

Regione Lombardia  
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



CODICE  
COMMESSA

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D.P.R.  
207/10

PROGRESSIVO  
ELABORATO

CATEGORIA  
OPERA

NUMERO  
OPERA

REVISIONE

SCALA

R 3 1

D

b

0 0 8

OV

- -

R 0

===

OPERE SOSTITUTIVE P.L. DI VIA TRIESTE IN COMUNE DI ERBA  
OPERE DI COMPETENZA FERROVIENORD  
*Progetto Definitivo*

RELAZIONI TECNICHE E RELZIONI SPECIALISTICHE  
ANALISI TRASPORTISTICA

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Dic. 2025	PRIMA EMISSIONE		

NORD\_ING

**NORD\_ING Srl**  
IL DIRETTORE TECNICO  
Ing. Laura Stiriti

FERROVIENORD

**FERROVIENORD S.p.A.**  
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA  
IL DIRETTORE  
Ing. Andrea Lucia Passarelli

Progettista



Collaborazione

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. ANALISI TRASPORTISTICA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. ALLEGATO – “Relazione tecnica delle attività di monitoraggio e modellazione del traffico sulla infrastruttura viaria comunale in via Milano funzionale all’intervento della nuova viabilità connessa al cavalcavia e rotatoria previsti al km 41+783 per la chiusura del passaggio a livello di via Trieste” .....</b>	<b>5</b>

## **1. PREMESSA**

Il presente documento ha come obiettivo la valutazione trasportistica complessiva degli interventi previsti dal progetto denominato OPERE SOSTITUTIVE P.L. DI VIA TRIESTE IN COMUNE DI ERBA - OPERE DI COMPETENZA FERROVIENORD.

## **2. ANALISI TRASPORTISTICA**

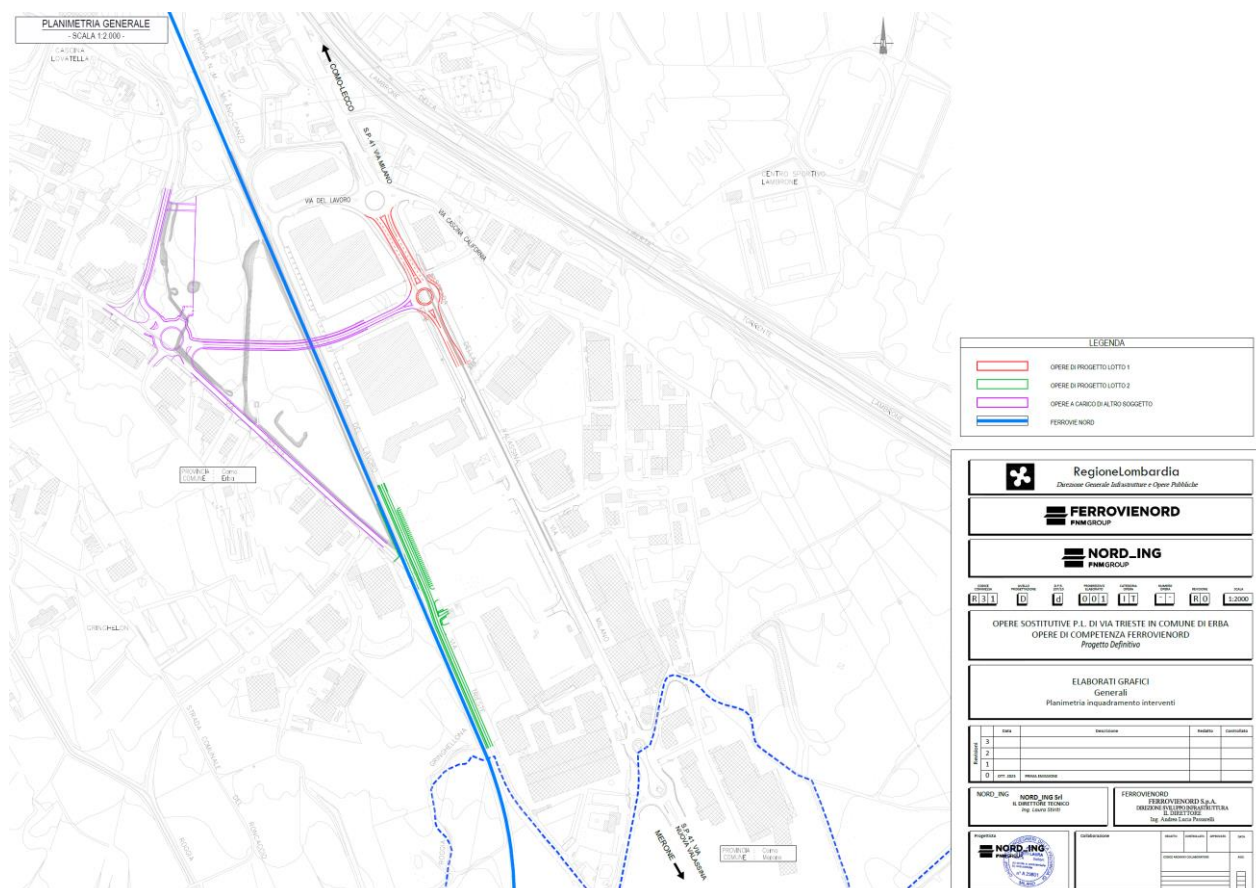
Nello specifico, tali interventi, si articolano in:

- LOTTO 1: sistemazione della viabilità di Via Milano con realizzazione di una rotatoria tra la Via Milano stessa e l'innesto del nuovo cavalcavia;
- LOTTO 2: sistemazione della viabilità su Via Trieste e Via del Lavoro, con soppressione del passaggio a livello di Via Trieste e realizzazione di un breve tratto di nuova viabilità di collegamento diretto tra Via Trieste e Via del Lavoro;

e accompagnano l'ulteriore intervento di:

- completamento del cavalcavia a scavalco della linea ferroviaria Milano-Asso

che rimane a carico del soggetto privato attuatore dell'Ambito di Trasformazione AT2.20 di Via Trieste.



Per la una valutazione qualitativa del traffico nel Lotto 1 in oggetto, si è fatto riferimento al documento intitolato *“Relazione tecnica delle attività di monitoraggio e modellazione del traffico sulla infrastruttura viaria comunale in Via Milano funzionale all’intervento della nuova viabilità connessa al cavalcavia e rotatoria previsti al km 41+783 per la chiusura del passaggio a livello di Via Trieste - Rev.1”* redatto dallo Studio Trafficlabb per conto del Comune di Erba (CO) in data 04/11/2022 e trasmesso dal Comune a NORD\_ING in data 17/11/2022. L’intero documento è allegato alla presente relazione.

Lo studio sviluppa una valutazione completa degli effetti sulla viabilità comunale derivanti dalla nuova infrastruttura di collegamento fra Via Milano e Via Trieste, comprendente il sovrappasso ferroviario, due nuove rotatorie e la chiusura del passaggio a livello. Il lavoro integra rilievi di traffico effettuati con radar e telecamere *smart* nelle giornate del 14 luglio e dell’11 agosto 2022, con l’obiettivo di ricostruire nel dettaglio i flussi su sezione e le matrici O/d delle rotatorie principali. Le tecnologie utilizzate, in particolare l’analisi video con tecniche di *computer vision*, consentono l’estrazione delle traiettorie veicolari e la classificazione del traffico in diverse classi veicolari.

La sezione su Via Milano (in prossimità della rotatoria in direzione Ponte Nuovo) mostra traffici medi giornalieri dell’ordine di 10.500 veicoli/giorno per direzione, con composizione dominata dalle autovetture (83–92%) e velocità operative comprese V85 fra 70 e 72 km/h. I flussi di punta raggiungono 710 veicoli/ora in direzione Erba e poco meno in direzione Ponte Nuovo. Nei rilievi effettuati in data 13/07/2022 sull’intersezione a rotatoria a quattro rami sita all’incrocio tra Via Milano (SP41), Viale Prealpi (SP639) e Viale Resegone (SP639), le telecamere evidenziano volumi



superiori con un TGM di circa 14.500 veicoli/giorno in ingresso su Via Milano e punte orarie vicine a 1.200 veicoli/ora in ingresso nella fascia serale tra le 17:30 e le 18:30.

Le matrici O/d delle rotatorie principali mostrano una prevalenza dei movimenti longitudinali Nord-Sud lungo l'asse Via Milano - Valassina, con minor peso dei flussi su Via Roma e sulle trasversali secondarie. Complessivamente la domanda di traffico simulata è pari a oltre 4.800 veicoli/ora.

La fase modellistica è stata condotta con l'ausilio di software di microsimulazione per la costruzione dello scenario di stato di fatto e degli scenari di progetto, integrando i rilievi con i dati Floating Car Data forniti da TomTom per la ricostruzione dei tempi di percorrenza e della domanda.

Gli scenari di progetto mostrano una redistribuzione dei flussi conseguente al nuovo collegamento, ma con livelli di servizio comparabili allo stato di fatto e tempi medi di percorrenza in miglioramento grazie all'eliminazione del passaggio a livello. Nello specifico, è stata fatta una valutazione trasportistica complessiva sugli interventi previsti, quali:

- Raddoppio del tratto stradale lungo Via Milano
- Nuova rotatoria tra il nuovo ramo di accesso e Via Milano
- Nuovo sovrappasso ferroviario
- Nuova rotatoria tra Via Trieste/nuova viabilità
- Chiusura del passaggio a livello di Via Trieste

Il raddoppio di Via Milano era inizialmente previsto tra gli interventi simulati nello scenario di progetto.

Tuttavia, tale intervento non è attualmente previsto nel Lotto 1 di intervento da parte di FERROVIENORD.

Le simulazioni svolte nel documento confermano come, l'inserimento della nuova infrastruttura e lo spostamento dei flussi conseguente alla chiusura del passaggio a livello, mantengano i ritardi medi degli ingressi contenuti e non si generano condizioni di saturazione o di coda persistente sulla direttrice Via Milano - Valassina. La distribuzione dei flussi mostra, inoltre, un buon equilibrio fra gli ingressi con assenza di effetti di blocco circolatorio negli scenari di progetto. In particolare, il livello di servizio nello scenario di progetto della rotatoria Via Milano/Via Prealpi è stato calcolato in C e la nuova rotatoria tra Via Milano e l'accesso al sovrappasso è stato calcolato in A.

Alla luce di tali evidenze, la sezione attuale di Via Milano risulta sufficiente per garantire un livello di servizio adeguato anche a seguito della realizzazione del nuovo collegamento che risulta fondamentale per la redistribuzione dei flussi della rete in oggetto. La presenza di una riserva di capacità sulla nuova rotatoria permetterebbe di assorbire i flussi aggiuntivi associati all'intervento, rendendo l'intervento del raddoppio del tratto stradale procrastinabile in futuro.

Tale conclusione, coerente con i risultati delle matrici O/d, dei rilievi su sezione e della modellazione, consente di sostenere tecnicamente la realizzazione dell'opera senza prevedere attualmente l'ampliamento della carreggiata.

**3. ALLEGATO – “Relazione tecnica delle attività di monitoraggio e modellazione del traffico sulla infrastruttura viaria comunale in via Milano funzionale all’intervento della nuova viabilità connessa al cavalcavia e rotatoria previsti al km 41+783 per la chiusura del passaggio a livello di via Trieste”**

**SEDE LEGALE**

Corso Piave, 30  
12051 Alba (CN) Italy  
P.IVA IT03686310040  
[www.trafficlab.eu](http://www.trafficlab.eu)

**Comune di Erba**  
Area Servizi al Territorio  
Servizio Urbanistica ed Edilizia Privata



**Relazione tecnica delle attività di monitoraggio e modellazione del traffico sulla infrastruttura viaria comunale in Via Milano funzionale all'intervento della nuova viabilità connessa al cavalcavia e rotatoria previsti al km 41+783 per la chiusura del passaggio a livello di Via Trieste.**

CIG: Z9D370FF6C.

Data	Revisione	Descrizione	Incaricato	RUP - Comune di Erba
04/11/2022	Rev. 1	Prima emissione	Ing. A. Marella	Ing. D. Martini
			Collaboratore	
			Ing. A. Bonfanti	

**CONTATTI**

cel. +39 338 190 1680  
tel. +39 0173 47 11 57  
[andrea.marella@trafficlab.eu](mailto:andrea.marella@trafficlab.eu)

## Sommario

<b>1. Obiettivi dello studio.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Campagna di monitoraggio del traffico .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Dispositivi radar .....	6
2.1.2 Telecamere smart traffic.....	7
2.2 Descrizione delle tipologie di dati acquisiti .....	8
2.2.1 Dati di traffico da dispositivo Radar .....	8
2.2.2 Dati di traffico da Telecamere Smart Traffic .....	8
2.3 Descrizione del piano di monitoraggio del traffico e delle postazioni del rilievo .....	13
2.3.1 Programma di monitoraggio dispositivo Radar.....	13
2.3.2 Programma di monitoraggio Telecamera Smart Traffic.....	14
2.4 Descrizione dei risultati ottenuti dalla campagna di monitoraggio ...	17
2.4.1 Postazione Radar .....	18
2.4.2 Postazione TLC 01 .....	25
2.4.3 Postazione TLC 02.....	27
2.4.4 Postazione TLC 03.....	29
<b>3. Simulazioni di traffico .....</b>	<b>32</b>
3.1 Nota metodologica.....	32
3.2 Scenario stato di fatto .....	33
3.2.1 Big data sul traffico TomTom® .....	33
3.2.2 Ricostruzione della domanda di traffico.....	40
3.2.3 Risultati della microsimulazione .....	44
3.3 Scenari di progetto.....	49
3.4 Confronto risultati scenari .....	55
<b>4. Conclusioni .....</b>	<b>58</b>



## 1. Obiettivi dello studio

---

L'Amministrazione Comunale di Erba con Determina Dirigenziale n. 149/2022 ha incaricato lo studio Trafficlub al fine di redigere una relazione tecnica delle attività di monitoraggio e modellazione del traffico sulla infrastruttura viaria comunale in Via Milano funzionale all'intervento della nuova viabilità connessa al cavalcavia e rotatoria previsti al km 41+783 per la chiusura del passaggio a livello di Via Trieste.

Le principali attività svolte all'interno del suddetto incarico sono state le seguenti:

- Monitoraggio del traffico su diverse postazioni di conteggio
- Modellazione del traffico sulla infrastruttura viaria comunale
- Relazione tecnica a supporto dello studio del traffico

In generale, l'obiettivo del presente incarico è una valutazione trasportistica complessiva sugli interventi previsti, quali:

- Raddoppio del tratto stradale lungo Via Milano
- Nuova rotatoria tra il nuovo ramo di accesso e Via Milano
- Nuova infrastruttura stradale (con opera di sovrappasso ferroviario)
- Nuova rotatoria tra Via Trieste/nuova viabilità
- Chiusura del passaggio a livello di Via Trieste

Le tecnologie adottate per il monitoraggio sono differenti a seconda dello scopo di utilizzo dei dati e nello specifico: dispositivi radar, telecamere smart con tecnologia DataFromSky® e dati Floating Car Data (fornitore TomTom®).

La campagna di rilevamento è stata condotta in periodo estivo nelle giornate del 14 e 15 luglio 2022 e 11 agosto 2022.

Visto il periodo di ridotti volumi, gli scenari di progetto hanno visto una integrazione del traffico rilevato con stime incrementali.

Nei seguenti capitoli viene inizialmente descritta la campagna di traffico condotta (*Cap.2 Campagna di monitoraggio del traffico*) nel quale il complesso oggetto d'intervento si colloca, e la viabilità sulla quale insiste per l'accesso e l'uscita dall'area. Nello specifico viene descritta la metodologia e le tecnologie utilizzate per l'analisi dello stato di fatto, che ha permesso di conoscere gli attuali flussi in transito sulla rete adiacente al complesso. I dati raccolti nel periodo d'indagine sono quindi esposti ed analizzati in dettaglio per ciascuna delle postazioni. In seguito (*Cap. 3 Simulazioni di traffico*) si riporta la descrizione degli strumenti di modellazione trasportistica impiegati per l'analisi degli scenari di progetto, ed infine si descrivono i risultati così ottenuti e i futuri livelli di servizio e di capacità delle strade oggetto di studio. Nel Cap. 4, infine, sono riportate le *conclusioni* dello studio.

---

L'attività di rilievo dei flussi è stata svolta mediante due differenti soluzioni tecnologiche:

- In accordo con quanto pianificato secondo il piano di monitoraggio condiviso, il giorno 13 Luglio 2022 sono state installate nella zona Sud del comune un totale di 3 Telecamere e di 1 Radar, collocati secondo la dislocazione riportata in Figura 1.

Figura 1 Dislocazione territoriale delle tecnologie di monitoraggio

Obiettivo dell'indagine di monitoraggio è il rilievo dei flussi transitanti in corrispondenza delle postazioni indicate nel corso di una giornata feriali individuata in Giovedì 14 Luglio. A causa di problemi tecnici alla strumentazione non è però stato possibile completare il rilievo nel giorno indicato sulla postazione denominata TLC2, e si è quindi proceduto successivamente ad una nuova installazione temporanea, per eseguire un rilievo sulla

stessa intersezione nel giorno Giovedì 11 Agosto.

Contemporaneamente è stato inoltre ripetuto il rilievo radar della postazione adiacente, al fine di valutare la differenza di transiti fra la giornata del 14 Luglio e quella del 11 Agosto, e conseguentemente poter procedere con la "correzione" dei dati della postazione TLC2 per la stima della matrice del giorno inizialmente concordato per il monitoraggio (14 Luglio), coerentemente con i dati raccolti dalle altre postazioni nel giorno inizialmente stabilito.

Questo secondo rilievo radar ha inoltre consentito il monitoraggio per un periodo esteso fino a 5 giorni consecutivi (6-11 Agosto), al fine di valutare l'andamento del traffico su più giorni, anche allo scopo di confrontare gli andamenti dei giorni feriali rispetto al weekend.

Il rilievo, come anticipato, è stato eseguito utilizzando due differenti soluzioni, dispositivi *Radar* e *Telecamere Smart Traffic*. Si riporta a seguire una breve descrizione delle caratteristiche funzionali delle strumentazioni.

#### 2.1.1 Dispositivi radar

I *Radar* sono uno strumento che consente il monitoraggio di una corsia per senso di marcia, e vengono installati su paline della segnaletica o pali dell'illuminazione artificiale, bordo strada, a circa 1.5-2 metri di altezza, secondo la schematizzazione in Figura 2.



Figura 2 Schema di installazione dei Radar Viacount

Il funzionamento del Radar è basato sul principio fisico dell'effetto Doppler: l'apparecchiatura emette un campo di onde radar ed ogni movimento che avviene all'interno del campo d'azione dello strumento provoca una variazione di frequenza tra il segnale elettromagnetico riflesso e quello inizialmente emesso dallo strumento. Ad ogni variazione di frequenza il radar conteggia il passaggio di un veicolo, e tale variazione risulta direttamente proporzionale alla velocità del veicolo in moto, che viene quindi rilevata ed associata al transito.

Lo strumento è in grado di rilevare tutti i veicoli che transitano lungo la strada ove è



installato, lungo entrambe le direzioni di marcia, e per ciascun veicolo rilevato vengono registrati i seguenti parametri caratteristici:

- Data del passaggio del veicolo in formato GG:MM:AAAA;
- Ora del passaggio del veicolo in formato HH:MM:SS;
- Velocità del veicolo in km/h;
- Direzione del veicolo;
- Gap temporale, espresso in secondi, che rappresenta la distanza temporale tra il passaggio di un veicolo e quello immediatamente successivo;
- Stima della lunghezza del veicolo, espressa in cm;
- Tipologia di veicolo rappresentante la classe del mezzo rilevato;

### 2.1.2 Telecamere smart traffic

Le *Telecamere Smart Traffic* rappresentano una tecnologia in grado di fornire una elevata qualità dei dati rilevati, in quantità maggiore a quella disponibile con lo strumento radar, poiché registrano a video l'intera evoluzione spazio-temporale degli spostamenti riconoscibili nell'area di visibilità dello strumento. I video vengono quindi post-processati e trattati per la derivazione dei parametri necessari all'analisi del traffico per lo specifico scenario di studio.



Figura 3 Telecamera smart traffic

Le telecamere utilizzate per l'indagine sono state installate ad altezze pari a circa 10 metri su pali dell'illuminazione o della segnaletica stradale collocati lato strada. L'assetto dello strumento, in termini di altezza e di orientazione, viene perfezionato direttamente in loco, in modo che dalla postazione ove lo strumento è installato sia interamente visibile l'area di cui si vuole analizzare il traffico circolante.

Dal momento che l'attività di monitoraggio ha avuto carattere temporaneo per una durata

limitata, per alimentare gli strumenti si è provveduto a posizionare un box, contenente le batterie di alimentazione, alla base del palo su cui è installato il dispositivo di ripresa. Al completamento dell'installazione è infine stato predisposto il cablaggio dal box alla telecamera. Non era richiesta in questo caso la connessione di rete o dati GSM, dato che le telecamere sono dotate di supporti magnetici locali, tipo schede SD, sulle quali vengono salvati i video di traffico registrati per essere successivamente elaborati.

Il vantaggio di avere a disposizione un video come strumento di analisi del traffico consiste nella possibilità di ricostruire le traiettorie veicolari, sfruttando la sequenza di fotogrammi costituenti il video stesso, dalle quali derivare la variazione della posizione nello spazio e nel tempo del veicolo, ed i parametri del moto quali velocità, accelerazione tangenziale e laterale, head-way (temporale e spaziale).

Ad integrazione del file elaborato contenente le traiettorie veicolari rimane inoltre sempre a disposizione il supporto della registrazione video, dalla quale è possibile acquisire informazioni relative al comportamento degli utenti alla guida, all'utilizzo dell'infrastruttura e loro interazione con essa.

## **2.2 Descrizione delle tipologie di dati acquisiti**

I diversi dispositivi utilizzati per l'analisi del traffico eseguita nel Comune di Erba presentano una tipologia e un metodo di restituzione dei dati di traffico differente fra loro.

