

SOGGETTO ATTUATORE DI PRIMO LIVELLO:



COMUNE DI BERGAMO
COMUNE DI BERGAMO
Piazza Giacomo Matteotti, 27 - 24122 Bergamo (BG)

SOGGETTO ATTUATORE DI SECONDO LIVELLO:



ATB Mobilità S.p.A.
Via Gleno, 13 - 24125 Bergamo - (BG)

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. C. Rita Donato



SUPPORTO AL RUP
Dott. Ing. Sergio Minotti

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO

REDATTO AI SENSI DELLE LINEE GUIDA MIMS DI LUGLIO 2021 - OPERA FINANZIATA DAL PNRR

Progettista:



Via A. Mazzi, 32 - 24018 Villa d'Almè - (BG)
T. +39 035/ 63 13 111 F. +39 035/ 54 50 66
info@etseng.it - www.etseng.it

Sistema di Gestione Integrato certificato
UNI EN ISO 9001 - UNI ISO 45001 - UNI EN ISO 14001 - SA 8000
Sistema di Gestione BIM conforme UNI PdR 74:2019

Studi trasportistici:



Via Lovanio, 8 - 20121 Milano

Analisi Costi Benefici:



Via dei Caniana, 2 - 24127 Bergamo

Titolo elaborato:

STUDI ED INDAGINI
Studio trasportistico
Analisi microsimulative

Numero elaborato

RT03

Scala: -

Commessa: 0199-2021

Redatto	Verificato	Approvato D.T.	Descrizione	Data	Rev.
Espita	Vacca	Deponte	Emissione	Novembre 2022	00

Luglio 2022

Preparato per: ATB Servizi s.p.a.

Nuova linea di E-BRT

Tratta nel comune di Bergamo

Analisi trasportistiche

Systematica Srl
Transport Planning and
Mobility Engineering

Milan
New York
Mumbai

Main office
Via Lovanio, 8
20121 – Milan, Italy

T + 39 02 62 31 19 1
E milano@systematica.net
www.systematica.net

Premessa

Il presente documento illustra le attività di verifica trasportistica svolte su richiesta del Comune di Bergamo a supporto della definizione progettuale dell'intervento di realizzazione della linea di E – Brt all'interno del tessuto urbano. In particolare l'attività analitica si è concentrata sul quadrante urbano che si estende tra via per Grumello, via Carducci, Via Luther King a Nord e via Circonvallazione. All'interno di questo ambito sono previsti alcuni interventi urbanistici, l'eliminazione del passaggio a livello di via Moroni e dunque la realizzazione della linea di E-Brt, che dovrà transitare da due nodi funzionalmente e geometricamente complessi quali quello denominato «rotonda imperfetta» e Largo Tironi. Il comune ha messo a disposizione una ampia e articolata banca dati che ha consentito di calibrare il modello di traffico a scala provinciale e dunque di valutare gli impatti indotti dalla realizzazione dei diversi interventi sul quadrante urbano di riferimento. Dopo una valutazione a scala macro è stato possibile sviluppare una analisi di dettaglio dei due ambiti di maggior interesse sviluppando dei modelli di microsimulazione dinamica che hanno consentito di valutare le ricadute indotte dalla realizzazione della linea di Ebrt.

Approccio metodologico

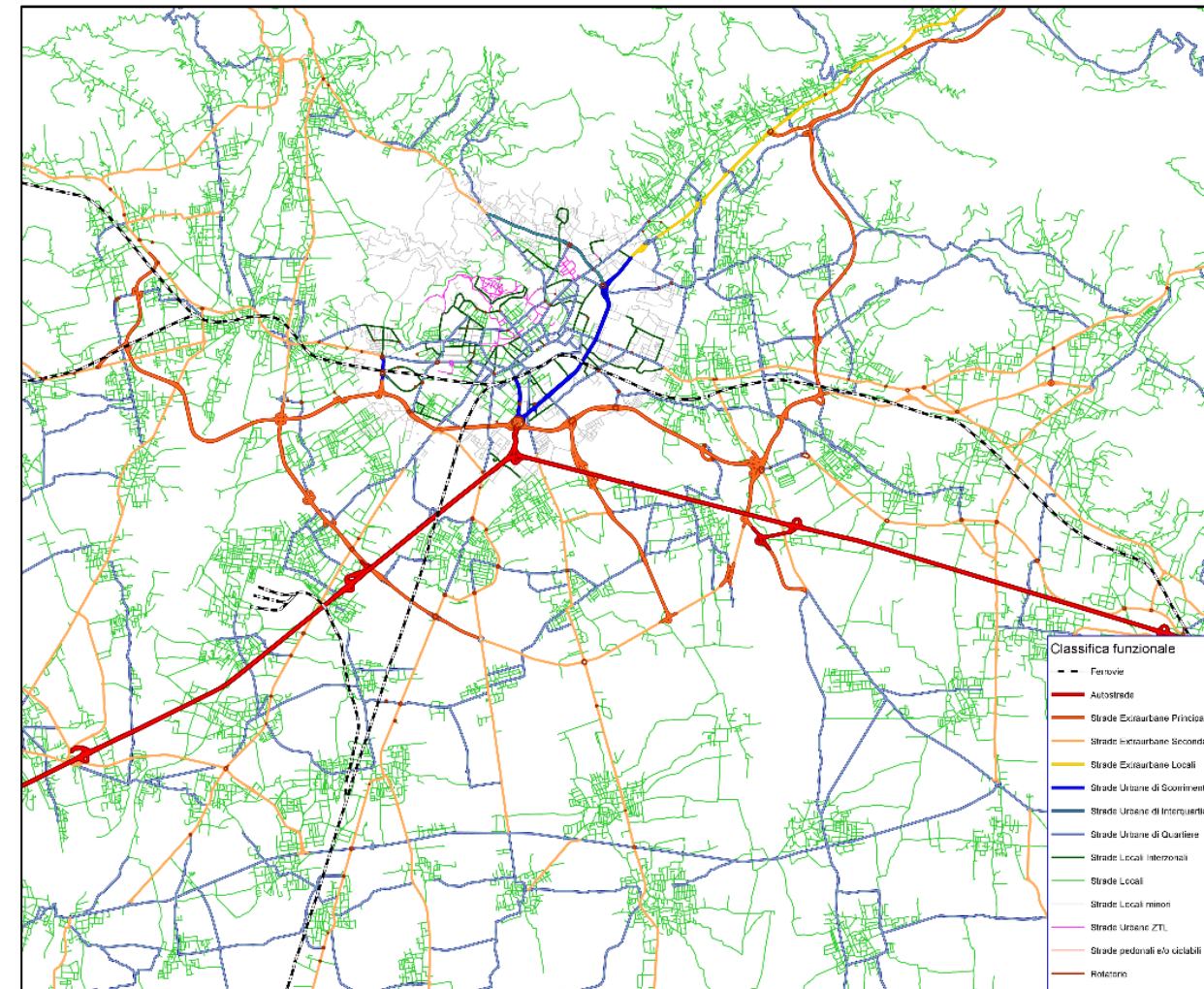
- Inserimento delle **sezioni di conteggio** nel modello di macrosimulazione
- **Calibrazione** dello scenario stato di fatto
- Implementazione dello **scenario di riferimento**: in aggiunta agli interventi già considerati in fase di PFTE sono stati aggiunti gli interventi e la relativa domanda di traffico in relazione ai **3 interventi segnalati dal comune**:
 - Ambito di trasformazione Parco Ovest 2
 - Chiusura al traffico veicolare del passaggio a livello di via Moroni
 - Piano Attuativo At_e17 Ex segherie Beretta
- Implementazione dello **scenario di progetto**
- Estrazione delle **matrici di sub area** relativa ai due ambiti di studio
- Implementazione dello **scenario di riferimento** nel modello di microsimulazione
- Implementazione dello **scenario di progetto E-brt** nel modello di microsimulazione
- **Analisi delle risultanze**



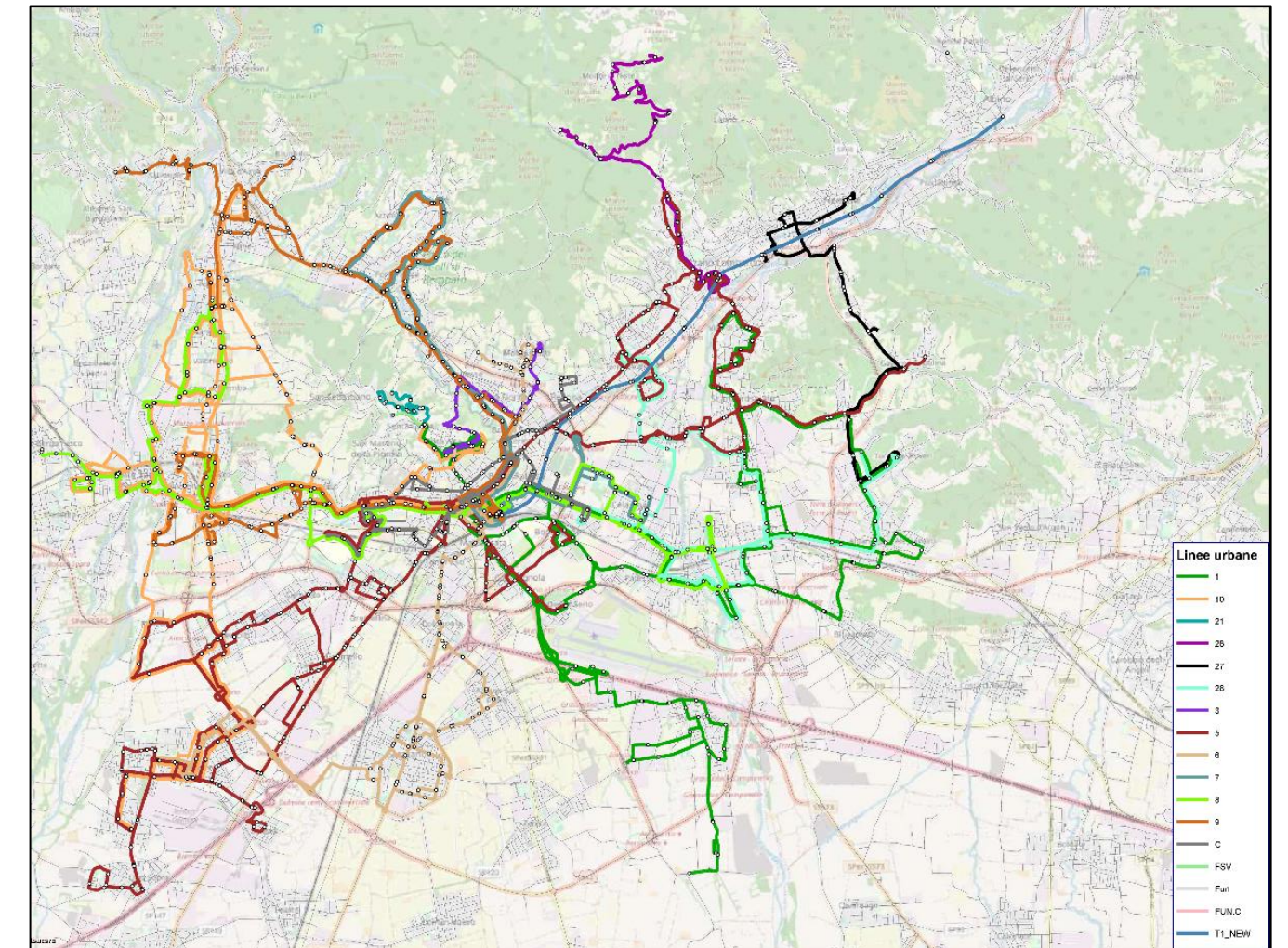
1•Analisi a scala urbana

Modello di macrosimulazione

Le analisi a scala urbana sono state supportate da simulazioni sviluppate il modello di macrosimulazione statico multimodale a scala provinciale. Il modello utilizzato è lo stesso sviluppato per le analisi trasportistiche svolte per la redazione del PFTE della nuova linea eBRT Bergamo-Dalmine. Lo scenario di domanda analizzato è quello riferito all'ora di punta del mattino di un giorno medio feriale. Il modello di macrosimulazione predisposto per le analisi implementa un apposito modulo che permette di calcolare la scelta modale degli spostamenti, a partire dalla matrice complessiva di viaggi e dei costi generalizzati di spostamento per ogni modo.



Rete stradale



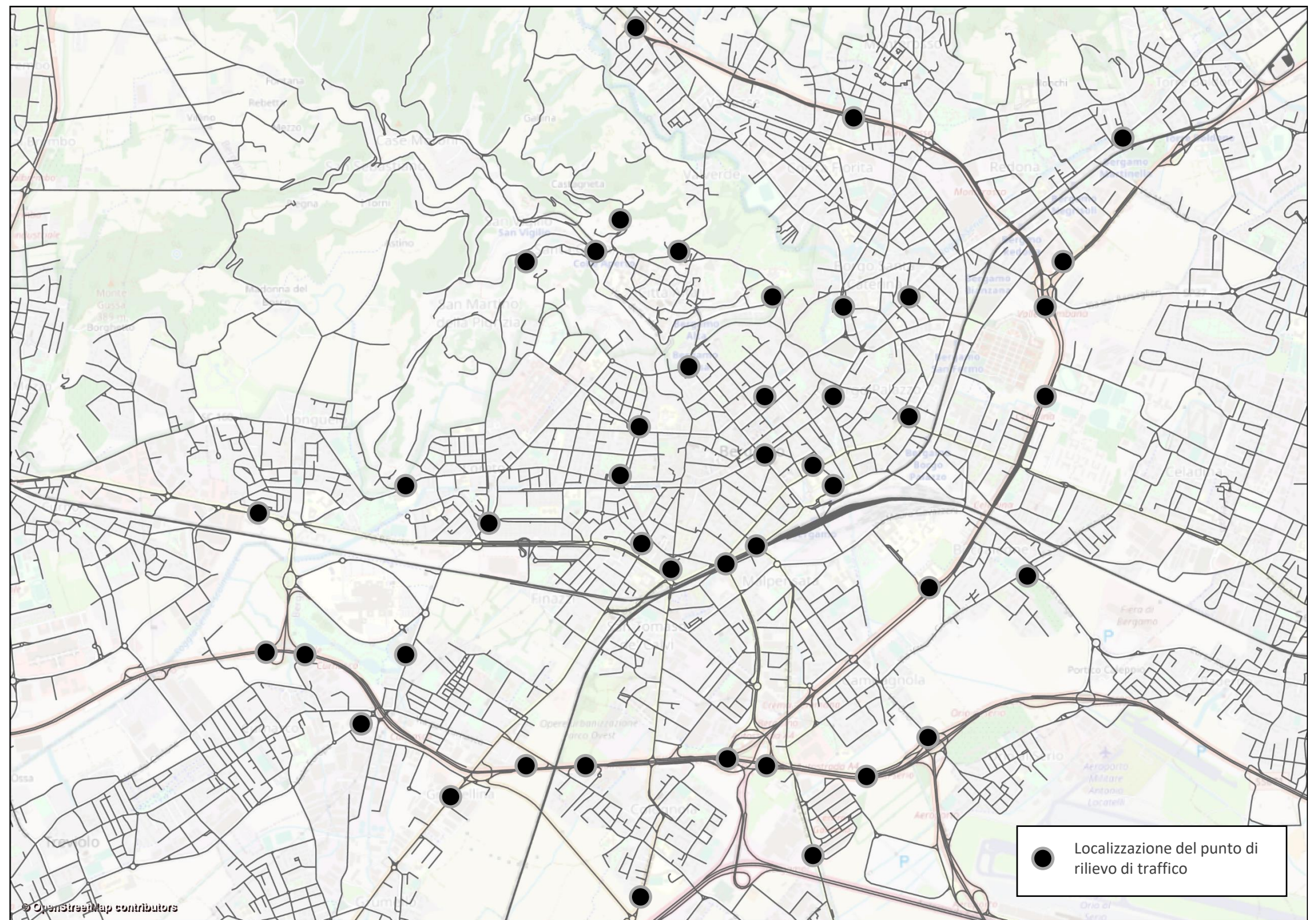
Rete TPL

Calibrazione del modello di macrosimulazione

La fase di calibrazione consiste nel verificare, attraverso il confronto con specifici indicatori statistici, il grado di bontà, robustezza e affidabilità raggiunto nel modello e la sua capacità a rappresentare adeguatamente le condizioni del traffico simulate.

Il modello era stato calibrato in fase di PFTE della linea eBRT con i dati a disposizione in quel periodo. Per questo nuovo studio, la calibrazione del modello ha preso in considerazione nuovi dati di traffico ricevuti, i quali sono stati monitorati sulla rete nel periodo 2021 e 2022.

L'immagine a lato mostra la localizzazione delle nuove postazioni di rilievo veicolare messe a disposizione. Il dato utilizzato è quello relativo all'ora di punta del mattino.

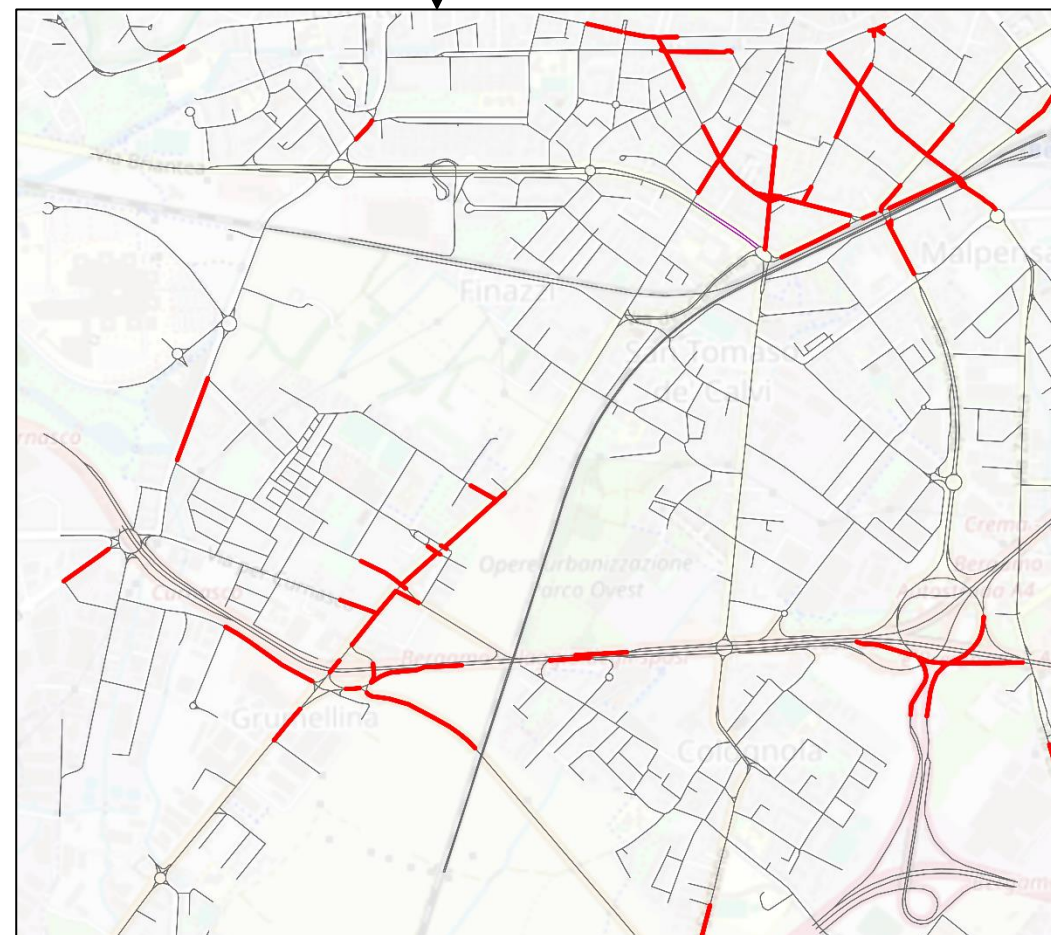
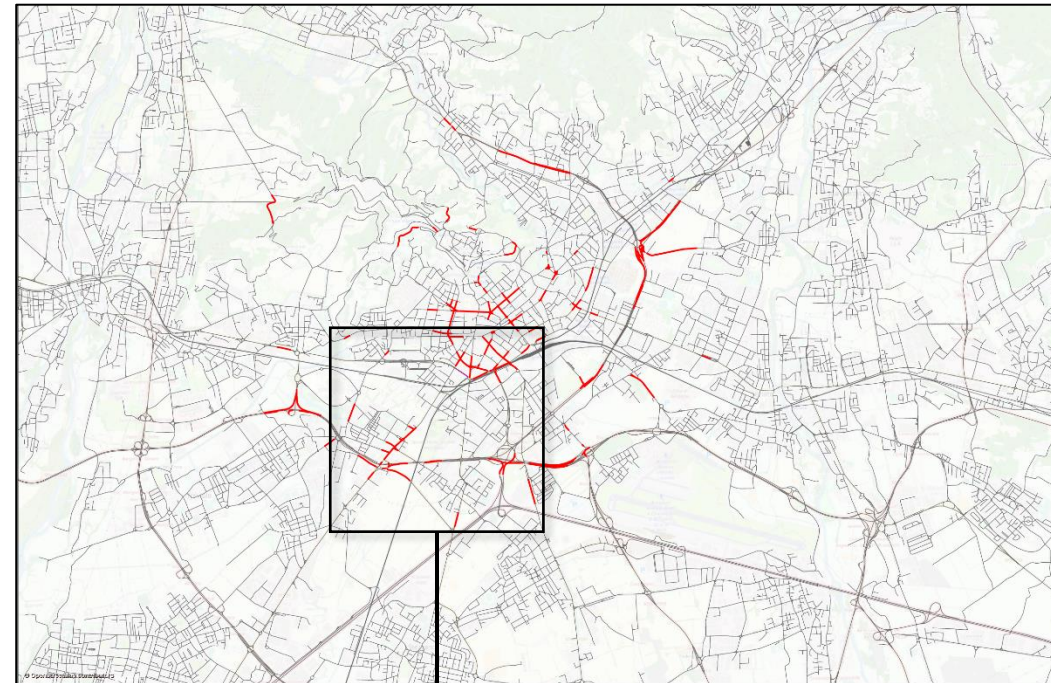


Punti di rilievo di traffico (2022) utilizzati per la calibrazione del modello di macrosimulazione

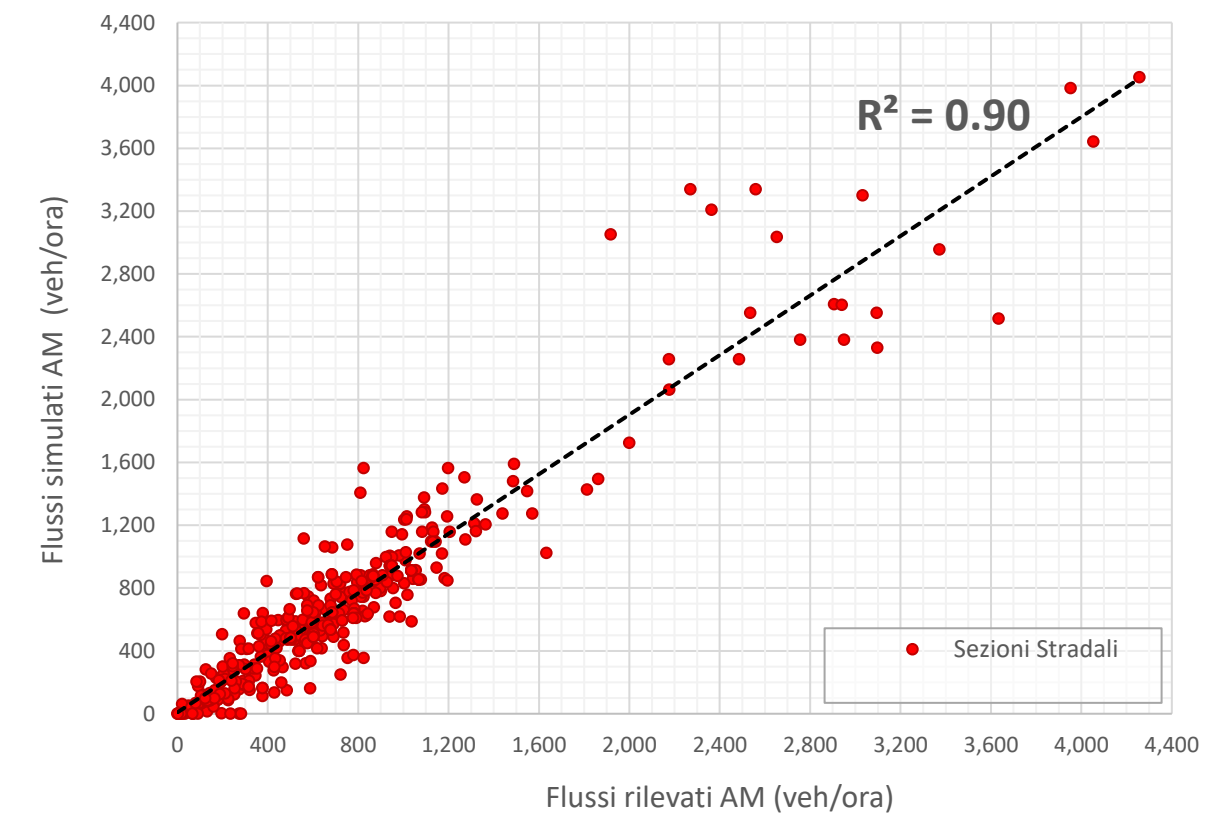
Calibrazione del modello di macrosimulazione

Sulla base del confronto dei flussi veicolari simulati e quelli effettivamente osservati sulla rete stradale, nonché del confronto dei tempi di percorrenza sulla rete, il modello risulta correttamente calibrato. La calibrazione risulta soddisfacente sia per l'intera estensione del modello, nonché per l'ambito di interesse del presente studio.

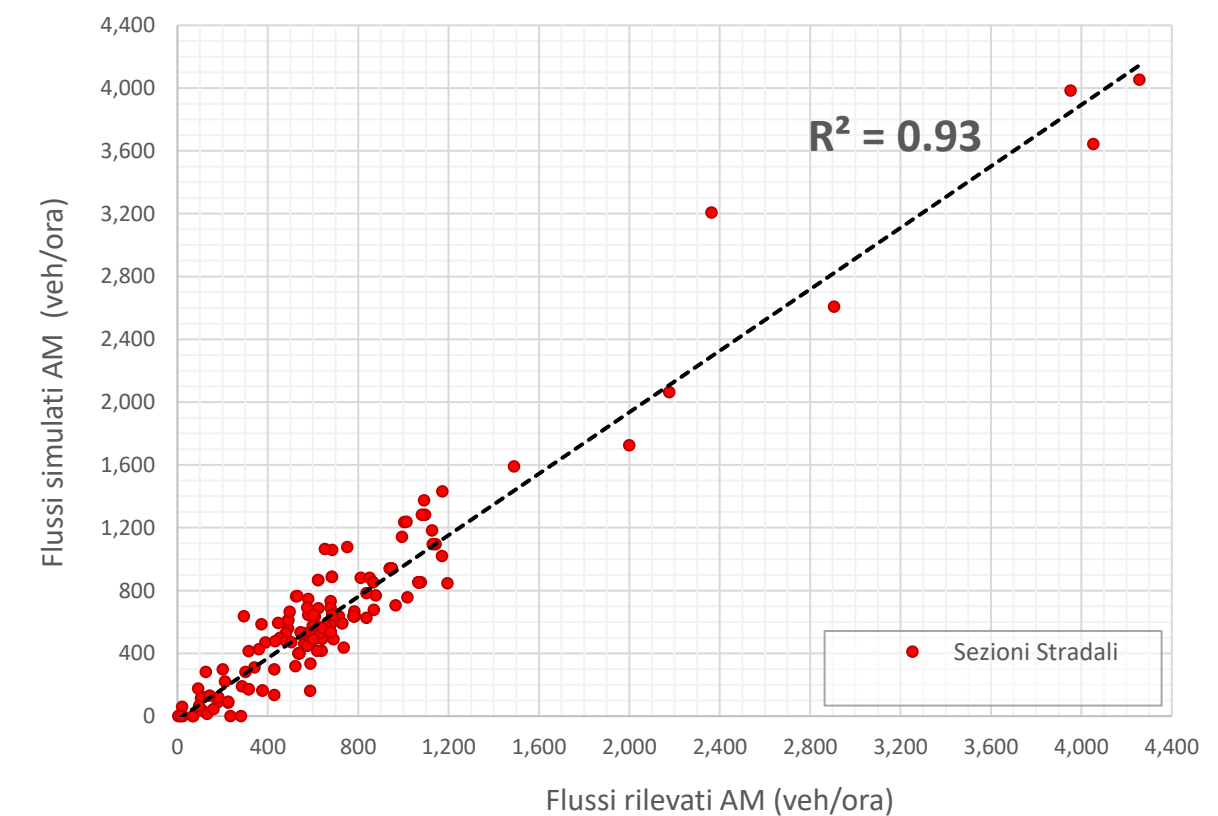
I coefficienti utilizzati per la verifica della calibrazione sono stati il Coefficiente di determinazione (R^2), l'errore quadratico medio (RMSE) e l'errore relativo medio.



