	km/h
Input Count - All	3875	N/A	veh
Input Count - Car	3780	N/A	veh
Input Count - Truck	95	N/A	veh
Input Flow - All	3875	76	veh/h
Input Flow - Car	3780	78	veh/h
Input Flow - Truck	95	11	veh/h
Max. Virtual Queue - All	9	5	veh
Max. Virtual Queue - Car	9	5	veh
Max. Virtual Queue - Truck	1	1	veh
Mean Queue - All	14	4	veh
Mean Queue - Car	14	4	veh
Mean Queue - Truck	1	0	veh
Mean Virtual Queue - All	1	0,85	veh
Mean Virtual Queue - Car	1	0,80	veh
Mean Virtual Queue - Truck	0	0,06	veh
Missed Turns - All	0,33	0,65	
Missed Turns - Car	0,33	0,65	
Missed Turns - Truck	0,00	0,00	
Number of Lane Changes - All	1,36E+03	2,83E+01	#/km
Number of Lane Changes - Car	1,35E+03	2,78E+01	#/km
Number of Lane Changes - Truck	13	2	#/km
Number of Stops - All	1,28	0,15	#/veh/km
Number of Stops - Car	1,27	0,15	#/veh/km
Number of Stops - Truck	1,3	0,18	#/veh/km
Speed - All	34	2	km/h
Speed - Car	34	2	km/h
Speed - Truck	26,91	2,2	km/h
Stop Time - All	45	10	sec/km
Stop Time - Car	44	10	sec/km
Stop Time - Truck	79,45	16,16	sec/km
Total Number of Lane Changes - All	3310	69	

Total Number of Lane Changes - Car	3278	67	
Total Number of Lane Changes - Truck	32,17	3,88	
Total Number of Stops - All	11985,88	1636,35	
Total Number of Stops - Car	11688,90	1599,89	
Total Number of Stops - Truck	296,98	49,48	
Total Travel Time - All	47,61	5,59	h
Total Travel Time - Car	46,17	5,43	h
Total Travel Time - Truck	1,44	0,23	h
Total Travelled Distance - All	1390,24	30,92	km
Total Travelled Distance - Car	1358,01	30,89	km
Total Travelled Distance - Truck	32,23	3,58	km
Travel Time - All	128,30	12,34	sec/km
Travel Time - Car	127,22	12,27	sec/km
Travel Time - Truck	171,82	17,65	sec/km
Vehicles Inside - All	47,83	14,86	veh
Vehicles Inside - Car	45,92	14,30	veh
Vehicles Inside - Truck	1,92	1,51	veh
Vehicles Lost Inside - All	0	0	veh
Vehicles Lost Inside - Car	0	0	veh
Vehicles Lost Inside - Truck	0	0	veh
Vehicles Lost Outside - All	0	0	veh
Vehicles Lost Outside - Car	0	0	veh
Vehicles Lost Outside - Truck	0	0	veh
Vehicles Outside - All	3875,75	82,49	veh
Vehicles Outside - Car	3781,5	83,6	veh
Vehicles Outside - Truck	94,25	10,11	veh
Vehicles Waiting to Enter - All	1,17	2,72	veh
Vehicles Waiting to Enter - Car	1,17	2,72	veh
Vehicles Waiting to Enter - Truck	0	0	veh
Waiting Time Virtual Queue - All	0,67	0,73	sec
Waiting Time Virtual Queue - Car	0,65	0,70	sec
Waiting Time Virtual Queue - Truck	1,47	1,67	sec