### **2.2.1 Dati di traffico da dispositivo Radar**

Il radar esegue un'analisi a postazione fissa su sezione, dal momento che rileva informazioni esclusivamente relative ai veicoli che transitano sulla carreggiata stradale in corrispondenza del segmento stradale controllato. Il dispositivo restituisce dati relativi al conteggio, classe di traffico e velocità dei veicoli che hanno attraversato la porzione stradale di sua competenza, nel corso dell'intervallo temporale di funzionamento. L'output del dispositivo è costituito da un file .xlsx, in cui in modo automatico vengono elaborati e riassunti in formato grafico e tabellare i dati relativi al traffico rilevato.

### **2.2.2 Dati di traffico da Telecamere Smart Traffic**

L'analisi eseguita tramite i video, registrati dalle telecamere su scheda SD locale, prevede un processo di trattamento dei dati articolato in modo completamente differente. I video registrati e salvati dallo strumento di ripresa sono restituiti in formato .mp4, un formato standard di riproduzione multimediale. L'analisi viene successivamente svolta in maniera automatica, sfruttando le tecniche di computer vision che permettono, mediante l'utilizzo di specifici software di configurazione e analisi avanzata della scena di ripresa del video, di estrarre ed esportare dal flusso video tutte le informazioni di traffico utili a descrivere in

modo completo ed esaustivo le traiettorie percorse dagli elementi ripresi.

I video registrati sono, in primo luogo, processati e trattati attraverso il software DataFromSky® che esegue, sfruttando le tecniche di computer vision, machine learning ed optical flow, l'estrazione delle traiettorie dei veicoli rilevati sull'intera durata del video. Attraverso gli algoritmi di visione artificiale il programma è in grado di riconoscere le differenti tipologie di oggetti che compaiono nella scena registrata, i quali vengono distinti per classi di traffico attraverso le tecniche di apprendimento automatico basate su dati di training. Infine, attraverso l'optical flow, ogni oggetto riconosciuto e classificato viene associato ad una traiettoria che ne descrive il moto a partire dal primo istante in cui esso compare a video, fino all'ultimo istante in cui esso risulta visibile, descrivendo così l'evoluzione spazio-temporale del suo moto.

Nell'attività di monitoraggio in oggetto i video processati sono complessivamente 3, uno per ciascuna postazione con telecamera. Gli output della fase di trattamento del video sono file che contengono l'intero fascio di traiettorie dei veicoli rilevati: per ognuna delle tre postazioni di rilievo, si riporta in Figura 4. La rappresentazione delle traiettorie estratte a seguito dell'analisi eseguita sullo scenario ripreso da ciascun video.

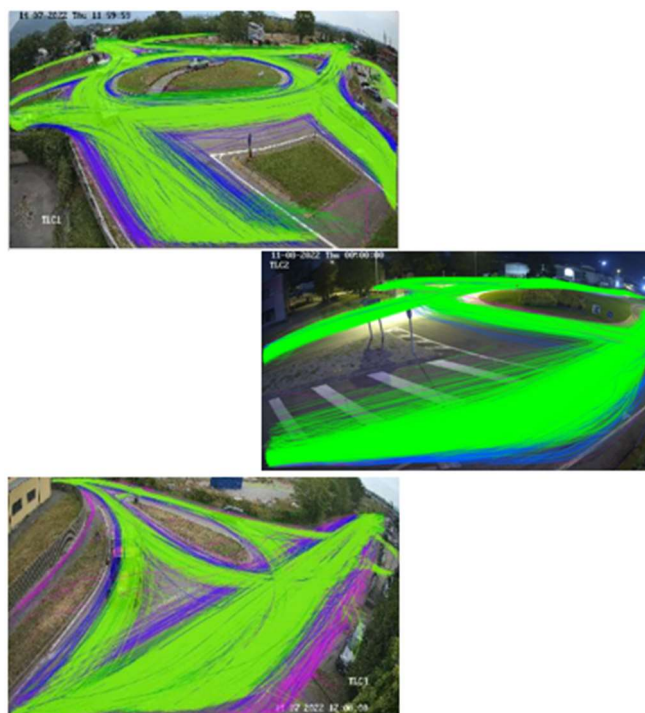


Figura 4 Fasci di traiettorie veicolari elaborati per postazione (dall'alto in basso: TLC1, TLC2, TLC3)

Ogni traiettoria si configura come una sorta di database contenente tutte le informazioni relative allo spostamento cui fa riferimento. In Figura 5 si riporta un esempio del tracking veicolare e del tipo di informazioni contenute all'interno della traiettoria del moto, riportate nella tabella laterale.

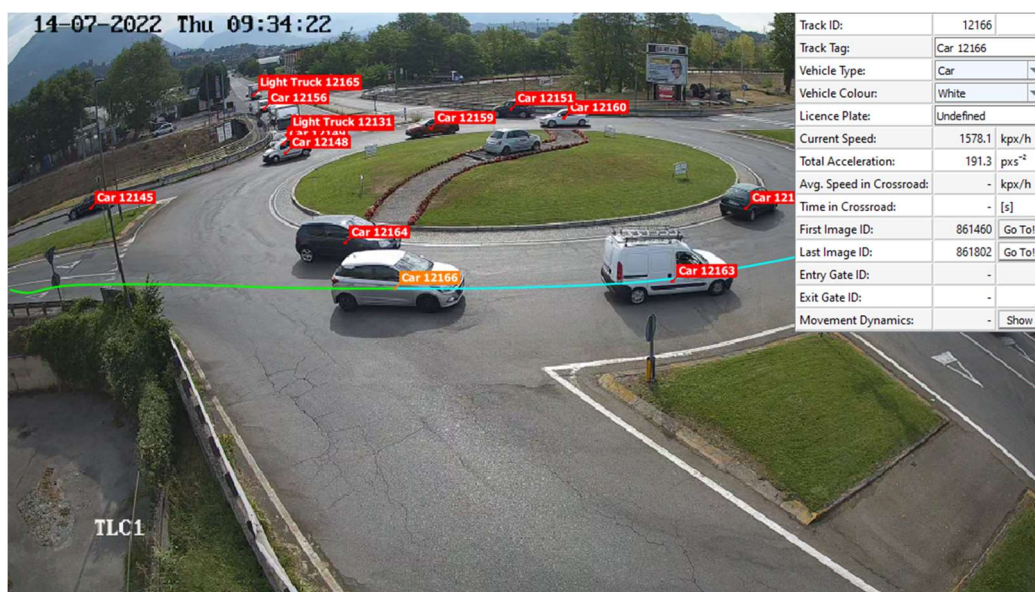


Figura 5 Esempio di tracciamento veicolare svolto da DataFromSky

A valle dell'estrazione delle traiettorie, queste vengono caricate attraverso un software dedicato, DataFromSky Viewer ®, che consente di svolgere l'effettiva analisi di traffico. Il programma consente di analizzare il traffico sfruttando direttamente le informazioni contenute all'interno delle traiettorie associate ai veicoli, prima fra tutte la suddivisione per classe di traffico. Attualmente le classi che il programma è in grado di riconoscere sono 9, ovvero:

- Autovetture;
- Autobus;
- Veicoli commerciali di leggere dimensioni (massa complessiva a pieno carico non superiore a 3.5 t e lunghezza compresa tra 5 e 10 m);
- Veicoli commerciali di medie dimensioni;
- Veicoli commerciali di pesanti dimensioni (autocarri con massa complessiva a pieno carico superiore a 3.5 t e inferiore a 5 t e lunghezza compresa tra 5 e 10 m);
- Van;
- Motociclette;
- Ciclisti;
- Pedoni.

Sfruttando la direzione del moto definito dalle traiettorie è inoltre possibile ricavare non solo il conteggio su sezione, ma anche definire ove necessario la matrice di origine e destinazione di intersezioni a più rami, sfruttando delle spire virtuali a carattere direzionale opportunamente configurate su ogni ramo di ingresso/uscita. In questo modo è inoltre possibile valutare l'origine e la destinazione di tutti gli spostamenti rilevati a video, e per specifiche scenari individuare manovre veicolari non consentite, attraversamenti in aree non transitabili o specifici comportamenti degli utenti contrari al Codice della Strada.

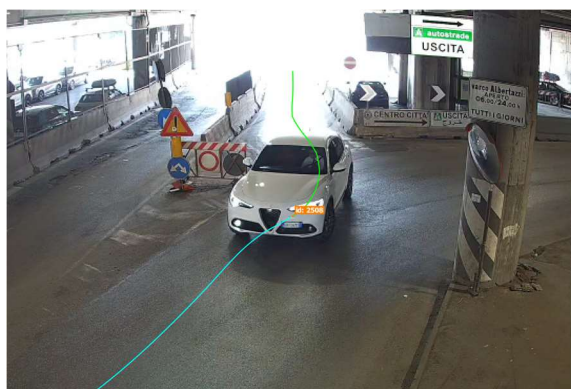


Figura 6 Esempio di manovra proibita identificata da DataFromSky

La conoscenza delle traiettorie veicolari consente anche di derivare informazioni relative a velocità ed accelerazione laterale e tangenziale dei veicoli, semplicemente sfruttando la variazione della posizione dell'oggetto identificato dalla traiettoria frame dopo frame all'interno della maglia di pixel dell'immagine. Attraverso la geo-referenziazione dell'immagine è possibile passare dal sistema di riferimento dell'immagine, le cui coordinate sono espresse in pixel, ad un sistema di riferimento WGS-84 o UTM con coordinate metriche tramite le quali derivare le velocità e accelerazioni reali.

Note queste due grandezze risulta possibile eseguire analisi di velocità dei veicoli rilevati e suddivisione per classi di velocità, oppure valutare la correlazione in essere tra variazione di velocità e variazione di accelerazione.

Inoltre, sfruttando le informazioni di velocità si possono condurre analisi maggiormente approfondite sulle code e sui tempi di stazionarietà dei veicoli. Il programma permette infatti, in un'intersezione a più rami di immissione, di valutare la lunghezza delle code veicolari ed i tempi di stazionarietà, ovvero gli intervalli temporali in cui il veicolo è fermo a velocità nulla.



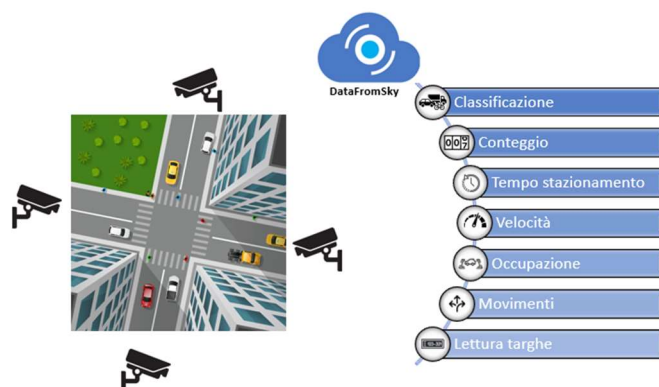


Figura 7 Dati analizzabili da una telecamera smart.

Dal momento che le informazioni contenute nelle traiettorie sono relative ad ogni singolo frame immagine della traiettoria, e quindi del veicolo, è possibile ottenere l'evoluzione dei parametri di velocità e di accelerazione nel tempo al variare della posizione del veicolo. Ciò può consentire di derivare ulteriori parametri del traffico che possono essere utili alla micro-simulazione del traffico oppure per condurre analisi di sicurezza stradale. I parametri che è possibile ricavare sono gli head-way temporali tra i veicoli circolanti, in modo da valutare la condizione limite di saturazione del traffico rispetto ad un'intersezione. Inoltre, tra le potenzialità di questo metodo di analisi, vi è anche la possibilità di analizzare i tempi di percorrenza dei veicoli di una determinata area rilevata all'interno dei video, i tempi di attesa, i tempi di gap, di follow-up ed i tempi di reazione.

Per intersezioni a più rami, come nel caso delle rotatorie, è inoltre possibile analizzare i gap tra i veicoli circolanti nella corona giratoria, che permettono l'immissione veicolare da rami soggetti a precedenza, i tempi di follow up tra le manovre di immissione consecutive tra due veicoli consecutivi attestati sullo stesso ramo di ingresso, e quindi i tempi di reazione degli utenti. Queste informazioni consentono di acquisire i parametri che descrivono il comportamento specifico degli utenti in un determinato contesto, che possono essere riprodotti negli scenari di traffico applicati dai software di simulazione, o diventare oggetto di studio per la valutazione delle condizioni di sicurezza dell'area analizzata.

L'intero processo, a prescindere dall'obiettivo dell'analisi del traffico, presenta il vantaggio di essere completamente automatizzato grazie alle funzionalità offerte dal software di analisi, ed allo stesso tempo offre il vantaggio di essere completamente controllabile dall'operatore che esegue l'analisi. Inoltre, avere a disposizione traiettorie veicolari supportate dalla registrazione video, consente un riscontro pratico dei risultati ottenuti laddove essi siano poco chiari o incompleti.

## 2.3 Descrizione del piano di monitoraggio del traffico e delle postazioni del rilievo

La pianificazione del piano di monitoraggio che è stato svolto nel comune di Erba prevede l'installazione complessiva di n.1 dispositivo Radar Viacount e di n.3 Telecamere Smart Traffic.

### 2.3.1 Programma di monitoraggio dispositivo Radar

Il dispositivo Radar Viacount è stato installato lungo la Strada SP41, Via Milano, su un palo dell'illuminazione lato strada, come riportato in Figura 8, poco più a Nord della rotatoria a quattro rami tra la stessa Via Milano (SP41), Via Nuova Valassina, Via Roma e Via delle Gallarane.



Figura 8 Schema di installazione dispositivo Radar e posizione di rilievo

Il dispositivo così installato consente il rilievo del traffico per entrambe le corsie di circolazione, quindi il rilievo congiunto delle due direzioni di marcia. Il radar è in grado di registrare il passaggio di ogni singolo veicolo all'interno della sua area di competenza e di distinguere un numero complessivo di classi di traffico pari a cinque, così definite:

- Due ruote;
- Autovetture;
- Furgoni;
- Camion;
- Autoarticolati.

Il rilievo è stato eseguito per la giornata di Giovedì 14/7/2022, e per il periodo esteso compreso fra Sabato 06/08/2022 e Giovedì 11/08/2022.

### 2.3.2 Programma di monitoraggio Telecamera Smart Traffic

Le telecamere sono complessivamente tre, installate in postazioni distinte di seguito descritte.

Il rilievo è stato condotto nella giornata di Giovedì 14/7/2022, ad eccezione della postazione TLC2 per la quale è stato ripetuto nella giornata di Giovedì 11/8/2022.

#### *Postazione TLC 01*

La postazione TLC 01 è collocata in corrispondenza della rotatoria a quattro rami sita all'incrocio tra Via Milano (SP41), Viale Prealpi (SP639) e Viale Resegone (SP639).

La telecamera è stata installata su un palo dell'illuminazione bordo strada come riportato in Figura 9.

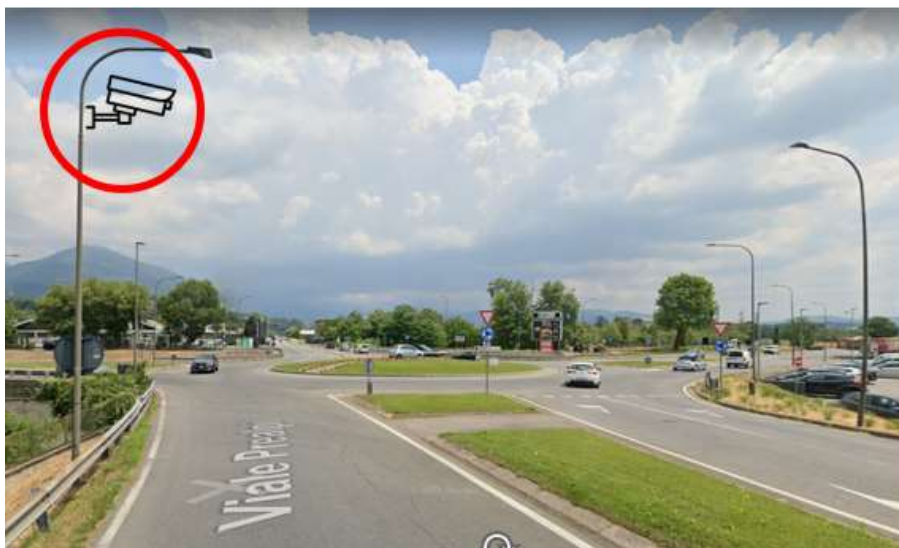


Figura 9 Schema di installazione Telecamera 01

Si riporta, inoltre, in Figura 10 lo scenario ripreso dallo strumento durante il periodo di monitoraggio, dal quale si evince che attraverso l'assetto dello strumento (altezza e orientamento) è stato possibile rilevare il traffico entrante ed uscente da ciascuno dei quattro rami della rotatoria.





Figura 10 Scenario di traffico Telecamera 01

### *Postazione TLC 02*

La seconda telecamera è stata installata in corrispondenza della rotatoria a quattro rami di ingresso e di uscita collocata all'incrocio tra Via Milano (SP41), Via Nuova Valassina, Via Roma e Via delle Gallarane.

Anche in questo caso in Figura 11 e Figura 12 si riporta la configurazione con cui è stato installato lo strumento e una rappresentazione dello scenario di traffico ripreso a video. La visuale, concentrata verso i rami di Via Roma e Via Nuova Valassina, non permette in questo caso di monitorare l'intero perimetro della rotatoria, ma è comunque sufficiente ad osservare le traiettorie della parte a Sud della rotatoria.



Figura 11 Schema di installazione Telecamera 02

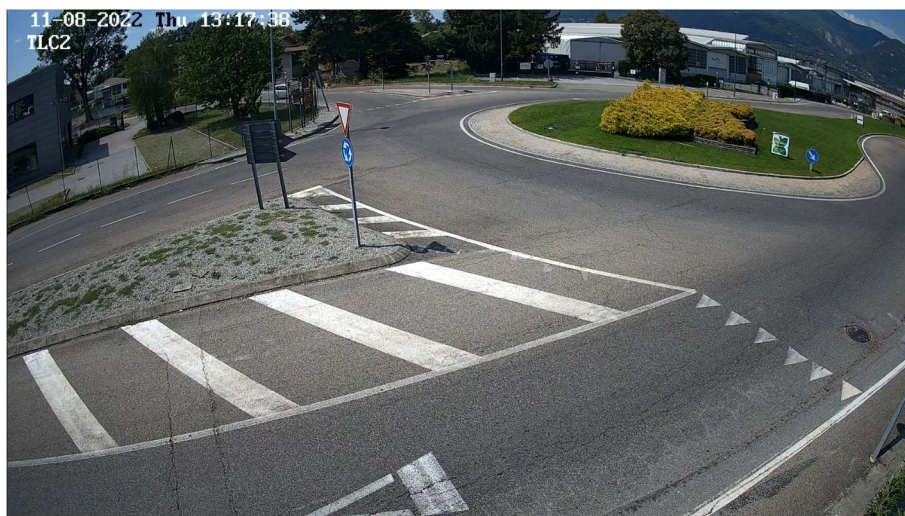


Figura 12 Scenario di traffico Telecamera 02

### *Postazione TLC 03*

La terza telecamera è stata installata in corrispondenza dell'incrocio a tre rami tra Via Trieste, l'arteria principale, e Via L. Zappa in ingresso ed uscita. In Figura 13 si riporta uno schema dell'installazione dello strumento su un palo dell'illuminazione lato strada, ed a seguire in Figura 14 un frame immagine dello scenario ripreso durante il periodo di indagine.



Figura 13 Schema installazione Telecamera 03





Figura 14 Scenario di traffico Telecamera 03

## 2.4 Descrizione dei risultati ottenuti dalla campagna di monitoraggio

I dati di traffico rilevati durante il periodo di indagine sono stati utilizzati per il conteggio classificato dei transiti, nel caso del radar, e per la costruzione delle matrici di Origine-Destinazione relative alle intersezioni di indagine, nel caso delle telecamere. Le matrici O/D riportano le origini e le destinazioni degli spostamenti associati ai vari veicoli rilevati all'intersezione durante il periodo di monitoraggio, e dal momento che i software di analisi utilizzati attraverso le tecniche di computer vision e machine learning sono in grado di riconoscere anche la tipologia di veicolo che compie lo spostamento, le matrici possono essere disaggregate sia per classe di traffico, che per intervallo temporale.

Nell'analisi di traffico in questione non sono stati presi in considerazione gli utenti deboli, ovvero i pedoni e i ciclisti, pertanto da ciascuna postazione video sono state ottenute 7 matrici O/D disaggregate al quarto d'ora, sull'intero periodo di indagine di 24 ore.

In Allegato si riportano, per ciascuna postazione di rilievo, le matrici O/D disaggregate a 15 minuti per classe veicolare, ed i relativi flussi totali, mentre a seguire è riportato un focus sulle matrici O/D complessive relative alle due fasce di punta mattutina (9:45-10:45) e pomeridiana (17:30-18:30), anche in tal caso disaggregate al quarto d'ora.

Si precisa che gli intervalli di punta, mattutina e pomeridiana appunto, sono stati individuati identificando le due ore che, rispetto alla somma dei flussi rilevati su tutte le postazioni video, hanno registrato i valori maggiori di traffico circolante.

Analogamente si riportano i risultati dei rilievi di traffico registrati sulla sezione stradale dal dispositivo radar, in termini di conteggi classificati per tipologia ed andamento medio delle velocità di percorrenza.

Avendo in questo caso eseguito un doppio rilievo in giorni distinti, come sopra specificato, vengono di seguito descritti i risultati di entrambe le attività d'indagine.

#### 2.4.1 Postazione Radar

I dati dei dispositivi Radar descrivono la composizione giornaliera del flusso circolante nella sezione controllata, e le relative velocità di percorrenza dei veicoli.

I dati registrati dalla postazione Radar utilizzati per il monitoraggio sono distinti in base al senso di marcia dei veicoli, che nella sezione in esame è costituita da una corsia per ciascuna delle due direzioni di marcia, ovvero:

- Dir. Erba, verso Nord lungo Via Milano in ingresso ad Erba;
- Dir. Ponte Nuovo, verso Sud in uscita da Erba, in direzione dell'intersezione a rotatoria superata la quale si giunge a Ponte Nuovo.