Flussi Simulati vs. Flussi Rilevati
[Veicoli Leggeri - AM]



Flussi Simulati vs. Flussi Rilevati
[Veicoli Leggeri - AM]



Domanda futura

La stima della domanda di mobilità per gli scenari temporali futuri si fonda sull’assunzione di una relazione tra l’andamento della popolazione e la domanda di mobilità. Di conseguenza si procede in primo luogo alla stima della popolazione futura per l’area di studio, per poi, sulla base di questo dato, si stima il trend di domanda di mobilità.

Inoltre, negli scenari futuri è stata aggiunta la domanda di mobilità attesa da nuovi insediamenti all’interno dell’area di interesse del presente studio. In particolare, sono stati aggiunti gli spostamenti attesi per l’ora di punta del mattino dei comparti «Ex Segheria Beretta» e «Parco Ovest 2».

La domanda generata nell’ora di punta AM dal comparto Parco Ovest 2 è stata ricavata dalla relazione tecnica dello studio viabilistico dello sviluppo. La domanda relativa al comparto Ex Segheria Beretta è stata invece stimata dal consulente poiché i valori riportati nel relativo studio viabilistico riguarda solo l’ora di punta PM.

Gli spostamenti (*trip ends*) aggiunti al modello di domanda (*person trips*) sono stati i seguenti:

Comparto	Spostamenti AM IN (pax/h)	Spostamenti AM OUT (pax/h)
Ex Segheria Beretta	115	11
Parco Ovest 2	88	131

Questa domanda è stata successivamente distribuita (in origini e destinazioni) tramite un modello gravitazionale di distribuzione, dopodiché la relativa ripartizione modale viene stimata tramite il modulo di scelta modale.



Comparto Ex Segheria Beretta

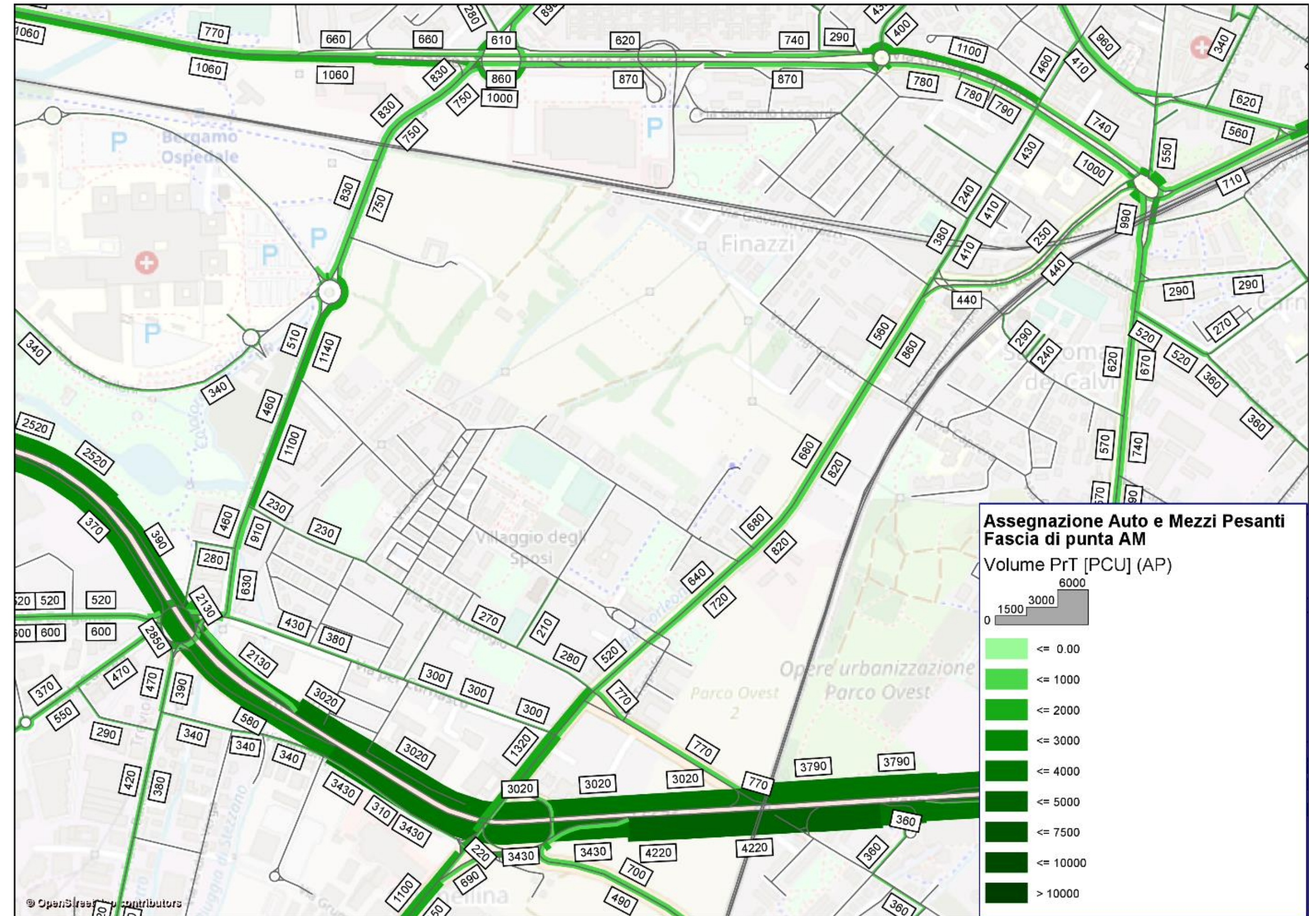


Comparto Parco Ovest 2

Flussogrammi di assegnazione

Ora di punta del mattino – Scenario Stato di Fatto

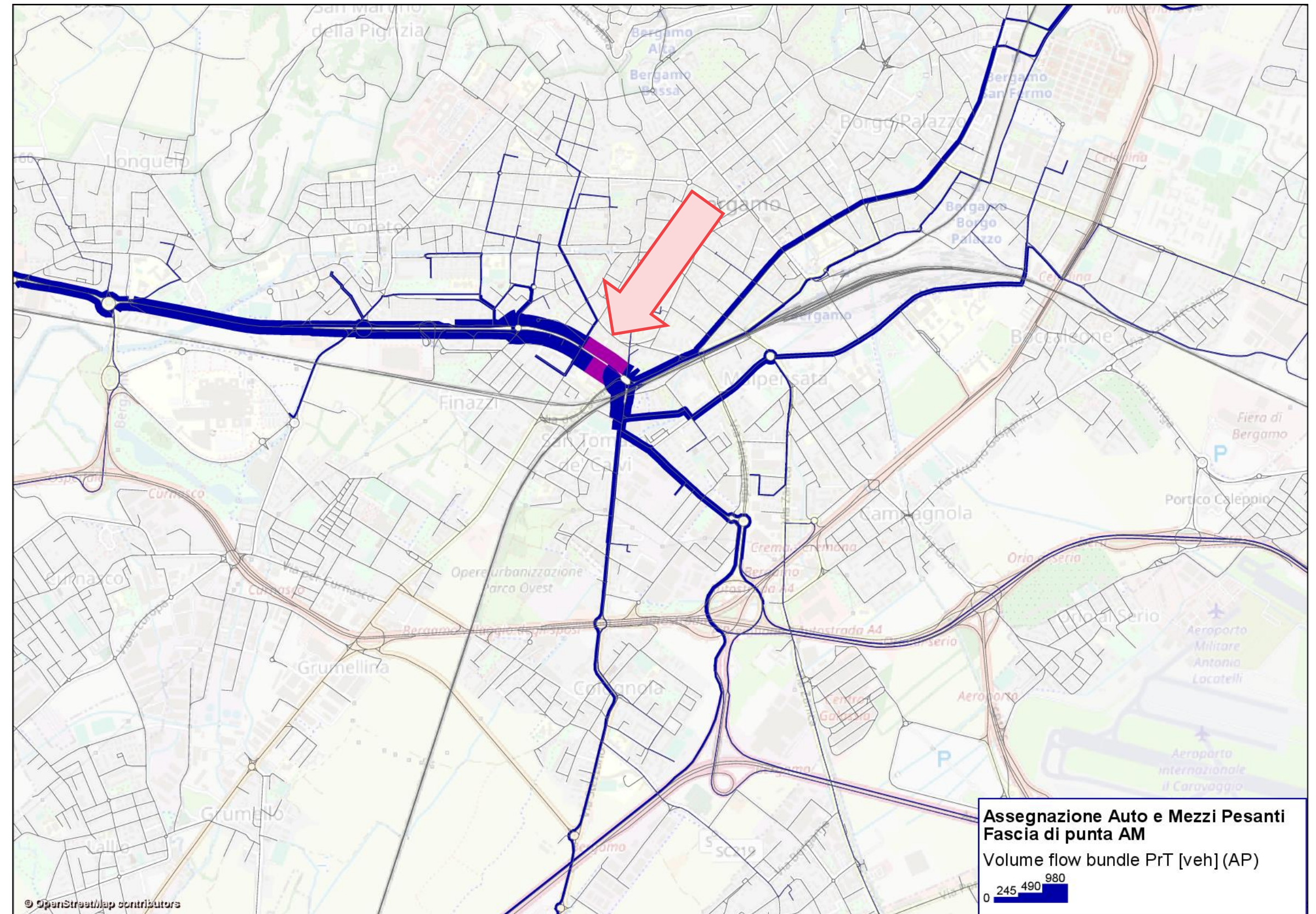
A lato di riporta il flussogramma di assegnazione riferito allo scenario stato di fatto in corrispondenza dell'ora di punta del mattino.



SCENARIO STATO DI FATTO

Select link via Carducci

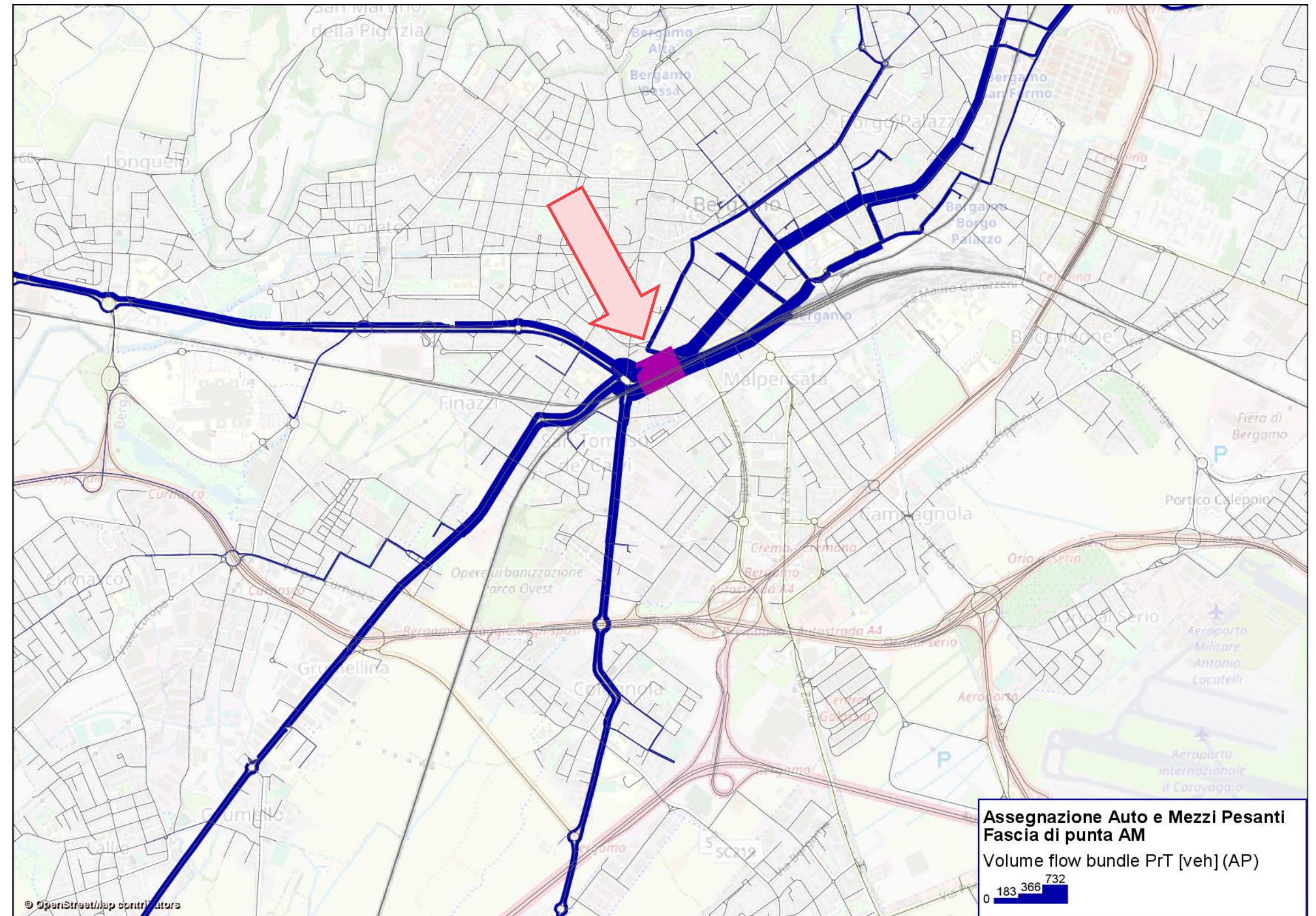
Il flussogramma a lato consente di comprendere le relazioni origine/destinazione dei flussi in transito in entrambe le direzioni di marcia su via Carducci in corrispondenza di largo Tironi (arco stradale evidenziato in viola). La mappa mostra come i flussi transitanti da questo arco siano principalmente connessi con le vie San Bernardino e San Giorgio.



SCENARIO STATO DI FATTO

Select link via San Giorgio

Il flussogramma a lato consente di comprendere le relazioni origine/destinazione dei flussi in transito in entrambe le direzioni di marcia su via San Giorgio in corrispondenza di largo Tironi (arco stradale evidenziato in viola). La mappa mostra come i flussi transitanti da questo arco siano principalmente connessi con le vie San Bernardino, Caniana e Carducci.

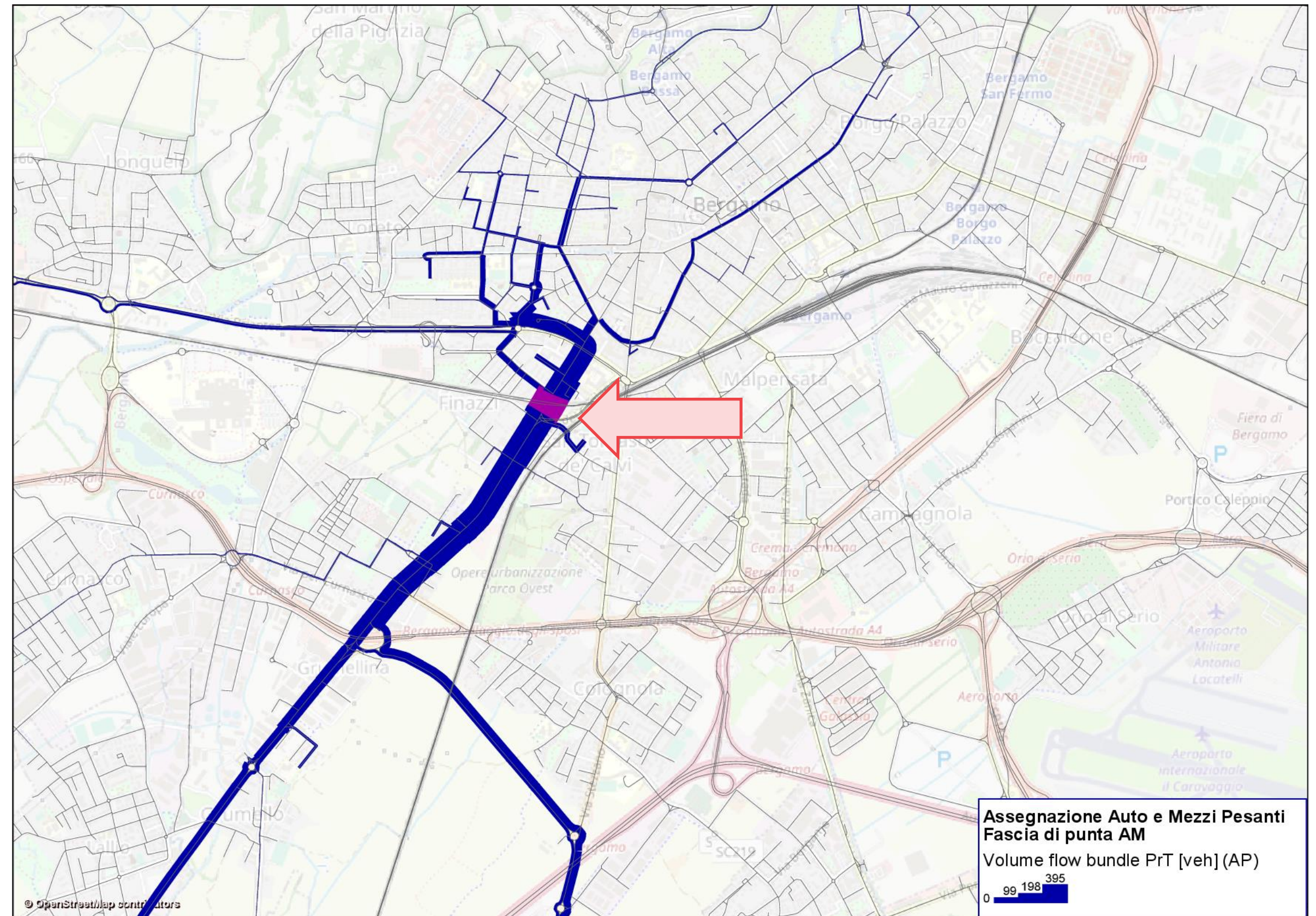


SCENARIO STATO DI FATTO

Select link via Moroni

Il flussogramma a lato consente di comprendere le relazioni origine/destinazione dei flussi in transito in entrambe le direzioni di marcia su Moroni in corrispondenza dell'attuale passaggio a livello (arco stradale evidenziato in viola).

La mappa mostra come i flussi transitanti da questo arco siano principalmente connessi con la via per Grumello e via Circonvallazione Lauceriano e via Stezzano.

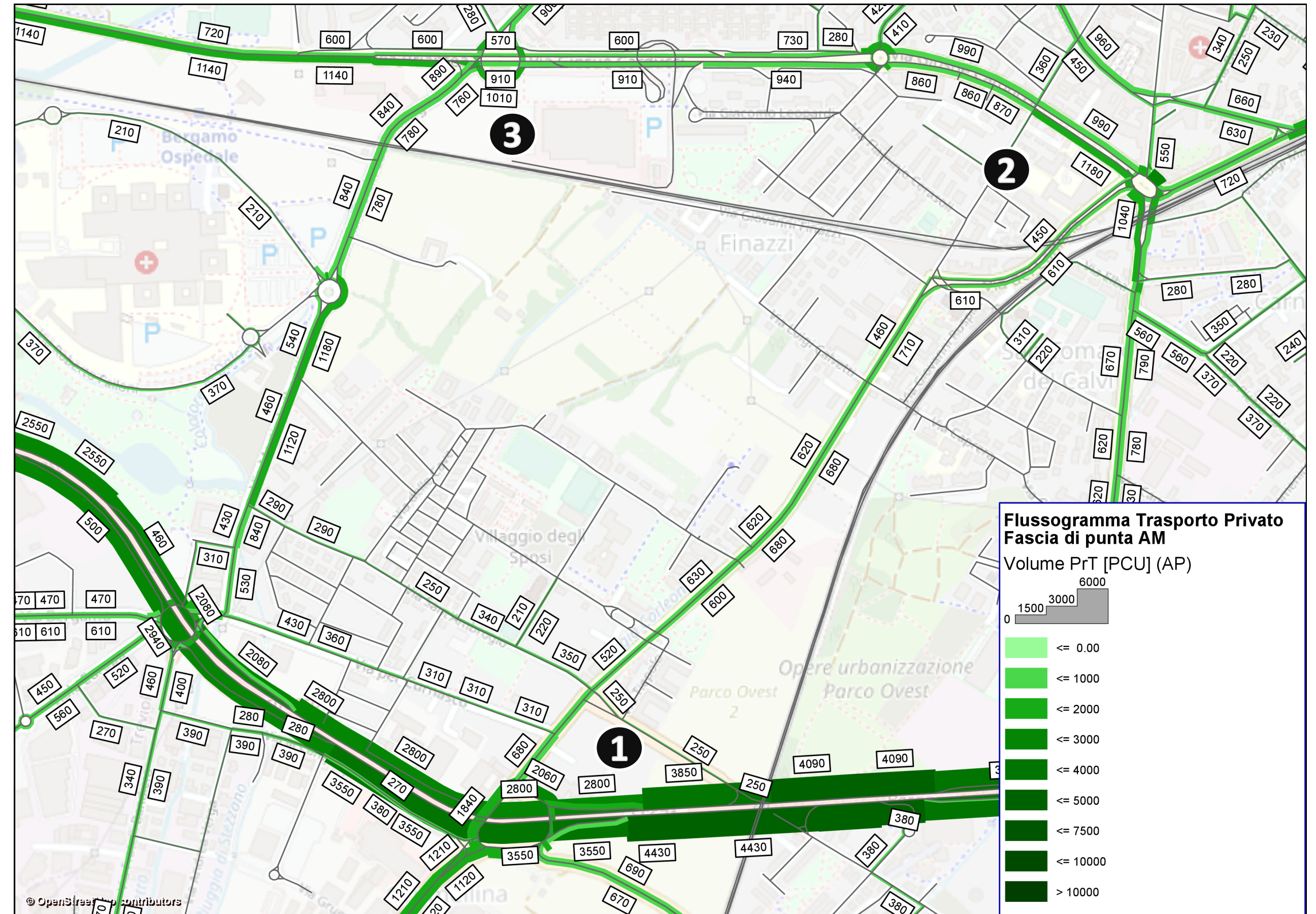


Flussogrammi di assegnazione

Ora di punta del mattino – Scenario di Riferimento

A lato di riporta il flussogramma di assegnazione riferito allo scenario riferimento in corrispondenza dell'ora di punta del mattino. Lo scenario di riferimento corrisponde all'orizzonte temporale di realizzazione della linea E-Brte, considerando oltre agli interventi già assunti realizzati in fase di redazione del PFTE anche i seguenti interventi che impattano sia a livello di domanda che di offerta:

- 1** Ambito di trasformazione Parco Ovest 2.
- 2** Chiusura al traffico veicolare del passaggio a livello di via Moroni
- 3** Piano Attuativo At_e17 Ex segherie Beretta



Confronto tra scenario di riferimento e stato di fatto

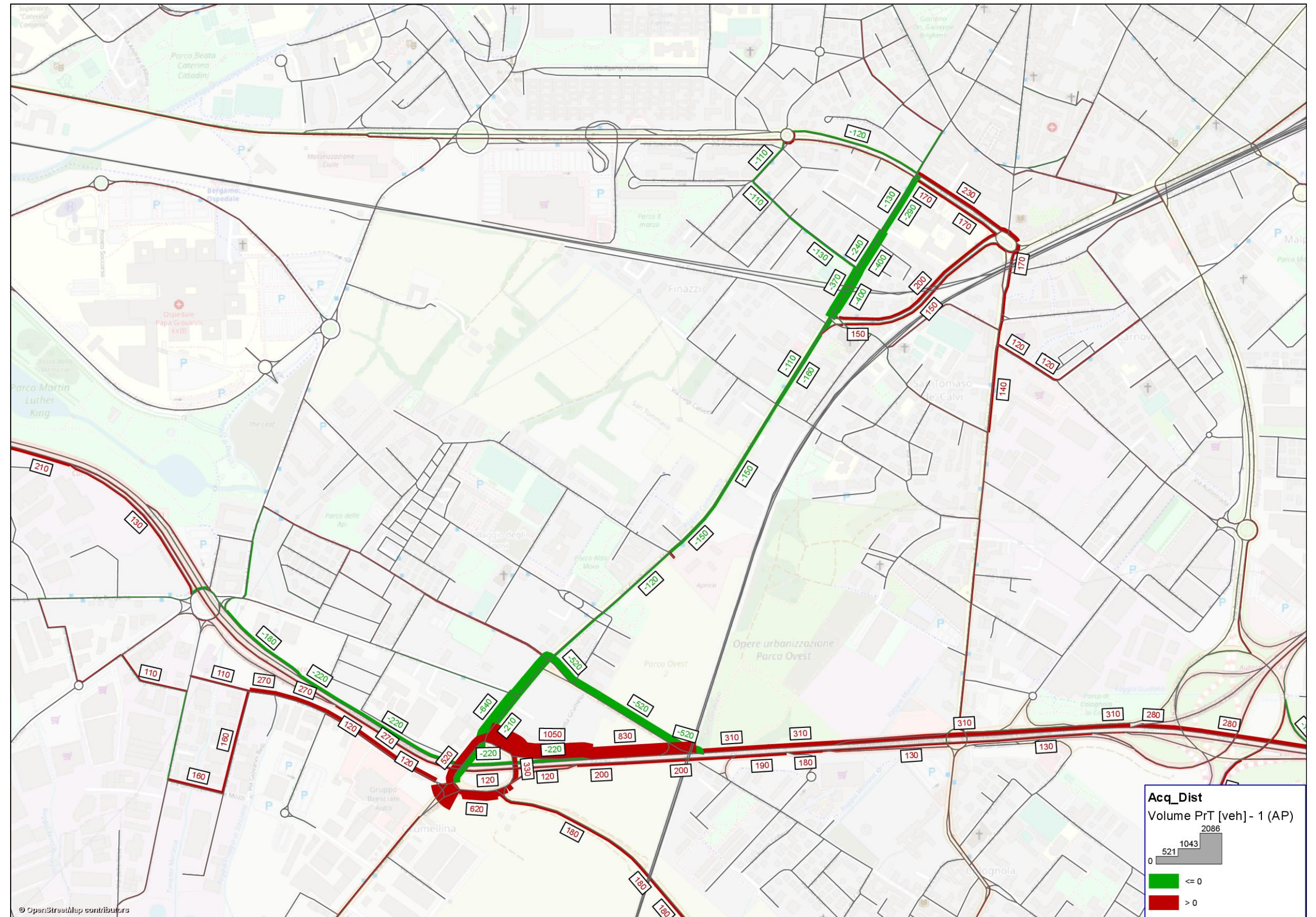
Traffico acquisito/distolto

A lato si riporta il flussogramma di confronto tra lo scenario di riferimento e lo scenario stato di fatto.

In rosso vengono mappati gli archi stradali in cui si registra un aumento di traffico in verde quelli dove si ha una riduzione. Le etichette mostrano il valore numerico di differenza di flusso.