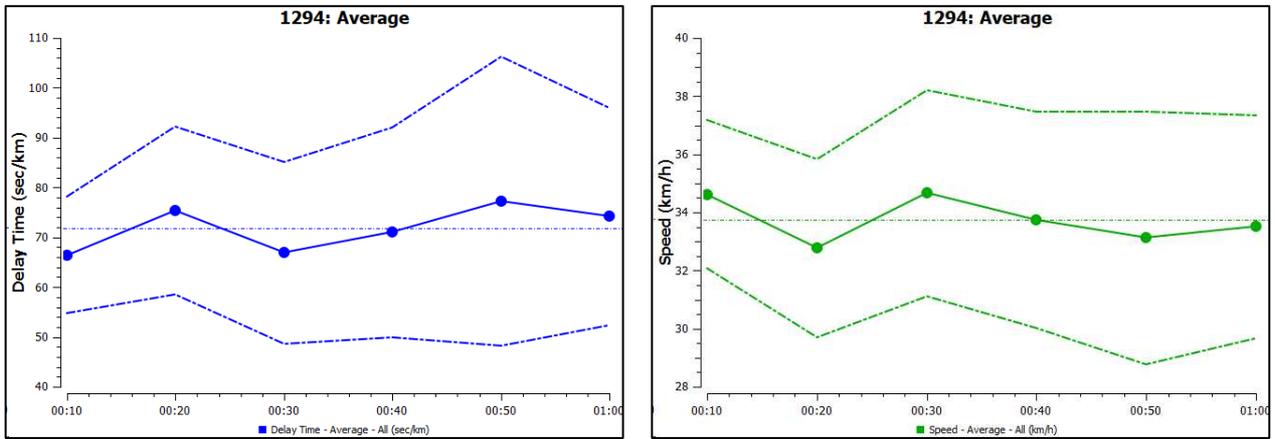


Figura 8- Grafici relativi al Delay Time (dx) e alla Speed (sx) delle simulazioni dinamiche della rotonda senza semafori

3.3 Simulazioni Rotatoria con impianti semaforici a chiamata pedonale

La seguente soluzione è identica geometricamente alla precedente, con la sola differenza che sui due rami principali della rotatoria (Nord e Sud), cioè sulla Tangenziale Bruno Losi, sono stati inseriti degli impianti semaforici a chiamata pedonale. I suddetti semafori a chiamata pedonale non sono stati ancora progettati nel dettaglio, per cui per poter procedere con le simulazioni dinamiche sono state fatte alcune ipotesi. In particolare nelle seguenti simulazioni è stato impostato un ciclo semaforico di 60 secondi con 10 secondi di rosso veicolare (corrispondente a 10 secondi di verde pedonale).

Si riportano quindi anche in questo paragrafo, gli stessi output di quello precedente, a partire dalle immagini, proseguendo con la tabella delle Time Series e concludendo con i grafici.