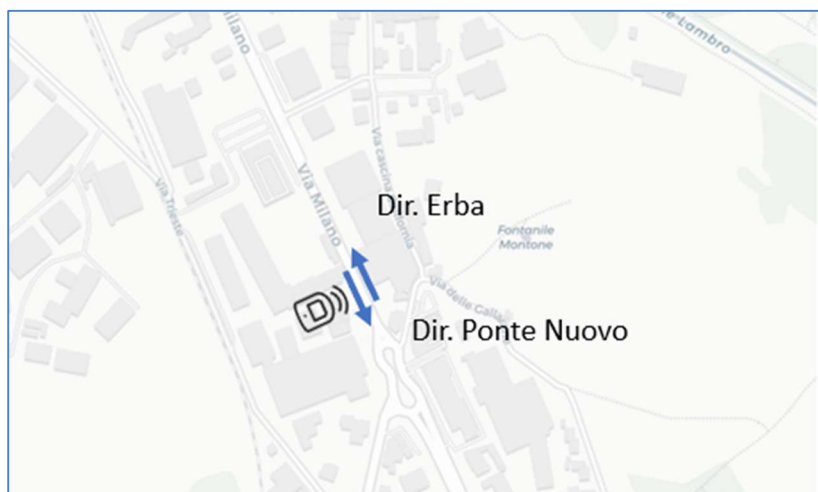


Figura 15 Schema direzioni rilievo radar

#### *Direzione Ponte Nuovo (Sud)*

Si riporta di seguito l'andamento del traffico rilevato in direzione Ponte Nuovo, per:

- Periodo compreso fra Sabato 6/08/2022 h00:00 e Giovedì 11/08/2022 h23:59, in termini di conteggio orario, distribuzione delle classi e distribuzione delle velocità;
- Giovedì 11/08/2022, con aggregazione ai 15 minuti e valori tabellari con dettaglio dell'ora di picco mattutino e pomeridiano;
- Giovedì 14/7/2022, con aggregazione ai 15 minuti e valori tabellari con dettaglio dell'ora di picco mattutino e pomeridiano;

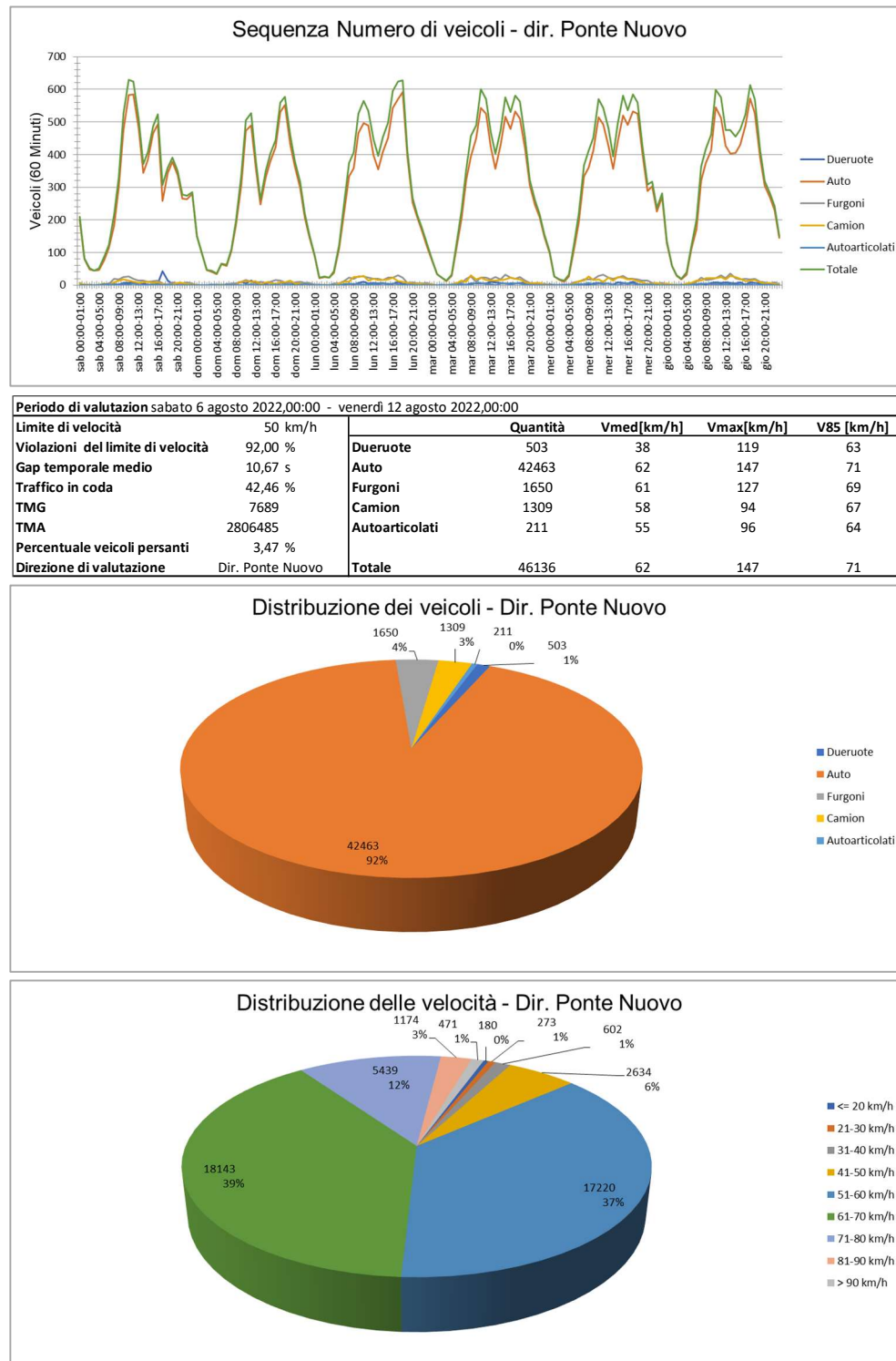


Figura 16 Grafici postazione radar dir. Ponte Nuovo – 6/08-11/08/2022

Dall'analisi dell'andamento giornaliero del traffico in direzione Ponte Nuovo si rileva un traffico medio giornaliero (TGM) pari a circa 7,7mila veicoli complessivi, composto per la maggior parte da autovetture (92%), ma in cui si rileva anche una significativa presenza di furgoni e camion (4% e 3% rispettivamente). La velocità media nel tratto monitorato, posto a circa 100m prima dell'ingresso in rotatoria, è vicina ai 60km/h, mentre sale a 71km/h la velocità media operativa (velocità dell'85esimo percentile).

Dal confronto fra i diversi giorni del periodo si osserva un andamento omogeneo fra tutti i giorni feriali, con il classico andamento con doppio picco al mattino e al pomeriggio; nel corso del week end la riduzione di flusso, seppur presente a livello giornaliero rispetto alla media del periodo, non presenta scostamenti significativi in termini di valori assoluti rispetto al resto della settimana (7.526 veicoli/giorno per Sabato, 6.685 veicoli/giorno per Domenica). Si osserva invece una diversa distribuzione del flusso nel corso della giornata, specialmente per Sabato, in cui a seguito del picco mattutino si riscontra un andamento variabile, ma in diminuzione fino a sera.

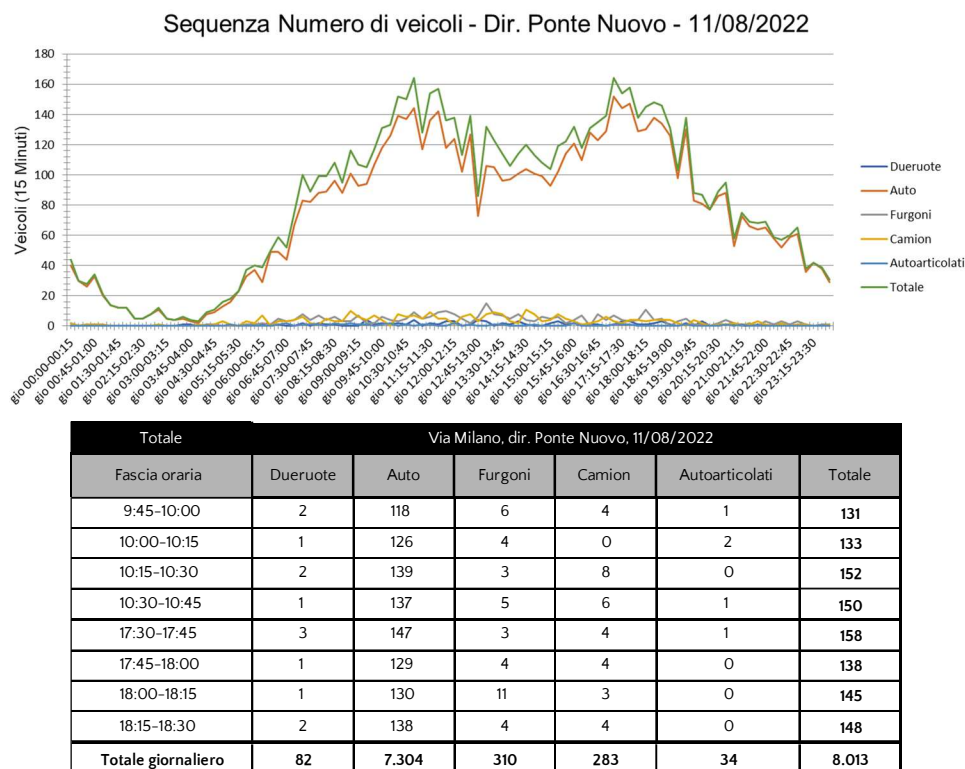
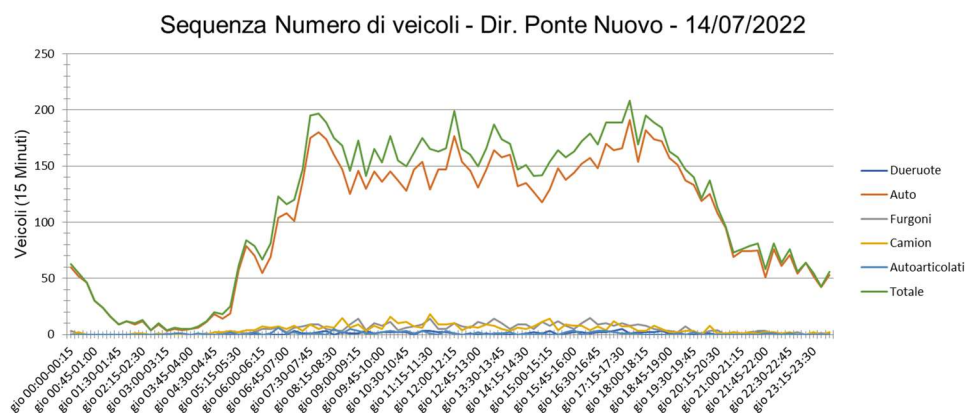


Figura 17 Grafici postazione radar dir. Ponte Nuovo - 11/08/2022



Totale Via Milano, dir. Ponte Nuovo, 14/07/2022						
Fascia oraria	Dueruote	Auto	Furgoni	Camion	Autoarticolati	Totale
9:45-10:00	2	136	8	5	2	153
10:00-10:15	2	145	11	16	3	177
10:15-10:30	2	137	4	10	2	155
10:30-10:45	2	128	6	11	3	150
17:30-17:45	1	191	8	7	1	208
17:45-18:00	2	154	9	3	1	169
18:00-18:15	2	182	8	3	0	195
18:15-18:30	2	174	5	8	0	189
<b>Totale giornaliero</b>	<b>89</b>	<b>9.778</b>	<b>455</b>	<b>438</b>	<b>87</b>	<b>10.847</b>

Figura 18 Grafici postazione radar dir. Ponte Nuovo - 14/07/2022

Nella giornata di Giovedì 11/08 è stato rilevato un traffico giornaliero di 8.103 veicoli/giorno, in linea con la media del periodo come visto in precedenza, ma sensibilmente inferiore (-26%) al traffico registrato Giovedì 14/07 con 10.847 veicoli/giorno.

Tale riduzione si riscontra, in modo trasversale su tutte le classi veicolari, anche in corrispondenza delle due ore analizzate di picco, con un calo dell'11% e del 23% rispettivamente per l'ora del mattino e l'ora del pomeriggio. In entrambi i casi la composizione del traffico circolante è quella già descritta, con oltre il 90% di autovetture.

### Direzione Erba (Nord)

Si riporta di seguito l'andamento del traffico rilevato in direzione Erba, per:

- Periodo compreso fra Sabato 6/08/2022 h00:00 e Giovedì 11/08/2022 h23:59, in termini di veicoli complessivi, distribuzione delle classi e distribuzione delle velocità;
- Giovedì 11/08/2022, con aggregazione ai 15 minuti e valori tabellari con dettaglio dell'ora di picco mattutino e pomeridiano;
- Giovedì 14/7/2022, con aggregazione ai 15 minuti e valori tabellari con dettaglio dell'ora di picco mattutino e pomeridiano;



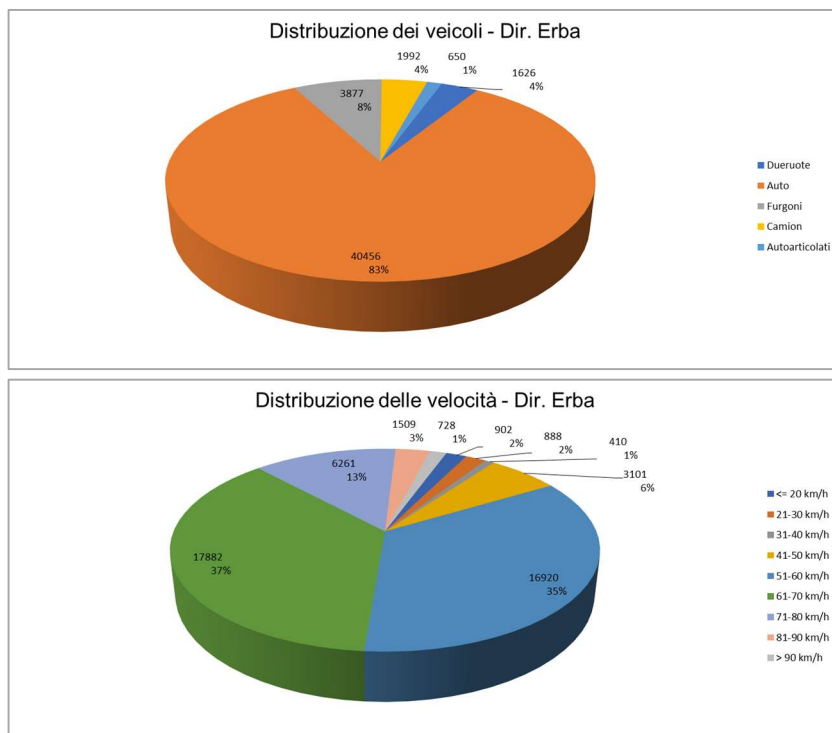
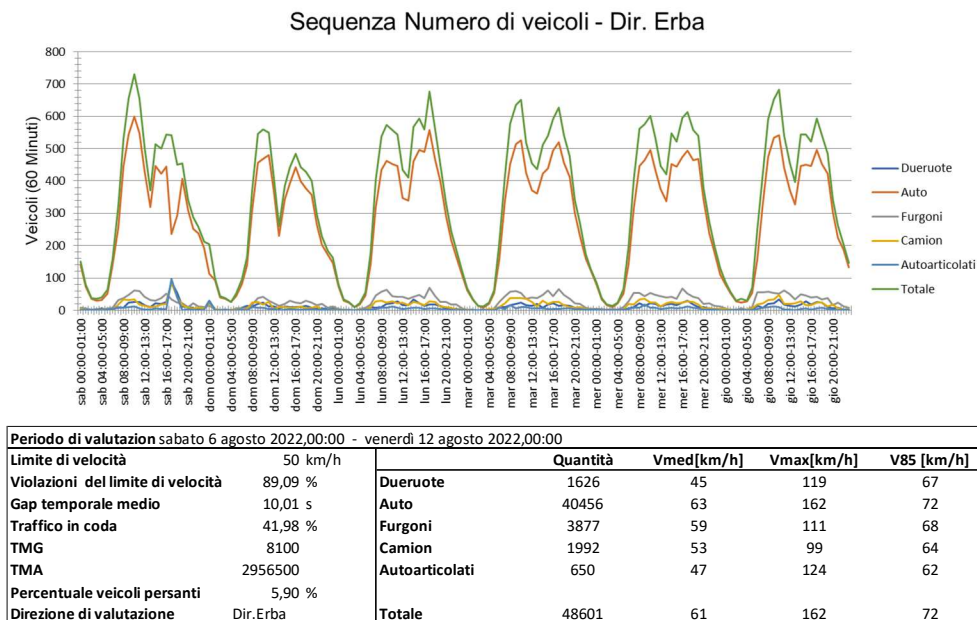


Figura 19 Grafici postazione radar dir. Erba – 6/08-11/08/2022

Dall'analisi dell'andamento giornaliero del traffico in direzione Erba si rileva un traffico medio giornaliero (TGM) pari a 8,1mila veicoli complessivi, composto per la maggior parte



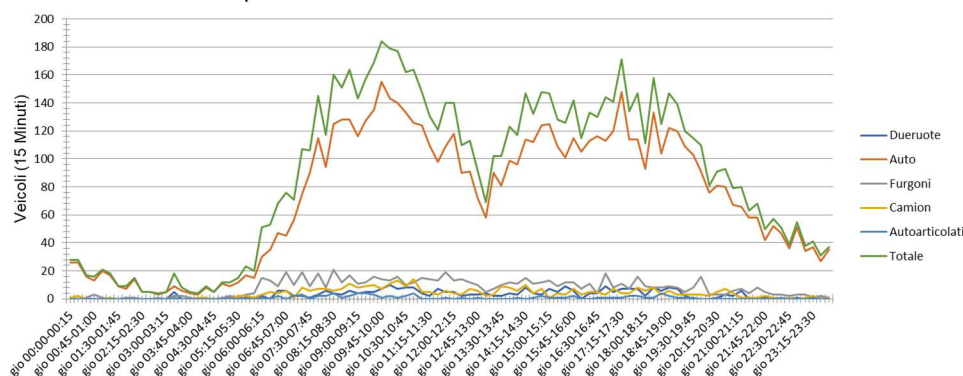
da autovetture (83%), sebbene in percentuale inferiore rispetto alla direzione opposta dove tale componente superava il 90%. Completano la distribuzione l'8% di furgoni, e 4% di camion e due ruote, mentre gli autoarticolati sono limitati all'1%.

La velocità media nel tratto monitorato è pari a 63 km/h per le autovetture, mentre la velocità operativa (velocità dell'85esimo percentile) varia dai 62km/h dei mezzi pesanti fino a 72km/h delle autovetture.

Il flusso complessivo giornaliero del periodo 6-11/08 risulta di 48mila veicoli, molto simile a quello in direzione opposta dove ne sono stati contati 46mila. Gli andamenti sono anche in questo caso molto simili fra giorni feriali, ma con picchi giornalieri che in direzione Erba raggiungono fino a quasi 700 veicoli/h, mentre verso Ponte Nuovo non superano i 600 veicoli/h nei loro valori massimi.

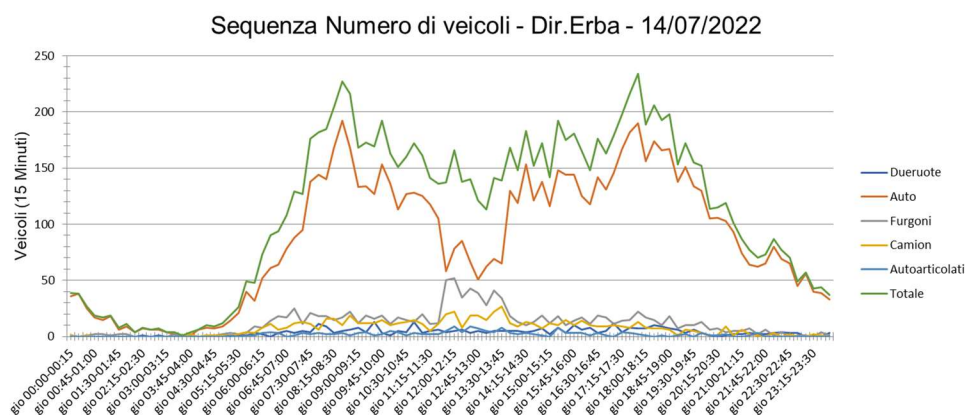
Riguardo al week end, si riscontra un flusso domenicale ridotto simile alla direzione Sud (6.876 veicoli/giorno), ma al contrario durante il Sabato si evidenziano valori superiori sia alla media del periodo, sia alla direzione opposta, con 8.441 veicoli/giorno rilevati.

Sequenza Numero di veicoli - Dir. Erba - 11/08/2022



Totale		Via Milano, dir. Erba, 11/08/2022				
Fascia oraria	Dueruote	Auto	Furgoni	Camion	Autoarticolati	Totale
9:45-10:00	7	155	14	7	1	184
10:00-10:15	10	143	13	11	2	179
10:15-10:30	7	140	16	13	1	177
10:30-10:45	8	133	10	9	2	162
17:30-17:45	7	114	7	4	2	134
17:45-18:00	7	114	16	8	2	147
18:00-18:15	2	93	9	6	1	111
18:15-18:30	8	133	8	8	1	158
Totale giornaliero	284	7.009	748	370	76	8.487

Figura 20 Grafici postazione radar dir. Erba - 11/08/2022



Totale		Via Milano, dir. Erba, 14/07/2022				
Fascia oraria	Dueruote	Auto	Furgoni	Camion	Autoarticolati	Totale
9:45-10:00	3	153	19	15	2	192
10:00-10:15	1	136	11	10	5	163
10:15-10:30	5	113	17	12	4	151
10:30-10:45	4	127	15	13	1	160
17:30-17:45	8	182	15	8	3	216
17:45-18:00	7	190	22	13	2	234
18:00-18:15	7	156	17	8	1	189
18:15-18:30	10	174	15	7	0	206
<b>Totale giornaliero</b>	<b>349</b>	<b>8.381</b>	<b>1.133</b>	<b>686</b>	<b>168</b>	<b>10.717</b>

Figura 21 Grafici postazione radar dir. Erba - 14/07/2022

Analogamente a quanto visto in direzione Ponte Nuovo, anche in direzione Erba si riscontra una diminuzione del flusso giornaliero significativo del 21%, dai 10.717 veicoli/giorno del 14/07 ai 8.487 veicoli/giorno del 11/08, dovuta prevalentemente alla diminuzione di mezzi pesanti (-55% autoarticolati, -46% camion su base giornaliera). Diverso è il caso delle ore di picco, che hanno invece registrato 666 veicoli/h e 702 veicoli/h rispettivamente nelle mattine di Luglio e Agosto, in aumento e in controtendenza rispetto all'andamento giornaliero, e 845 veicoli/h contro 550 veicoli/h nei picchi serali di Luglio e Agosto, con una riduzione di -35% nel picco serale, in questo caso superiore alla media giornaliera.