Come si osserva le modifiche rispetto alla distribuzione delle domanda sono principalmente riconducibili ai seguenti interventi:

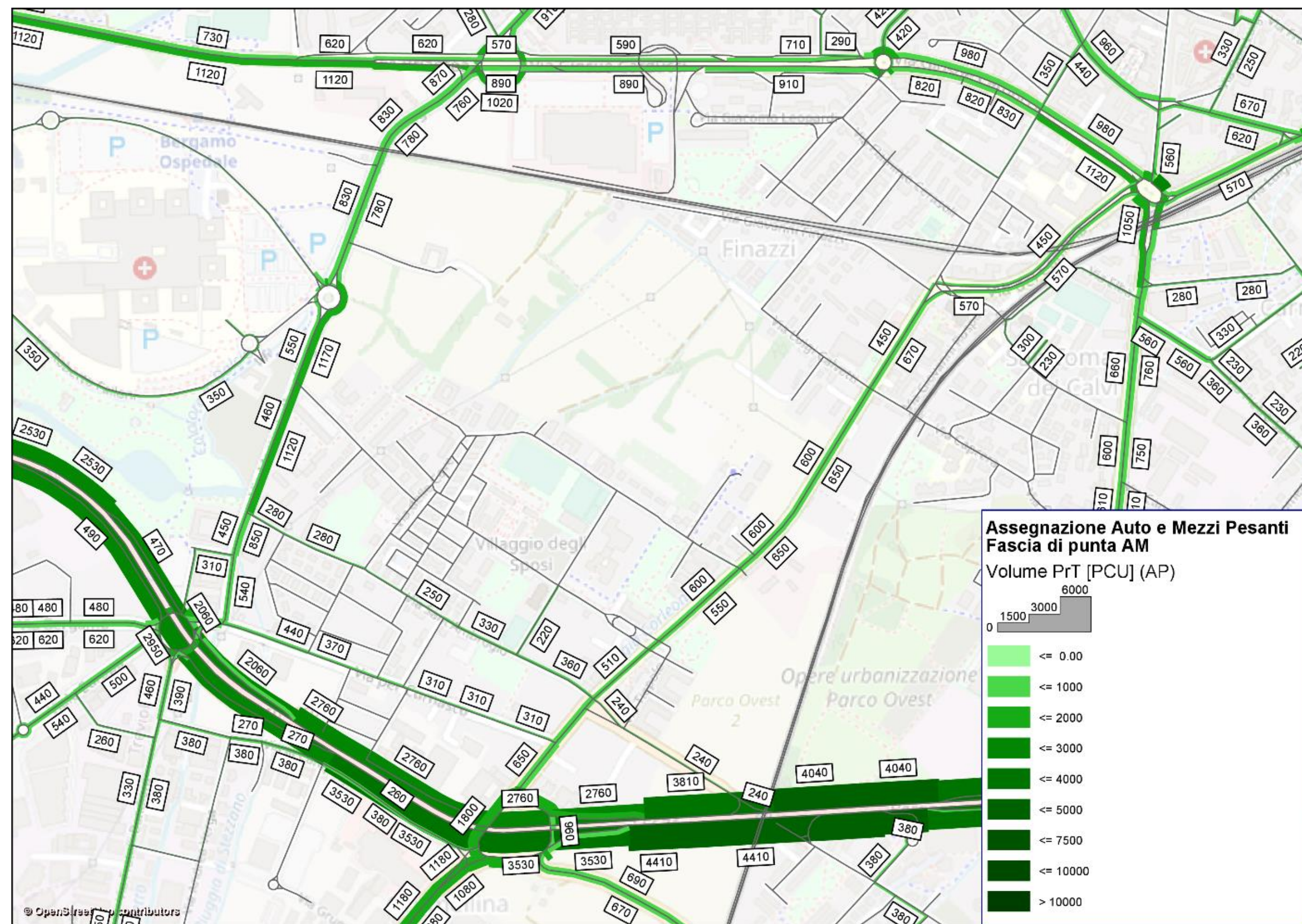
- Apertura della nuova rampa dalla circonvallazione libera traffico da via della Grumellina
- La chiusura di via Moroni fa aumentare il traffico su largo Tironi e via Caniana



Flussogrammi di assegnazione

Ora di punta del mattino – Scenario di Progetto

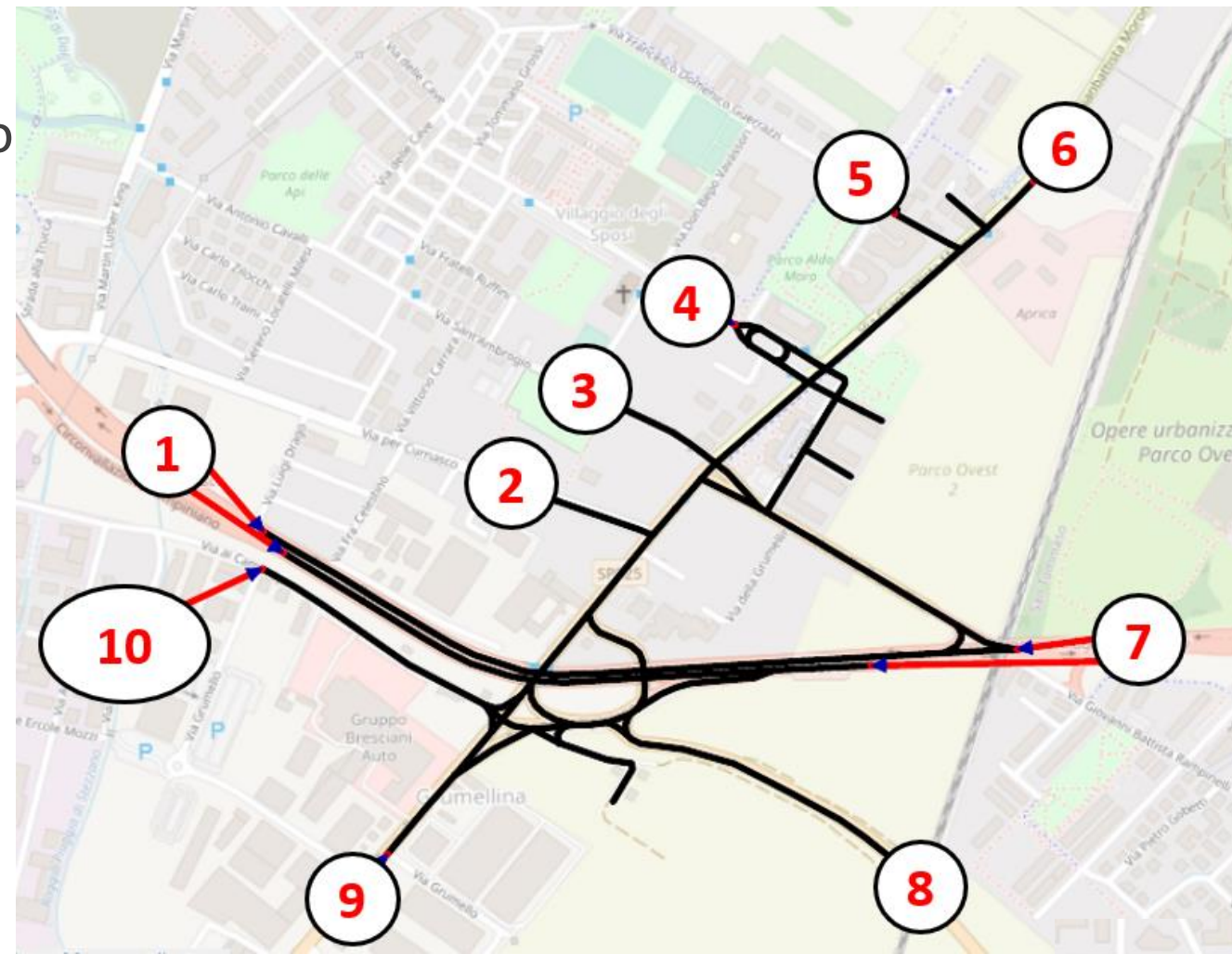
A lato si riporta il flussogramma di assegnazione relativo allo scenario di progetto. Lo scenario differisce dal precedente per l'inserimento della nuova linea E-BRT, delle linee di adduzione e degli interventi programmati di modifica alle linee esistenti V5 e V10.



Estrazione matrici di sub area

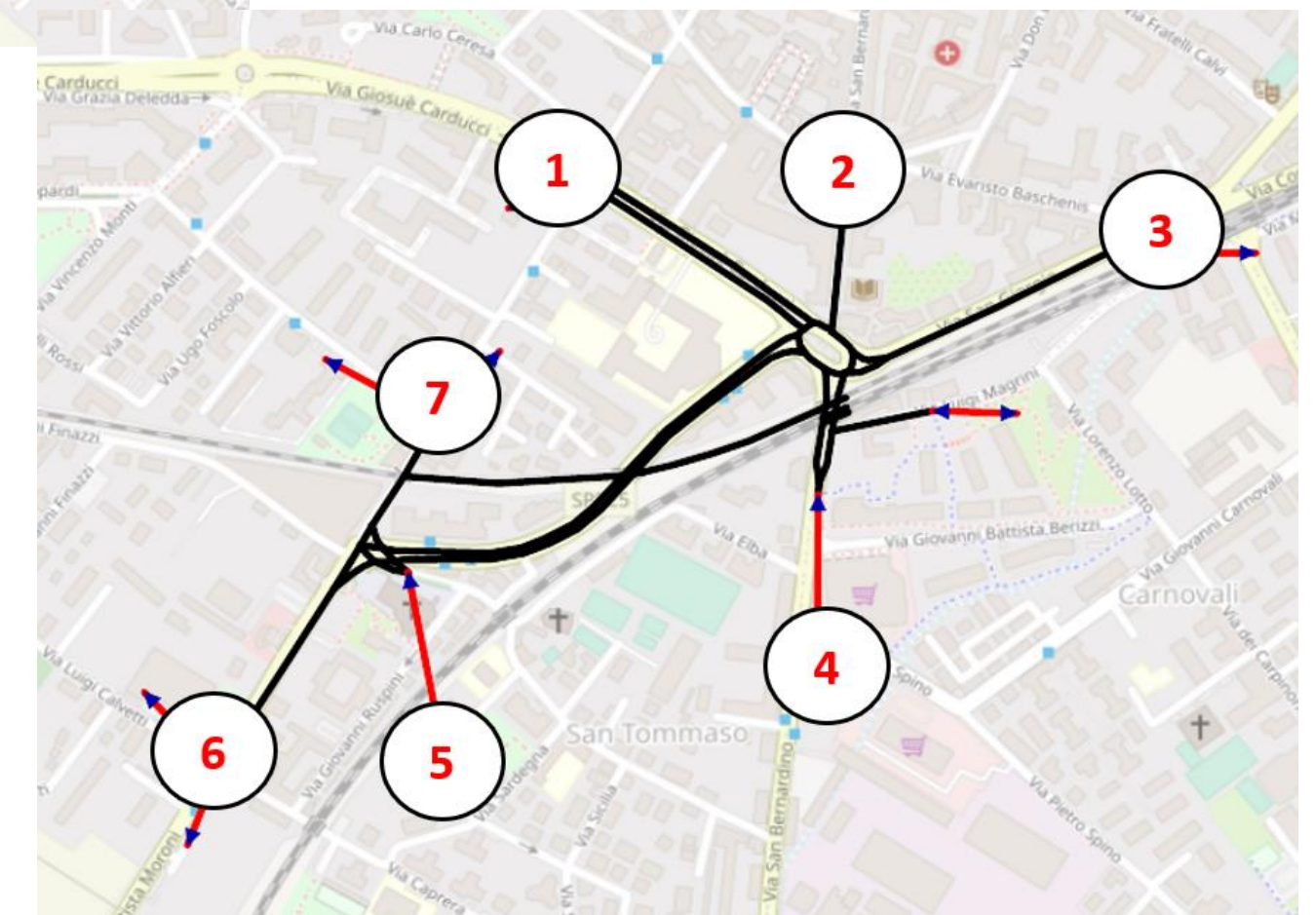
Ora di punta del mattino – Scenario di Progetto

Una volta verificato lo scenario di progetto a scala macro, compresi gli effetti indotti dalla realizzazione degli interventi pianificati e in particolare dalla chiusura del passaggio a livello lungo via Moroni, l'attività analitica si è concentrata sulla valutazione della funzionalità trasportistica di due micro ambiti, la via Moroni (Sp525) nel tratto fra la rotonda imperfetta e l'intersezione con via Ruspini e l'ambito 2 che comprende via Caniana e largo Tironi. Per questi due ambiti sono stati sviluppati due modelli di microsimulazione dinamica andando ad implementare il grafo di rete e il sistema di zone descritto nelle immagini a lato. Lo scenario di domanda considerato è quello riferito all'ora di punta del mattino; la matrice degli spostamenti è stata estratta quale sub area dallo scenario di progetto descritto nelle precedenti slide. A seguire si riporta la descrizione delle analisi svolte in corrispondenza di ciascun ambito.



Ambito 1

«Rotonda imperfetta» via Moroni



Ambito 2

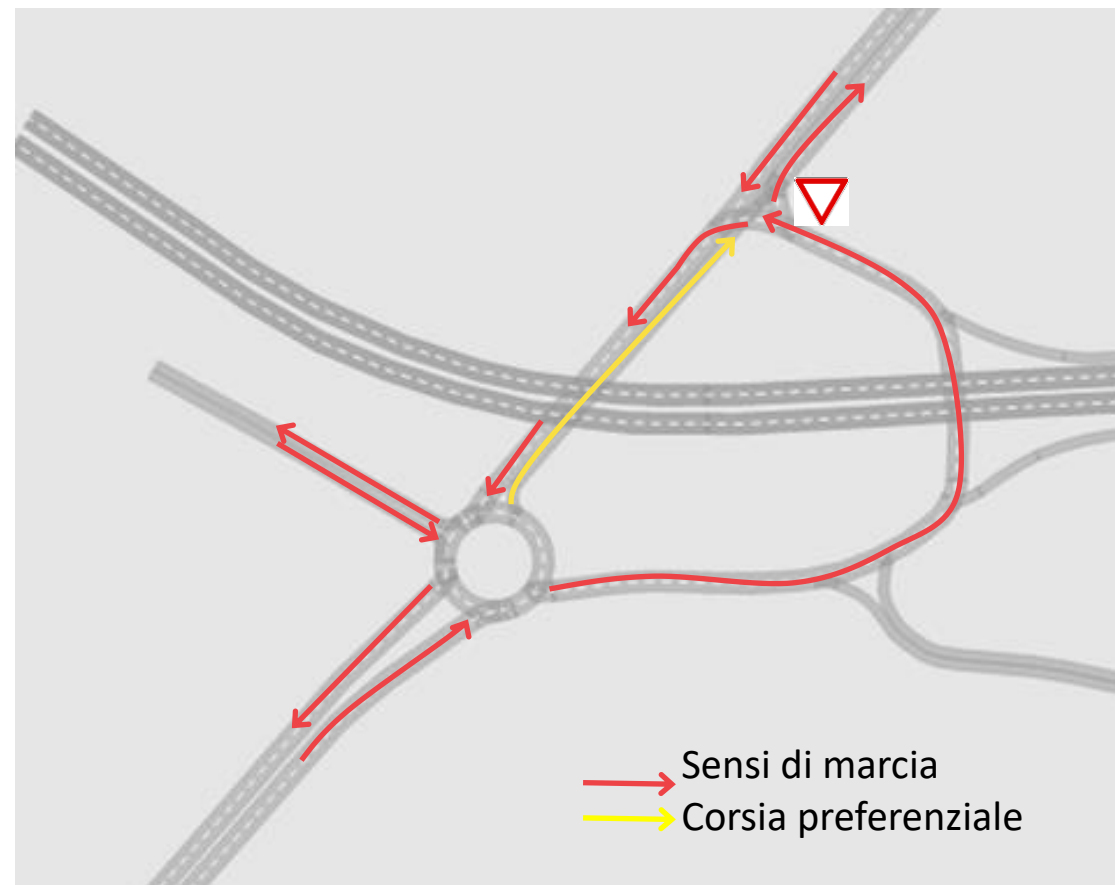
Via Caniana e largo Tironi

2·Ambito 1 – Analisi microsimulativa

Ambito 1

Scenario di Riferimento - Via Gianbattista Moroni

Di seguito è riportata l'estensione della rete simulata. Lo scenario implementa la rotatoria di progetto tra via Spini e la SS525: nella immagine sotto viene evidenziato lo schema di circolazione del nodo; il traffico privato in direzione Nord percorre l'anello della «rotonda imperfetta» mentre il tratto sotto il cavalcavia diviene corsia preferenziale per E-BRT. Vengono inoltre introdotte le rotatorie previste all'interno del piano Parco Ovest2.



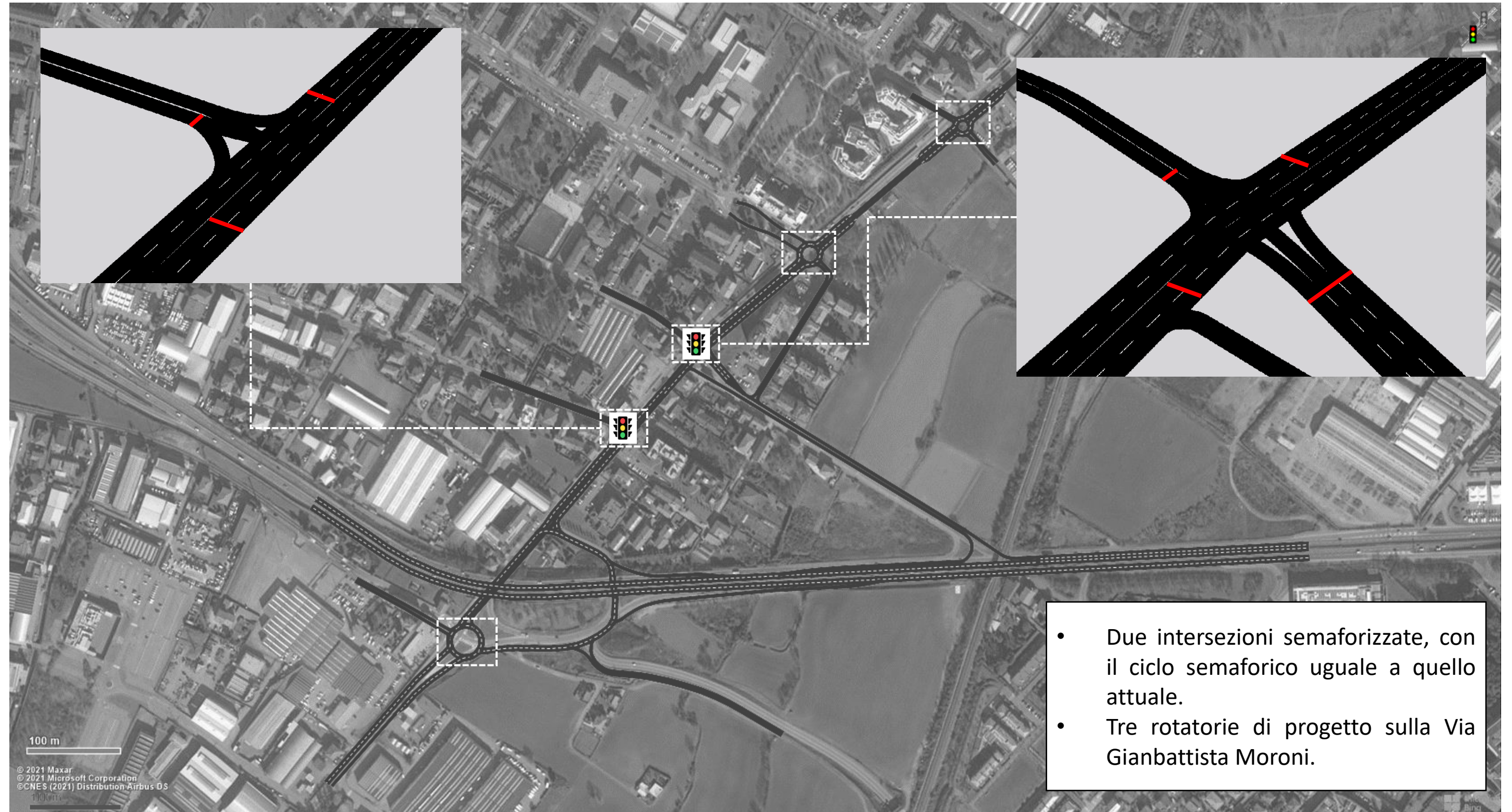
Rete stradale del modello di microsimulazione del ambito 2 – PTV Vissim

Ambito 1

Scenario di Riferimento - Via Gianbattista Moroni

Nello scenario di riferimento sono implementate le due intersezioni semaforizzate oggi presenti sul territorio all'intersezione con via per Curnasco e Via Sant'Ambrogio.

La domanda di traffico implementata in questo scenario è estratta quale matrice di sub-area dal modello di traffico a scala provinciale in corrispondenza dello scenario di progetto.



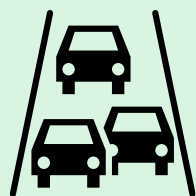
Ambito 1 – Scenario di riferimento

Flussogramma di assegnazione

Si riporta il flussogramma di assegnazione del traffico privato nello scenario di riferimento. Il traffico orario lungo la SS525 presenta valori di flusso inferiori a 1000 veicoli per direzione. Le intersezioni, compresa la rotatoria di progetto, offrono buone risultanze e, seppur creando rallentamento al traffico veicolare, sono in grado di gestire la domanda attesa.

La domanda dello Scenario di Riferimento è la stessa dello Scenario di Progetto, ad esclusione della linea EBRT

**DOMANDA TOTALE ORARIA
SIMULATA**



5330 veh/h



Scenario di Riferimento: Flussogramma trasporto privato– PTV Vissim

Ambito 1 – Scenario di riferimento

Mappa della velocità media

La mappa a lato riporta per ogni arco stradale oggetto di simulazione il valore della velocità media registrata all'interno dell'ora di analisi.

Si osservano alcuni rallentamenti in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate che replicano le fasi di rosso del ciclo semaforico.

Si osserva invece che in corrispondenza delle rotatorie il traffico è lento ma fluido. Il buon comportamento del sistema è confermato dagli accodamenti medi e massimo, che non descrivono alcuno stato di criticità.

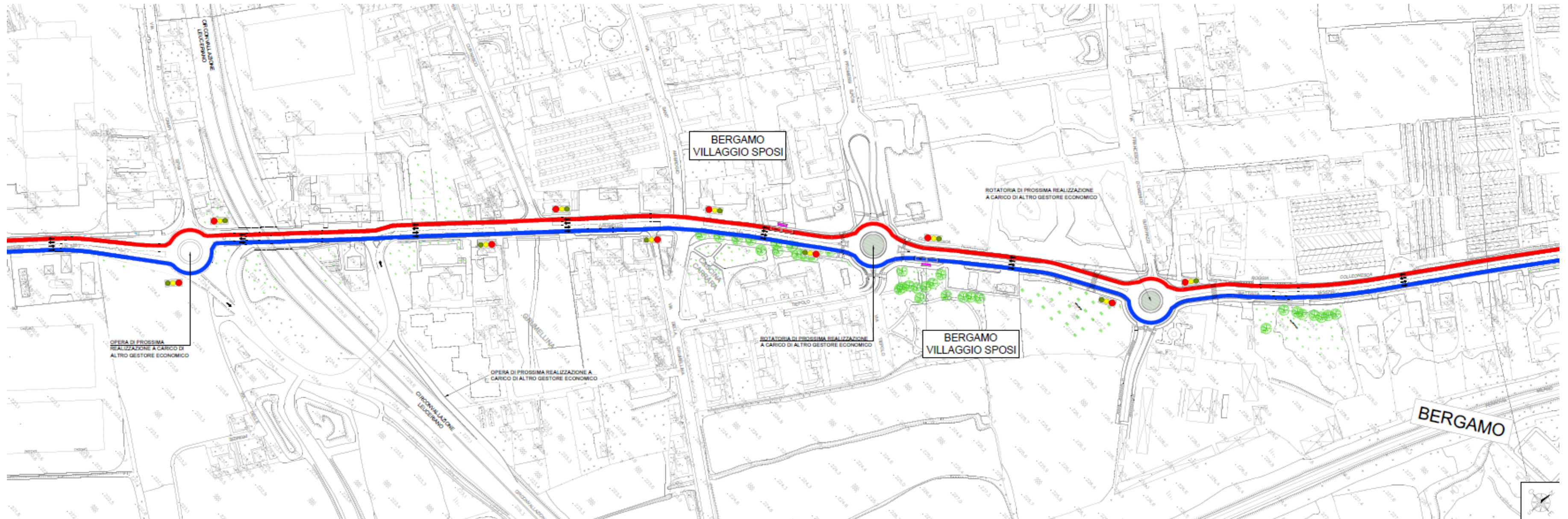


Scenario di Riferimento: Flussogramma velocità media – PTV Vissim

Ambito 1

Planimetria di progetto

La figura sotto presenta la planimetria di progetto della Via Gianbattista Moroni. Nelle simulazioni a seguire le due intersezioni semaforizzate esistenti vengono eliminate in accordo con le previsioni della Pubblica Amministrazione.



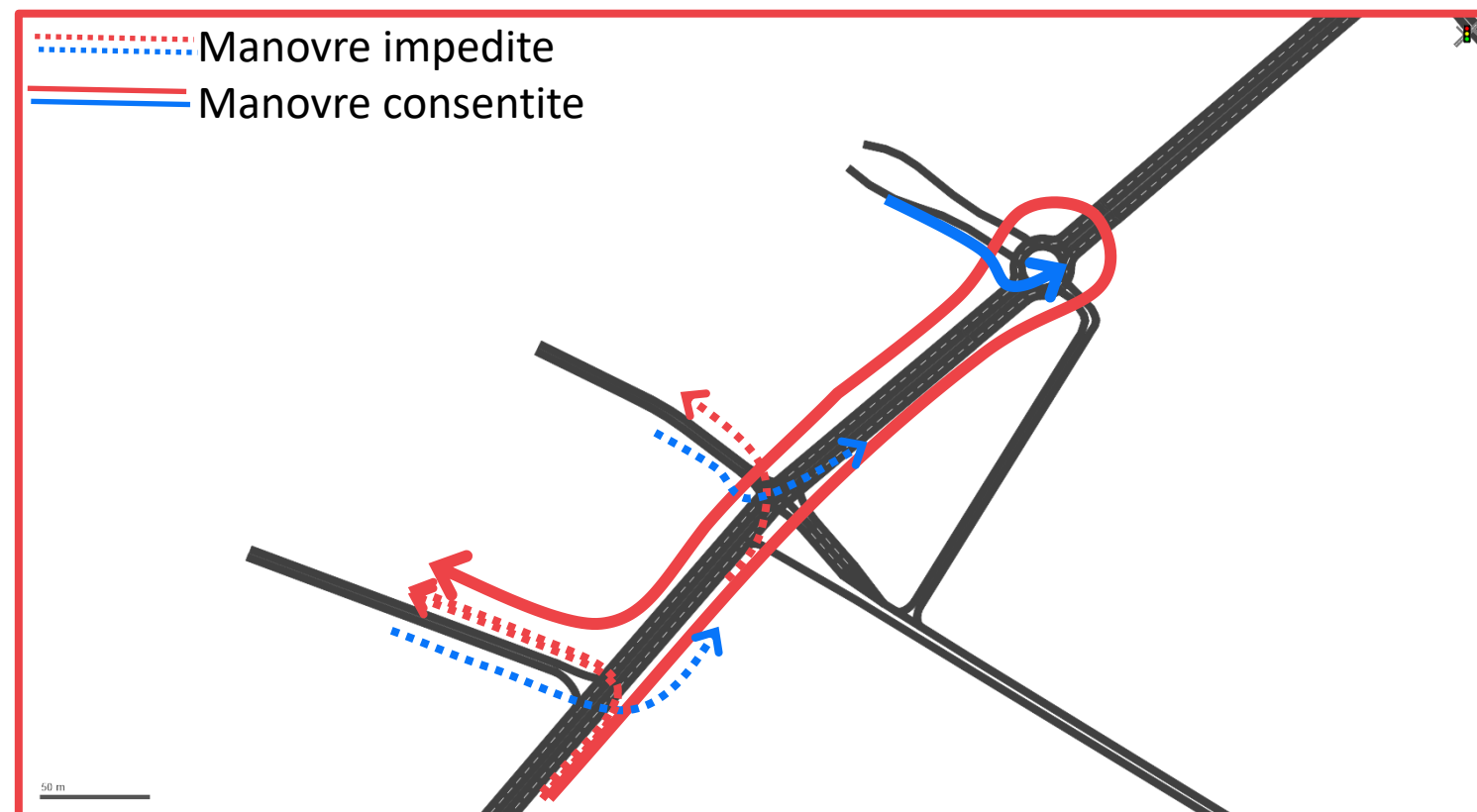
Scenario di progetto

Interventi di modifica rispetto allo scenario di riferimento

Lo scenario di progetto di seguito presentata rappresenta la soluzione finale individuata alla luce dell'analisi di diverse varianti progettuali, sulla base della lettura delle risultanze simulative e degli incontri intercorsi con la pubblica amministrazione.

La soluzione progettuale propone l'eliminazione delle intersezioni semaforizzate con Via per Grumello e via Sant'Ambrogio. Le svolte in sinistra vengono impedite, le due viabilità si innesteranno sulla sp525 con semplici manovre di svolta in destra, la rotatoria all'intersezione con via Promessi Sposi consentirà di effettuare la svolta indiretta.

La linea E-Brt viaggia su corsie preferenziali che si interrompono circa 30 m prima degli ingressi in rotatoria per consentire l'attestazione su due corsie in anello a tutte le categorie di utenza.