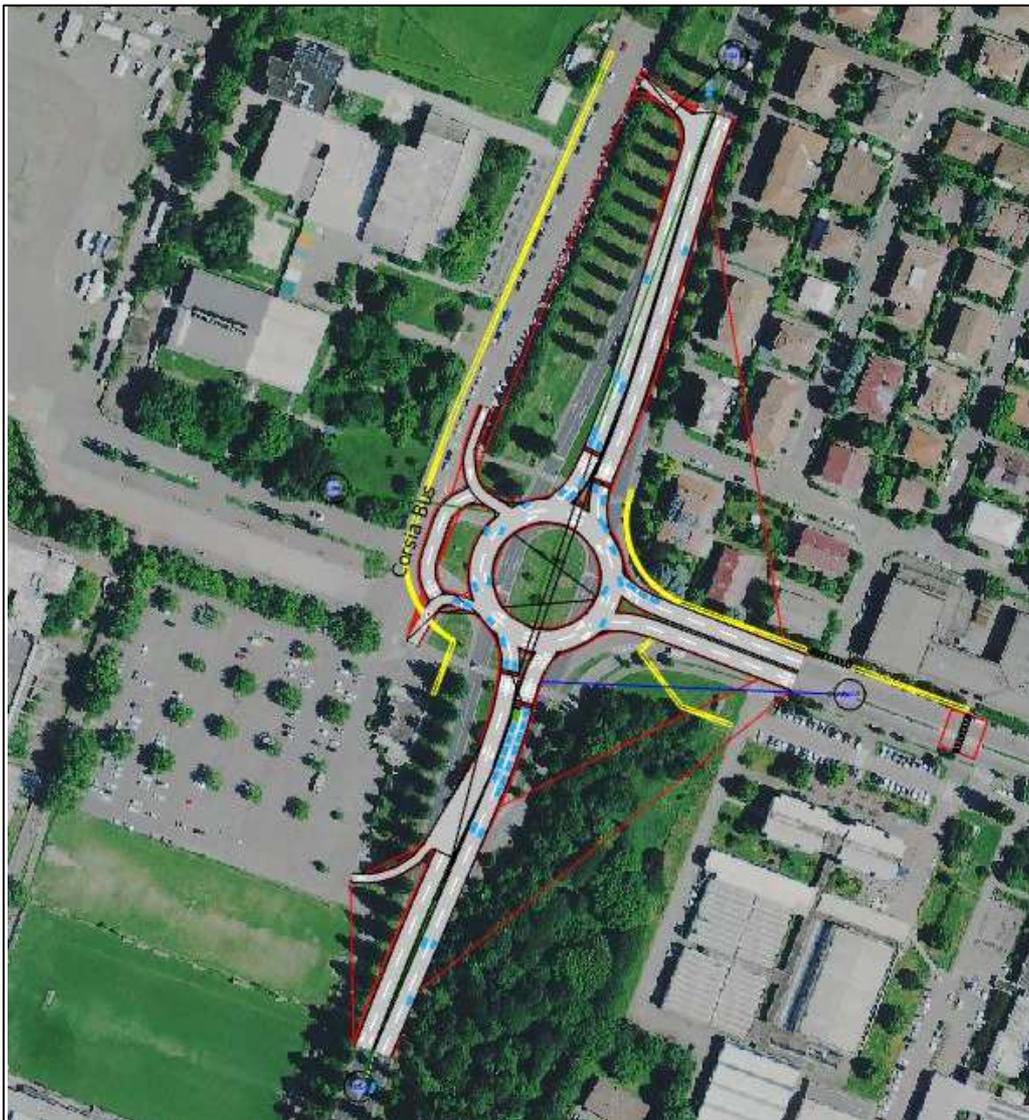


Figura 9- Inquadramento generale simulazione dinamica rotatoria con semafori

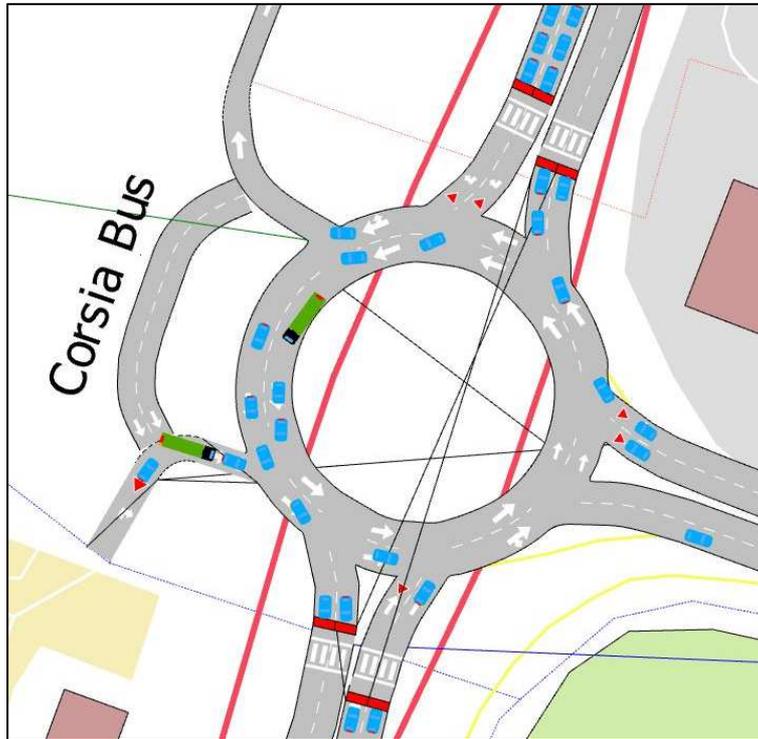


Figura 10- Zoom sulla rotonda con semafori (rossi) all'interno della simulazione



Figura 11- Vista 3D della simulazione dinamica della rotonda con semafori

Come si può notare nelle successive "Time Series" tra le 2 soluzioni analizzate le differenze non sono così sostanziali. Infatti il tempo di ritardo (Delay Time) passa da 72 sec/km a 91 sec/km, mentre la velocità (Speed) passa da 34 km/h a 31 km/h. Questo è dovuto al fatto che, nell'ora di punta in cui sono state condotte le suddette simulazioni, la rotonda si trovava comunque già in congestione anche senza impianti semaforici, per cui il loro inserimento non ha portato a cambiamenti significativi.