## 2.4.2 Postazione TLC 01

La postazione della telecamera n.1 corrisponde alla rotatoria a quattro rami riportata in Figura 22 con le spire di ingresso ed uscita.

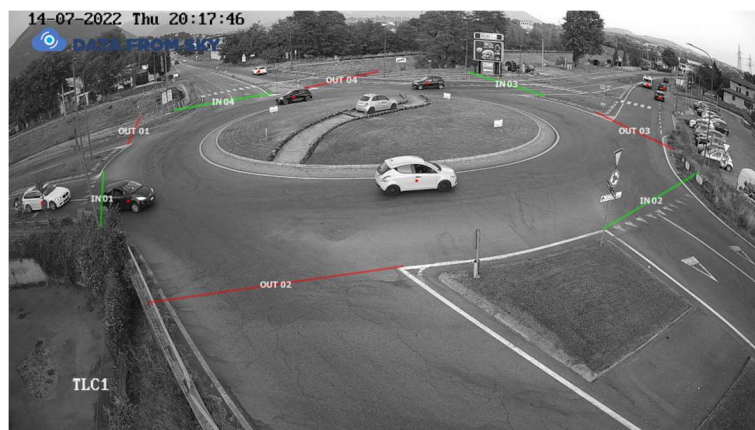


Figura 22 Schema della configurazione delle spire sul video di traffico Telecamera 01

Si riporta, per ragioni di completezza, in Figura 23 la numerazione progressiva assegnata ai quattro rami del nodo, che corrisponde alla nomenclatura utilizzata nella definizione delle matrici di origine e destinazione.

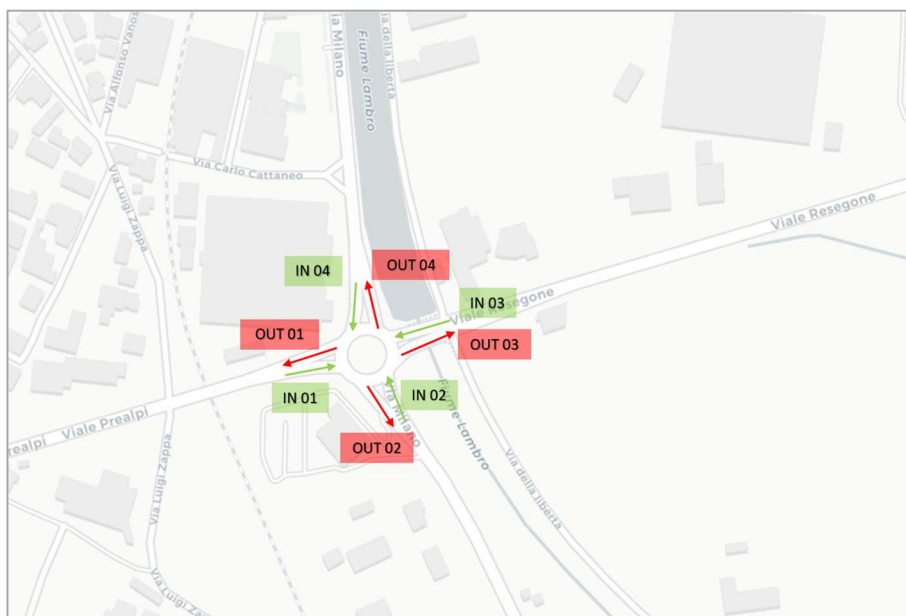


Figura 23 Numerazione rami della postazione 01

Seguono le matrici O/D disaggregate al quarto d'ora nelle due fasce di punta ed i totali

complessivi dei flussi entranti ed uscenti dal nodo in esame.

Totale	Ingresso 1				Ingresso 2			
Fascia oraria	Out_2	Out_3	Out_4	Out_1	Out_2	Out_3	Out_4	Out_1
9:45-10:00	79	85	19	4	6	59	101	73
10:00-10:15	95	98	10	0	8	61	95	60
10:15-10:30	71	96	15	3	8	55	131	68
10:30-10:45	93	84	11	3	7	61	125	68
17:30-17:45	75	119	10	3	2	57	164	76
17:45-18:00	68	99	16	1	3	56	148	79
18:00-18:15	58	110	7	1	7	72	160	67
18:15-18:30	68	123	7	1	4	59	155	78

Totale	Ingresso 3				Ingresso 4			
Fascia oraria	Out_2	Out_3	Out_4	Out_1	Out_2	Out_3	Out_4	Out_1
9:45-10:00	75	2	42	121	109	32	7	6
10:00-10:15	73	3	32	118	89	31	8	13
10:15-10:30	80	3	36	95	100	22	2	8
10:30-10:45	64	4	37	88	102	27	3	11
17:30-17:45	101	4	84	120	118	63	6	19
17:45-18:00	88	1	57	139	115	25	2	11
18:00-18:15	99	4	72	110	169	39	0	13
18:15-18:30	78	2	55	138	135	45	3	8

Totale	Totali INGRESSI				Totali USCITE				Totale
Fascia oraria	TOT Ingresso 1	TOT Ingresso 2	TOT Ingresso 3	TOT Ingresso 4	TOT Out_2	TOT Out_3	TOT Out_4	TOT Out_1	
9:45-10:00	187	239	240	154	269	178	169	204	820
10:00-10:15	203	224	226	141	265	193	145	191	794
10:15-10:30	185	262	214	132	259	176	184	174	793
10:30-10:45	191	261	193	143	266	176	176	170	788
17:30-17:45	207	299	309	206	296	243	264	218	1.021
17:45-18:00	184	286	285	153	274	181	223	230	908
18:00-18:15	176	306	285	221	333	225	239	191	988
18:15-18:30	199	296	273	191	285	229	220	225	959
<b>Totale giornaliero</b>	<b>11.155</b>	<b>14.402</b>	<b>13.780</b>	<b>9.656</b>	<b>15.306</b>	<b>12.476</b>	<b>10.611</b>	<b>10.600</b>	<b>48.993</b>

Figura 24 Matrice O/D Postazione 01

La matrice O/D totale giornaliera evidenzia una distribuzione dei flussi ripartita su tutti i rami dell'intersezione, sia in ingresso che in uscita, con una preponderanza in ingresso da Viale Resegone (IN 03) e Via Milano Sud (IN 02) da cui arriva quasi il 60% del traffico giornaliero sull'intersezione (48.993 veicoli/giorno), così come risultano le direzioni preferite in uscita con percentuali analoghe.

In ingresso tale distribuzione è confermata nelle ore di punta sia del mattino, che della sera: la fascia di punta mattutina fra le 9:45 e le 10:45 ha rilevato un flusso orario complessivo di 3.195 veicoli/h, di cui il 31% e il 27% entrati rispettivamente da Via Milano Sud (IN 02) e Via Resegone (IN 03), mentre nell'ora di punta pomeridiana 17:30-18:30, su un totale di 3.876 veicoli/h, le percentuali in ingresso sui due rami sono pari al 31% e 30%.

Durante le ore di picco, sebbene in uscita le due vie poste ad Est e a Sud della rotatoria (OUT 02, OUT 03) rimangono complessivamente preferite rispetto alle due alternative (OUT 01,

OUT 04), la sola Viale Resengone (OUT 3) assorbe il 33% al mattino e 31% alla sera del flusso all'intersezione, mentre il restante traffico circolante si distribuisce in modo omogeneo sulle altre 3 destinazioni in entrambe le fasce di picco.

Nonostante Via Resengone e Via Milano Sud risultino gli accessi dell'intersezione complessivamente più utilizzati, sia in ingresso che in uscita, le traiettorie maggiormente percorse non sono quelle che collegano direttamente questi due rami, bensì le direttrici Nord-Sud e Est-Ovest: per entrambi, infatti, i maggiori flussi uscenti sono quelli provenienti dai rami opposti, da Via Prealpi verso Via Resengone (IN 01 -> OUT 03), e da Via Milano Nord verso Via Milano Sud (IN 04 -> OUT 02); analogamente, per i flussi entranti dalle due vie principali, le direzioni preferite risultano rispettivamente Via Prealpi (IN 03 -> OUT 01) o il proseguimento lungo Via Milano Nord (IN 02 -> OUT 04).

#### 2.4.3 Postazione TLC 02

La postazione n. 02 corrisponde all'incrocio tra Via Milano (SP41), Via Nuova Valassina, Via Roma e Via delle Gallarane, regolato da circolazione a rotatoria.



Figura 25 Schema della configurazione delle spire sul video di traffico Telecamera 02

I rami dell'incrocio, per la porzione di rotatoria visibile dall'inquadratura della telecamera, sono numerati secondo l'ordine riportato in Figura 29, che corrisponde alla stessa nomenclatura utilizzata nella costruzione della matrice O/D. La matrice O/D completa dell'intersezione, compresi i due rami posti a Nord della stessa Via Milano e Via Gallarane, può essere successivamente derivata attraverso l'analisi congiunta dei transiti della matrice parziale insieme ai conteggi rilevati dalla postazione radar, posta proprio nel tratto di Via Milano a monte dell'intersezione.



Figura 26 Numerazione rami Postazione 02

Si riporta di seguito la matrice O/D relativa alle fasce di punta mattutina e pomeridiana ed al totale complessivo dei veicoli rilevati.

Totale	Ingresso 1			Ingresso 2			Ingresso 3		
Fascia oraria	Out_3	Out_2	Out_1	Out_3	Out_2	Out_1	Out_3	Out_2	Out_1
9:45-10:00	111	38	13	10	0	41	0	0	178
10:00-10:15	114	35	12	2	0	35	0	0	179
10:15-10:30	111	45	17	6	0	30	0	0	177
10:30-10:45	141	31	17	8	0	31	0	0	184
17:30-17:45	153	40	10	9	0	31	0	0	163
17:45-18:00	136	30	10	13	0	27	0	0	146
18:00-18:15	141	31	9	9	0	21	0	0	145
18:15-18:30	125	38	12	11	0	34	0	0	153

Totale	Totali INGRESSI			Totali USCITE			Totali
Fascia oraria	TOT Ingresso 1	TOT Ingresso 2	TOT Ingresso 3	TOT Out_3	TOT Out_2	TOT Out_1	
9:45-10:00	162	51	178	121	38	232	391
10:00-10:15	161	37	179	116	35	226	377
10:15-10:30	173	36	177	117	45	224	386
10:30-10:45	189	39	184	149	31	232	412
17:30-17:45	203	40	163	162	40	204	406
17:45-18:00	176	40	146	149	30	183	362
18:00-18:15	181	30	145	150	31	175	356
18:15-18:30	175	45	153	136	38	199	373
<b>Totale</b>	<b>9.490</b>	<b>2.064</b>	<b>8.662</b>	<b>7.700</b>	<b>1.793</b>	<b>10.723</b>	<b>20.216</b>

Figura 27 Matrice O/D Postazione 03

La matrice O/D totale giornaliera evidenzia una significativa preponderanza dei flussi lungo le direttrici Nord-Sud (IN 01 -> OUT 03) e Sud-Nord (IN 03 -> OUT 01), mentre il traffico passante per Via Roma, sia in ingresso che in uscita, copre solo il 10% del traffico transitante complessivo giornaliero, pari a 20.216 veicoli/giorno.

Gli andamenti delle distribuzioni fra le origini e le destinazioni risultano analoghe nei due



picchi mattutino e pomeridiano, sia come valori assoluti di flussi circolanti (1.566 veicoli/ora al mattino, 1.497 veicoli/ora al pomeriggio), sia come scelte di svolta: per coloro che arrivano da Nord (IN 01) si conferma preferita la direzione che prosegue verso Sud lungo Via Nuova Valassina (OUT 03), scelta da oltre il 70% dei flussi in arrivo, mentre circa il 10% percorre l'anello circolatorio per tornare verso Nord (OUT 01), presumibilmente verso Via delle Gallarane; la percentuale rimanente, circa il 20% dei circa 700 veicoli/ora delle due ore di picco svolta verso Sud-Ovest lungo Via Roma (OUT 02). I flussi che invece provengono da Via Roma sono per lo più diretti verso Nord (OUT 01), e solo il 20% circa imbocca la prima uscita verso Via Nuova Valassina (OUT 03).

#### 2.4.4 Postazione TLC 03

La postazione n. 03 corrisponde all'incrocio tra Via Trieste e Via L. Zappa. In Figura 28 si riporta una schematizzazione delle spire impostate direttamente sul frame video.

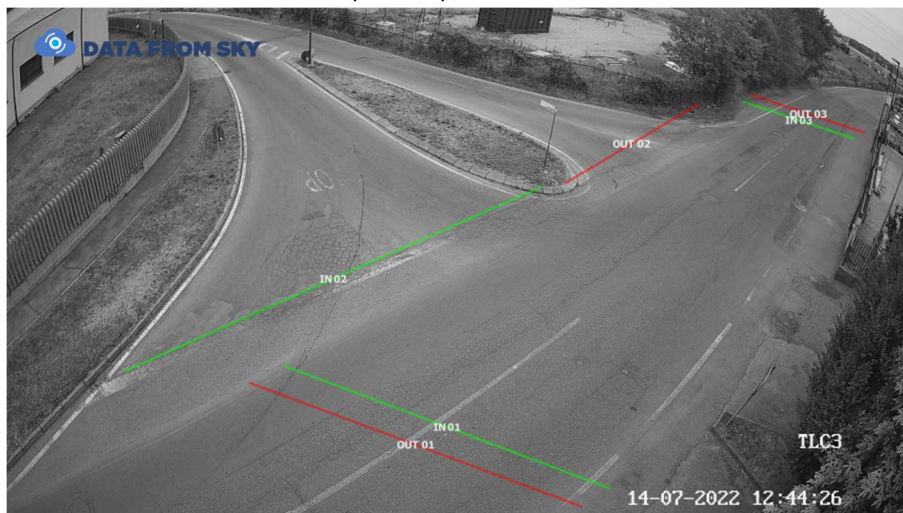


Figura 28 Schema della configurazione delle spire sul video di traffico Telecamera 03

I tre rami dell'incrocio sono numerati secondo l'ordine riportato in Figura 29 che corrisponde alla stessa nomenclatura utilizzato nella costruzione della matrice O/D. Nella costruzione della matrice O/D relativa al nodo in esame compare in aggiunta Via Pontida, presa in esame poiché la configurazione della telecamera ha reso possibile il monitoraggio dei veicoli entranti/uscenti anche da questa via secondaria. Questo ha inoltre consentito un maggior dettaglio dell'analisi, permettendo di distinguere gli eventuali spostamenti aventi come origine o destinazione il ramo n.3 del nodo (Via Trieste Sud), da quelli iniziati o terminati in Via Pontida.

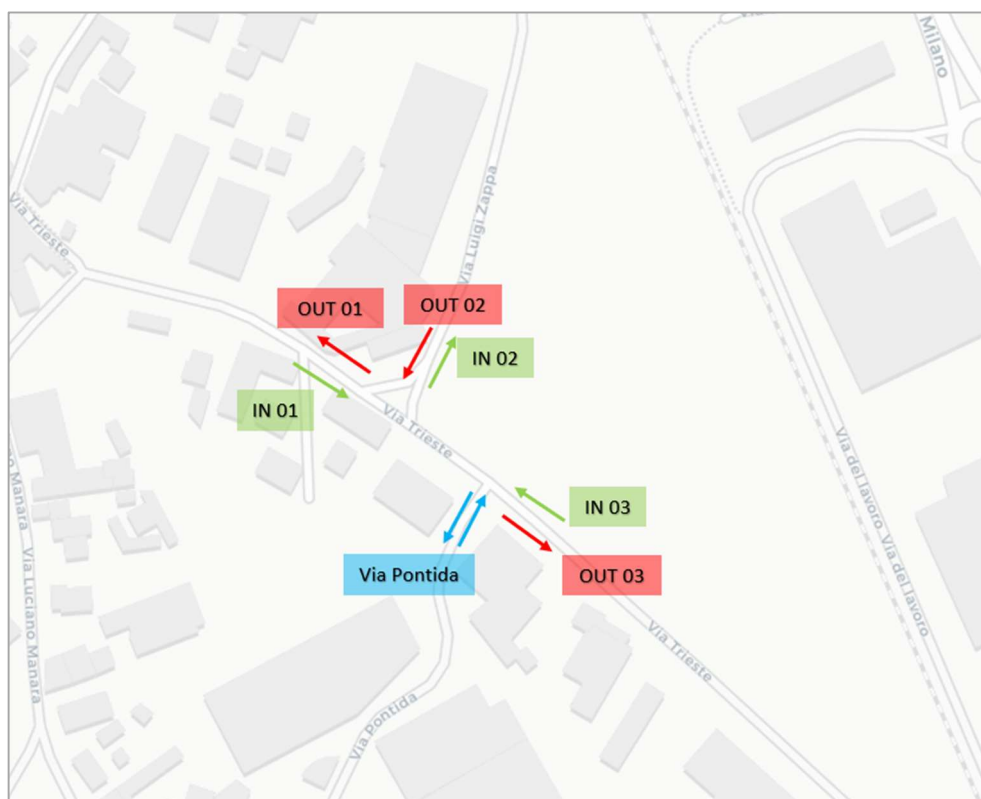


Figura 29 Numerazione rami Postazione 03

Si riporta anche in tal caso la matrice O/D relativa alle fasce di punta mattutina e pomeridiana ed al totale complessivo dei veicoli rilevati.

Totale	Ingresso 1				Ingresso 2			
	Out_1	Out_2	Out_3	Via Pontida	Out_1	Out_2	Out_3	Via Pontida
9:45-10:00	0	7	63	3	11	0	19	0
10:00-10:15	0	8	79	1	14	0	16	0
10:15-10:30	0	7	72	2	16	0	16	1
10:30-10:45	0	6	61	2	12	0	14	0
17:30-17:45	0	5	74	0	9	0	22	0
17:45-18:00	0	1	79	0	6	0	25	0
18:00-18:15	0	0	93	0	3	0	21	0
18:15-18:30	0	8	82	0	2	0	29	0



Totale	Ingresso 3				Via Pontida			
Fascia oraria	Out_1	Out_2	Out_3	Via Pontida	Out_1	Out_2	Out_3	Via Pontida
9:45-10:00	54	18	0	0	0	0	0	0
10:00-10:15	48	6	0	0	0	0	0	0
10:15-10:30	57	11	0	1	0	0	1	0
10:30-10:45	46	13	0	0	0	0	0	0
17:30-17:45	65	31	0	0	2	0	1	0
17:45-18:00	76	26	0	0	4	0	1	0
18:00-18:15	85	21	0	0	4	0	0	0
18:15-18:30	91	18	0	0	1	0	0	0

Totale	Totali INGRESSI				Totali USCITE				Totale
Fascia oraria	TOT Ingresso 1	TOT Ingresso 2	TOT Ingresso 3	TOT Via Pontida	TOT Out_1	TOT Out_2	TOT Out_3	Via Pontida	
9:45-10:00	73	30	72	0	65	25	82	3	175
10:00-10:15	88	30	54	0	62	14	95	1	172
10:15-10:30	81	33	69	1	73	18	89	4	184
10:30-10:45	69	26	59	0	58	19	75	2	154
17:30-17:45	79	31	96	3	76	36	97	0	209
17:45-18:00	80	31	102	5	86	27	105	0	218
18:00-18:15	93	24	106	4	92	21	114	0	227
18:15-18:30	90	31	109	1	94	26	111	0	231
<b>Totale</b>	<b>3.776</b>	<b>1.428</b>	<b>3.444</b>	<b>63</b>	<b>3.125</b>	<b>1.062</b>	<b>4.413</b>	<b>111</b>	<b>8.711</b>

Figura 30 Matrice O/D Postazione 03

Rispetto alle altre postazioni di rilievo (Postazione TLC1: 48.993 veicoli/giorno, postazione TLC2: 20.216 veicoli/giorno), in questa postazione è stato rilevato un totale giornaliero dei veicoli significativamente inferiore, pari a 8.711 veicoli/giorno, giustificato dal carattere maggiormente locale della strada.

Nella fascia di punta mattutina il totale dei veicoli rilevati è pari a 685 veicoli/ora; il ramo Via Trieste Nord (IN/OUT 01) e Via Trieste Sud (IN/OUT 03), risultano quelli maggiormente interessati dai volumi di traffico, assorbendo insieme più dell'80% dei transiti sul nodo, sia entranti che uscenti dal sistema. I flussi che interessano il ramo secondario di Via Zappa (IN/OUT 02) sono invece inferiori sia in entrata che in uscita, mentre quelli che coinvolgono Via Pontida risultano assolutamente trascurabili in numero all'interno di questa fascia oraria (9:45-10:45), così come su base giornaliera dove risultano 111 veicoli/giorno in uscita e 63 veicoli/giorno in entrata.

Nella fascia di punta pomeridiana il totale dei veicoli rilevati è 885 veicoli/ora, con analoghe percentuali di ripartizione dei flussi, solo in minima parte transitanti per Via Zappa (12% in ingresso e 13% in uscita), e principalmente transitanti lungo la direttrice Via Trieste.

### 3. Simulazioni di traffico

---

#### 3.1 Nota metodologica

Lo studio è stato sviluppato seguendo e perseguendo i principi base dell'ingegneria dei sistemi di trasporto (Cascetta 1998, 2006, 2009; Ortuzar de Dios & Willumsen, 2011).