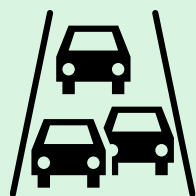
Scenario di progetto – OPZIONE 1

Scenario di progetto

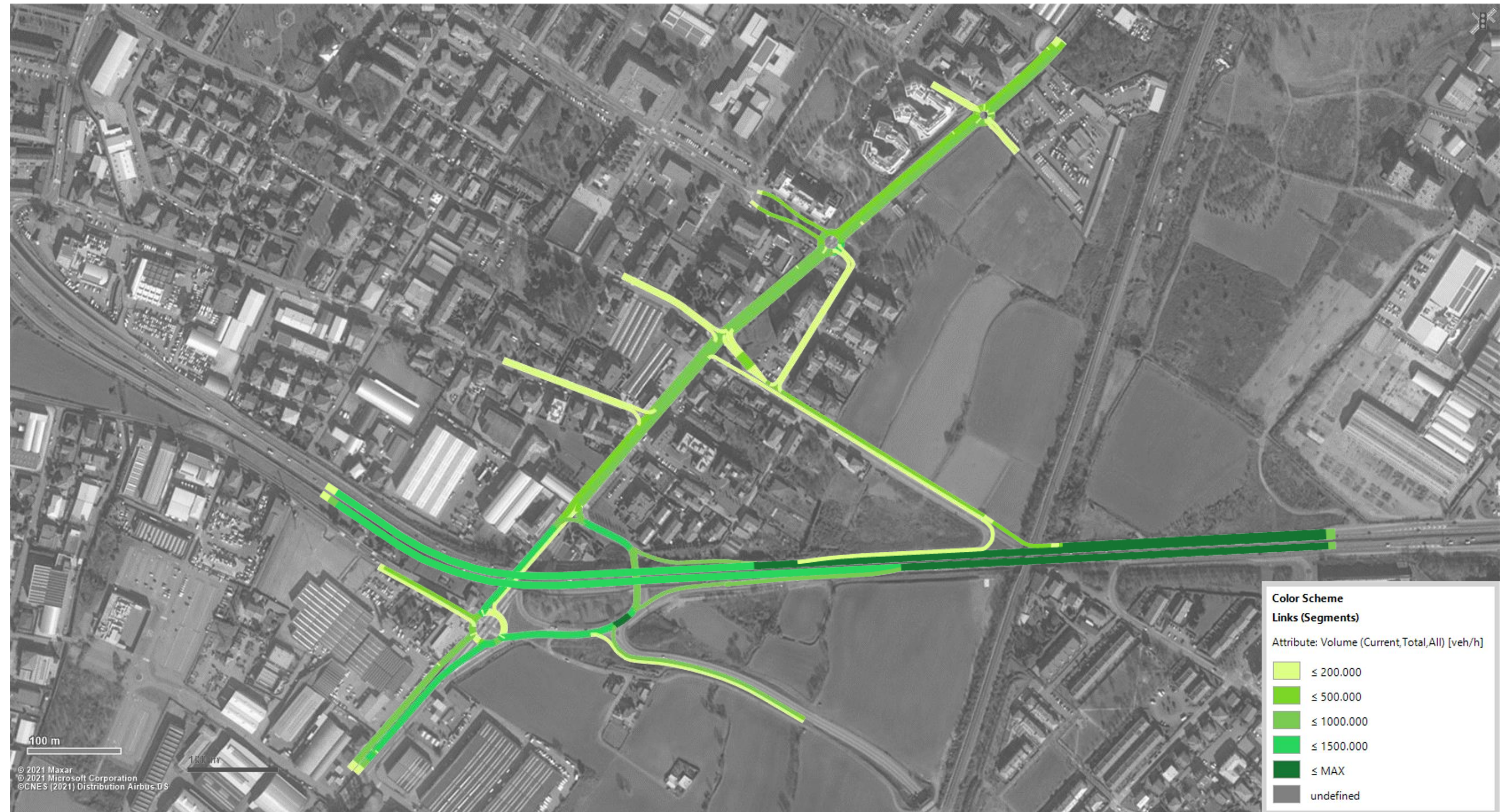
Flussogramma di assegnazione

Nella figura a lato si evidenzia il flussogramma di assegnazione del traffico privato dello scenario di progetto. Le differenze che si evidenziano rispetto allo Scenario di Riferimento sono le svolte a sinistra nelle due intersezioni di Via per Curnasco e Via Sant'Ambrogio che non sono presenti.

**DOMANDA TOTALE ORARIA
SIMULATA**



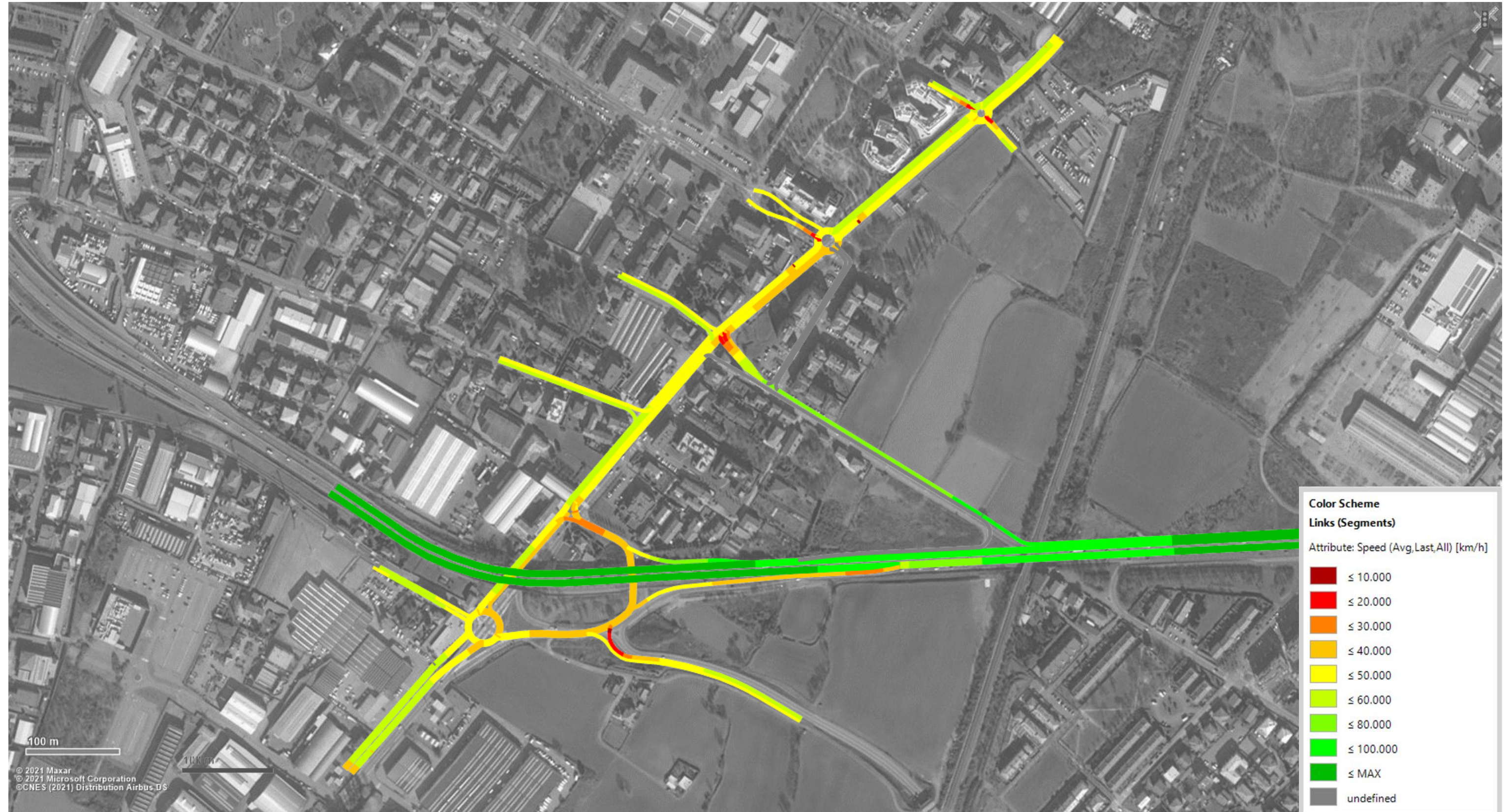
5334 veh/h



Scenario di progetto

Mappatura della velocità media

Si osserva che la velocità media lungo l'asse è più omogenea rispetto allo scenario di riferimento perché sono state eliminate le intersezioni semaforizzate e perché le rotatorie sono correttamente dimensionate e in grado di gestire la domanda attesa.



Scenario di progetto

Risultanze generali e lunghezza delle code

Nelle slide a seguire si riportano gli indicatori di rete che emergono come risultanze dal processo di simulazione.

Nelle tabelle si riportano gli indicatori di prestazione di rete distinguendo tra traffico privato e solo E-brt.

Il tempo di viaggio del Ebrt è mediamente superiore rispetto a quello del traffico di rete perché all'interno del percorso effettua delle fermate. La similitudine dei valori tra le due direzioni è indice del buon funzionamento del sistema che non presenta elementi di criticità.

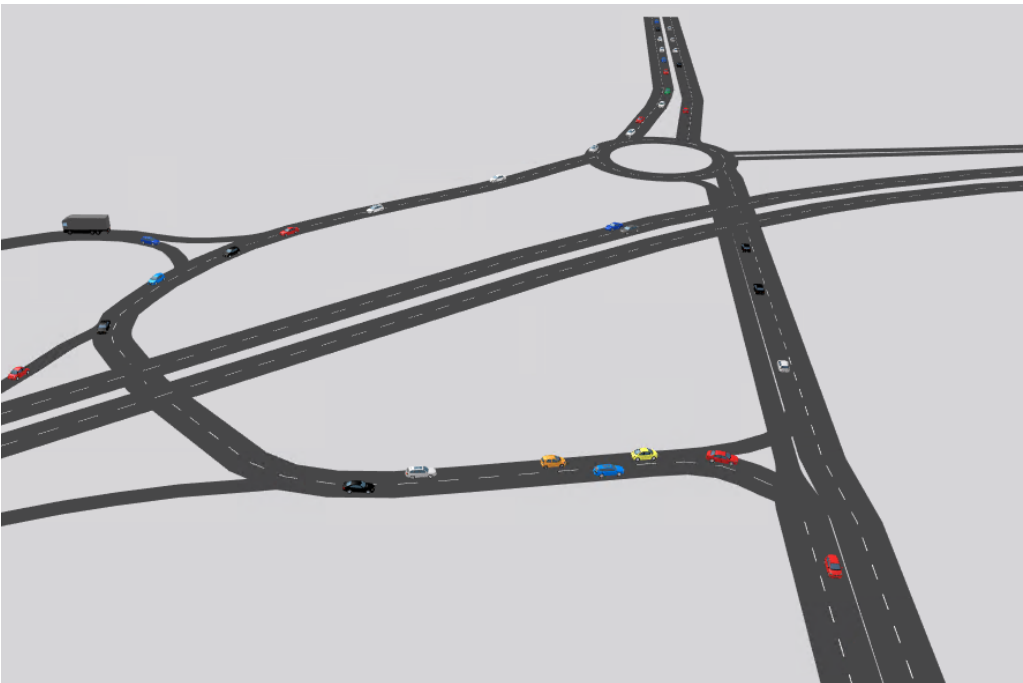
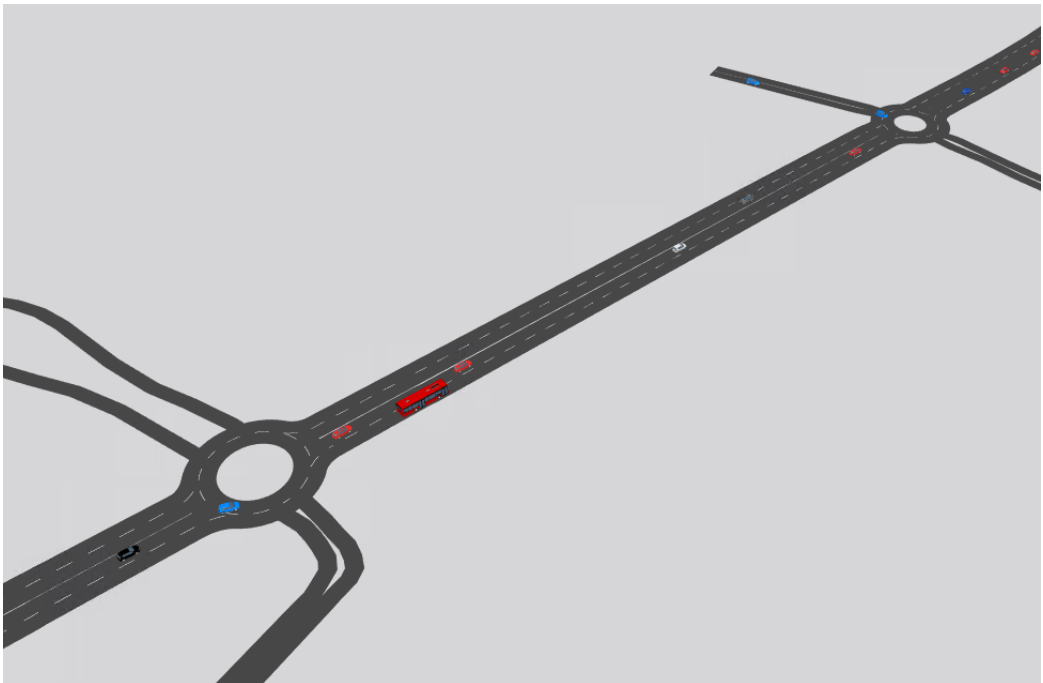
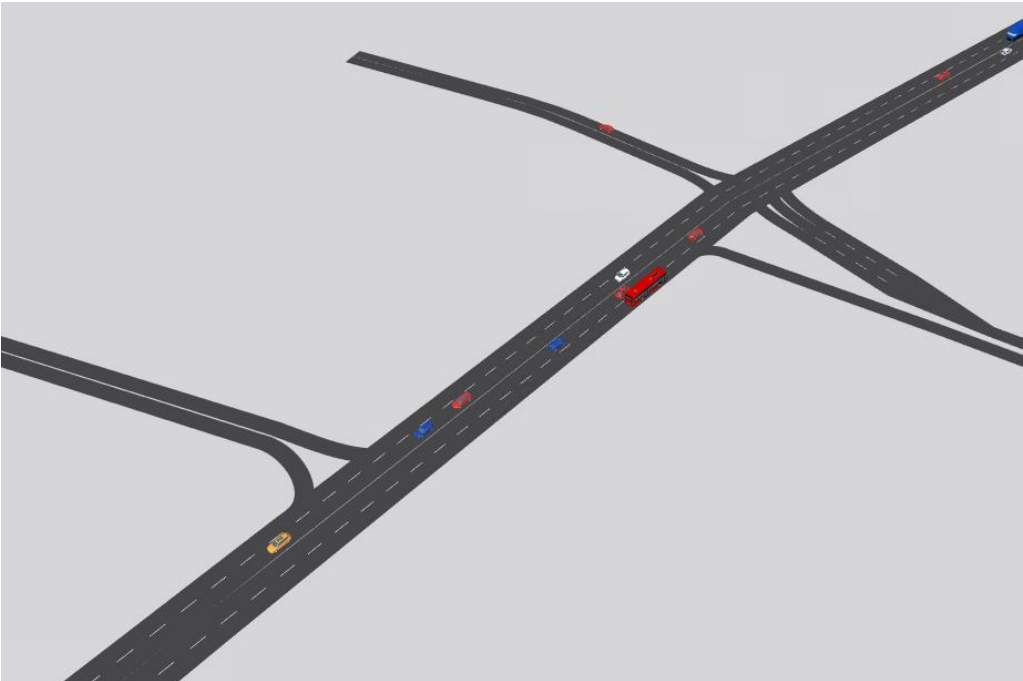
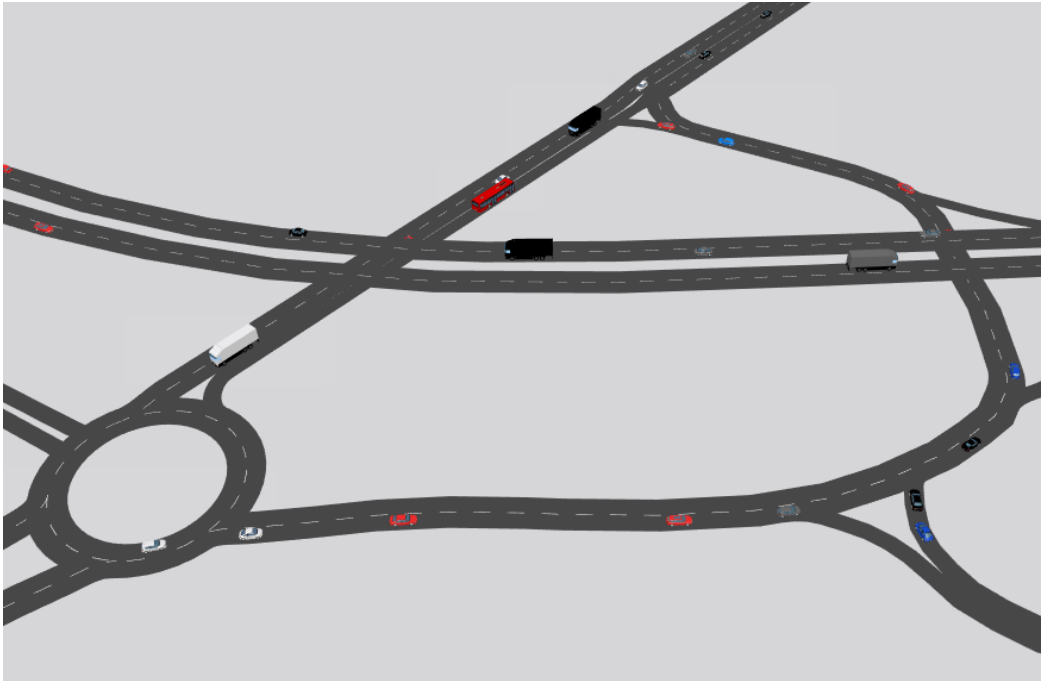
Si riportano inoltre la lunghezza delle code medie e massime all'interno del periodo di simulazione per il nodo a rotatoria di progetto e per la rampa di immissione sulla via per Grumello.

Si osserva in entrambi i casi la bontà delle risultanze ed in particolare come la gestione a precedenza della rampa di immissione non presenta accodamenti che possano andare a interferire con lo scorrimento veicolare sulla circonvallazione.

Scenario di progetto

Prestazioni della rete

E-BRT		
SP525	Direzione Sud - Nord	Direzione Nord - Sud
Volume totale in rete [veh]	6	6
Velocità media in rete [km/h]	24,06	24,91
Distanza media percorsa [km]	1,11	1,10
Tempo medio in rete [min]	2,65	2,77

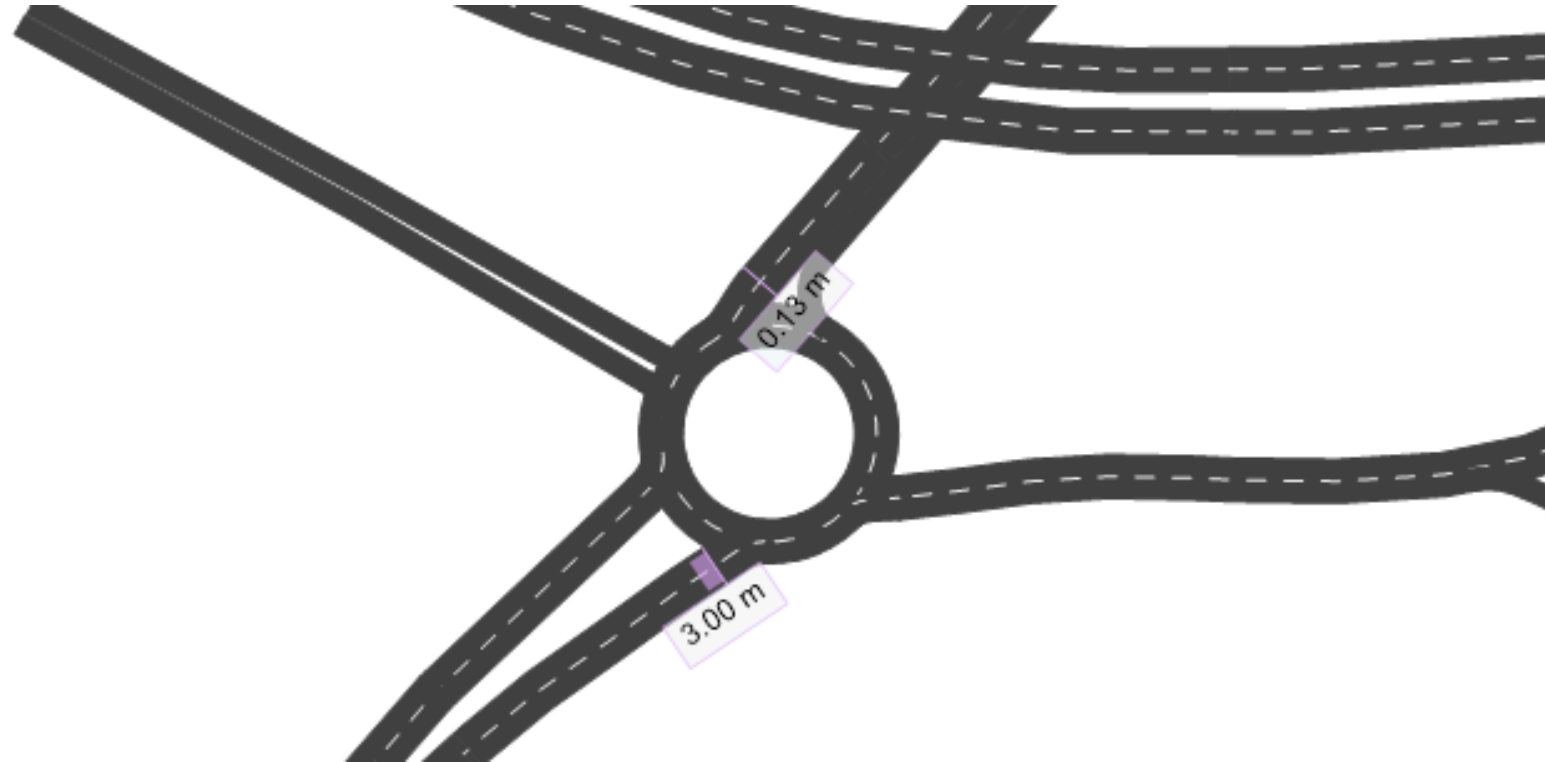


VEICOLI PRIVATI	
	Veicoli privati
Velocità media in rete [km/h]	62
Distanza media percorsa [km]	1,02
Tempo medio in rete [min]	0,97

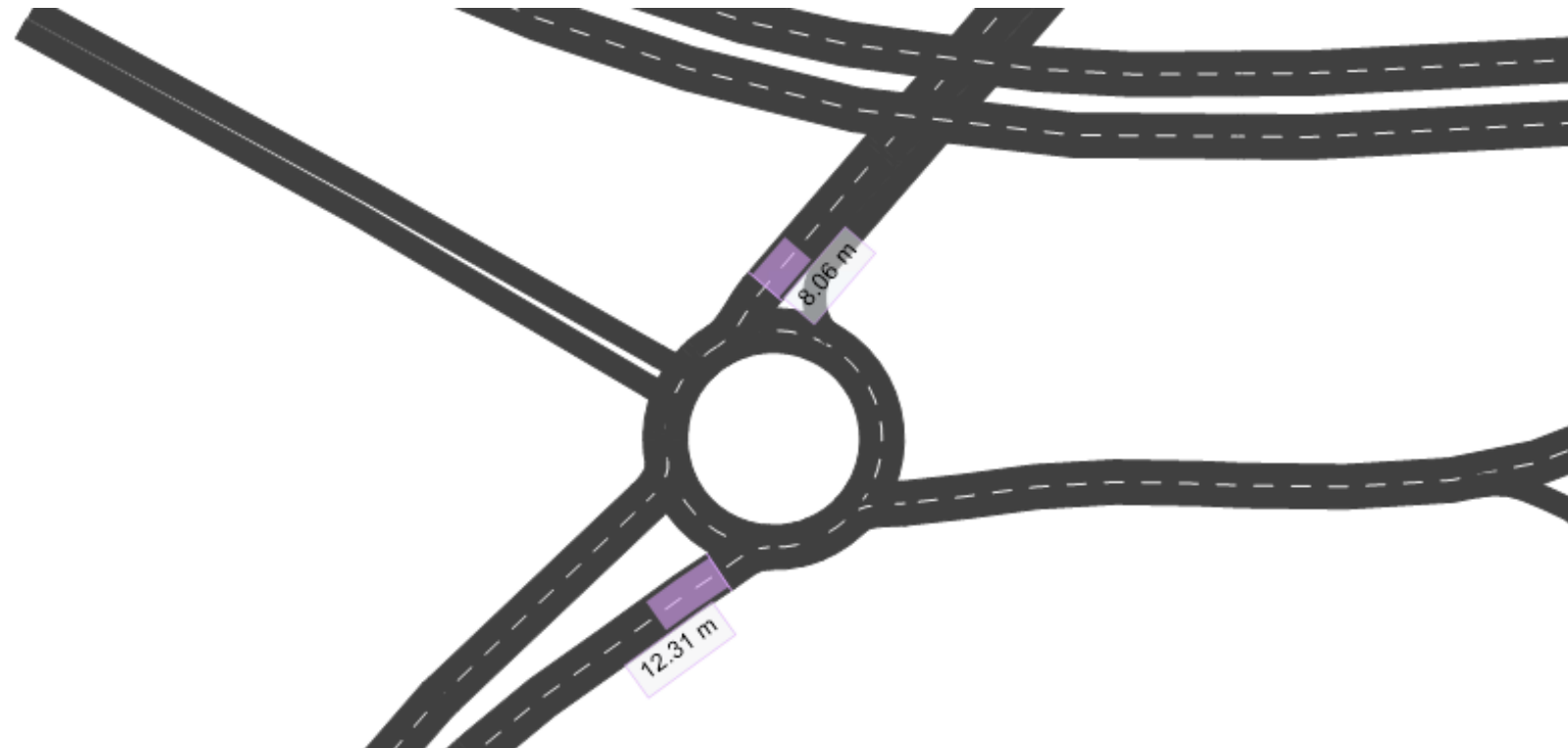
Scenario di Progetto 1

Accodamento medio e massimo

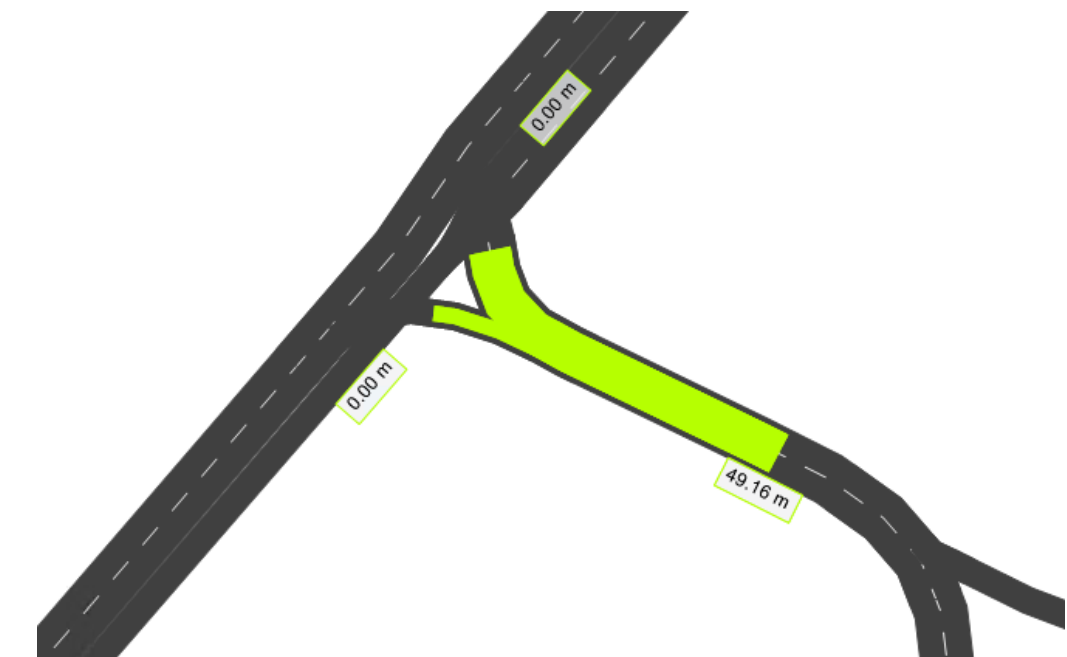
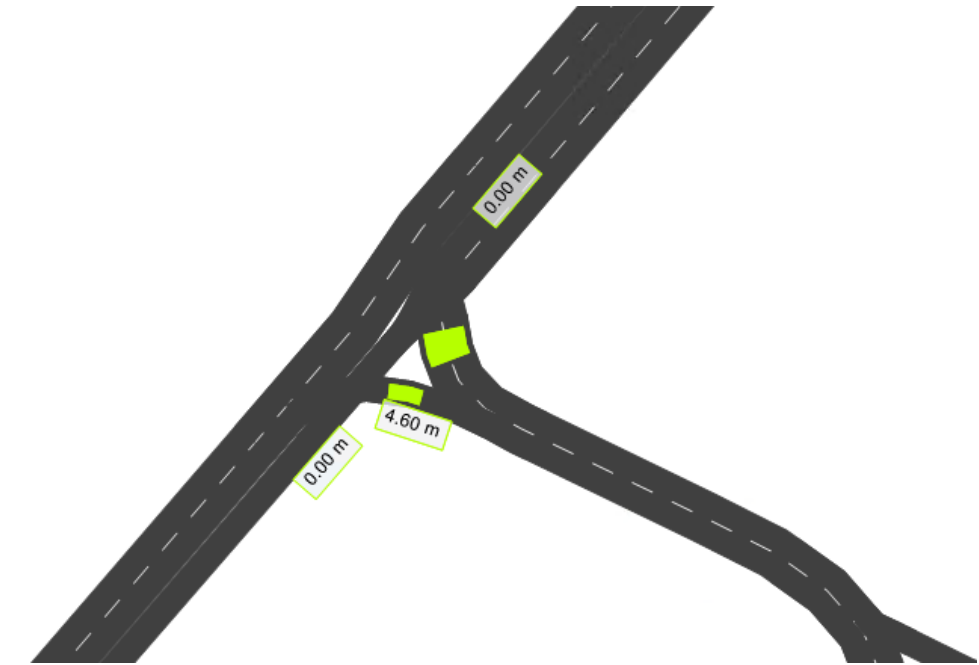
CODA MEDIA



CODA MASSIMA



Rotatoria di progetto su Via Gianbattista Moroni



Intersezione a precedenza a nord della rotatoria imperfetta

Scenario di Progetto 1 – Rotatoria imperfetta– AM

Video di simulazione



3·Ambito 2 – Analisi microsimulativa

Ambito 2

Estensione modello di simulazione e domanda di traffico – Scenario di Riferimento

L'estensione della rete simulata comprende le seguenti intersezioni:

- Via Gianbattista Moroni – Via dei Caniana
- Largo Giuseppe Tironi, dove si incrociano: Via dei Caniana, Via Giosuè Carducci, Via San Bernardino e Via San Giorgio.