Time Series	Value	Standard Deviation	Units
Delay Time - All	91	17	sec/km
Delay Time - Car	90	17	sec/km
Delay Time - Truck	143	25	sec/km
Density - All	23	3	veh/km
Density - Car	22	3	veh/km
Density - Truck	1	0	veh/km
Flow - All	3900	54	veh/h
Flow - Car	3806	51	veh/h
Flow - Truck	94	9	veh/h
Harmonic Speed - All	24	0	km/h
Harmonic Speed - Car	25	0	km/h
Harmonic Speed - Truck	18	0	km/h
Input Count - All	3905	N/A	veh
Input Count - Car	3811	N/A	veh
Input Count - Truck	94	N/A	veh
Input Flow - All	3905	57	veh/h
Input Flow - Car	3811	53	veh/h
Input Flow - Truck	94	9	veh/h
Max. Virtual Queue - All	17	12	veh
Max. Virtual Queue - Car	17	11	veh
Max. Virtual Queue - Truck	2	1	veh
Mean Queue - All	19	5	veh
Mean Queue - Car	18	5	veh
Mean Queue - Truck	1	0	veh
Mean Virtual Queue - All	2	1,9	veh
Mean Virtual Queue - Car	2	1,83	veh
Mean Virtual Queue - Truck	0	0,09	veh
Missed Turns - All	0,42	0,67	
Missed Turns - Car	0,33	0,65	
Missed Turns - Truck	0,08	0,29	
Number of Lane Changes - All	1,39E+03	2,52E+01	#/km
Number of Lane Changes - Car	1,37E+03	2,65E+01	#/km
Number of Lane Changes - Truck	13	2	#/km
Number of Stops - All	1,68	0,24	#/veh/km
Number of Stops - Car	1,68	0,24	#/veh/km
Number of Stops - Truck	1,73	0,28	#/veh/km
Speed - All	31	3	km/h
Speed - Car	31	3	km/h
Speed - Truck	23,92	3,05	km/h
Stop Time - All	61	13	sec/km
Stop Time - Car	59	13	sec/km
Stop Time - Truck	105,55	20,73	sec/km
Total Number of Lane Changes - All	3367	61	

Total Number of Lane Changes - Car	3335	64	
Total Number of Lane Changes - Truck	32,33	4,85	
Total Number of Stops - All	15922,29	2513,84	
Total Number of Stops - Car	15527,13	2428,19	
Total Number of Stops - Truck	395,16	97,46	
Total Travel Time - All	54,77	7,49	h
Total Travel Time - Car	53,07	7,18	h
Total Travel Time - Truck	1,70	0,35	h
Total Travelled Distance - All	1397,98	20,59	km
Total Travelled Distance - Car	1365,77	19,61	km
Total Travelled Distance - Truck	32,21	3,37	km
Travel Time - All	147,17	17,41	sec/km
Travel Time - Car	145,82	17,20	sec/km
Travel Time - Truck	201,74	24,67	sec/km
Vehicles Inside - All	54,83	13,31	veh
Vehicles Inside - Car	53,33	12,65	veh
Vehicles Inside - Truck	1,50	1,31	veh
Vehicles Lost Inside - All	0	0	veh
Vehicles Lost Inside - Car	0	0	veh
Vehicles Lost Inside - Truck	0	0	veh
Vehicles Lost Outside - All	0	0	veh
Vehicles Lost Outside - Car	0	0	veh
Vehicles Lost Outside - Truck	0	0	veh
Vehicles Outside - All	3900,17	54,43	veh
Vehicles Outside - Car	3805,83	51,00	veh
Vehicles Outside - Truck	94,33	9,43	veh
Vehicles Waiting to Enter - All	0,75	1,36	veh
Vehicles Waiting to Enter - Car	0,75	1,36	veh
Vehicles Waiting to Enter - Truck	0	0	veh
Waiting Time Virtual Queue - All	1,77	1,67	sec
Waiting Time Virtual Queue - Car	1,73	1,65	sec
Waiting Time Virtual Queue - Truck	3,1	3,2	sec