L'analisi è focalizzata esclusivamente su aspetti di tipo tecnico connessi alla circolazione e al deflusso dei veicoli, prescindendo totalmente da elementi di tipo economico, finanziario e sociale.

Lo studio è stato sviluppato secondo l'approccio classico e consolidato in letteratura scientifica che prevede: definizione dell'offerta di trasporto; definizione della domanda di trasporto; assegnazione del traffico (con diverse assegnazioni eseguite, effettuando successivamente una media delle "run", ossia delle assegnazioni svolte); analisi dei risultati. Lo scenario attuale rappresenta le condizioni reali mostrate dal sistema ad oggi, mentre gli scenari futuri costituiscono possibili scenari che potrebbero realizzarsi in virtù della variazione del sistema di offerta (nuove intersezioni stradali, inserimento di una rotatoria, ecc.), o della variazione della domanda di mobilità (realizzazione di un nuovo insediamento, cambio di destinazione d'uso di un'area, incremento della domanda secondo predeterminati picchi di traffico, ecc.).

Gli scenari futuri considerati sono di due tipologie: scenari di intervento, in cui si considera la realizzazione di un certo intervento previsto; scenari di non intervento, in cui si considera la non realizzazione di un certo intervento. Dal confronto tra questi due scenari, a parità di domanda, è facile evidenziare il contributo e gli impatti prodotti da una certa iniziativa/progetto.

Lo studio non ha considerato aspetti della circolazione stradale caratterizzati da comportamenti non legali quali: manovre non consentite; sosta selvaggia; attraversamento pedonale in zone non consentite; ecc. Nonostante in alcuni casi si tratti di manovre "tollerate", o comunque consuete, nello studio non sono stati prese in considerazione azioni svolte in non conformità con le leggi vigenti e con i regolamenti stradali comunali.

L'approccio metodologico adottato costituisce un processo assolutamente consolidato sia da un punto di vista scientifico, che tecnico, che applicativo. Tale processo ha consentito di perseguire e raggiungere gli obiettivi comunemente prefissati.

## 3.2 Scenario stato di fatto

La prima parte è connessa alla definizione dello scenario attuale. Come anticipato in precedenza, questa fase ha previsto un impiego di risorse decisamente elevato, rappresentando la componente prioritaria dello studio. Lo Sc0-SdF (Scenario iniziale stato di fatto) è stato analizzato, definito e validato in modo da essere più possibile affine alla realtà della circolazione stradale nell'area d'esame.

I dati sono simulati sono stati validati con i dati di traffico rilevati dalla campagna di monitoraggio e i dati di TomTom ed incrementati vista il periodo di rilevamento dei dati.

### 3.2.1 Big data sul traffico TomTom®

Rispetto alle soluzioni di monitoraggio fisse, già citati, il mercato delle strumentazioni per il monitoraggio dei dati di traffico si sta orientando in alcune macro categorie. Sicuramente il miglioramento degli algoritmi di computer vision ha permesso una vasta diffusione in diverse forme di tale tecnologia (*edge*, *embedded*, *server*) come anche dispositivi radar, scanner WiFi/Bluetooth permettono un'elevata qualità del dato. Per ottenere un'analisi più vasta è necessario accedere a dati che permettano valutazioni dettagliate su scala locale come su scala mondiale. È il caso dei Floating Car Data o Floating Cellular Data, in sigla FCD (italiano: dati automobilistici mobili): fanno riferimento ad un metodo specifico per determinare l'andamento del traffico su una rete stradale. Tali dati sono basati sulla collezione di dati geolocalizzati, come per esempio, posizione, velocità, direzione di viaggio ed integrati con informazioni temporali provenienti da diverse fonti, comunemente definiti Big Data.

Oggi la tecnologia e l'evoluzione del mercato dei dispositivi a bordo veicolo hanno permesso di dimostrare come la copertura del campionamento sia adeguata e, pertanto, il metodo delle FCD sia una valida alternativa, o meglio una ottima integrazione dei dati tradizionalmente ottenuti con i sensori fissi (spire, radar, ecc.).

Tra questi, si può distinguere in due macro classi di dati FCD:

- dati nativi
- dati esterni al sistema della mobilità.

I fornitori di dati nativi dal sistema mobilità possono essere suddivisi a loro volta in:

- Local provider nazionali
- Big provider mondiali
- Mobile app based

I dati nativi dal sistema mobilità provengono dalle tecnologie installate a bordo dei veicoli, per la comunicazione con le infrastrutture, per la navigazione satellitare, per la registrazione degli eventi incidentali e di gestione delle flotte. Una recente ricerca (Osservatorio, 2020) ha dimostrato come siano oltre 16,7 milioni i veicoli connessi In Italia, pari al 40% delle vetture

che circolano su strada. Secondo quanto emerge dalla ricerca, i dispositivi più diffusi all'interno delle auto (63% - 10,5 milioni) sono i box GPS/GPRS, le "scatole nere", che sono utilizzati per la localizzazione e la registrazione dei parametri di guida a fini assicurativi. Tuttavia, a trainare il settore anche le auto nativamente connesse tramite SIM (2,2 milioni) o tramite sistemi Bluetooth (4,4 milioni). Questi numeri molto importanti hanno un preciso riflesso sul comportamento dei consumatori.



Figura 31 Esempio di scatola nera.

Tali dati vengono fornite di norma in formato elementare (shapefile o json) e permettono la ricostruzione del percorso da un'origine ad una destinazione, reso anonimo da algoritmi di mascheramento. Dalle scatole nere è possibile effettuare analisi sia tramite i dati grezzi sia con analisi più approfondite (dashboard, cartografia, reportistica, applicazioni specifiche di *geofencing*), e fornisco le seguenti informazioni sul traffico:

- informazioni e controllo del traffico veicolare
- matrici origine/destinazione
- traffico pendolari da/verso nodi di interscambio
- percorsi e distanze effettuate/analisi sui parcheggi
- carico/scarico merci negli interporti
- tempo di sosta all'interno delle aree di carico/scarico merci
- analisi per periodi diversi (ore/giorni/mesi, etc.)
- analisi su zone e segmenti di strada (interporti, hub, nodi logistici, segmenti di autostrade con coordinate geografiche)
- stato delle strade, punti pericolosi comprensivo opzionalmente delle informazioni sulla tipologia di veicolo
- tracciati GPS in formato originale

Al dato FCD, è possibile accedere a pagamento al portale di TomTom e scaricare le informazioni desiderate.

Vengono di seguito riportate alcune immagini che riportano:

- campione di traffico rilevato
- velocità medie di percorrenza

Per la validazione del modello dello stato di fatto, oltre alle postazioni di monitoraggio rilevate, è stato necessario acquistare alcuni dati FCD di TomTom dell'area in studio. In particolar modo si è concentrati sulla rotatoria di Viale Prealpi/Via Milano/SP639.

A tal proposito la verifica eseguita è stata sull'incremento di traffico tra la rilevazione del 14/07/2022 e un giorno medio feriale di settembre (22/09/2022).

I dati FCD rappresentano un campione affidabile del traffico reale e nelle immagini seguenti è possibile apprezzare il livello di dettaglio e di qualità dei dati delle velocità di percorrenza e del campione rilevato.

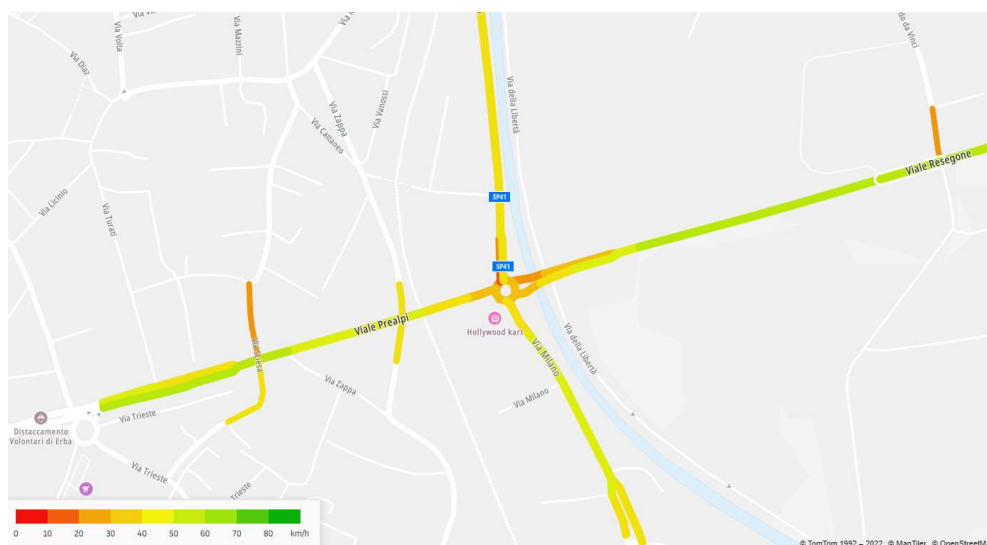


Figura 32 Velocità di percorrenza.

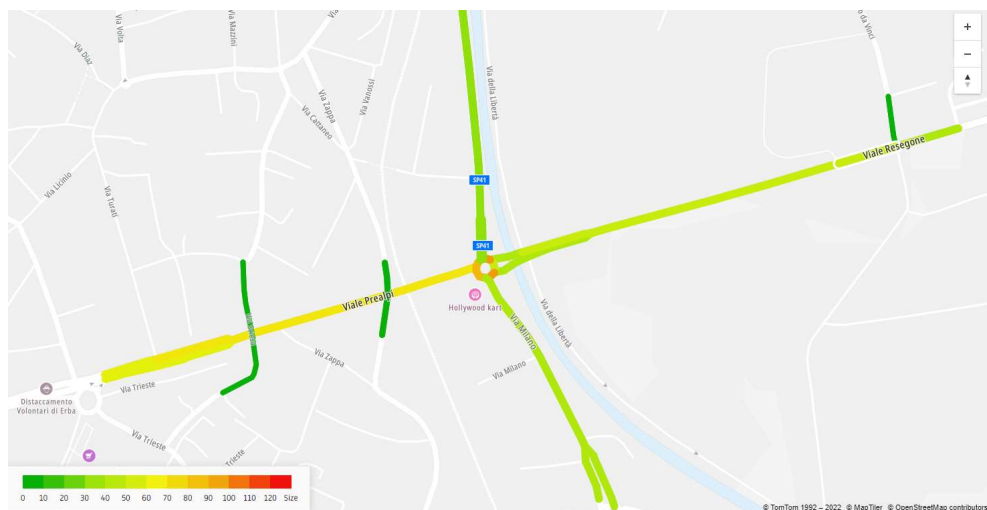


Figura 33 Campione di traffico rilevato.

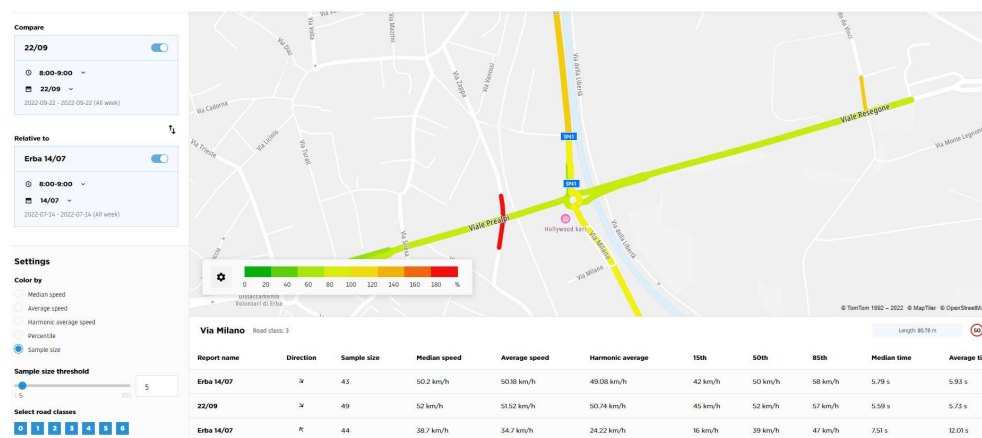


Figura 34 Dettaglio del confronto tra luglio e settembre 2022 (fascia mattutina 8.00-9.00)

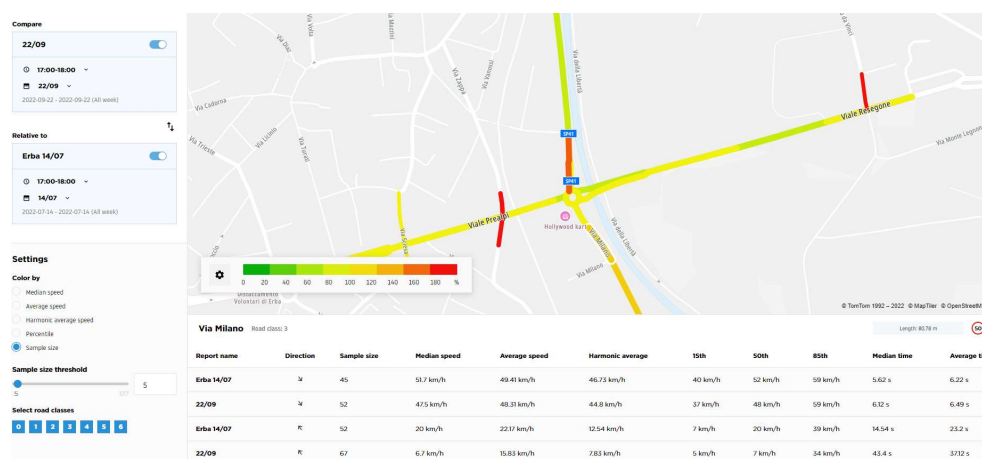


Figura 35 Dettaglio del confronto tra luglio e settembre 2022 (fascia mattutina 17.00-18.00)

Grazie alla conoscenza dei dati di traffico reali rilevati dalla TLC 01 è possibile eseguire una valutazione del campionamento prodotto e validare tale metodologia.

In primo luogo è possibile osservare dalla figura 36 come tali dati, successivamente ad una omogeneizzazione di scale, siano assolutamente confrontabili da un punto di vista di variabilità oraria. I dati TomTom ripercorrono con un'ottima correlazione i dati di traffico reali evidenziando sia la punta mattutina sia quella serale.

Il valore di correlazione è pari a 0,96 e rappresenta pertanto un relazione molto significativa.

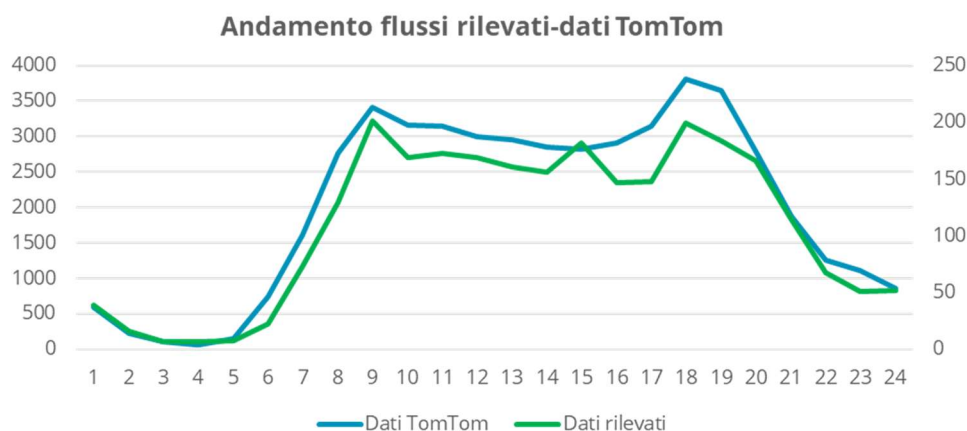


Figura 36 Confronto dati TomTom e dati reali rilevati con TLC.

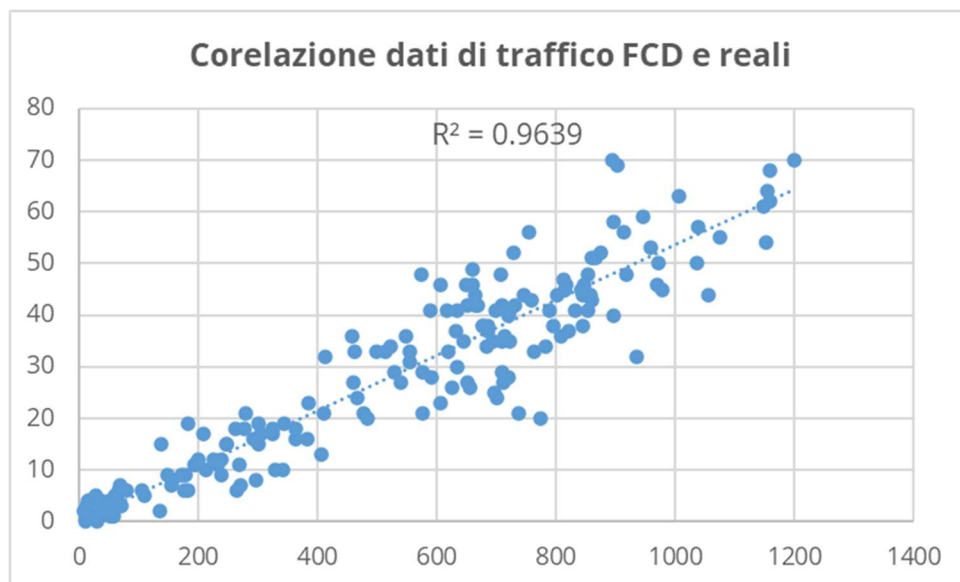


Figura 37 Correlazione dati

Se nel suo complesso i dati evidenziano una buona affidabilità, c'è comunque da osservare come, da un punto di vista statistico la correlazione è funzione della fascia oraria: tale condizione è dovuta al minor numero di auto che circolano nelle ore di morbida e conseguentemente anche del numero di dispositivi rilevati. Il grafico seguente mostra come, dalle 23:00 alle 5:00, l'affidabilità del dato è molto variabile, a differenza della fascia 6:00-22:00 in cui il dato è molto costante.



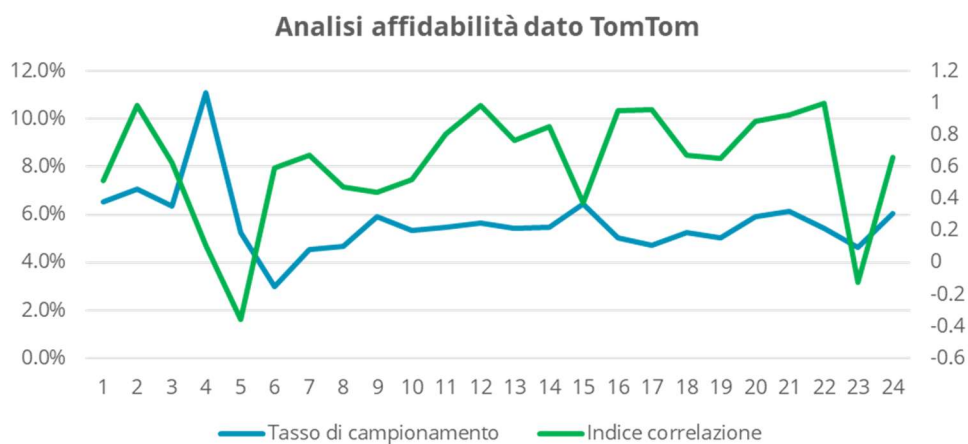


Figura 38 Analisi di affidabilità del dato TomTom

Validati i dati TomTom è possibile procedere al confronto per la valutazione di un'eventuale integrazione dei dati di traffico rilevati nel periodo estivo (luglio-agosto 2022).

Ad una prima analisi i dati sembrerebbero rilevare una lieve differenza (+9 dispositivi rilevati, pari al +0,3%) tra i due periodi considerati; in realtà riprendendo i risultati dell'analisi di affidabilità dei dati TomTom dalle 23:00 alle 5:00 l'affidabilità del dato è molto variabile. Tale considerazione è confermata dalla forte variabilità della percentuale delta in tale fascia (da -74% a +28%). Sono state pertanto calcolate due medie prendendo una fascia ampia, pari a 4 ore per una validità statistica, e i risultati, riportati nella tabella 1, sono i seguenti:

- +5,9% (fascia mattutina (5:00-09:00);
- +8,4% nella fascia serale (16:00-20:00).

Nello scenario dello stato di fatto sono state pertanto aumentate i valori delle matrici OD rispettivamente dei valori rilevati dal confronto TomTom qui sopra riportato.