Si sottolinea che per far fronte alla crescita di domanda al nodo attesa in seguito alla chiusura di via Moroni si è reso necessario intervenire sulla ottimizzazione del impianto semaforico attuale per consentire al nodo di gestire i flussi attesi. Come indicato nella immagine a lato il nodo è chiamato a gestire un elevato flusso di traffico, distribuito su 5 direzioni, via Carducci, Via Caniana, Via San Bernardino, Via San Giorgio e il tratto a senso unico di via San Bernardino.



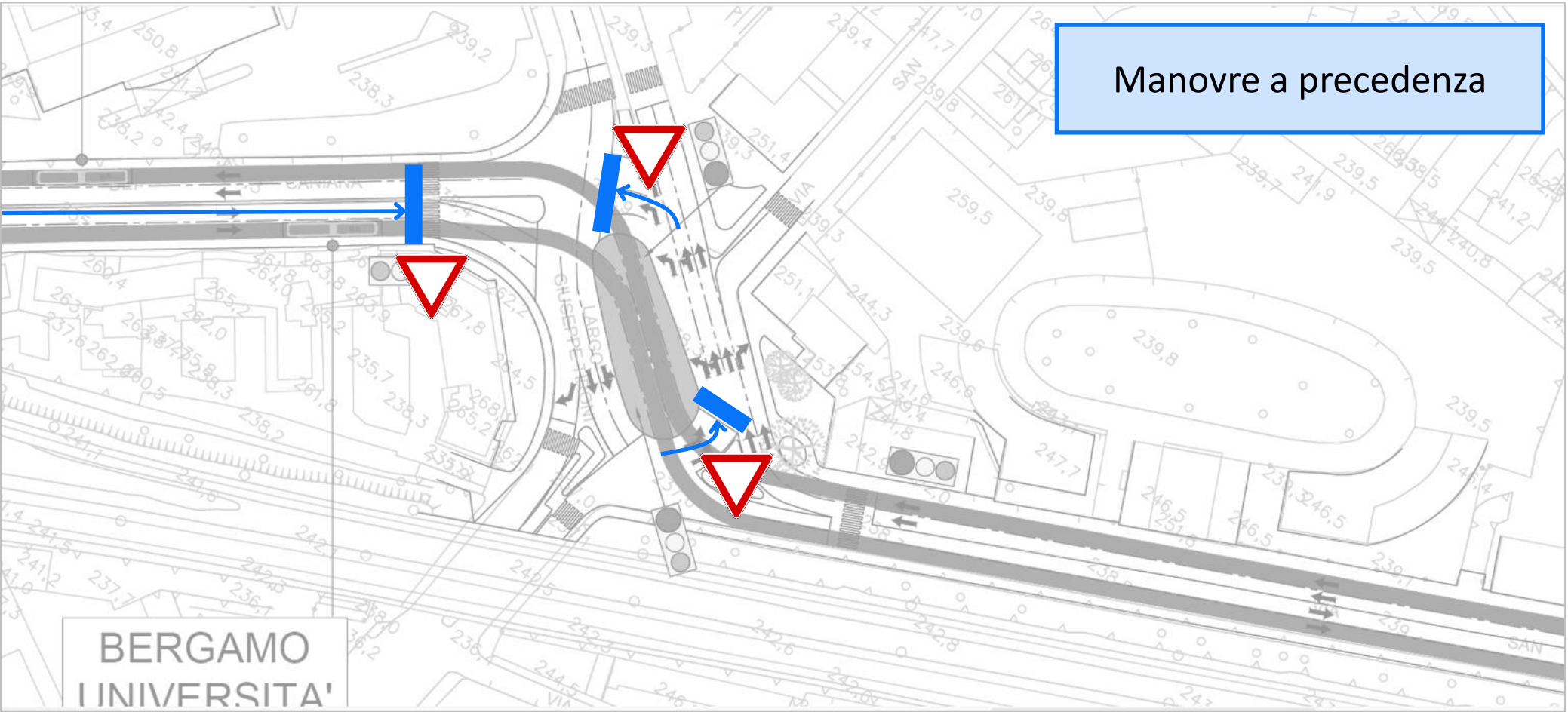
Rete stradale del modello di microsimulazione del ambito 2 – Largo Giuseppe Tironi – PTV Vissim

Largo Tironi

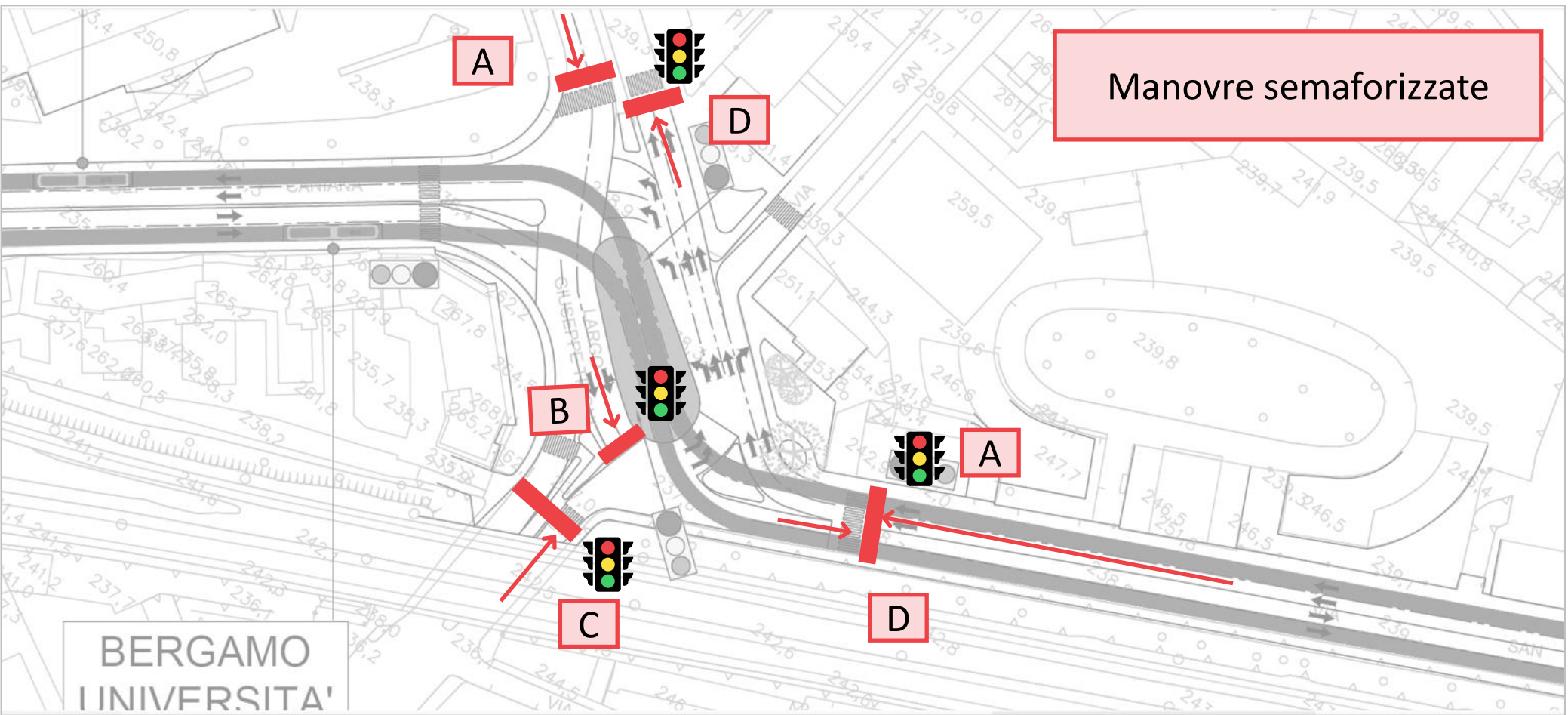
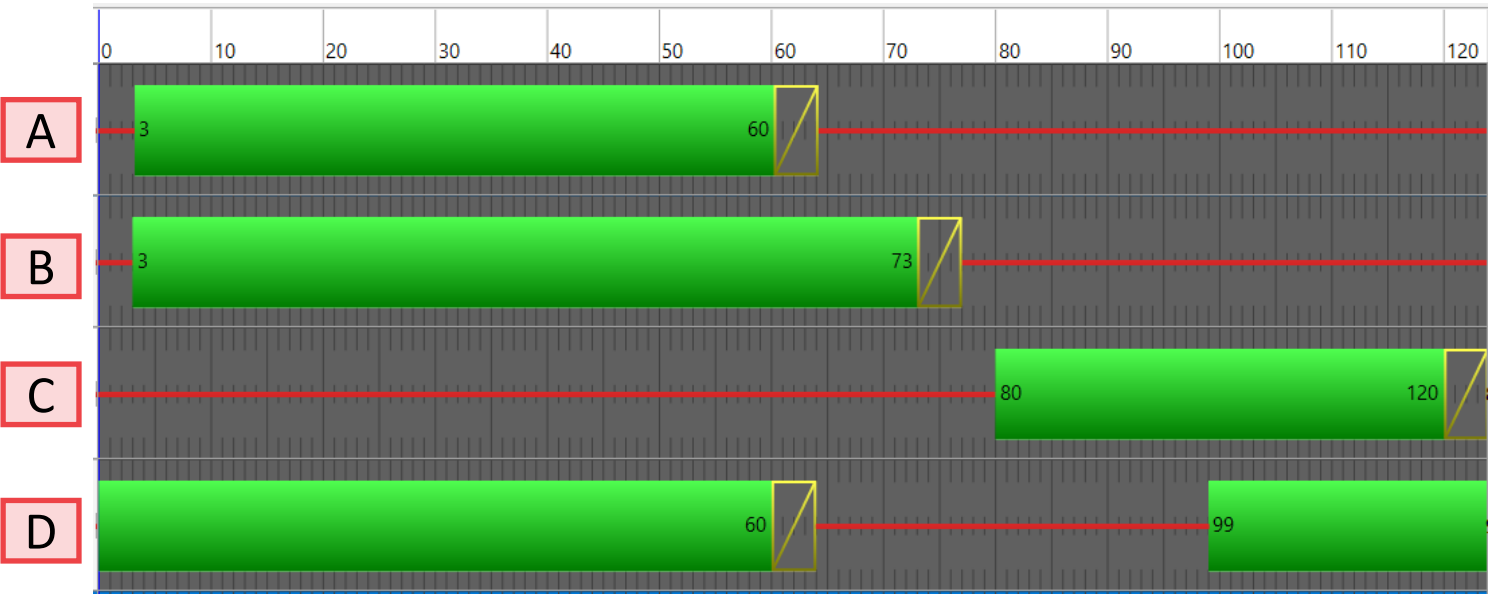
Impianto semaforico – Stato di Fatto

Nelle immagini a lato sono differenziati i due regimi di regolamentazione della circolazione stradale attualmente esistenti: in blu le manovre a precedenza ed in rosso quelle semaforizzate.

Di seguito è presentato il ciclo semaforico dello stato di fatto.



Tempo di ciclo = 124 secondi

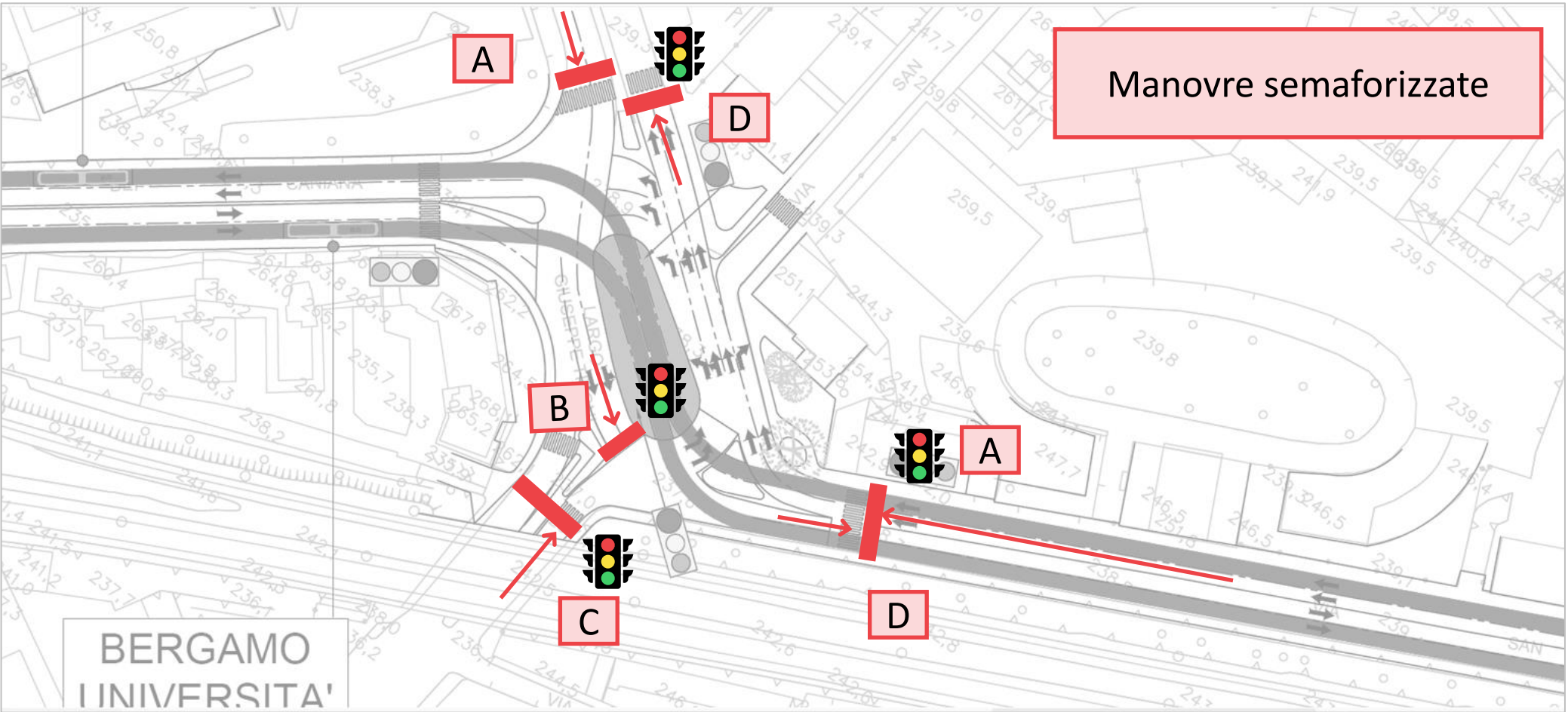
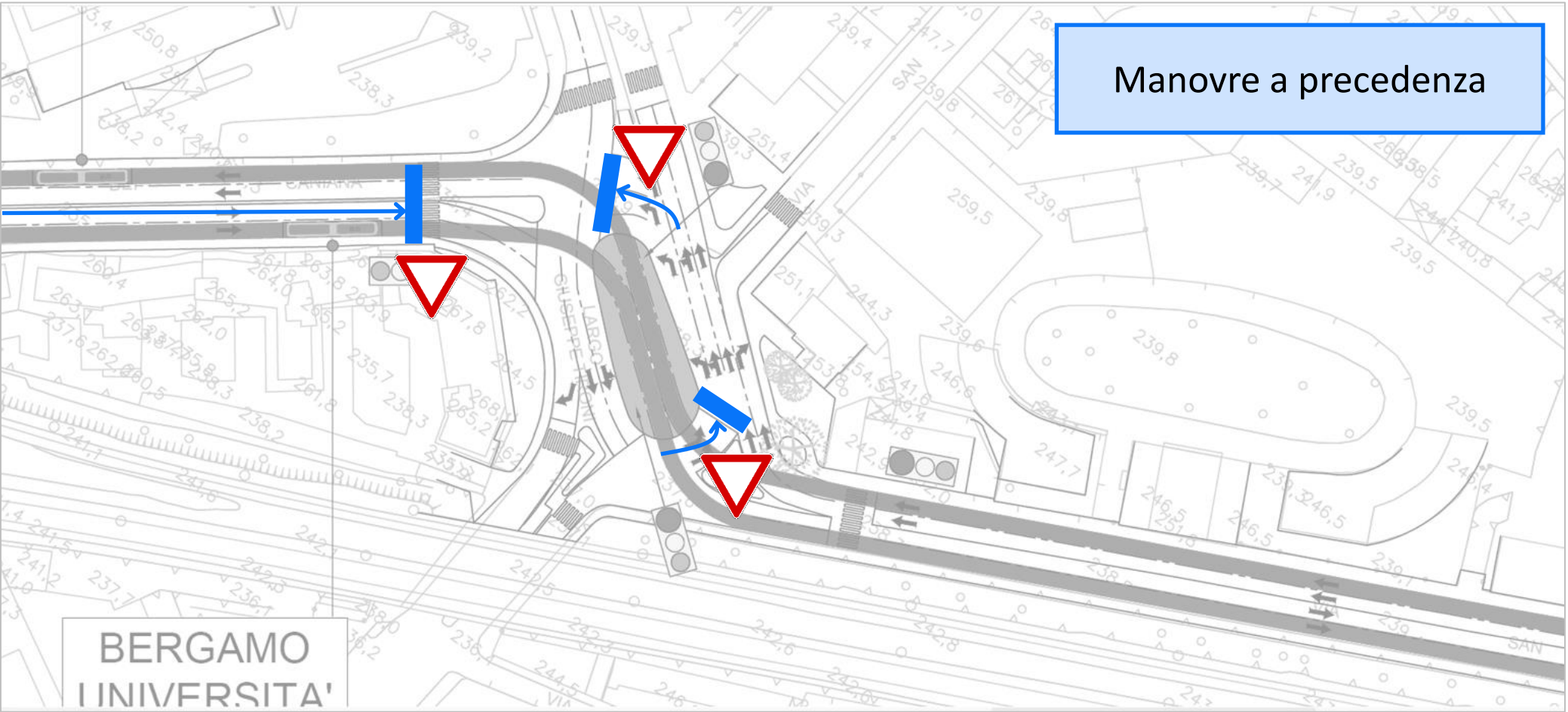


Largo Tironi

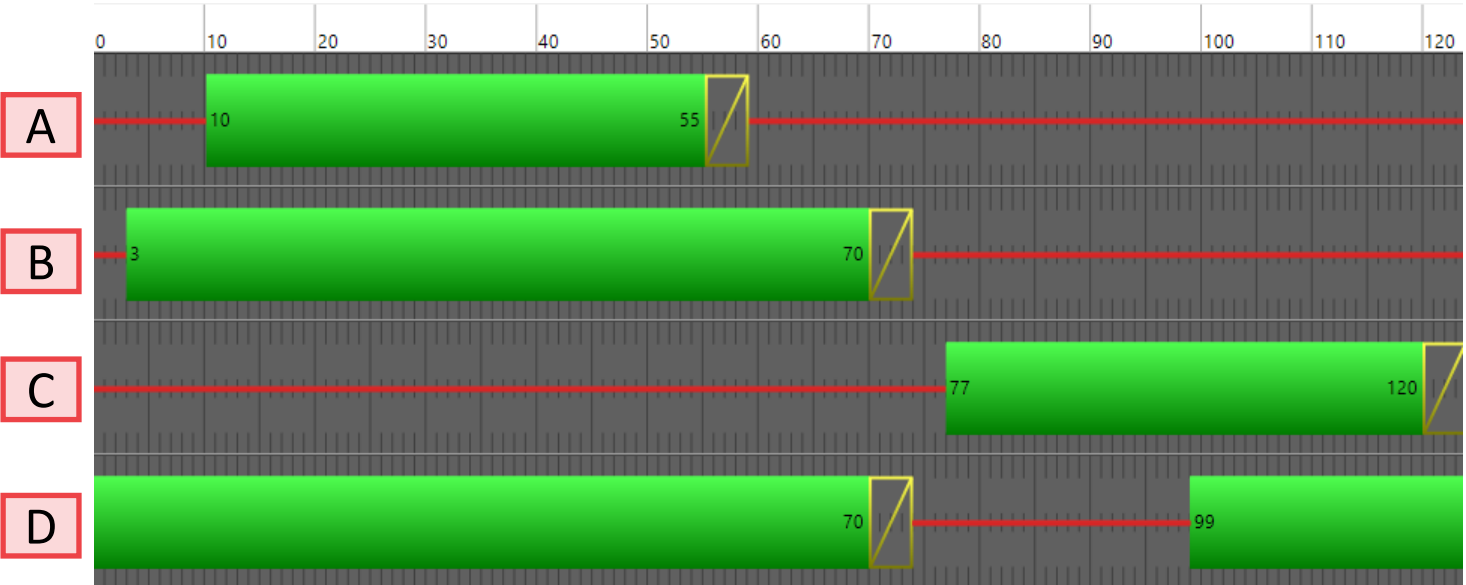
Impianto semaforico – Scenario di Riferimento

Nello scenario di riferimento si considerano i due regimi di regolamentazione della circolazione stradale attuale evidenziati nelle immagini a lato. Viene ottimizzato il ciclo semaforico per garantire un miglior comportamento del flusso veicolare.

Di seguito è presentato il ciclo semaforico ottimizzato dello scenario di riferimento.



Tempo di ciclo = 124 secondi



Ambito 2

Scenario di simulazione - risultanze

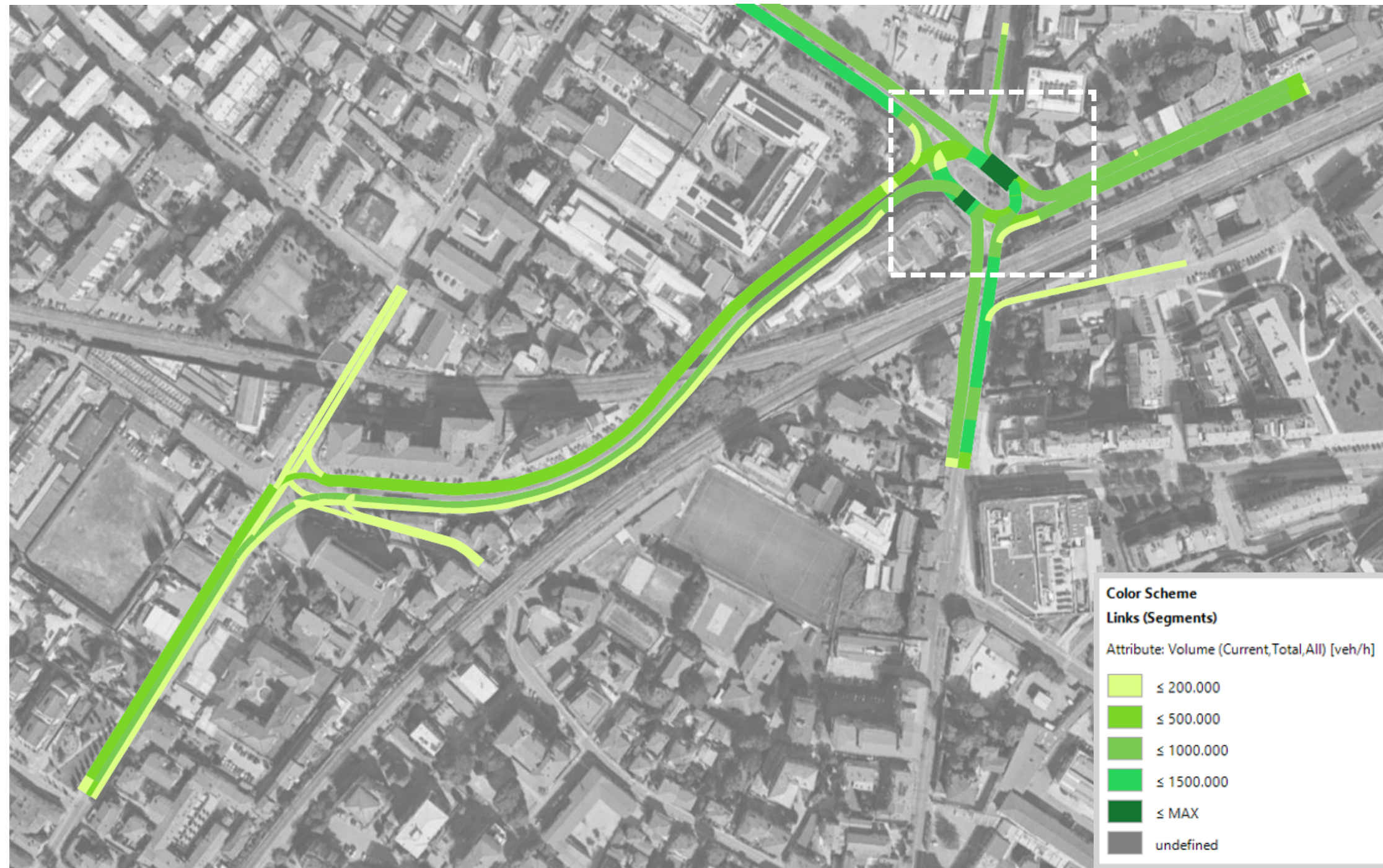
Nelle slide a seguire si riportano le risultanze di simulazione. Il flussogramma di assegnazione, e relativo dettaglio del nodo di Tironi, indica per ogni arco stradale il valore di flusso simulato nell'ora di picco del mattino.

A seguire si riporta la mappatura delle velocità medie registrate su ogni singolo arco all'interno del modello di simulazione e per finire la lunghezza delle code all'intersezione.

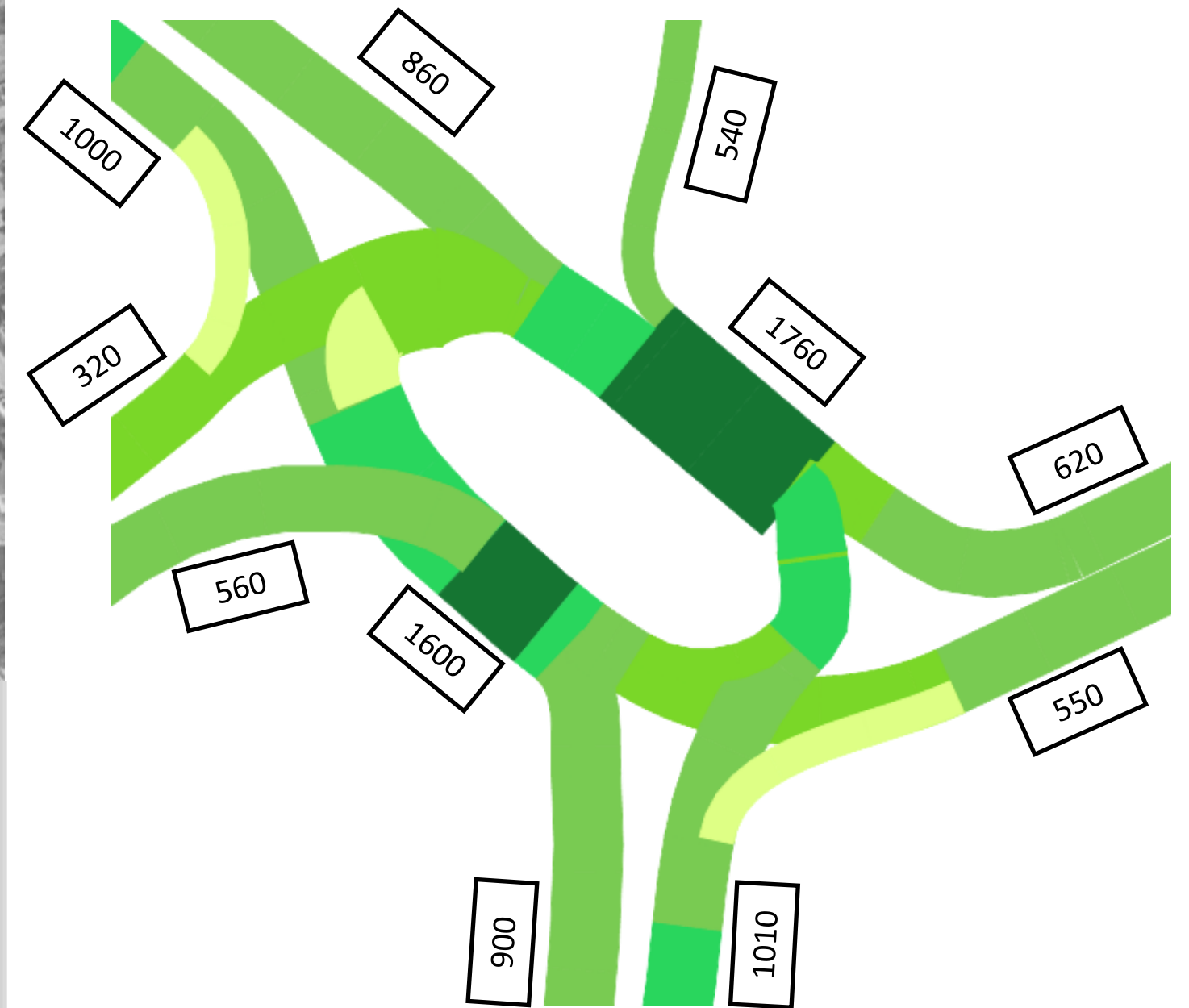
Dalle risultanze emerge come a seguito dell'ottimizzazione del semaforo l'impianto sia in grado di gestire la quota di domanda aggiuntiva indotta dalla chiusura di via Moroni presentando accodamenti medi superiori ai 50 m di lunghezza su tutti i rami.