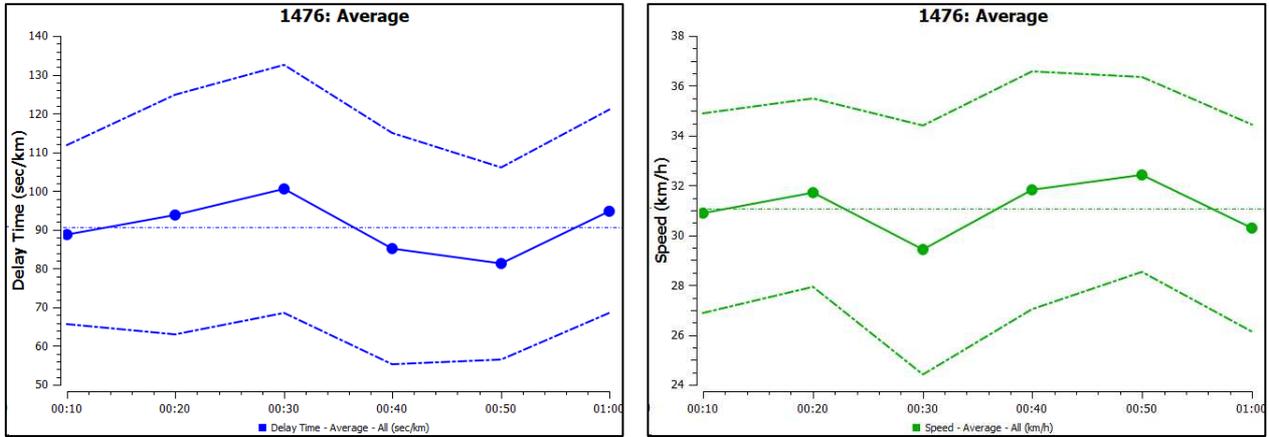


Figura 12- Grafici relativi al Delay Time (dx) e alla Speed (sx) delle simulazioni dinamiche della rotatoria con semafori

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'inserimento di un'intersezione a rotatoria al posto di un'intersezione a raso regolata da impianti semaforici potrà portare sicuramente a miglioramenti, sia in termini di efficienza che di sicurezza, per le ragioni esposte nei paragrafi precedenti.

Tuttavia è da sottolineare il fatto che, per questa specifica intersezione, i carichi di traffico dell'ora di punta sono piuttosto elevati, per cui dalle simulazioni è emerso che si potranno verificare sicuramente momenti di congestione durante la giornata. Questo aspetto comunque potrà essere migliorato in un secondo momento, andando a studiare nuovamente l'intersezione come parte di un "sistema lineare" (la tangenziale Bruno Losi) e non come intersezione locale isolata.

Per quanto riguarda invece le differenze tra le due soluzioni: le simulazioni della prima soluzione senza impianti semaforici hanno sottolineato il fatto che essa si trova molto vicina alla congestione per l'ora di punta studiata. Questo fenomeno che all'apparenza potrebbe risultare prettamente sfavorevole, tuttavia è la principale motivazione per cui l'inserimento dei semafori non provoca grossi peggioramenti in termini di efficienza, come è stato dimostrato nelle simulazioni. Una possibile spiegazione pratica sta nel fatto che essendo i veicoli già fermi in coda durante i momenti di congestione, l'aggiunta dei semafori pedonali non causa grossi cambiamenti alla situazione.

D'altra parte però, con l'inserimento dei semafori, c'è un'alta probabilità che avvengano dei fenomeni di propagazione della coda all'interno della rotatoria stessa, che potrebbero provocare un conseguente blocco dell'intera intersezione durante le ore più critiche. In ogni caso, non avrebbe comunque senso allontanare i semafori dalla rotatoria, in quanto allontanandoli dalla posizione ipotizzata, si potrebbero verificare problemi peggiori dovuti ad attraversamenti pedonali non protetti e non consentiti, con una conseguente perdita in termini di sicurezza.

Un ultimo ragionamento riguarda infine proprio la sicurezza. Come detto, con l'inserimento di un'intersezione a rotatoria si avrà sicuramente un miglioramento generale della sicurezza dovuto al fatto che le rotatorie sono intersezioni a raso con minor numero di punti di conflitto rispetto alle intersezioni classiche. Inoltre in questi termini, anche tra le due soluzioni, non si notano grosse discrepanze. Il motivo principale sta nel fatto che i semafori a chiamata pedonale verrebbero inseriti in un contesto in cui i veicoli procedono già di per sé a velocità molto ridotte e quindi i pericoli di frenate brusche, o di non rispetto dei semafori stessi, è relativamente bassa.

Maggiori benefici sia in termini di fluidificazione del traffico che in termini di sicurezza potranno essere ottenuti con la successiva realizzazione di un sistema di passerelle ciclopedonali sopraelevate per consentire ai pedoni di attraversare la zona della nuova rotatoria senza interferenze con il traffico veicolare. Per maggiori dettagli si rimanda

al Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali (DOCFAP) redatto dalla scrivente società su incarico dello stesso Comune di Carpi, e consegnato nel mese di Novembre 2022.

Si evidenzia inoltre che quota parte dei volumi veicolari attualmente transitanti sulla Tangenziale Bruno Losi saranno successivamente assorbiti dalla Nuova Bretella dei Fossoli, completamento della tangenziale nord-ovest, attualmente in fase di Progettazione Esecutiva. Tale moderazione e distribuzione dei flussi di traffico gioverà positivamente sul funzionamento della nuova rotatoria in progetto.