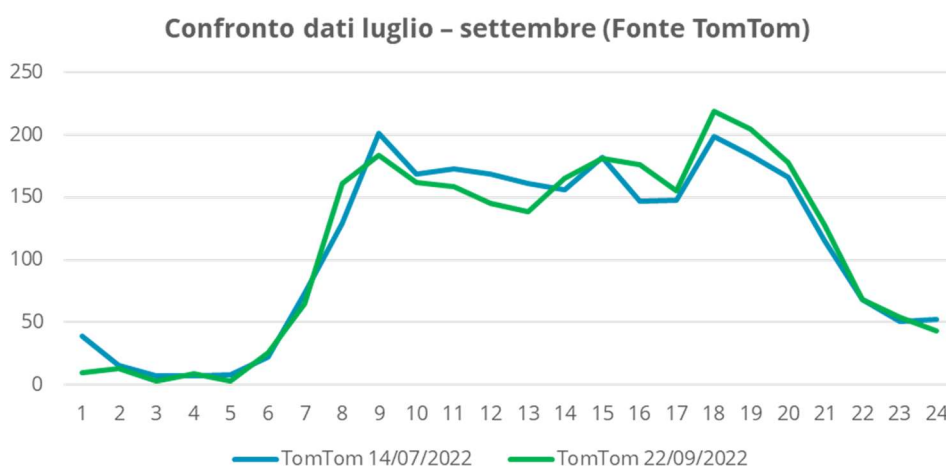


Figura 39 Confronto dati nel periodo luglio-settembre



Fascia oraria	Luglio	Settembre	Delta %	Media di riferimento
00:00-01:00	39	10	-74,4%	
01:00-02:00	16	13	-18,8%	
02:00-03:00	7	3	-57,1%	
03:00-04:00	7	9	28,6%	
04:00-05:00	8	3	-62,5%	
<b>05:00-06:00</b>	22	26	18,2%	<b>+5,9%</b>
<b>06:00-07:00</b>	73	65	-11,0%	
<b>07:00-08:00</b>	129	161	24,8%	
<b>08:00-09:00</b>	201	184	-8,5%	
09:00-10:00	169	162	-4,1%	
10:00-11:00	173	159	-8,1%	
11:00-12:00	169	145	-14,2%	
12:00-13:00	161	139	-13,7%	
13:00-14:00	156	165	5,8%	
14:00-15:00	182	181	-0,5%	
15:00-16:00	147	176	19,7%	
<b>16:00-17:00</b>	148	155	4,7%	
<b>17:00-18:00</b>	199	219	10,1%	
<b>18:00-19:00</b>	184	205	11,4%	
<b>19:00-20:00</b>	166	178	7,2%	<b>+8,4%</b>
20:00-21:00	115	128	11,3%	
21:00-22:00	68	68	0,0%	
22:00-23:00	51	54	5,9%	
23:00-00:00	52	43	-17,3%	
<b>Totale giorno</b>	<b>2.642</b>	<b>2.651</b>	<b>0,3%</b>	

Tabella 1 – Riepilogo oraria del confronto dati

Al fine di avere un confronto completo, si riportano alcune considerazioni per ciascun ramo. La figura sottostante riporta tali considerazioni: sebbene non siano state utilizzate tali variazioni per il calcolo dell'incremento di traffico, sono risultate utili per calibrare il modello di simulazione.

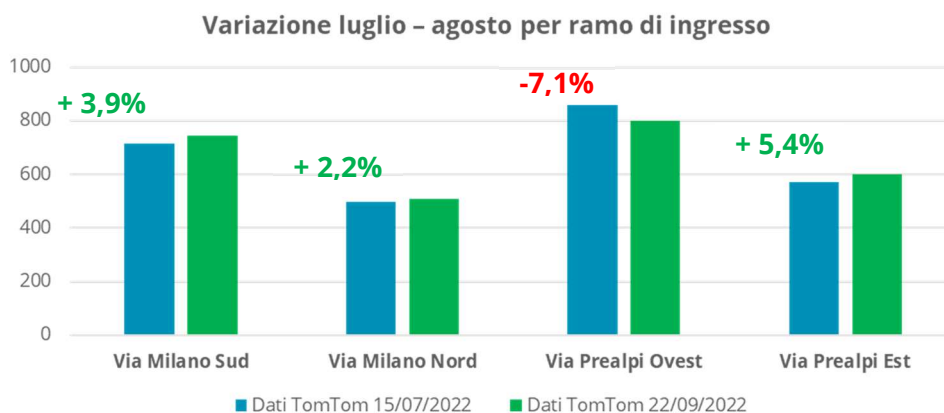


Figura 40 Valutazioni per ramo di ingresso

### 3.2.2 Ricostruzione della domanda di traffico

La valutazione del picco complessivo della rete e di conseguenza delle simulazioni, è stata condotta utilizzando i dati rilevati e descritti nel capitolo 2. Nel presente paragrafo viene invece introdotta la metodologia per la ricostruzione complessiva della matrice Origine/Destinazione (OD) da utilizzare come domanda di traffico nel modello. La prima operazione è l'omogeneizzazione dei veicoli.

La classificazione va scelta con riferimento agli obiettivi del rilevamento che si sta effettuando: in genere i veicoli vanno distinti in veicoli per il trasporto di persone e veicoli per trasporto di merci. All'interno di ciascuna di queste due classi, vanno distinti in relazione al loro impegno di capacità stradale; a tale scopo si fa riferimento al loro *coefficiente di equivalenza*. In questo caso si parla più propriamente di *veicolo equivalente*.

Il termine *Coefficiente di Equivalenza dei Veicoli (CEV)* fu introdotto per la prima volta nell'*Highway Capacity Manual (HCM)* del 1965, che rappresenta il testo più accreditato in ambito internazionale per lo studio del deflusso veicolare. Il concetto di CEV nasce dalla considerazione che, al di là dello spazio fisico di ingombro maggiore rispetto alle autovetture, i mezzi pesanti hanno un impatto superiore nel deflusso di una corrente veicolare. In particolar modo per le strade in forte pendenza, le condizioni di deflusso sono fortemente influenzate dal diverso comportamento rispetto alle autovetture (si pensi ad esempio alle differenti accelerazioni e velocità che i mezzi pesanti hanno su un tratto autostradale in salita). I comportamenti non omogenei tra mezzi pesanti e autovetture all'interno di una corrente di traffico portano ad una caduta di prestazioni in termini di deflusso di cui si cerca di tener conto attraverso l'uso dei CEV. Il CEV è pertanto definito come il numero di autovetture che provocherebbero un effetto equivalente sul deflusso di una generica corrente di traffico composta da mezzi pesanti ed autovetture. Tali coefficienti variano in funzione dei parametri pocanzi descritti e della fonte, in genere si assumono tali

intervalli di valori:

Classe veicolo	Valore coefficiente CEV
Biciclette	0,3÷0,5
Veicoli a due ruote (a motore)	0,5
Autovetture	1
Veicoli commerciali leggeri	1,5÷2
Veicoli commerciali pesanti	2÷2,5
Autobus	3,5÷5
Autoarticolato	3÷3,5
Autotreno	3,5÷5

Tabella 2 Intervalli dei Coefficienti di Equivalenza dei Veicoli

Una volta omogeneizzati tutti i veicoli, si sommano per veicoli in ingresso dell'area di studio. I risultati sono riportati nella figura sottostante. Il picco di traffico massimo è stato stimato in 4.418 veicoli equivalenti/ora nella fascia oraria 17.30-18.30 e di 3.900 veicoli equivalenti/ora nella fascia oraria 7.30-8.30.

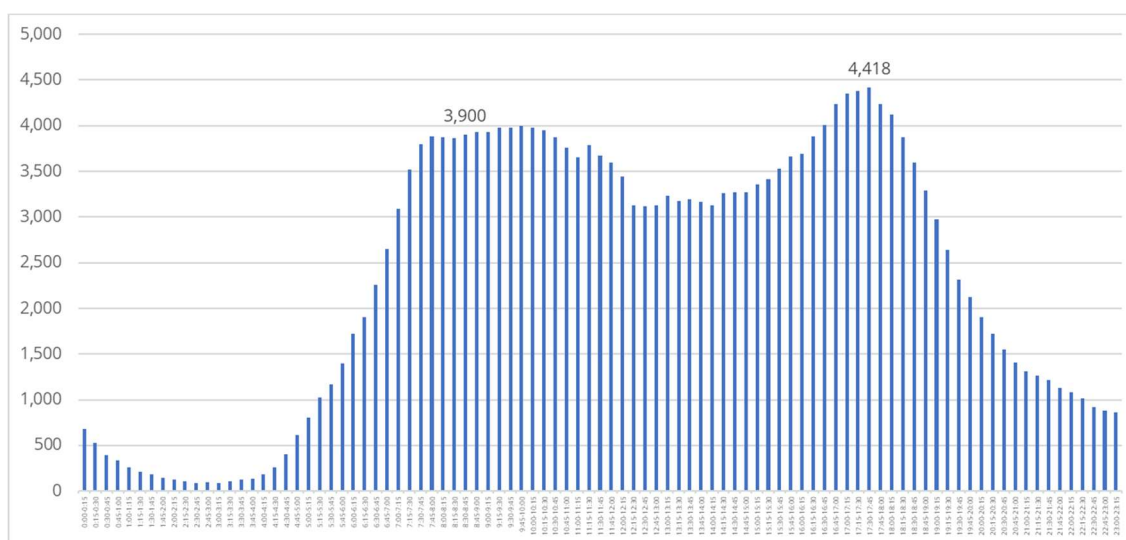


Figura 41 Stima dell'ora di punta dell'area di studio

Per procedere alla simulazione della rete è necessario stimare la domanda di traffico. La definizione del modello di domanda per la simulazione di un sistema di trasporto rappresenta sicuramente la fase più critica di tutta l'analisi nel suo complesso; la difficoltà di delineare nei minimi dettagli i percorsi degli utenti introduce imprecisioni difficili da rilevare se non tramite una completa conoscenza della realtà che si intende simulare. L'obiettivo di questa fase è di schematizzare in maniera quanto più possibile reale i flussi

veicolari definendone esclusivamente i luoghi di origine e destinazione e il numero di veicoli al loro interno, ottenendo una matrice O/D per ciascuna modalità di trasporto annoverata. Le matrici vengono definite secondo un procedimento iterativo attraverso una calibrazione volta a ridurre gradualmente l'errore di stima.

Si evidenzia che uno spostamento è l'atto di recarsi da un luogo (origine) ad un altro (destinazione); un viaggio è una catena di spostamenti. Gli spostamenti sono suddivisi per luogo di origine e di destinazione e le matrici che le rappresentano sono caratterizzate come segue:

Righe e colonne sono in numero pari alle zone tra le quali possono avvenire gli spostamenti; Il generico elemento " $d_{od}$ " rappresenta il numero di spostamenti che iniziano dalla zona O (origine) e terminano nella zona D (destinazione) nell'unità di tempo.

Sulla base della matrice O/D gli spostamenti si classificano come:

- spostamenti interni (interzonali o intrazonali);
- spostamenti di scambio (quando mi sposto dall'interno all'esterno dell'area studio o viceversa);
- spostamenti di attraversamento (quando mi sposto da una zona ad un'altra entrambe fuori dall'area di studio passando però all'interno dell'area).

Come precedentemente descritto la matrice origine-destinazione rappresenta la richiesta di spostamento tra origini e destinazioni. Questo comporta una necessaria zonizzazione dell'area di studio che viene sintetizzata nell'immagine 42.

I centroidi, o punti di ingresso e uscita dalla rete, sono fondamentali per gli spostamenti e soprattutto per valutare i percorsi alternativi negli scenari di progetto.

Nell'area di studio sono stati selezionati i seguenti punti:

- OD1 - Via Milano Nord
- OD2 - Via Prealpi Ovest
- OD3 - Via Prealpi Est
- OD4 - Via Roma Sud
- OD5 - Via Milano Sud
- OD6 - Via Trieste Nord
- OD7 - Via Zappa
- OD8 - Via California
- OD9 - Via Pontida

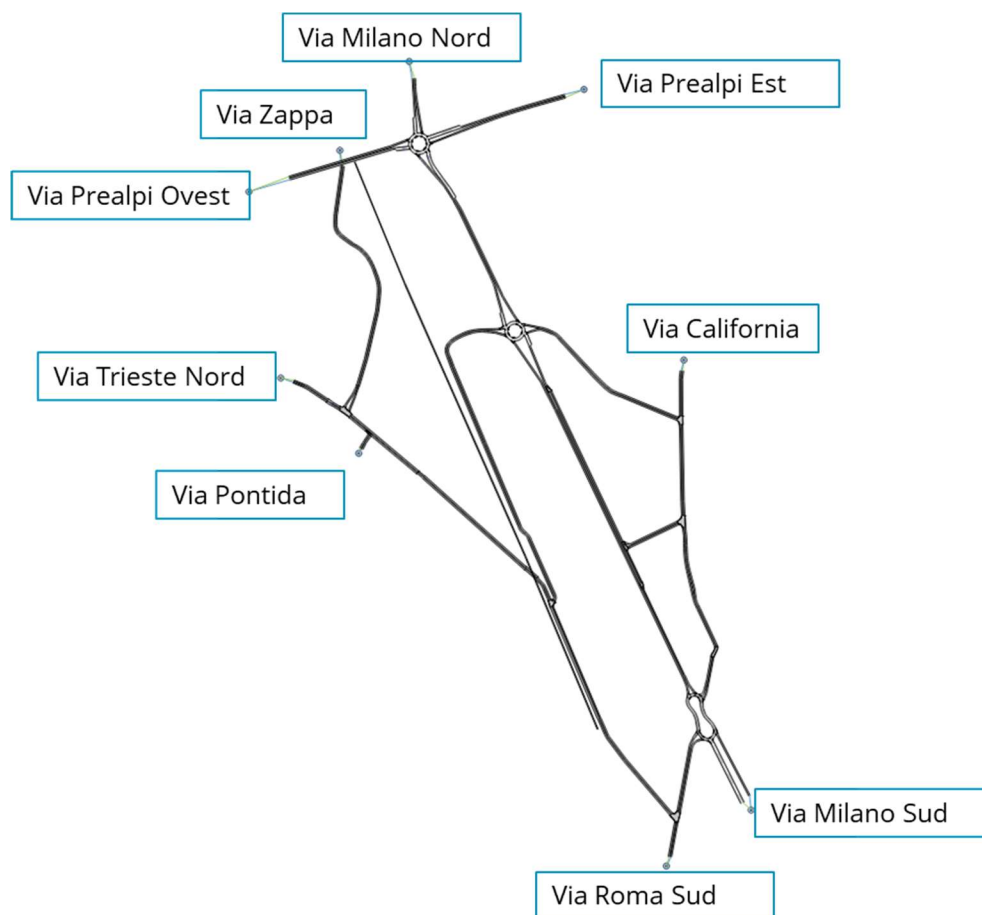


Figura 42 Zonizzazione area di studio (stato di fatto)

Appare evidente che non sono noti tutti i flussi di traffico e, aspetto ancora più complesso, sarebbe ottenere la matrice O/D dell'intera area. L'operazione di ricostruzione è stata possibile grazie alla conoscenza dei dati reali desunti dai rilievi e dall'utilizzo di tecniche di ricostruzione O/D con dati FCD (Floating Car Data) resi disponibili a pagamento dal portale TomTom®.

Le matrici complessive ricostruite per la punta mattutina (7.30-8.30) e serale (17.30-18.30) sono state integrate con le considerazioni e le percentuali del capitolo precedente.

OD mattina	Via Milano Nord	Via Prealpi Ovest	Via Prealpi Est	Via Roma Sud	Via Milano Sud	Via Trieste Nord	Via Zappa	Via California	Via Pontida	Totale
Via Milano Nord	21	42	122	133	235	10	4	36		603
Via Prealpi Ovest	58	11	384	91	198	6	4	17		770
Via Prealpi Est	163	446	13	83	170	4	1	21		901
Via Roma Sud	64	32	30		64	231	8	8		437
Via Milano Sud	408	239	219					21		887
Via Trieste Nord	13	5	8	154	59		30	0	13	282
Via Zappa	4	1		42	14	47		1		109
Via California	4			8						13
Via Pontida										0
Totale	736	776	776	511	740	298	48	105	13	4.002

Figura 43 Matrice O/D fascia mattutina.

OD sera	Via Milano Nord	Via Prealpi Ovest	Via Prealpi Est	Via Roma Sud	Via Milano Sud	Via Trieste Nord	Via Zappa	Via California	Via Pontida	Totale
Via Milano Nord	12	57	183	112	346	19	6	41		777
Via Prealpi Ovest	43	6	478	48	151	11	6	26		770
Via Prealpi Est	280	539	12	83	255	15	4	38		1226
Via Roma Sud	82	50	45		65	252	48	9		550
Via Milano Sud	464	254	229			13		22		982
Via Trieste Nord	8	4	4	224	72		30	1	13	356
Via Zappa	2		2	66	22	48		6		146
Via California	4			9						13
Via Pontida										0
Totale	895	910	954	541	910	357	95	143	13	4.819

Figura 44 Matrice O/D fascia (picco massimo) serale.

### 3.2.3 Risultati della microsimulazione

I risultati dello scenario 0 riportano le condizioni di traffico nello stato di fatto. Per ogni scenario si riportano 3 immagini:

- Flussi di traffico: rappresentano la simulazione dei flussi veicolari stimati nell'ora di simulazione
- Velocità di percorrenza.
- Ritardi o Livelli di servizio (LOS): rappresentano i ritardi che si rilevano in condizioni di traffico. Nel caso di rete scarica (di norma di notte) il tempo di percorrenza è



quello voluto dall'utente e pertanto si considera come riferimento (c.d. tempo di percorrenza a flusso nullo). I ritardi sono pertanto il tempo perso a causa degli altri veicoli, delle regole di precedenza, STOP e semaforizzazioni. Una utile rappresentazione viene data dai livelli di servizio (LOS). In pratica i ritardi vengono classificati da A a F (dal migliore al peggiore) in base a tabelle codificate e riconosciute internazionalmente (Highway Capacity Manual). Nel manuale HCM il campo descritto dalla curva di deflusso viene suddiviso in porzioni che possono corrispondere ad altrettante condizioni qualitative del servizio offerto dalla strada in termini di soddisfazione dell'utenza. Si definiscono livelli di servizio gli intervalli di ritardo del flusso, ai quali corrispondono altrettanti intervalli di densità veicolare.

Tabella 3 Tabelle LOS

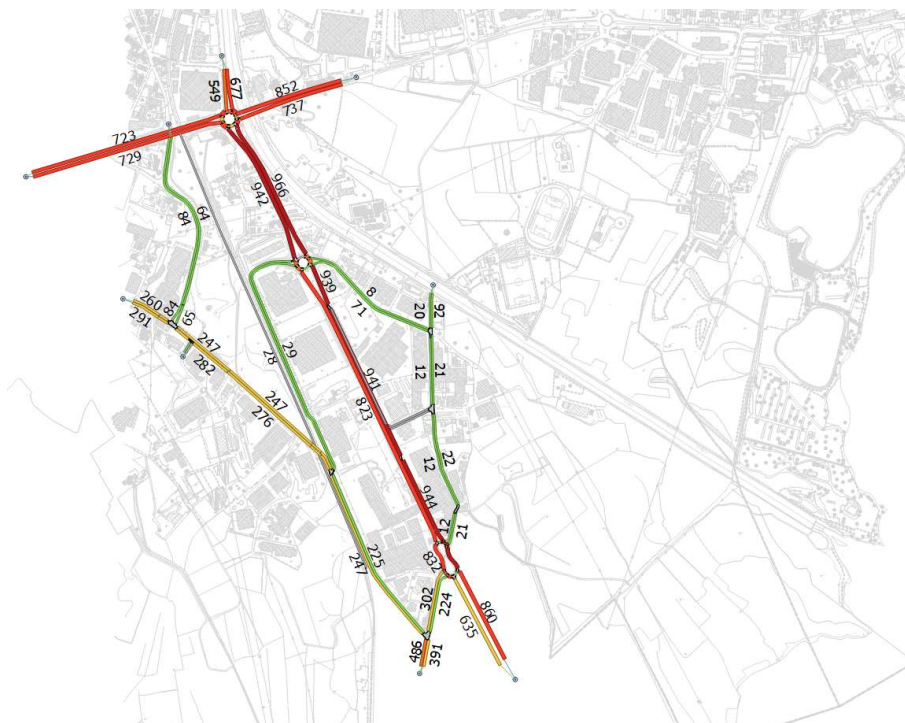


Figura 45 Stato di fatto (mattina) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]

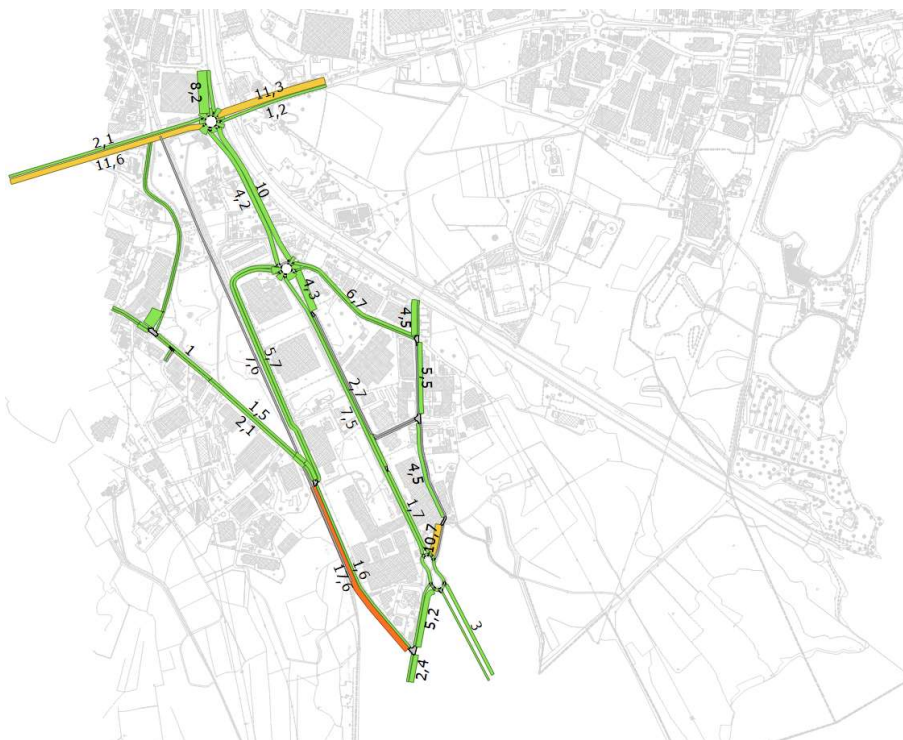


Figura 46 Stato di fatto (mattina) - Ritardi di rete [sec/veicolo]