Ambito 2

Scenario di Riferimento – Risultanze – Flussogramma Trasporto Privato



Flussogramma trasporto privato del ambito 2 – PTV Vissim



Ambito 2

Scenario di Riferimento – Risultanze – Flussogramma Velocità Media

Nell'immagine a lato si riporta la mappatura della velocità media registrata su ogni arco stradale all'interno dell'ora di simulazione. Si osserva come le velocità siano molto contenute nell'ambito di via tironi a causa della presenza delle intersezioni semaforizzate e a precedenza in anello.



Flussogramma velocità media del ambito 2 – PTV Vissim

Ambito 2

Scenario di Riferimento – Risultanze – Accodamenti medi

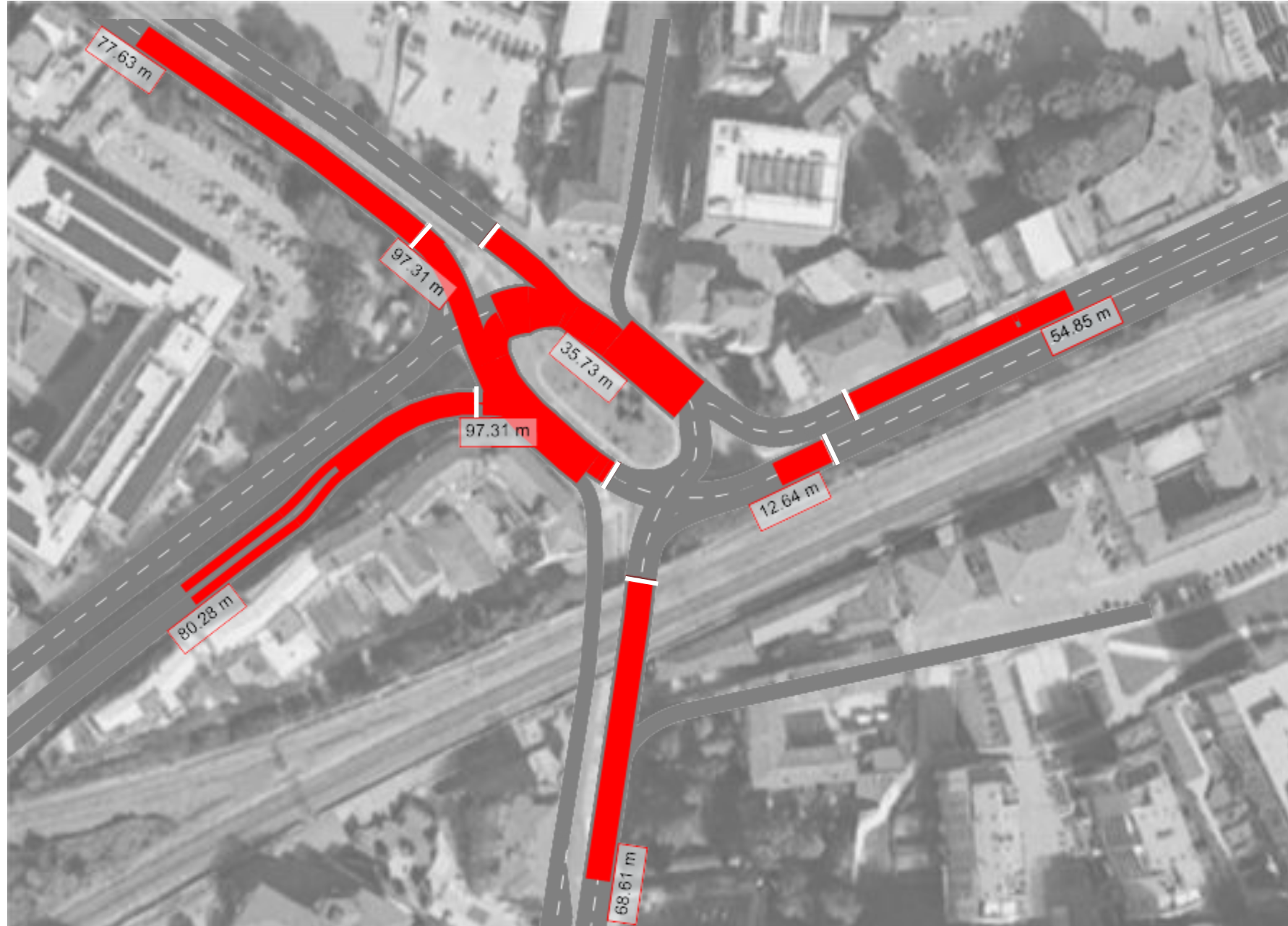


Diagramma di accodamento medio del ambito 2 – PTV Vissim



Modello di simulazione dello Scenario di Riferimento – PTV Vissim

Ambito 2

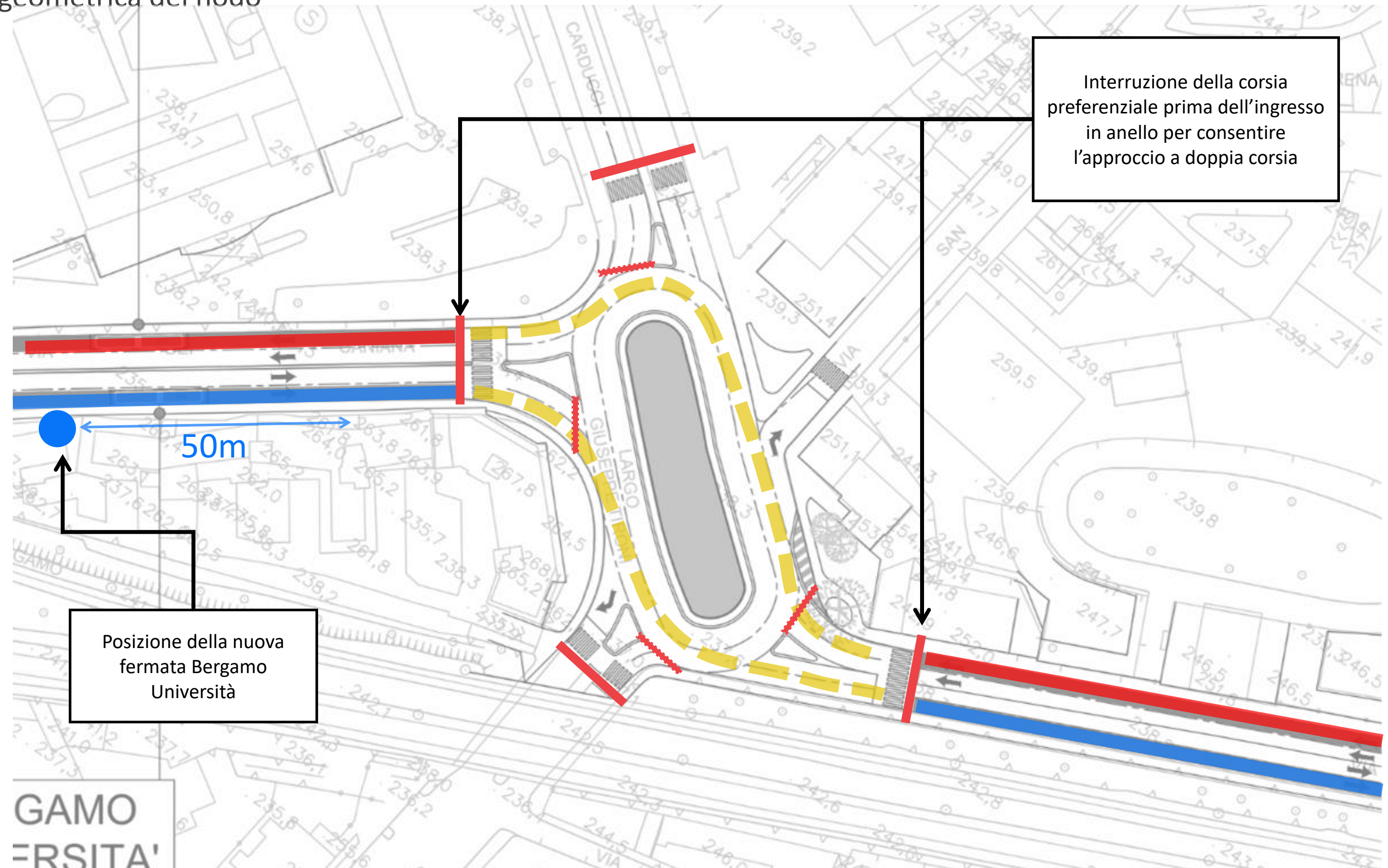
Scenario di Progetto – Revisione geometrica del nodo

L'immagine a lato riporta la proposta di revisione geometrica e funzionale del nodo. Sulla base dell'analisi delle risultanze ottenute per lo scenario di riferimento si è individuata una soluzione che potesse garantire accodamenti all'intersezione minori in modo da garantire al E-brt un passaggio più rapido.

L'intersezione è gestita con un sistema a rotatoria. Sono garantiti gli attraversamenti pedonali degli assi viari tramite un impianto di semaforizzazione a ciclo fisso con linee di arresto indentificate nell'immagine a lato.

I tempi di verde pedonale sono stati valutati in funzione della larghezza della sezione stradale.

L'attraversamento principale su via Carducci presenta una fase pedonale di 30 secondi mentre per le altre vie si ha un tempo di 20 sec. L'immissione in anello del Ebrt è facilitata da un impianto attuato che blocca il traffico privato in ingresso.

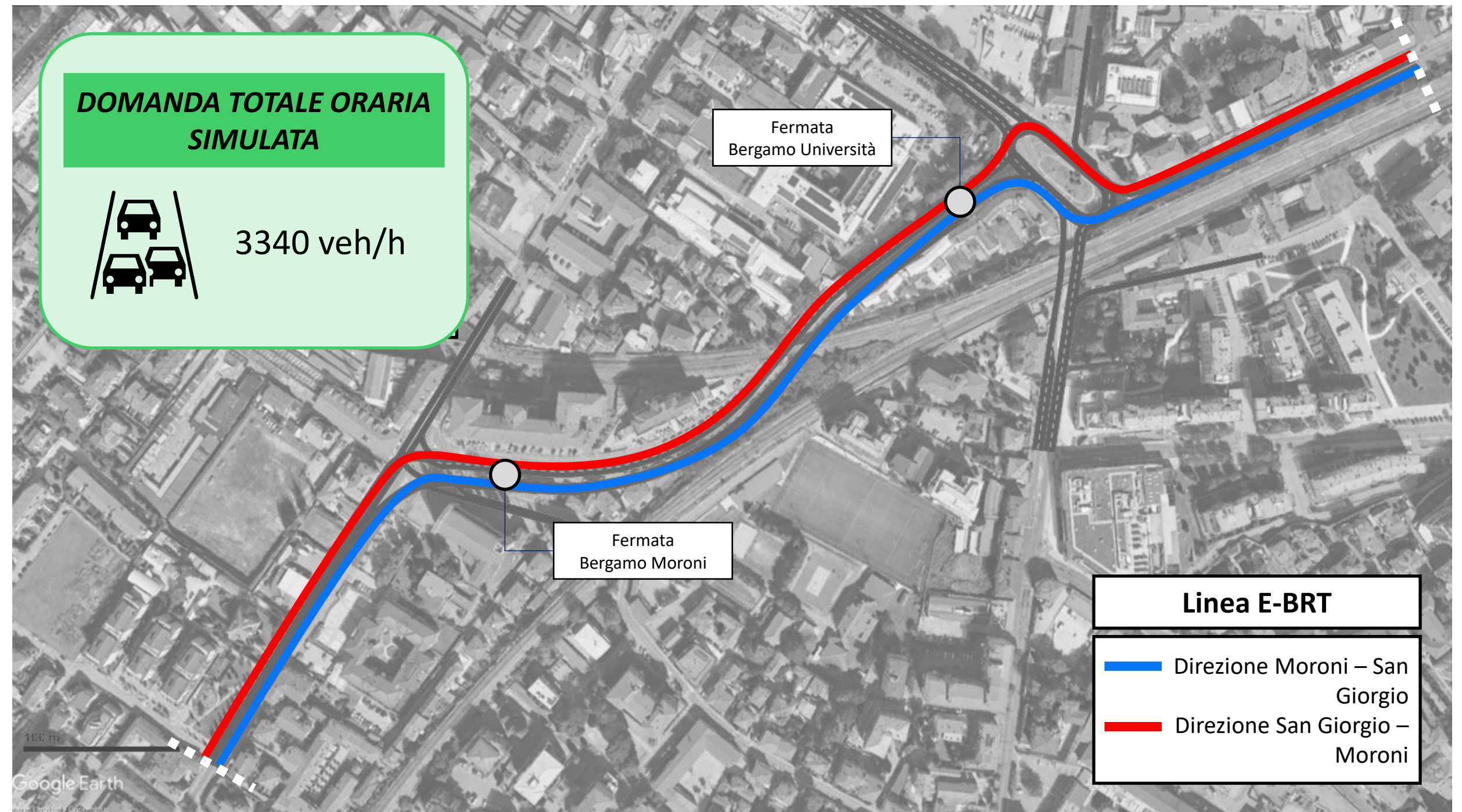


Ambito 2

Modello di simulazione – Scenario di Progetto – AM

Lo scenario di progetto prevede i seguenti interventi:

- Il passaggio del BRT **ogni 10 minuti** in entrambe le direzioni.
- La **riconfigurazione geometrica di Largo Tironi**, diventa una rotatoria con un anello a due corsie di 4.5 metri caduna.
- La modifica della configurazione semaforica del nodo Largo Tironi: **i semafori si posizionano in ogni braccio per garantire il passaggio dei flussi pedonali.**
- Prima dell'ingresso in anello da Via dei Caniana e Via San Giorgio, l'inserimento di un semaforo che dà la precedenza al passaggio del BRT.
- Una corsia per senso di marcia per il traffico privato su Via Gianbattista Moroni, Via dei Caniana e Via San Giorgio, dovuto alla corsia preferenziale del BRT.
- Interruzione della corsia preferenziale **30 metri** prima dell'ingresso in anello (Largo Tironi).



Rete stradale del modello di microsimulazione del ambito 2, percorso del BRT – PTV Vissim

Ambito 2

Scenario di Progetto 1 – Risultanze – Accodamenti medi – AM

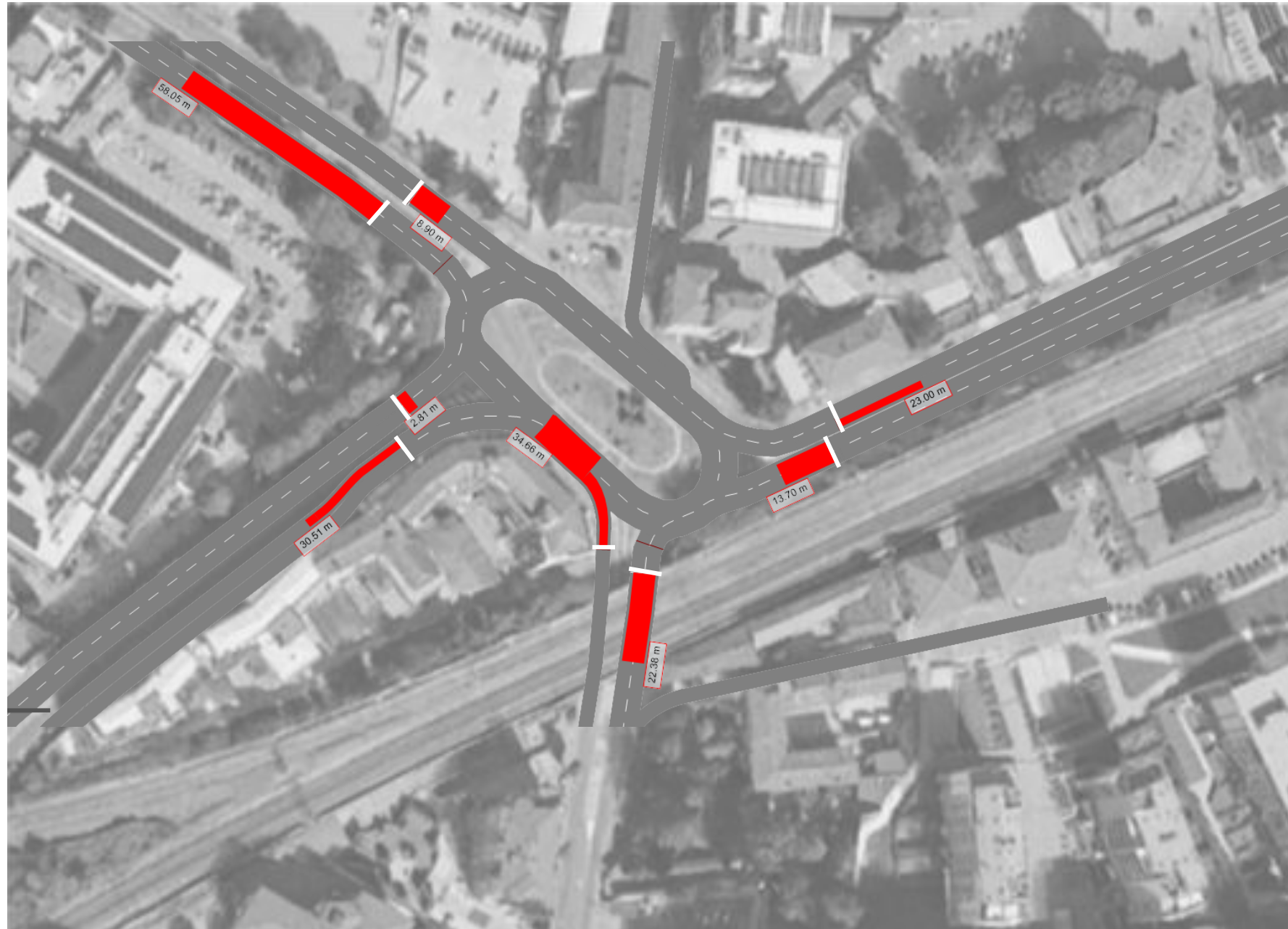


Diagramma di accodamento medio del ambito 2 – PTV Vissim



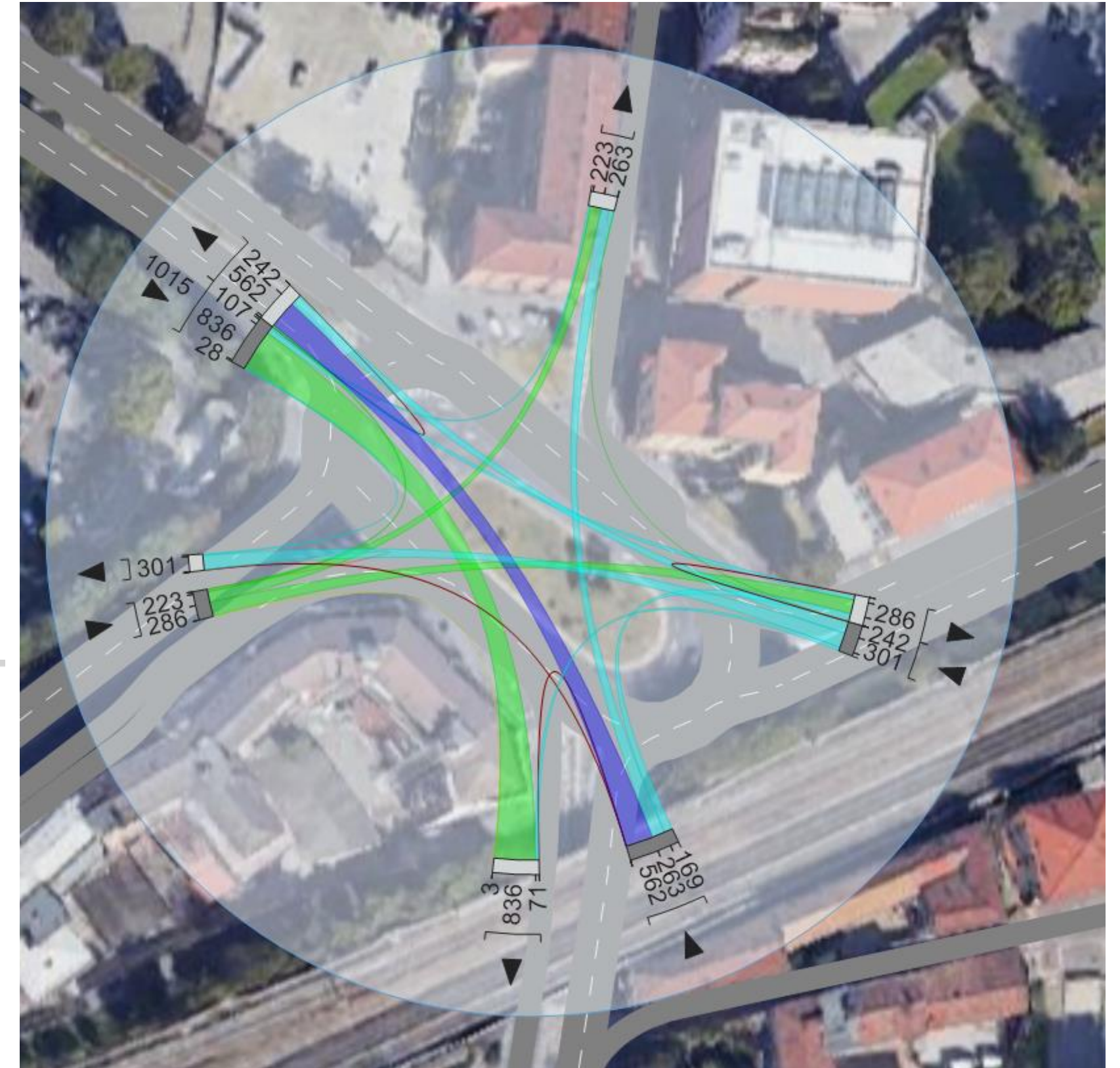
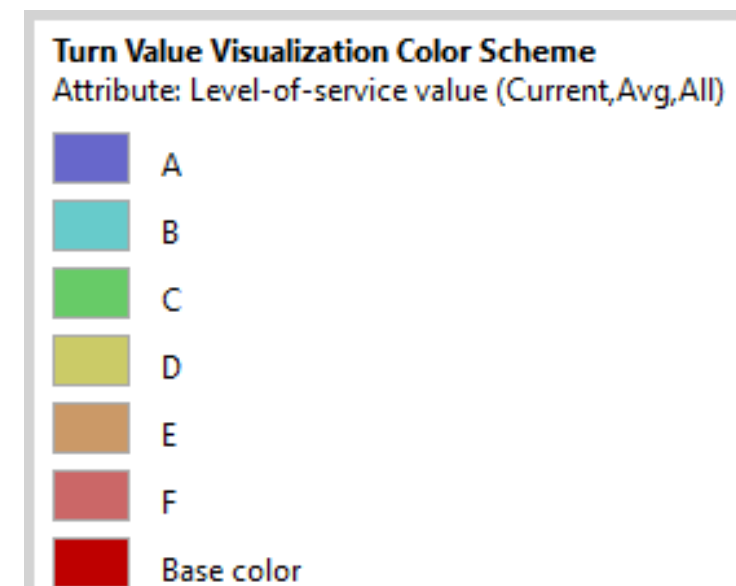
Modello di simulazione dello Scenario di Progetto 1 – PTV Vissim

Ambito 2

Scenario di Progetto 1 – Risultanze – LOS – AM

L'immagine a lato evidenzia il Livello di servizio dell'intersezione secondo i criteri del manuale HCM. L'intersezione risulta avere un livello di servizio pari a B con solo alcune manovre che si attestano sul valore C. Questo è in linea con i requisiti richiesti dalla normativa stradale per interventi di nuova realizzazione.

Livello di servizio
generale della
rotatoria: **LOS B**



Livello di servizio medio per ogni manovra nel nodo Largo Tironi – PTV Vissim

Scenario di Progetto 1 – Largo Tironi – AM

Video di simulazione



Ambito 2

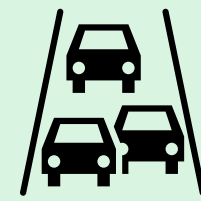
Modello di simulazione – Scenario di Progetto 1 – PM

A completamento dell'analisi è stato stimato il traffico atteso in corrispondenza dell'ora di punta del pomeriggio. Non disponendo di dati di traffico relativi a questa finestra oraria è stata concordato con Enti di fare riferimento allo studio condotto da RFI in occasione dello studio circa il progetto di chiusura del passaggio a livello di via Moroni (*Studio degli effetti prodotti dalla soppressione del PL di Via Moroni – RFI, Marzo 2021*).

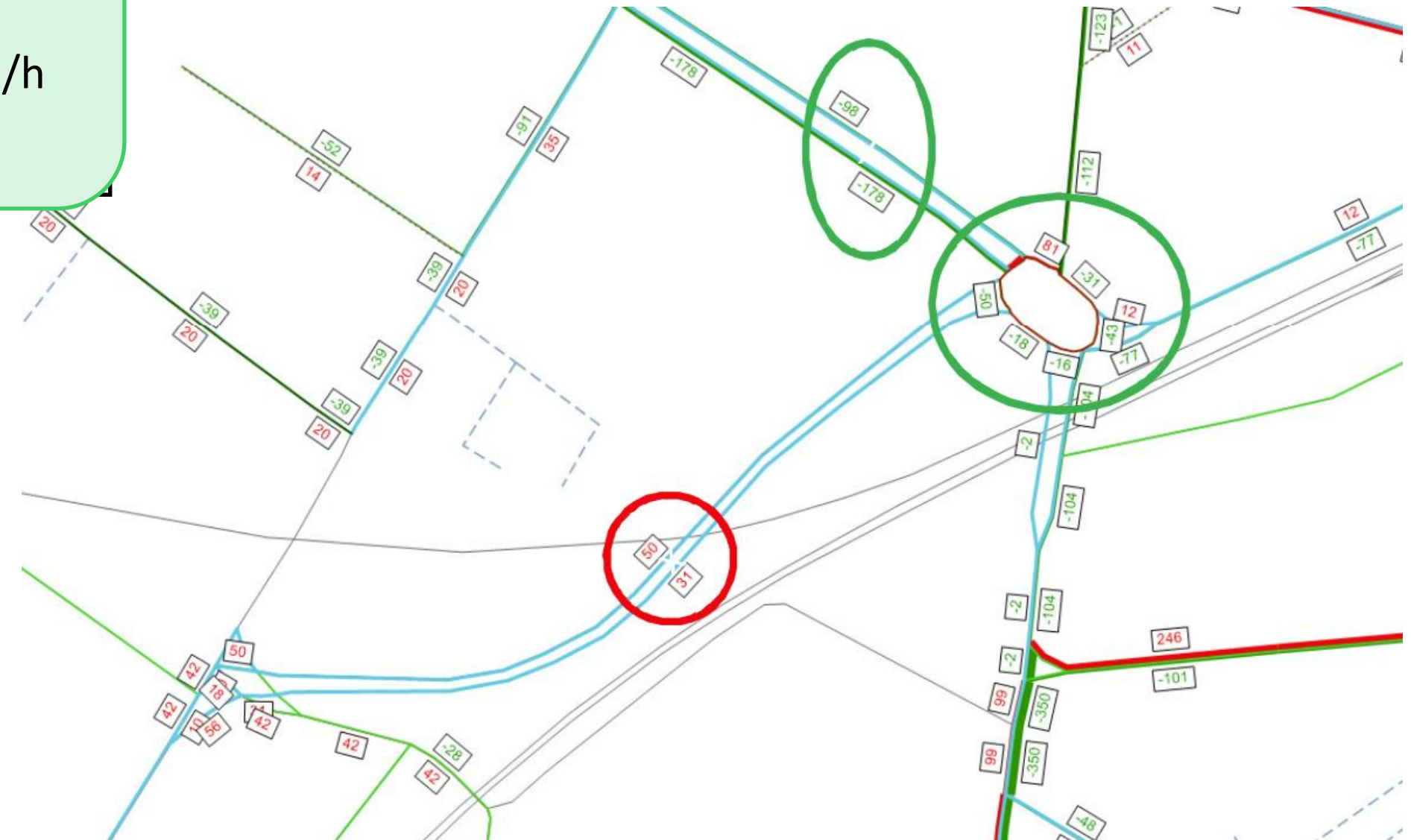
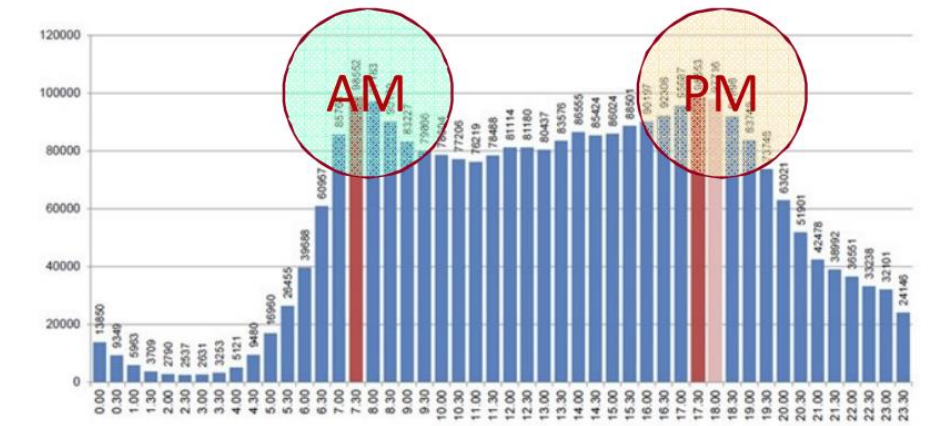
Le immagini a lato evidenziano che la differenza di domanda attesa al nodo nell'ora di punta del pomeriggio rispetto a quella della mattina è minima. Sulla base dei dati a disposizione dalla scrivente la domanda riferita alla punta del pomeriggio risulta pari a 3280 veh/h.