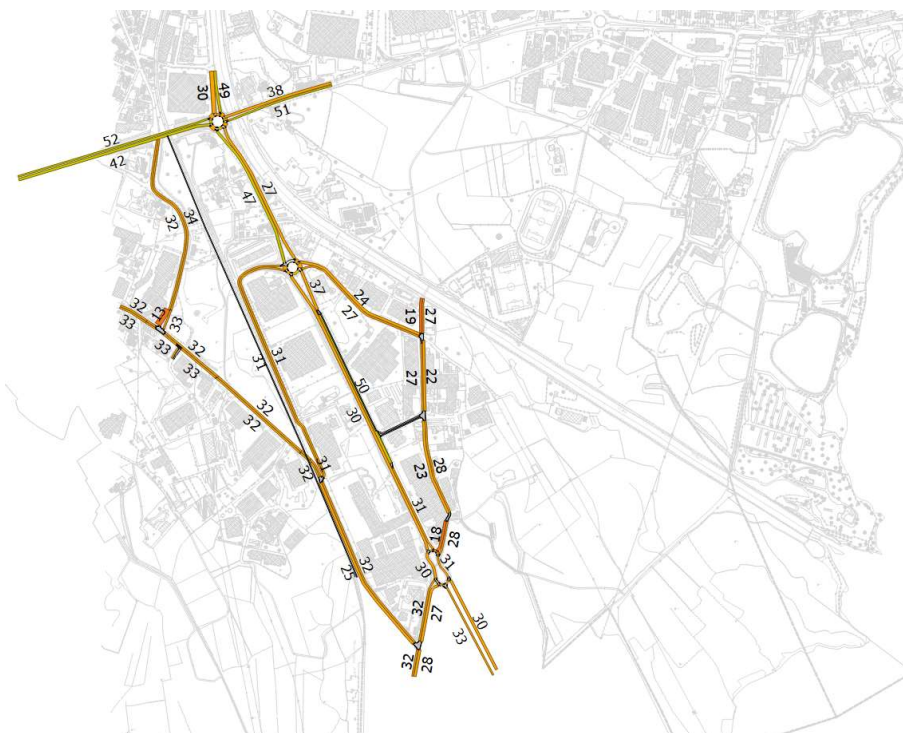


Figura 47 Stato di fatto (mattina) - Velocità di percorrenza [km/h]

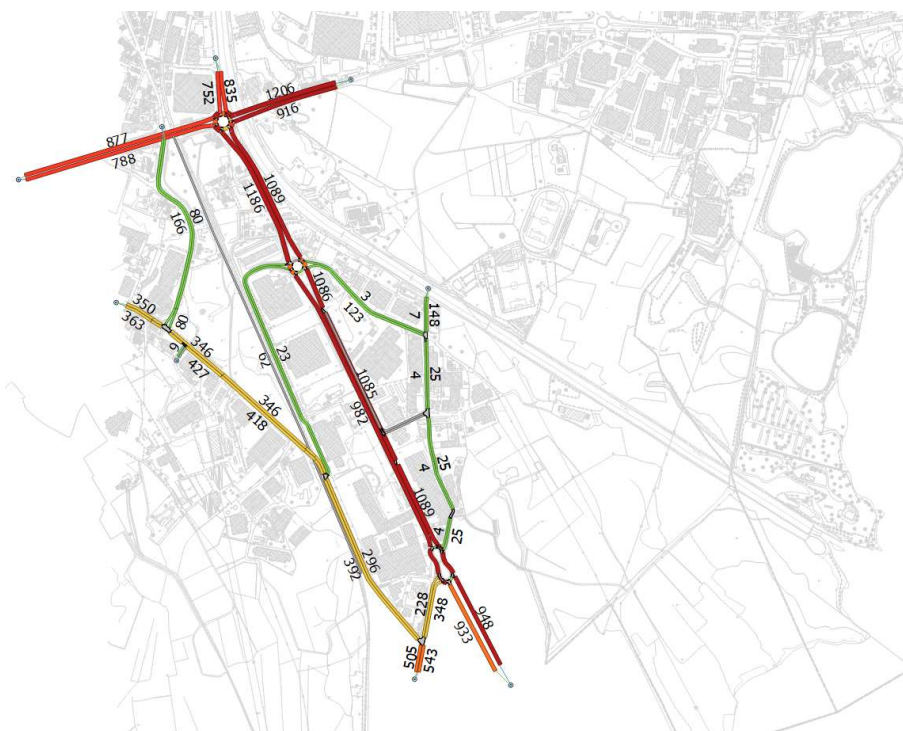


Figura 48 Stato di fatto (sera) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]

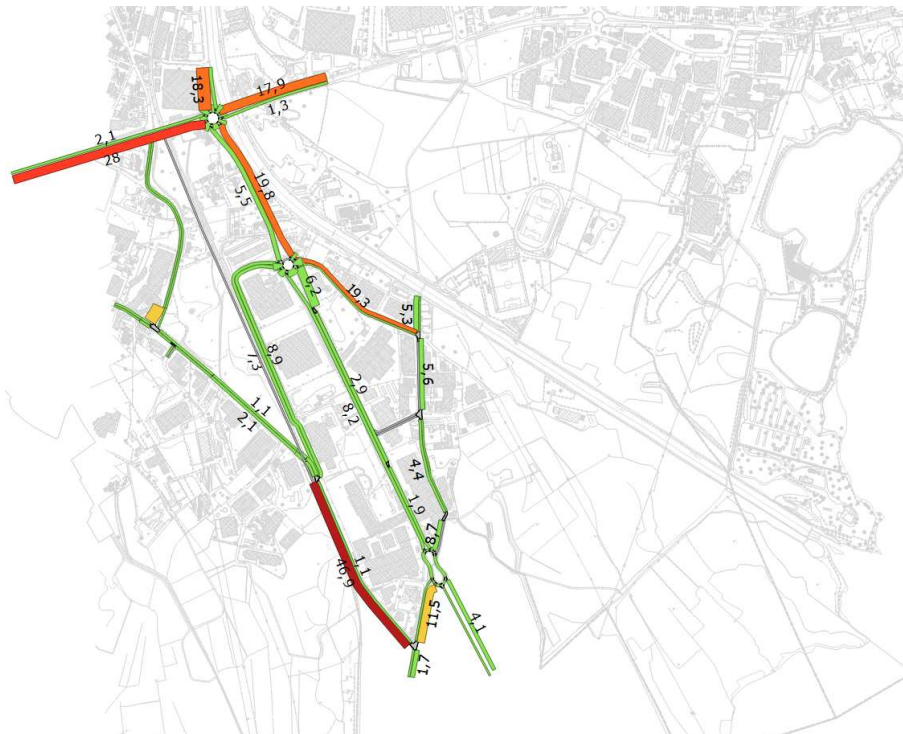


Figura 49 Stato di fatto (sera) - Ritardi di rete [sec/veicolo]



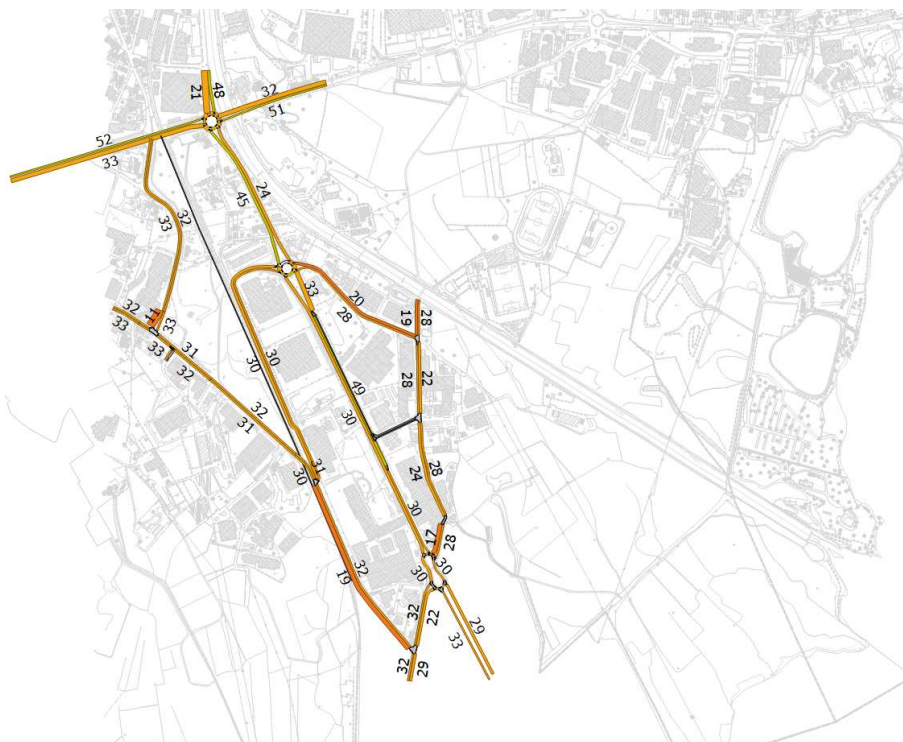


Figura 50 Stato di fatto (sera) - Velocità di percorrenza [km/h]

La modellazione dei trasporti avviene tramite strumenti matematici che simulano il comportamento dell'utente. Si basano su modelli microscopici che replicano la risposta alla guida in base alla distanza del veicolo che precede.

Le simulazioni dello stato di fatto evidenziano una rete non particolarmente congestionata se non nell'intersezione Via Milano/Via Prealpi dove nello scenario della sera si registrano code significative superiori a 50 veicoli (pari a circa 350m) che si attestano fino alla rotatoria con Via Milano/Via California/Via del Lavoro.

Leggermente più critica a livello di servizio è Via Prealpi Ovest dove, sebbene i veicoli in coda siano in numero inferiore pari a massimo 25 veicoli (circa 170m) il livello di servizio scende a D.

Il livello di servizio di tale intersezione nello stato di fatto è pari a C.

	<b>Stato di fatto - Sera</b>			
<b>Via Milano-Via Prealpi</b>	<b>Indicatori</b>			
<b>Ingresso</b>	<b>flussi</b>	<b>ritardo</b>	<b>Ritardo * flusso</b>	<b>LOS</b>
Via Milano Sud	1.100	20,9	22.979	C
Via Milano Nord	753	18,3	13.742	C
Via Prealpi Ovest	799	27,7	22.156	D
Via Prealpi Est	1.221	18,2	22.161	C
<i>Totale intersezione</i>	3.873		81.039	
<b>Medio intersezione</b>		<b>20,9</b>		<b>C</b>

Tabella 4 LOS intersezione Via Milano/Via Prealpi

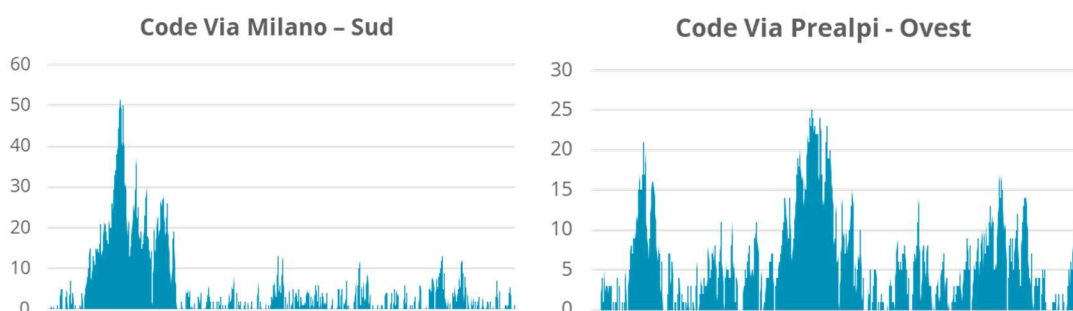


Figura 51 Evoluzione delle code sui rami principali.

### 3.3 Scenari di progetto

Simulato uno scenario di riferimento, stato di fatto, è ora possibile ipotizzare le modifiche alla viabilità in progetto e valutare il comportamento del modello di traffico implementato per l'area oggetto di studio.

Nello specifico, è stata fatta una valutazione trasportistica complessiva sugli interventi previsti, quali:

- Raddoppio del tratto stradale lungo Via Milano
- Nuova rotonda tra il nuovo ramo di accesso e Via Milano
- Nuova infrastruttura stradale (con opera di sovrappasso ferroviario)
- Nuova rotonda tra Via Trieste/nuova viabilità
- Chiusura del passaggio a livello di Via Trieste

Il modello di offerta della **rete di progetto** è rappresentato nell'immagine sottostante con identificazione dei principali interventi viabilistici in progetto.

La domanda di traffico dello scenario di progetto è identica a quella stimata per lo stato di fatto, integrata dei volumi del periodo scolastico. Un secondo scenario di progetto è stato

eseguito con una ulteriore percentuale di **incremento del traffico futuro pari al 10%**.

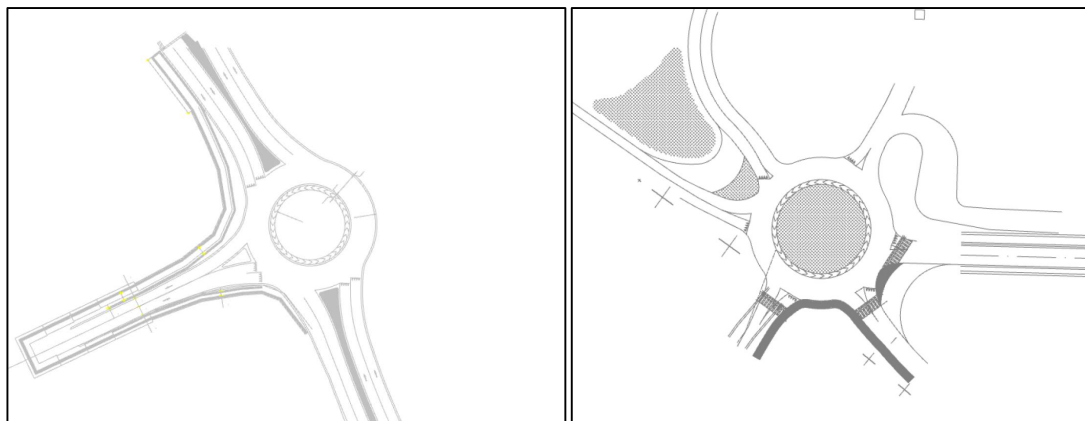


Figura 52 Estratti delle planimetrie di progetto

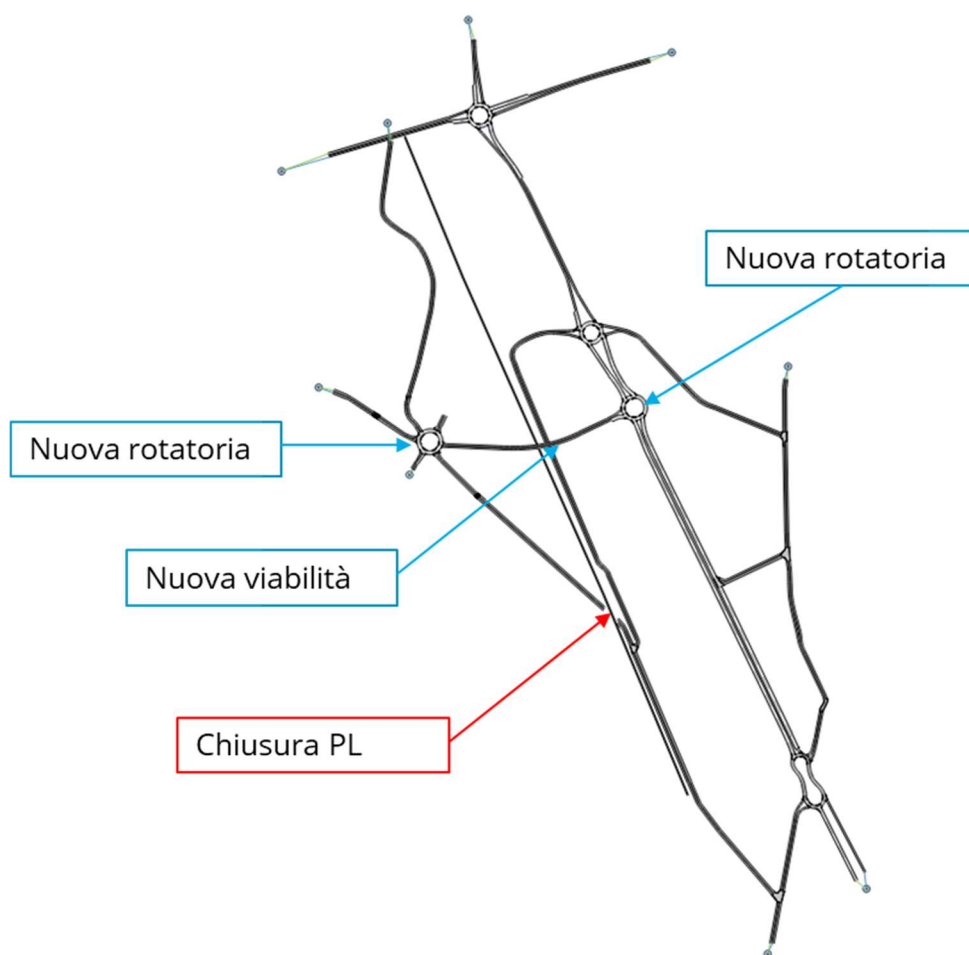


Figura 53 Modello di rete di progetto.



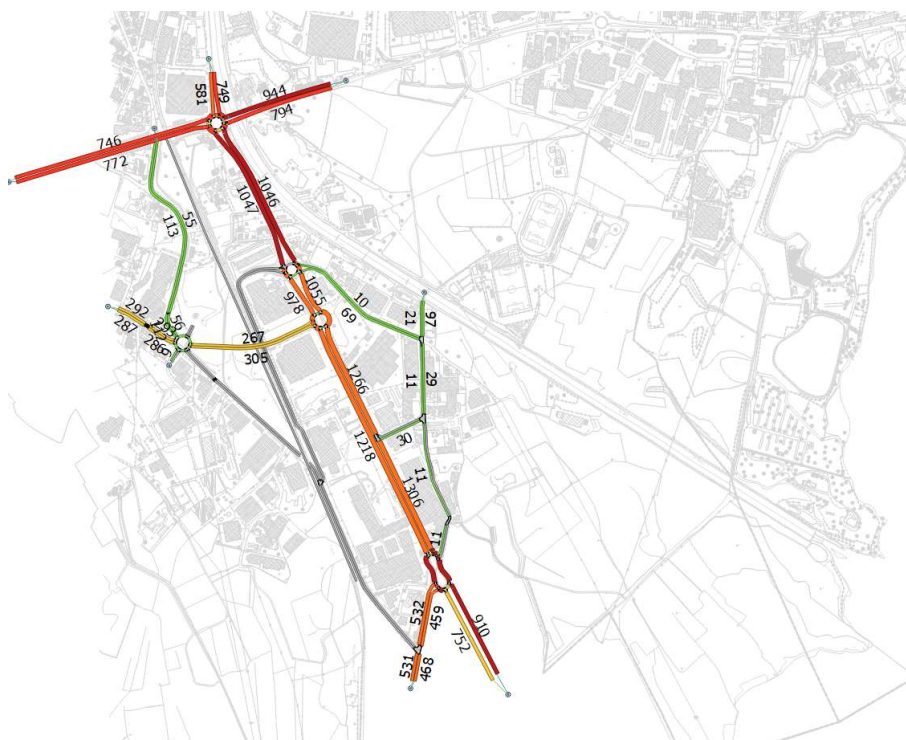


Figura 54 Scenario di progetto (mattino) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]

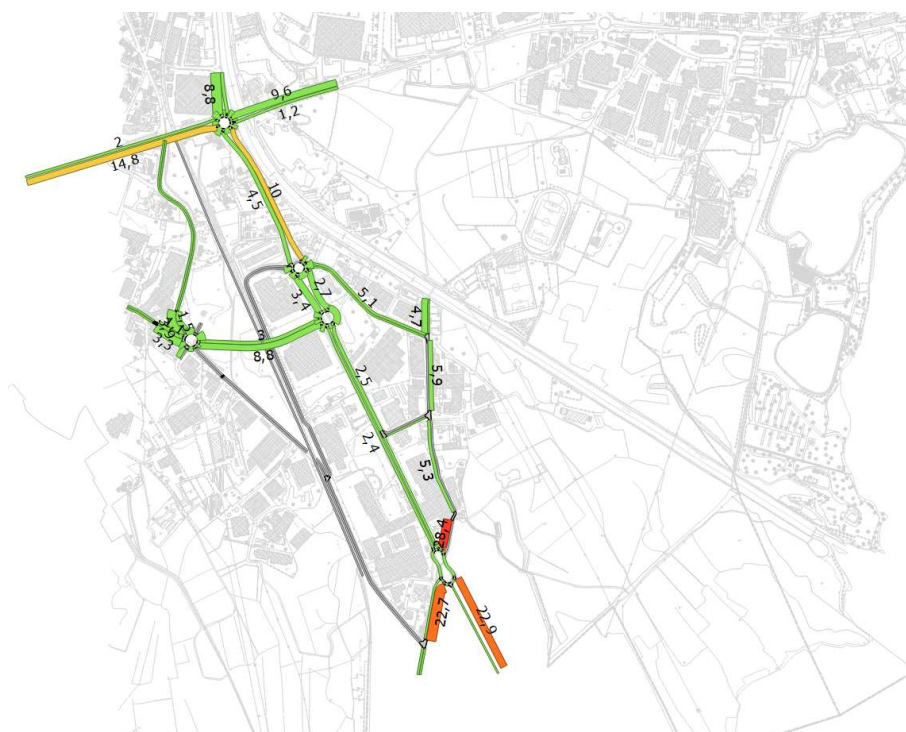


Figura 55 Scenario di progetto (mattino) - Ritardi di rete [sec/veicolo]