Nelle pagine a seguire si riportano le risultanze in termini di accodamenti e livello di servizio riferite a questo periodo temporale. Si conferma il buon funzionamento del nodo anche in relazione del passaggio del Ebrt.

DOMANDA TOTALE ORARIA SIMULATA



3280 veh/h



FONTE: Studio degli effetti prodotti dalla soppressione del PL di Via Moroni – RFI, Marzo 2021.

differenza tra scenario PM-AM

Ambito 2

Scenario di Progetto – Risultanze – Accodamenti medi

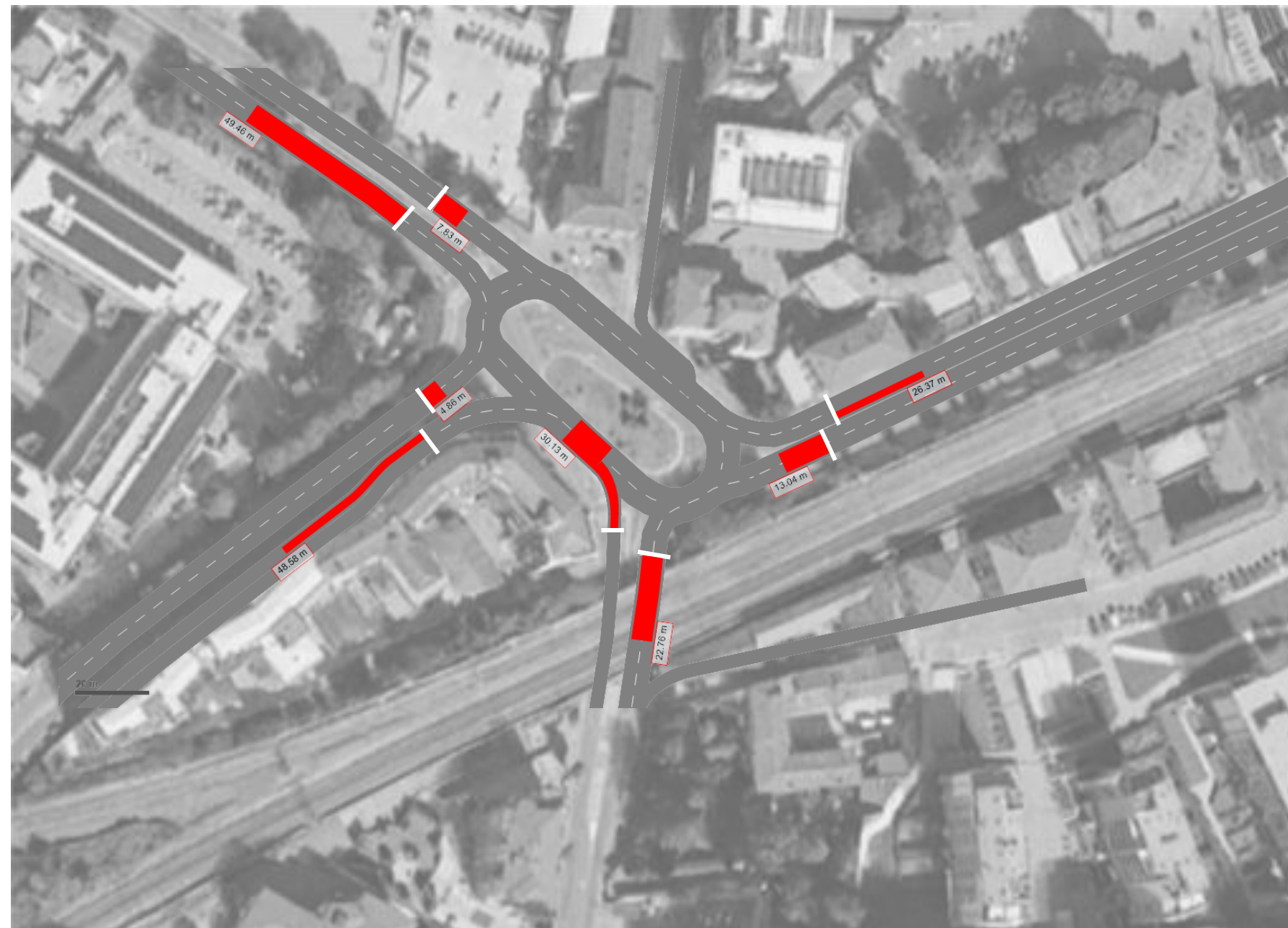
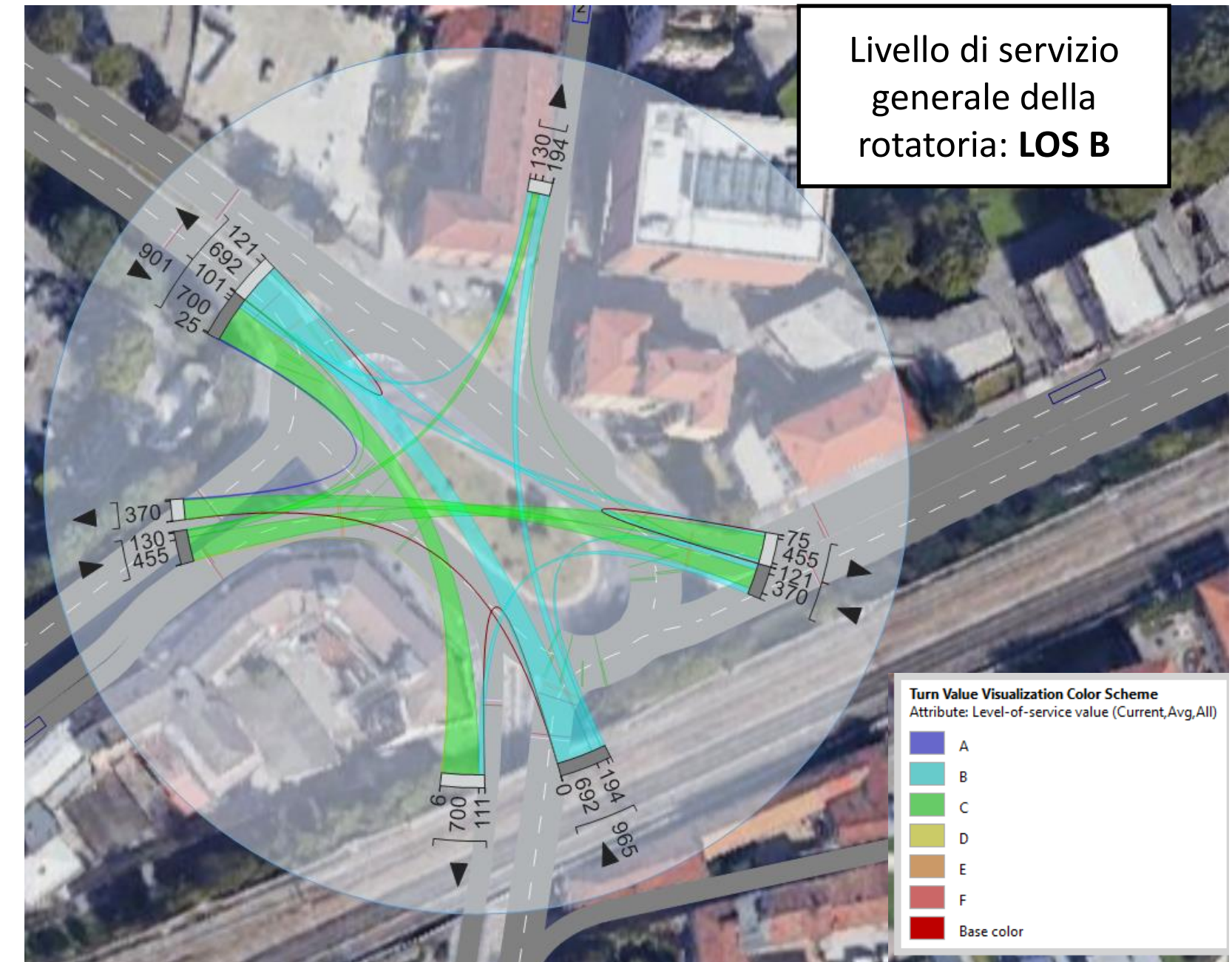


Diagramma di accodamento medio del ambito 2 – PTV Vissim



© 2022 Systematica Srl

All mobility studies presented in this document
are developed by Systematica Srl. All rights
reserved. Unauthorised use is prohibited.

Systematica Srl
Via Lovanio 8
20121 Milan
+39 02 62 31 19 1
www.systematica.net
milano@systematica.net

Marzo 2021

Preparato per: ATB Mobilità s.p.a.

Nuova linea E-BRT Bergamo - Dalmine

Analisi microsimulativa

REPORT FINALE

Systematica Srl
Transport Planning and
Mobility Engineering

Milan
New York
Mumbai

MAIN OFFICE
Via Lovanio, 8
20121 – Milan, Italy

T + 39 02 62 31 19 1
E milano@systematica.net
www.systematica.net

E-BRT Dalmine Bergamo

Analisi microsimulative e aggiornamento cartografico



Intertek
reg. n° 1115760



Intertek
reg. n° 2116874

Report finale

Preparato da:	Elisabetta Bassi Keven Pinilla Silva
Verificato da:	Caterina Randone
Approvato da:	Diego Deponte
Codice Progetto:	22P0030g
Nome del File:	22P0030g_EBRT_Bergamo_Dalmine_report_220301.pdf
Numero revisione:	00
Data:	25 Marzo 2022

Premessa

Il presente report tecnico presenta le risultanze dell'attività di consulenza trasportistica relativa all'approfondimento analitico e progettuale inerente il sistema E-BRT Bergamo – Dalmine. L'impianto consulenziale ha previsto lo svolgimento delle seguenti macro-attività:

- Analisi prestazionale di tre nodi viabilistici significativi/tipologici tramite micro-simulazioni dinamiche;
- Aggiornamento cartografico dell'infrastruttura di progetto e mappatura delle linee di adduzione.

La prima parte della consulenza si è concentrata, quindi, nella valutazione del livello prestazionale di tre intersezioni viarie a rotatoria localizzate lungo l'itinerario di progetto del sistema E-BRT.

La prima delle tre intersezioni a rotatoria analizzata è stata l'intersezione a livelli sfalsati SP525/SS470dir. Tale intersezione è stata scelta sia in funzione dei carichi veicolari circolanti sia per le caratteristiche geometriche funzionali dell'intersezione stessa che ad oggi rappresenta uno dei nodi più importanti sull'asse SP525, principale arteria di connessione Dalmine – Bergamo.

Tale intersezione, infatti, svolge anche un'importante funzione per le connessioni est – ovest e i collegamenti con l'A4. Data l'importanza delle relazioni con l'Autostrada A4, l'intersezione è

stata verificata considerando differenti scenari di progetto che prevedono la realizzazione o meno dell'intervento di adeguamento viabilistico del Casello dell'Autostrada A4 di Dalmine.

Le altre due intersezioni analizzate sono state scelte in funzione dei carichi veicolari e delle caratteristiche geometriche e si possono considerare come tipologiche delle seguenti casistiche:

- Intersezione a rotatoria compatta con approccio a 2 corsie dell'asse principale (itinerario E-BRT) – Nodo SP525 / Viale Locatelli;
- Intersezione a rotatoria compatta con approccio a 1 corsia dell'asse principale (itinerario E-BRT) – Nodo SP525 / Via Cimarosa / Via Verdellino / Via San Giorgio / Via Donizetti.

Per sviluppare le analisi è stata realizzata una campagna di rilievo del traffico in corrispondenza dell'ora di punta del mattino del giorno 27 gennaio 2022. I dati sono stati raccolti tramite videoriprese ripartiti per manovre di svolta e tipologie veicolari. Per stimare il traffico ai nodi, in corrispondenza dell'orizzonte temporale di realizzazione della linea E-Brt, si è proceduto alla puntuale interrogazione del macromodello multimodale di traffico a scala provinciale del Gruppo di Lavoro utilizzato in fase di studio di fattibilità.

Per la valutazione della funzionalità dei tre nodi di cui sopra, si è utilizzato il software di microsimulazione dinamica Vissim 2022 della casa tedesca PTV Planung Transport Verkehr AG. PTV Vissim PTV Vissim è un software per la simulazione del basato su anni di ricerca, sviluppo continuativo e lavoro a stretto contatto con i clienti. Si elencano brevemente alcune funzionalità che ne fanno uno strumento utilizzato in tutto il mondo come standard per la simulazione dinamica del traffico.

- Permette di simulare il movimento in numerosi scenari e casi d'uso.
- La funzionalità degli scenari incorporati permette di gestire progetti con molteplici opzioni di design, previsioni future o caratteristiche dei veicoli.
- Simulazione incorporata di pedoni, ciclisti e veicoli in un'unica piattaforma software.
- Rappresentazioni dettagliate della geometria e dei comportamenti dei veicoli individuali per permettere una replica realistica delle condizioni locali.
- Una API flessibile permette la customizzazione e l'interfaccia con software esterni per applicazioni avanzate.

Per ogni rotatoria simulata si mettono a confronto le risultanze modellistiche tra lo scenario che riproduce lo stato di fatto e gli scenari di progetto dando evidenza dell'impatto indotto dalla presenza della linea di E-BRT in termini di livello di servizi, accodamenti e velocità medie.

□ Systematica

Indice dei contenuti

1. Quadro diagnostico
2. Benchmark
3. Analisi microsimulative rotatoria SP525 – Via Guzzanica
4. Analisi microsimulative rotatoria SP525 – Viale Locatelli
5. Analisi microsimulative rotatoria SP525 – Via Donizetti – Via Cimarosa –
Via Verdellino – Via San Giorgio
6. Valutazioni conclusive
7. Linea E-Brt e line di adduzione

1•Quadro diagnostico

1a•Campagna di indagine veicolare

Campagna di indagine veicolare

Inquadramento e analisi dei dati

Per poter disporre di un dato aggiornato e sufficientemente attendibile circa la pressione veicolare sulla viabilità interessata dal passaggio della nuova linea E-BRT, si è proceduto al rilievo del traffico veicolare in corrispondenza delle tre intersezioni lungo la SP525 scelte come tipologiche. I conteggi si sono svolti nella giornata del **27 gennaio 2022** nella fascia di punta della mattina dalle **07:00 alle 09:00**.

L'immagine a lato evidenzia le postazioni monitorate.

I veicoli sono stati contati tramite conteggi manuali disaggregati per tipologia veicolare e suddivisi ad intervalli di 15 minuti per poter ricavare il profilo del traffico all'interno della fascia di picco rilevata. Per le analisi microsimulative si è scelto di raggruppare le autovetture e i veicoli commerciali in un'unica matrice (matrice dei veicoli leggeri equivalenti) considerando il fattore di equivalenza di 1,5 per i veicoli commerciali. I veicoli pesanti si sono simulati utilizzando una matrice a parte. Tale scelta è dovuta al fatto che il software di simulazione dinamica permette di replicare e diversificare il comportamento dei mezzi leggeri da quelli pesanti, garantendo analisi che replicano in maniera più fedele e rappresentativa la situazione reale.



Campagna di indagine veicolare

Postazione 1: SP525 – Via Guzzanica

Quadro diagnostico

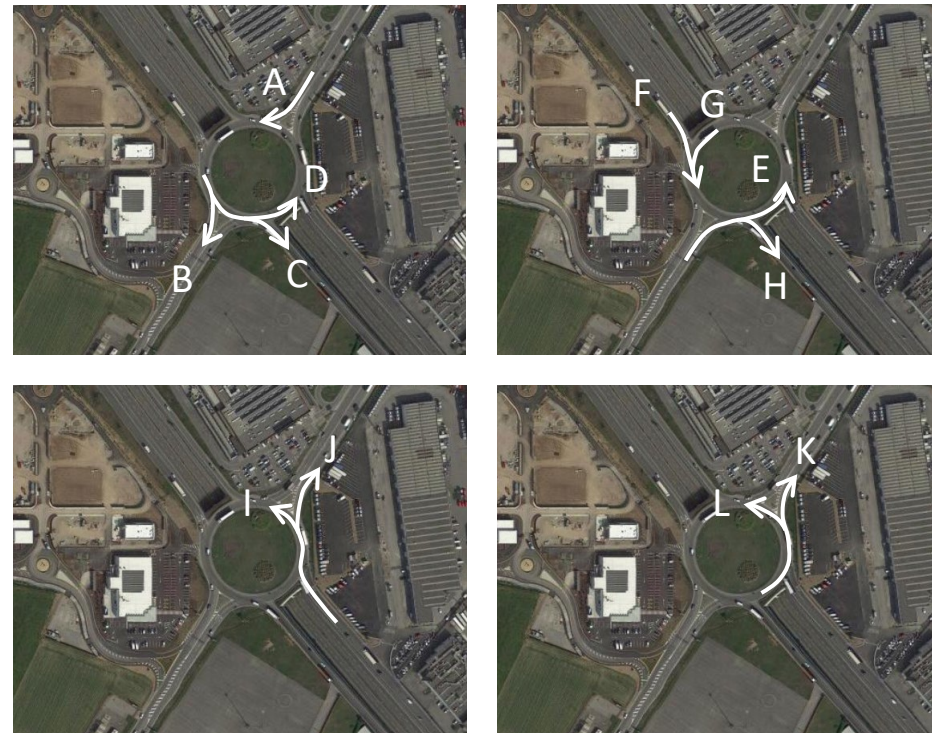
I conteggi effettuati il 27 gennaio hanno permesso di ricostruire la matrice del nodo nell'ora di picco della mattina, tra le 07:30 e le 08:30.

I conteggi si sono effettuati manualmente e con videoriprese.

A lato si evidenziano tutte le manovre monitorate di cui si riporta il dettaglio disaggregato per tipologia veicolare e suddiviso in 15 minuti.

I conteggi hanno confermato una rilevante presenza di mezzi pesanti che impegnano l'intersezione e che per la maggior parte provengono e vanno verso l'Autostrada.

Si osserva l'elevata presenza di mezzi pesanti in transito che raggiungono l'11% dei veicoli circolanti.

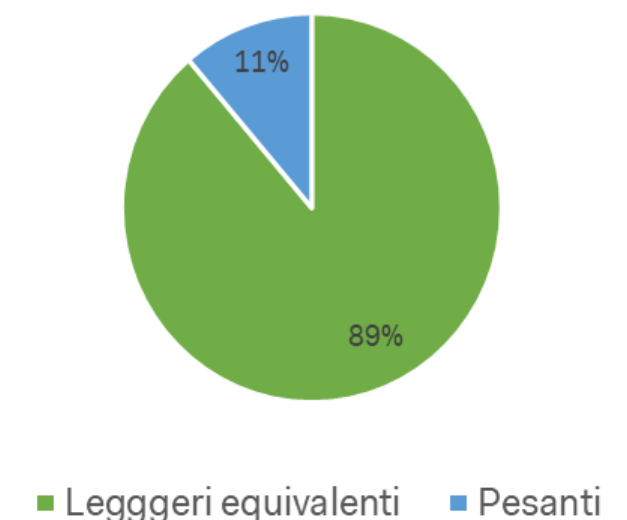


Diametro interno rotatoria: 80 metri



Manovra	07:30		07:45		08:00		08:15		Totale	
	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes
A	152	17	146	10	148	10	161	9	607	46
B	183	19	187	18	177	16	196	15	743	67
C	320	37	321	29	309	31	343	28	1292	125
D	17	14	13	13	16	12	18	11	65	49
E	127	3	115	7	122	2	123	5	486	18
F	268	11	251	12	277	13	244	14	1040	50
G	261	25	312	42	271	30	303	48	1147	144
H	90	13	71	9	86	11	76	7	323	40
I	259	36	254	53	261	42	292	48	1065	179
J	61	5	81	7	91	10	104	7	336	29
K	145	9	115	8	121	4	125	5	505	26
L	52	3	49	5	47	6	63	3	211	17

Composizione veicolare



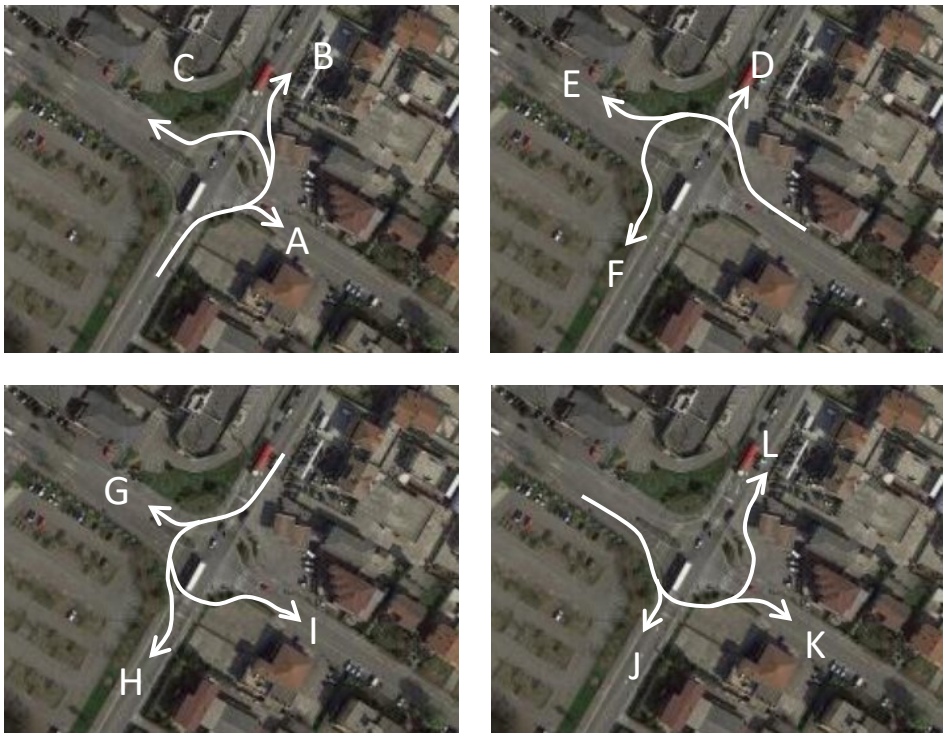
□ Systematica

Campagna di indagine veicolare

Postazione 2: SP525 – Via Locatelli

Quadro diagnostico

La seconda postazione analizzata ha permesso il conteggio diretto di tutte le manovre che impegnano la rotatoria.
Anche in questo caso l’ora di punta è tra le 07:30 e le 08:30 della mattina.
L’immagine a lato riporta tutte le manovre conteggiate manualmente e la tabella indica nel dettaglio il numero dei veicoli conteggiati suddivisi per quarto d’ora.
In questa intersezione il numero di veicoli pesanti è ancora abbastanza importante, ma minore rispetto a quanto rilevato nell’intersezione SP525-SS470 dir.
Il transit maggiore si verifica lungo la SP525 mentre la via Locatelli presenta valori di flusso nettamente inferiori.

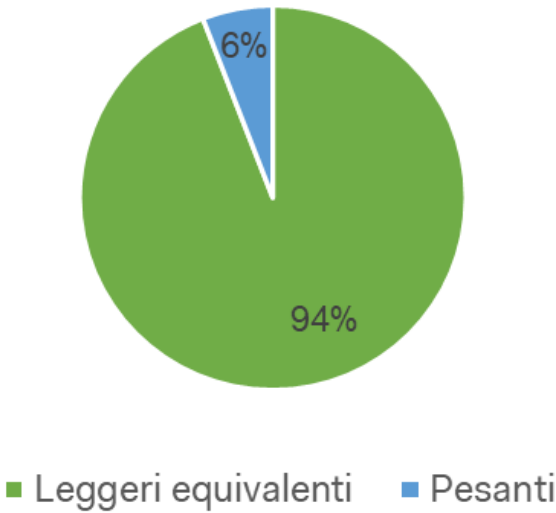


Diametro interno rotatoria: 24 metri



Manovra	07:30		07:45		08:00		08:15		Totale	
	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes
A	6	0	4	0	2	0	4	0	16	0
B	127	12	137	12	120	10	149	10	533	44
C	39	0	39	0	41	0	40	0	159	0
D	12	0	16	0	12	1	8	0	47	1
E	23	0	44	0	34	0	20	0	120	0
F	9	0	8	1	2	0	8	0	27	1
G	17	0	18	1	19	0	18	0	72	1
H	147	21	149	17	125	9	131	16	552	63
I	7	0	10	1	6	1	2	0	24	2
J	43	0	46	0	42	0	34	0	164	0
K	9	0	13	0	13	0	7	0	42	0
L	13	0	13	0	22	0	8	0	55	0

Composizione veicolare



Campagna di indagine veicolare

Quadro diagnostico

Postazione 3: SP525 – Via Verdellino, Via Cimarosa

Come per le altre due intersezioni, anche per l'ultima intersezione analizzata si sono effettuati conteggi manuali e tramite videoriprese, che hanno permesso di ricostruire la matrice del nodo nell'ora di punta della mattina.

La percentuale dei veicoli pesanti si attesta su valori medi tipici di un contesto urbanizzato .

Come per le altre due intersezioni, i conteggi non hanno evidenziato picchi all'interno dell'ora di punta, con intervalli di 15 minuti pressochè uniformi.

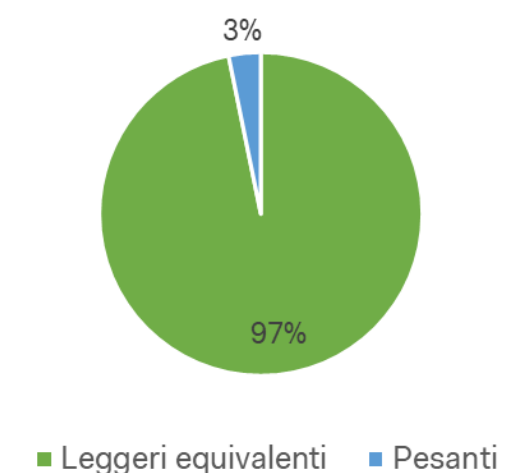


Diametro interno rotatoria: 22 metri



Manovra	07:30		07:45		08:00		08:15		Totale	
	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes	Leq	Pes
A	207	9	187	9	186	9	142	11	721	38
B	42	0	40	0	33	0	33	0	148	0
C	4	0	2	0	6	0	7	0	19	0
D	30	0	46	0	39	0	45	0	159	0
E	12	0	10	0	7	0	7	0	35	0
F	161	7	170	10	175	4	171	6	676	27
G	8	1	5	0	6	0	7	1	26	2
H	38	1	34	0	34	0	37	0	142	1
I	36	0	26	0	21	0	20	0	102	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	38	0	21	0	33	0	29	0	120	0
L	27	0	29	0	26	0	35	0	117	0
M	6	0	20	0	15	0	23	0	64	0
N	15	0	11	0	11	0	17	0	54	0
O	9	0	15	0	13	0	16	0	52	0

Composizione veicolare



Systematica

2·Benchmark

rotatorie attraversate da linee TPL

Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

Benchmark

Nel percorso lungo 5,5 km tra la zona EUR Laurentina e Tor Pagnotta, il cosiddetto Corridoio della Mobilità Laurentina a Roma, si sono adeguate/ottimizzate le intersezioni per agevolare il passaggio della filovia. L'immagine a lato riporta alcune delle rotatorie presenti lungo il percorso. Si osserva come l'impianto semaforico necessario a garantire priorità al trasporto pubblico preveda corsie di attestazione in anello per il traffico privato.