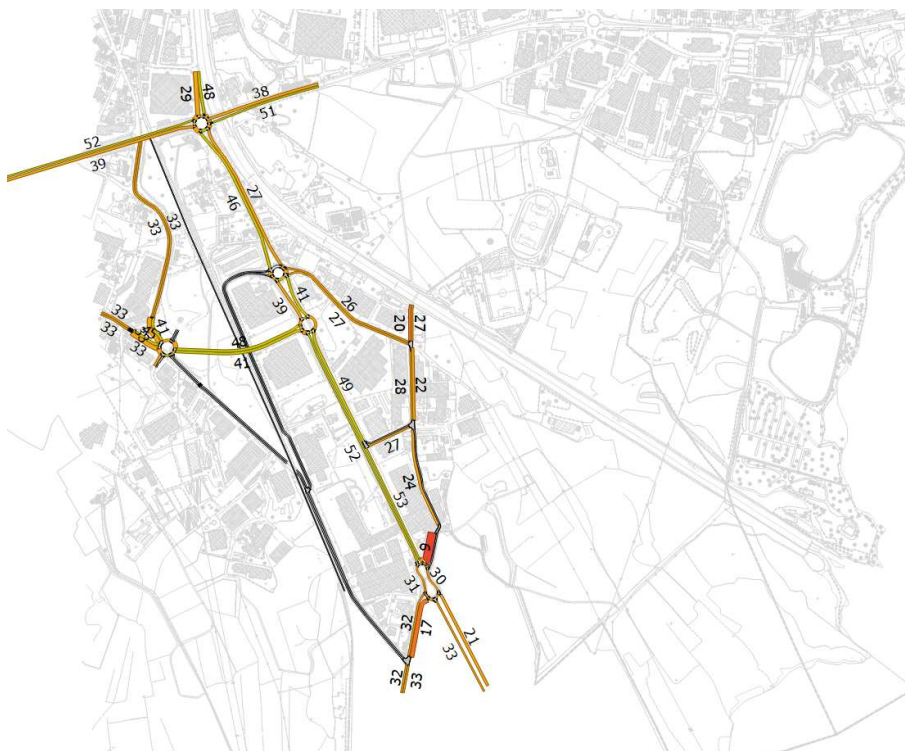


Figura 56 Scenario di progetto (mattino) - Velocità di percorrenza [km/h]

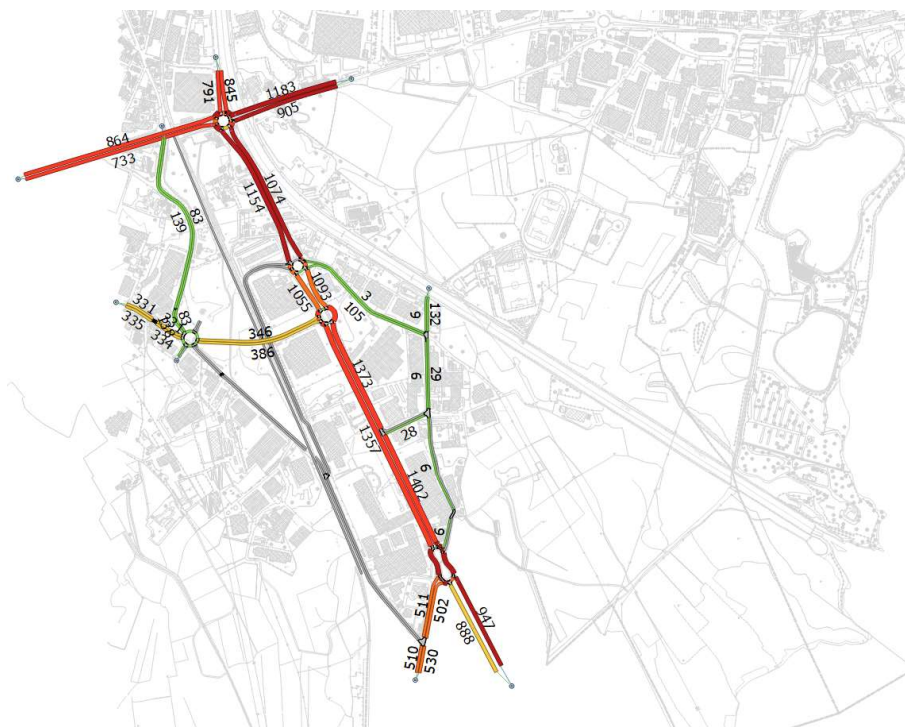


Figura 57 Scenario di progetto (sera) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]



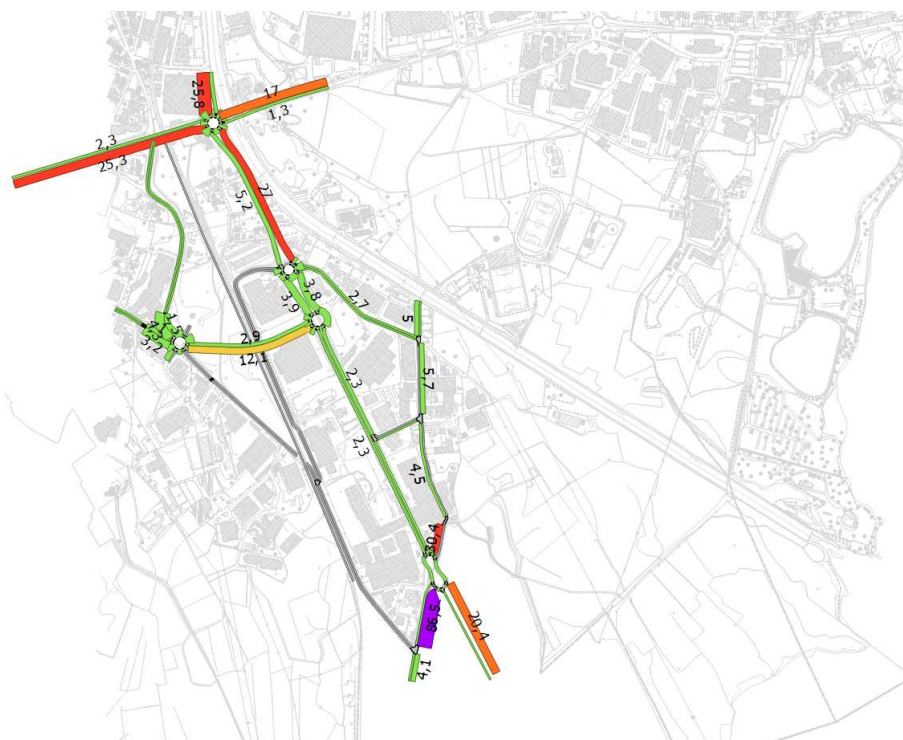


Figura 58 Scenario di progetto (sera) - Ritardi di rete [sec/veicolo]

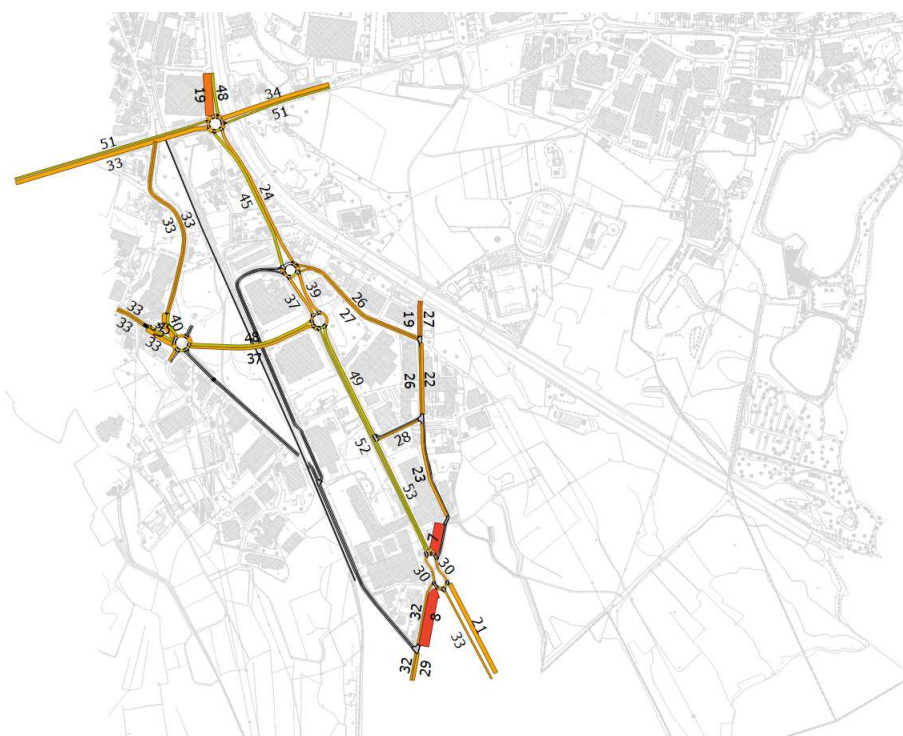


Figura 59 Scenario di progetto (sera) - Velocità di percorrenza [km/h]

Il modello di progetto risponde bene alla simulazione caricando correttamente su Via Milano il traffico deviato dalla chiusura del PL su Via Trieste. Il traffico medio orario bidirezionale nella nuova viabilità (passaggio su sovrappasso ferroviario) è stimato in massimo 730 veic. eq/ora con un livello di servizio medio del ramo pari ad A.

L'intersezione di Via Milano/Via Prealpi peggiora leggermente in termini di ritardo (+2,2 sec/veicolo) e non si riscontra un peggioramento del livello di servizio (rimane C).

	Stato di fatto - Sera				Progetto - Sera			
Via Milano-Via Prealpi	Indicatori				Indicatori			
Ingresso	flussi	ritardo	Ritardo * flusso	LOS	flussi	ritardo	Ritardo * flusso	LOS
Via Milano Sud	1.100	20,9	22.979	C	1.088	27,0	29.354	D
Via Milano Nord	753	18,3	13.742	C	805	25,8	20.801	D
Via Prealpi Ovest	799	27,7	22.156	D	742	25,3	18.765	D
Via Prealpi Est	1.221	18,2	22.161	C	1.193	17,1	20.341	C
Totale intersezione	3.873		81.039		3.828		89.261	-
Medio intersezione		20,9		C		23,3		C

Tabella 5 Confronto LOS Stato di fatto-Progetto

La nuova intersezione a rotatoria con Via Milano registra livelli LOS molto elevati A sia con la domanda attuale sia con una simulazione di incremento del traffico pari a +10%. Le code stimate non superano i 10 veicoli (circa 70/80m) e risulta fondamentale il raddoppio della corsia in attestazione della rotatoria per consentire l'accodamento accoppiato dei flussi (circa 3/4 veicoli per corsia) al fine di dividere le direzioni di marcia.

	Progetto - Sera				Progetto - Sera +10%			
Via Milano - Nuovo ramo	Indicatori				Indicatori			
Ingresso	flussi	ritardo	Ritardo * flusso	LOS	flussi	ritardo	Ritardo * flusso	LOS
Nuovo ramo Ovest	392	12,1	4.735	B	472	12,2	5.773	B
Via Milano Sud	1.375	2,3	3.135	A	1.499	2,5	3.688	A
Via Milano Nord	1.056	4,0	4.171	A	1.136	4,5	5.157	A
Totale intersezione	2.823		12.042	-	3.107		14.618	-
Medio intersezione		4,3		A		4,7		A

Tabella 6 Confronto LOS Progetto e Progetto+10% nuova rotatoria su Via Milano

#### Code stimate nuovo ramo – Rotatoria Via Milano

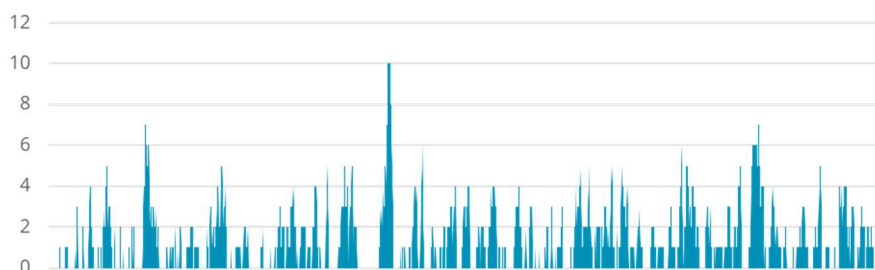


Figura 60 Code stimate massime nuova rotatoria su Via Milano

### 3.4 Confronto risultati scenari

I risultati possono essere anche confrontati con alcuni parametri trasportistici generali quali il ritardo di rete, tempo di viaggio, velocità e coda media.

Tali valori rappresentano una media di rete complessiva e servono a valutare quale scenario risponde meglio alle modifiche viabilistiche.

Le figure sottostanti visualizzano con maggiore evidenza le modifiche in termini di volumi/ora della rete in progetto e si conferma un buon carico della nuova viabilità.

Unica nota negativa è il peggioramento del ramo di Via Roma in immissione su Via Milano per chi proviene da Merone con degrado da B a F. Tale peggioramento è dovuto alla componente di traffico (+120 veic. eq/ora stimati) che da Merone (tramite Via Roma) non potrà più passare da Via Trieste per la chiusura del PL e si riverserà su Via Milano.

Anche lo scenario con un incremento del +10% del traffico non introduce scenari peggiorativi rispetto alla simulazione base di progetto. Il ritardo di rete complessivo passa da 35,6 a 36,4 sec/veic.

Un'ulteriore valutazione è stata fatta "forzando" una maggiore componente di traffico sia sulla rotatoria su Via Milano/Via Prealpi sia sulla nuova viabilità e non si sono registrati particolari eventi negativi.

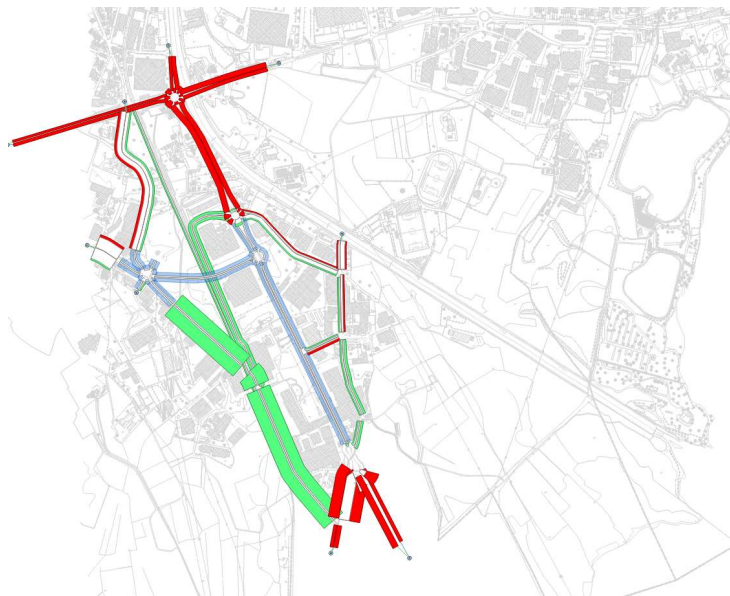


Figura 61 Confronto stato di fatto-di progetto (mattino) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]

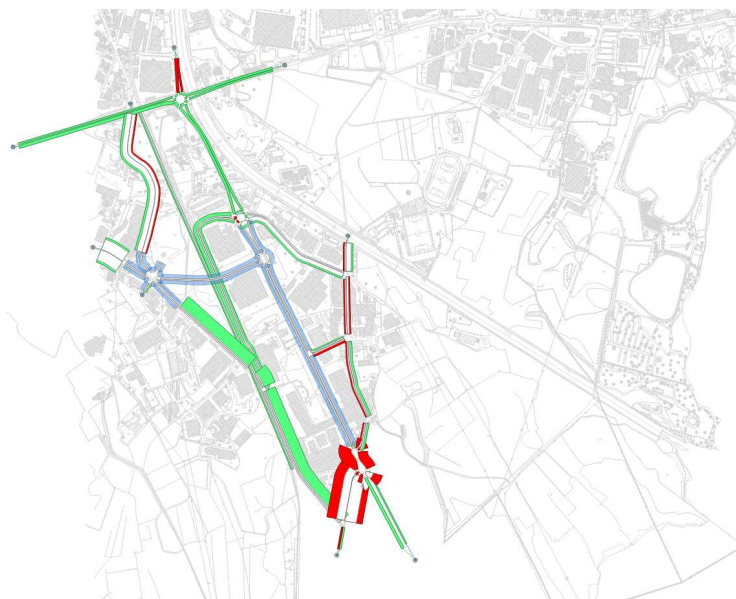


Figura 62 Confronto stato di fatto-di progetto (sera) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]

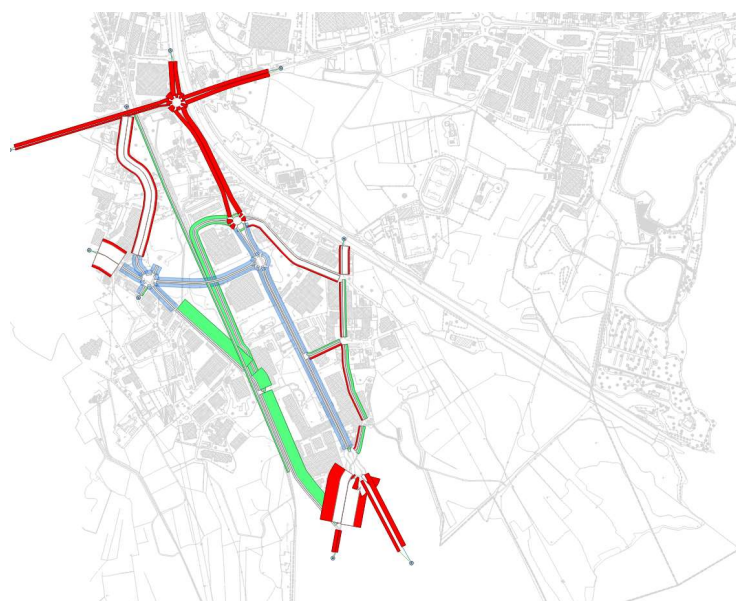


Figura 63 Confronto stato di fatto-di progetto +10% (sera) - Flussi di traffico [veicoli eq./ora]



Time Series	Units	Sc0 - SdF		Sc1 - PRO		Sc2 - PRO	SdF-Sc1		SdF-Sc2
		Mattina	Sera	Mattina	Sera	Sera	mattina	sera	sera
<b>Delay Time</b>	<b>sec/km</b>	<b>28,04</b>	<b>28,67</b>	<b>20,73</b>	<b>35,62</b>	<b>36,4</b>	<b>-26%</b>	<b>24%</b>	<b>27%</b>
Density	veh/km	10,68	13,19	8,87	11,21	12,34	-17%	-15%	-6%
<b>Flow</b>	<b>veh/h</b>	<b>3694</b>	<b>4653</b>	<b>4025</b>	<b>4568</b>	<b>5038</b>	9%	-2%	8%
<b>Harmonic Speed</b>	<b>km/h</b>	<b>31,94</b>	<b>31,05</b>	<b>36,69</b>	<b>32,02</b>	<b>31,7</b>	15%	3%	2%
Input Count	veh	3795	4805	4119	4713	5207	9%	-2%	8%
Max. Virtual Queue	veh	8	7	6	14	6	-25%	100%	-14%
<b>Mean Queue</b>	<b>veh</b>	<b>30,88</b>	<b>25,75</b>	<b>14,86</b>	<b>37,78</b>	<b>42,19</b>	-52%	47%	64%
Number of Lane Changes	#/km	188,62	203,33	351,89	389,88	451,08	87%	92%	122%
Number of Stops	#/veh/km	0,07	0,09	0,08	0,11	0,1	14%	22%	11%
<b>Speed</b>	<b>km/h</b>	<b>34,86</b>	<b>32,53</b>	<b>37,8</b>	<b>34,4</b>	<b>34,21</b>	8%	6%	5%
Stop Time	sec/km	20,87	17,86	10,58	23,51	25,03	-49%	32%	40%
Total Distance Travelled	km	5016,7	6179,06	5601,61	6199,77	6836,92	12%	0%	11%
Total Number of Stops		3791	6631	5424	8629	8933	43%	30%	35%
<b>Total Travel Time</b>	<b>h</b>	<b>162,38</b>	<b>200,03</b>	<b>153,73</b>	<b>192,87</b>	<b>210,86</b>	-5%	-4%	5%
<b>Travel Time</b>	<b>sec/km</b>	<b>112,7</b>	<b>115,93</b>	<b>98,13</b>	<b>112,43</b>	<b>113,58</b>	-13%	-3%	-2%

Tabella 7 Tabella riepilogo simulazioni

## 4. Conclusioni

---

Il monitoraggio condotto con soluzioni innovative permette di ricostruire il modello di domanda esistente con estrema precisione. Grazie a specifici strumenti di stima della domanda (FCD TomTom) è possibile simulare scenari con integrazione dei volumi di traffico senza eseguire nuovi monitoraggi con un'elevata stima di affidabilità.

Una volta omogeneizzati tutti i veicoli rilevati, sono stati conteggiati i veicoli in ingresso dell'area di studio. I risultati sono riportati nella figura 41. Il picco di traffico massimo è stato stimato in 4.418 veicoli equivalenti/ora nella fascia oraria 17.30-18.30 e di 3.900 veicoli equivalenti/ora nella fascia oraria 7.30-8.30.

Al fine di ovviare alla problematica occorsa del periodo di monitoraggio del traffico (luglio 2022) e grazie all'utilizzo di dati FCD, sono state calcolate due medie di incremento di traffico prendendo una fascia ampia, pari a 4 ore per una validità statistica, e i risultati, riportati nella tabella 1, sono i seguenti:

- +5,9% (fascia mattutina (5:00-09:00);
- +8,4% nella fascia serale (16:00-20:00).

Tali incrementi sono stati replicati nella domanda O/D complessiva.

Il modello dello stato replica in maniera realistico il comportamento di guida degli utenti e i risultati delle simulazioni sono coerenti con la realtà.

Il modello di progetto, al quale sono state replicate le modifiche alla viabilità, risponde bene nel complesso e nel complesso le principali osservazioni sono le seguenti.

- Il nuovo ramo in arrivo dal sovrappasso ferroviario mantiene LOS B anche nel caso di previsione di integrazione del traffico +10%.
- La quasi totalità del traffico proveniente da Sud e diretto in Via Trieste, con l'impossibilità di continuare per via della chiusura dell'esistente PL, incrementerà il traffico su Via Milano per poi proseguire nella nuova viabilità.
- Il ramo di ingresso di Via Roma nella rotatoria con la Via Nuova Valassina passa da LOS B a LOS F. Questo è peggioramento, cautelativo, è dovuto alla impossibilità di stima dei flussi che percorreranno Via del Lavoro.
- La futura rotonda di Via Trieste/nuovo sovrappasso evidenzia LOS e code limitate.

Nel complesso il modello di rete in progetto è sostenibile e si ritiene di poterlo attuare con l'unica raccomandazione di realizzare nella nuova intersezione a rotatoria con Via Milano risulta fondamentale il raddoppio della corsia in attestazione della rotatoria per consentire l'accodamento accoppiato dei flussi (circa 3/4 veicoli per corsia) al fine di dividere a monte dell'intersezione le direzioni di marcia.