- Semaforo trasporto privato
- ↔ Attraversamento pedonale
- ↔ Attraversamento ciclabile
- Percorso TPL

Corridoio della mobilità Laurentina – Roma (Italia)

□ Systematica

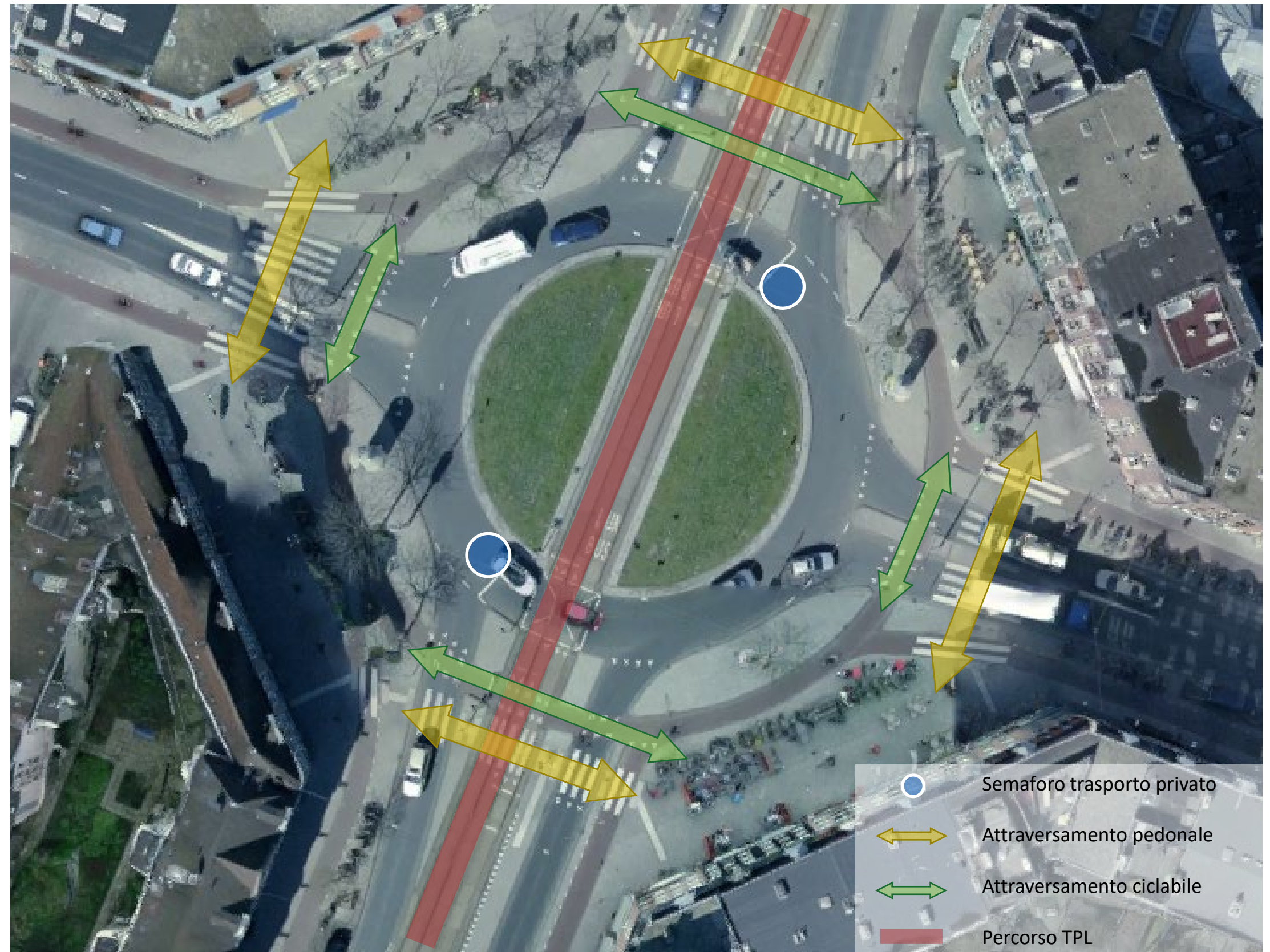
Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

Benchmark

L'immagine a lato riporta un altro esempio di rotatoria attraversata dal Tram ad Amsterdam (Olanda). Anche in questo caso la segnaletica prevede linee di arresto in anello.



Rotatoria ad Amsterdam (Olanda)



□ Systematica

Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

Benchmark

La rotatoria di Danzica dell'immagine a lato presenta affinità con la rotatoria tra la SP 525 e la Via Guzzanica. L'impianto semaforica qui proposto è il medesimo che si intende proporre per l'attraversamento della nuova linea E-BRT.



Rotatoria Imienia Tadeusza Mazowieckiego – Danzica (Polonia)



□ Systematica

Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

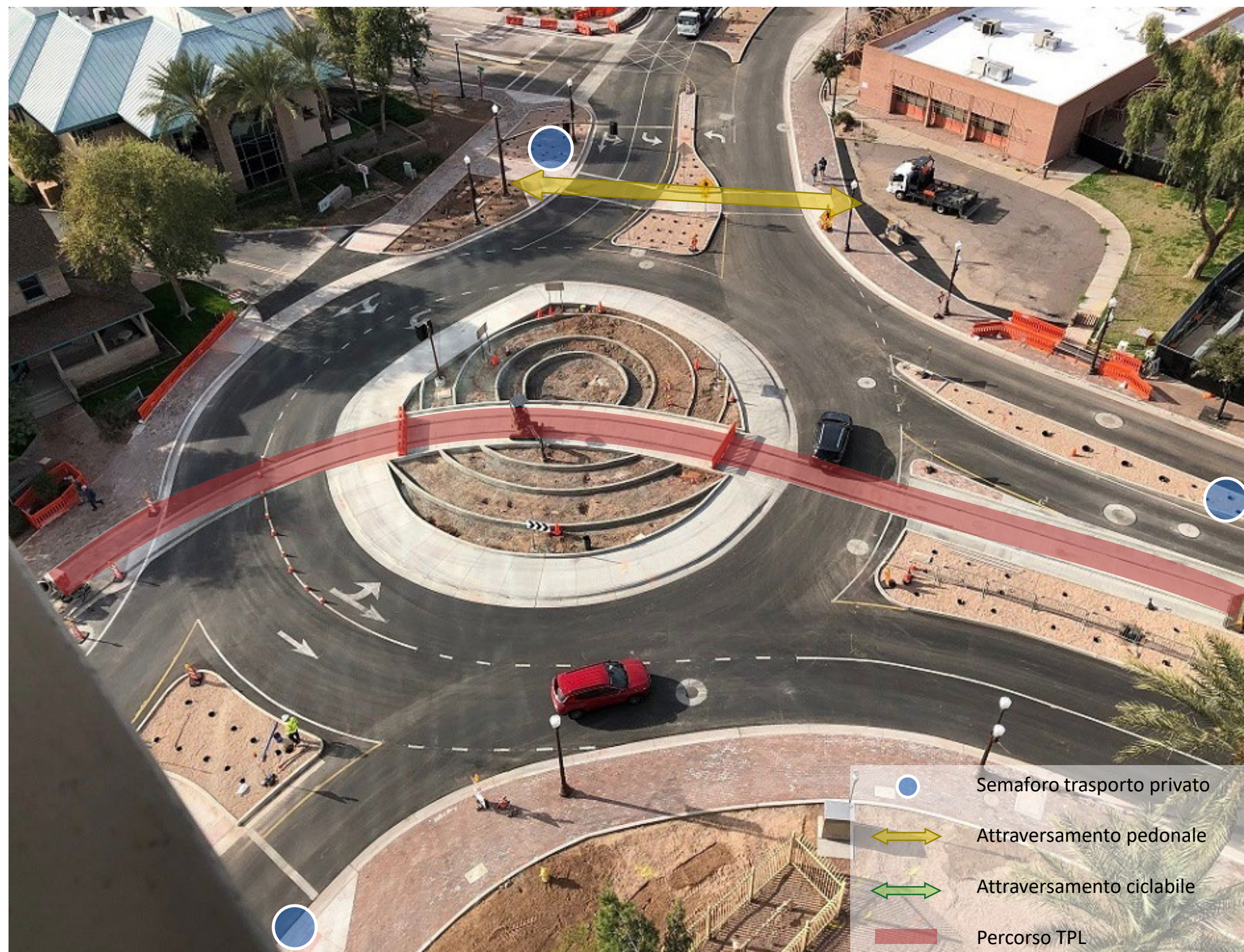
Benchmark

La rotatoria consente l'accesso da tutte le direzioni, migliora la connettività e facilita il flusso del traffico. Comprende un'isola paesaggistica con percorsi per biciclette e attraversamenti pedonali. Funziona senza semaforo tranne nel caso del passaggio del tram, che fa scattare il rosso per i veicoli per consentire al veicolo di attraversare l'incrocio dalla fermata di Tempe Beach Park. .

In questo caso la rotatoria è compatta e le linee di arresto sono previste sui rami di approccio.



Rotatoria First St., Ash Ave. & Rio Salado Pkwy. – Tempe City - Arizona (USA)



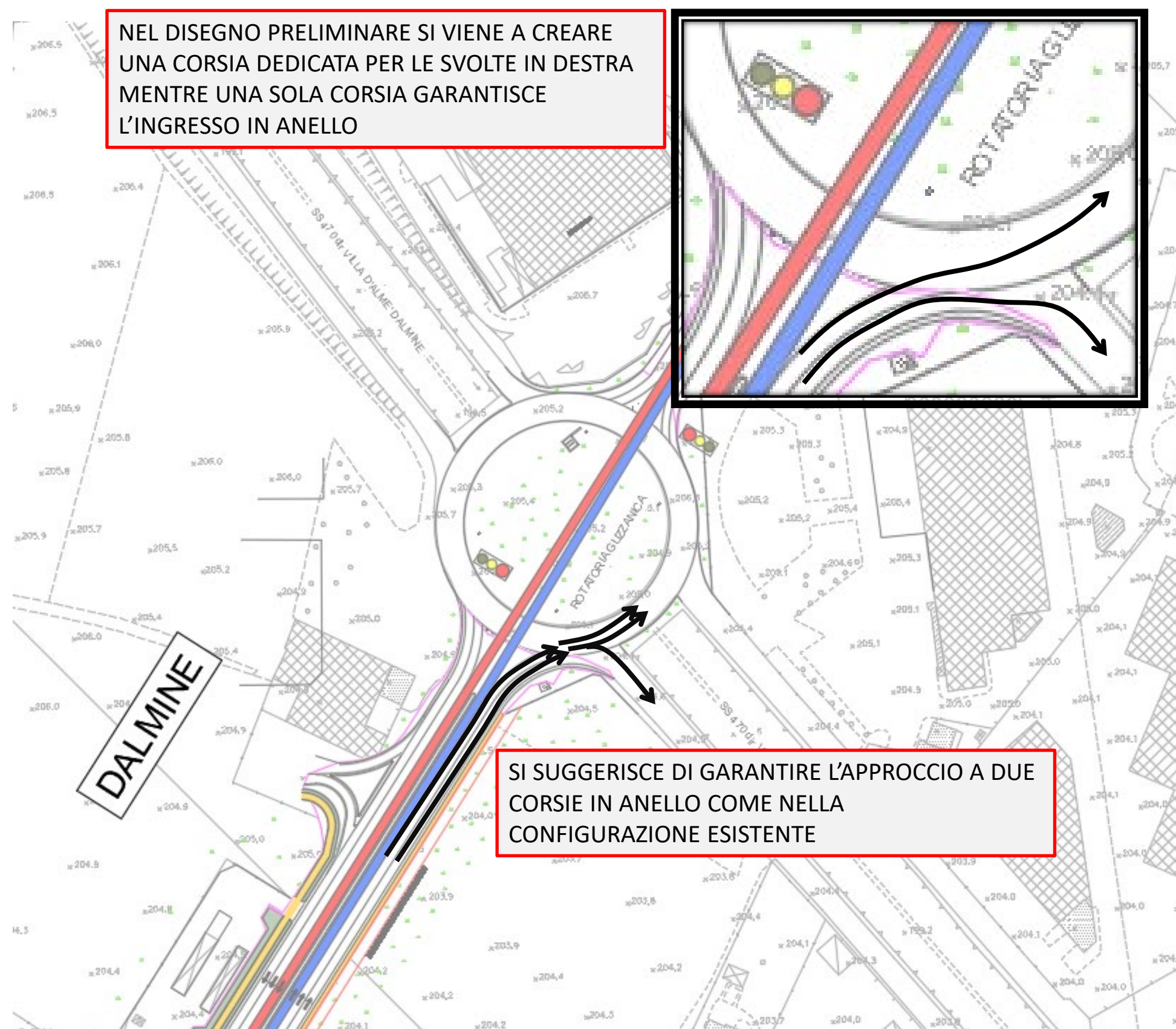
□ Systematica

3·Analisi microsimulative rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Scenari simulati

A lato si riporta una immagine estratta dalla planimetria di progetto in corrispondenza della rotatoria di via Guzzanica a Dalmine. La linee BRT corre in sede riservata in posizione centrale alla carreggiata, così facendo la SP525 in questo tratto arriverà ad avere una sezione a 3 corsie per senso di marcia. L'analisi simulativa ha permesso di mettere in luce alcune criticità geometriche dei preliminari disegni progettuali. In particolare come illustrato a lato si propone una modifica geometrica della planimetria in corrispondenza del ramo SUD in quanto è stata verificata la necessità di garantire una doppia corsia in attestazione all'anello (si rimanda alle risultanze modellistiche illustrate a seguire per l'evidenza scientifica della problematica.).



Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Scenari simulati

Nella tabella a lato si riporta la descrizione sintetica degli scenari di simulazione implementati. Lo studio ha preso avvio dalla ricostruzione della situazione attuale, scenario stato di fatto. Gli scenari 2 e 3 (Do Nothing e Do Nothing Ottimizzati) sono stati finalizzati ad individuare la miglior configurazione infrastrutturale del nodo. Si è quindi sviluppato lo scenario di progetto (scenario 4) che replica le condizioni di domanda di traffico al 2026 e si configura come lo scenario utile alla valutazione di impatto trasportistico del E –BRT, infine si è finalizzata l’analisi con lo studio dello scenario che prevede l’intervento di ridisegno dello svincolo autostradale di Dalmine, intervento che comporta una significativa variazione delle relazioni OD al nodo di via Guzzanica, con una complessiva riduzione della domanda di traffico circolante.



ID SCENARIO DI SIMULAZIONE	DOMANDA DI TRAFFICO	OFFERTA INFRASTRUTTURALE	INTERVENTI INFRASTRUTTURALI ESTERNI ALL’AREA DI STUDIO
1-STATO DI FATTO	Domanda veicolare 2022 (conteggi)	Configurazione attuale	-
2- SCENARIO DO NOTHING	Domanda veicolare 2022 (conteggi) ed inserimento della linea BRT ogni 10’ in entrambe le direzioni	Intersezione di progetto con corsie preferenziali centrali	-
3–SCENARIO DO NOTHING OTTIMIZZATO	Domanda veicolare 2022 (conteggi) ed inserimento della linea BRT ogni 10’ in entrambe le direzioni	Intersezione di progetto OTTIMIZZATO*	-
4-SCENARIO DI PROGETTO	Domanda veicolare al 2026 estratta dal modello di macrosimulazione ed inserimento della linea BRT ogni 10’ in entrambe le direzioni	Intersezione di progetto OTTIMIZZATO*	-
5- SCENARIO DI PROGETTO CON NUOVO SVINCOLO DI DALMINE	Domanda veicolare al 2026 estratta dal modello di macrosimulazione ed inserimento della linea BRT ogni 10’ in entrambe le direzioni	Intersezione di progetto OTTIMIZZATO*	Progetto di ridisegno e potenziamento dello svincolo autostradale di Dalmine

**Come descritto nella slide precedente il progetto OTTIMIZZATO prevede la doppia corsia in approccio all’anello anche per il ramo sud della Sp525*

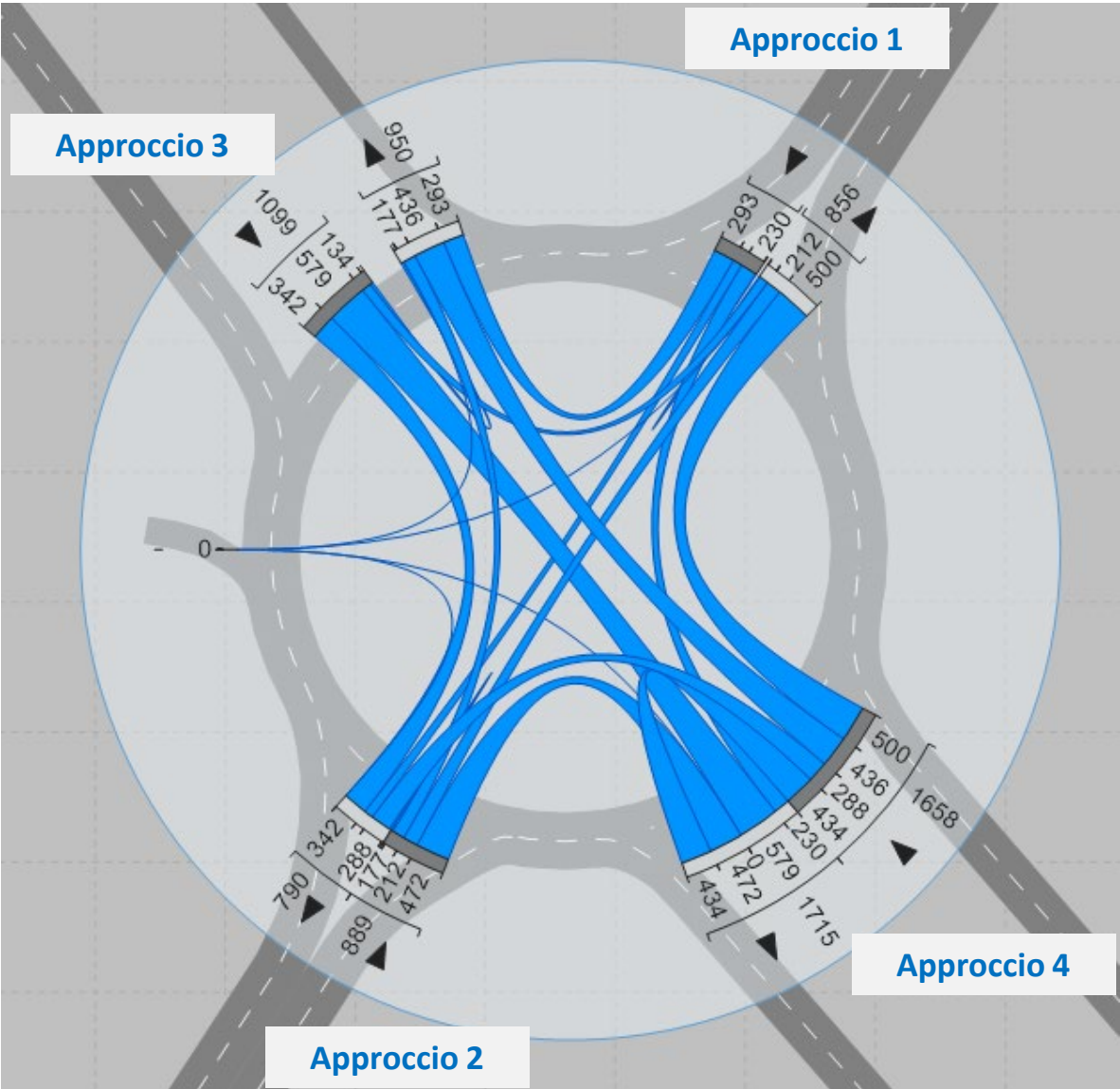
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

01 -Scenario Stato di Fatto

Si presentano a seguire le risultanze modellistiche relative al nodo di via Guzzanica. La domanda complessiva simulata risulta essere pari a 4386 veicoli in corrispondenza dell’ora di punta del mattino. A lato si riporta:

- un’immagine estratta dal modello che mostra il flusso orario simulato distinto per singola manovra,
- una tabella con l’indicazione del ritardo medio e relativo Livello di Servizio calcolato secondo le indicazioni fornite dal manuale HCM 2010 sia di ogni singolo approccio sia dell’intersezione in generale.

Si osserva che l’intersezione presenta un livello di servizio E e che i rami della SP525 sono quelli che presentano valori di ritardo maggiori.



Totale veicoli simulati
HdP AM:
4386
(3872 leggeri equivalenti + 514 pesanti)

Approccio	1	2	3	4	Intersezione
Veicoli/ora	660	877	1099	1663	4298
Ritardo (s)	53,4	52,7	21,6	21,0	37,2
LOS	F	F	C	C	E

LOS (HCM 2010) Livello di Servizio per intersezioni a rotatoria	Delay (s)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

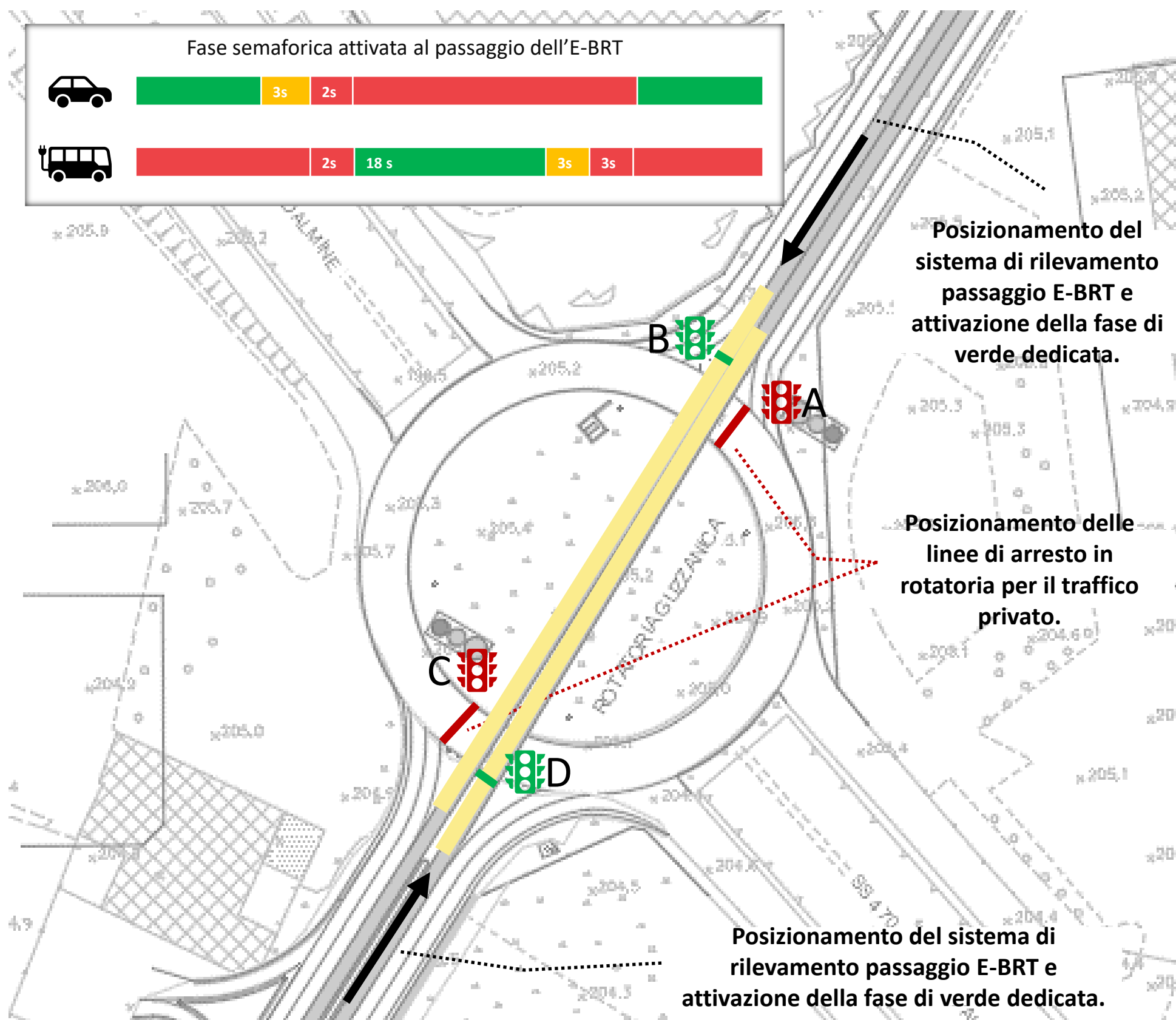
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Impianto semaforico di progetto

In tutti gli scenari che prevedono l'inserimento della nuova linea di E-BRT, su corsie dedicate e con priorità semaforica rispetto al trasporto privato, si è simulato un ciclo semaforico come quello schematizzato nell'immagine a lato.

Si è ipotizzato che la fase di verde dell'E-BRT sia attivata automaticamente al passaggio del mezzo stesso. Date le caratteristiche geometriche della rotatoria, si è ipotizzata una linea di arresto per i veicoli privati all'interno dell'anello rotatorio (come anche da indicazione del benchmark).

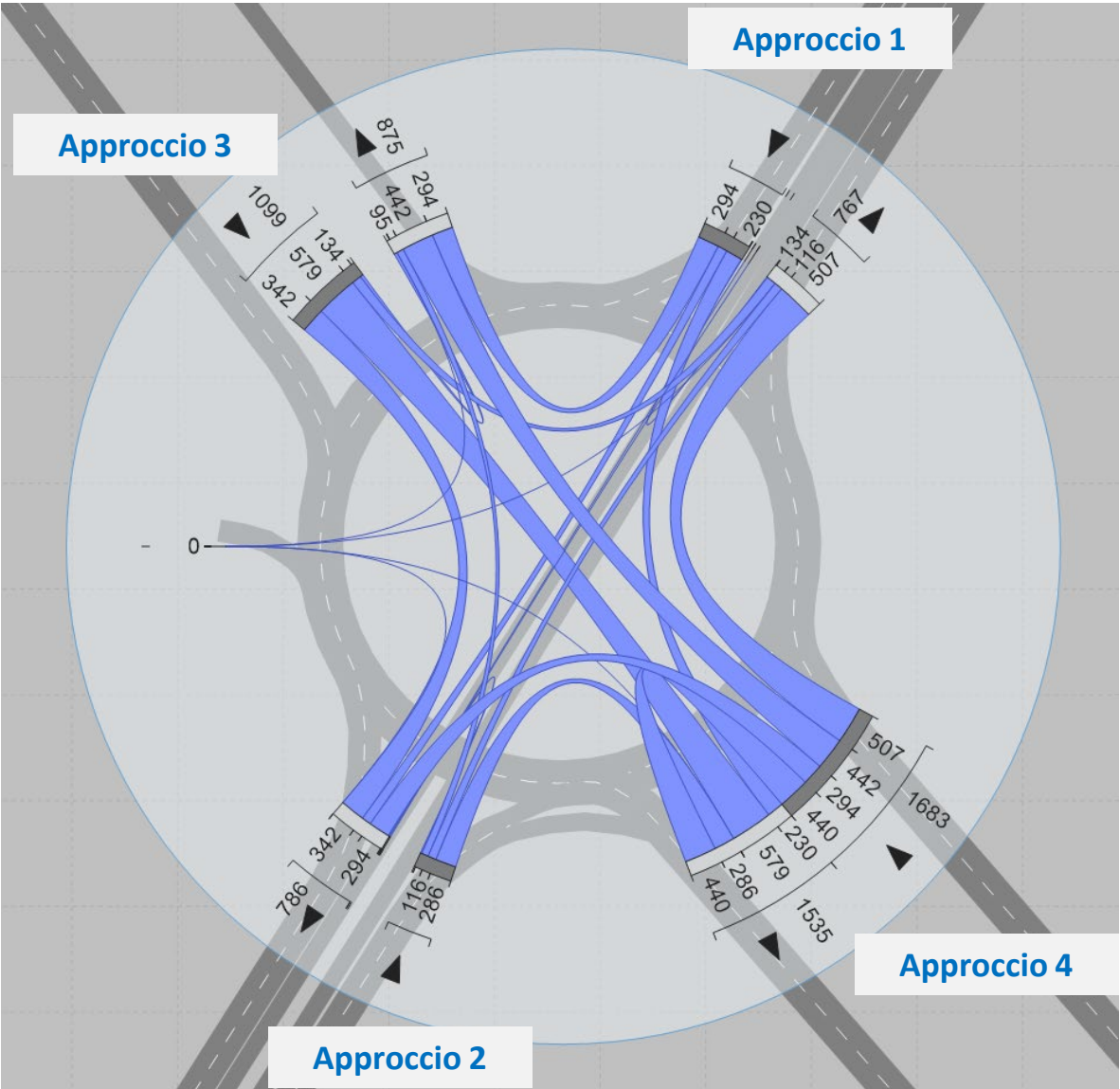
Si è ipotizzata una velocità nominale dell'E-BRT pari a 30 km/h con rallentamenti a 20 km/h in prossimità dell'approccio e all'interno della rotatoria (come evidenziato in giallo a lato). Il passaggio del BRT è atteso in entrambe le direzioni ogni 10', dunque il transito al nodo ogni 5'.



Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

1 -Scenario Do Nothing

Questo scenario simula la domanda di traffico attuale unitamente all’inserimento della linea di E-BRT; in questo scenario si prevede che l’approccio SUD della SP525 sia ad una sola corsia e che ci sia una seconda corsia per le manovre di svolte in destra verso la via Guzzanica e dunque lo svincolo autostradale. Si riportano a lato la domanda e le risultanze modellistiche ottenute. Si osserva che questa configurazione non è in grado di fornire risultanze accettabili in quanto il livello di servizio del nodo risulta pari a F.



Totale veicoli simulati
HdP AM:
4386
(3872 leggeri equivalenti + 514 pesanti)

Approccio	1	2	3	4	Intersezione
Veicoli/ora	661	514	1099	1681	3956
Ritardo (s)	27,2	160,3	20,1	10,6	54,6
LOS	D	F	C	B	F

LOS (HCM 2010) Livello di Servizio per intersezioni a rotatoria	Delay (s)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

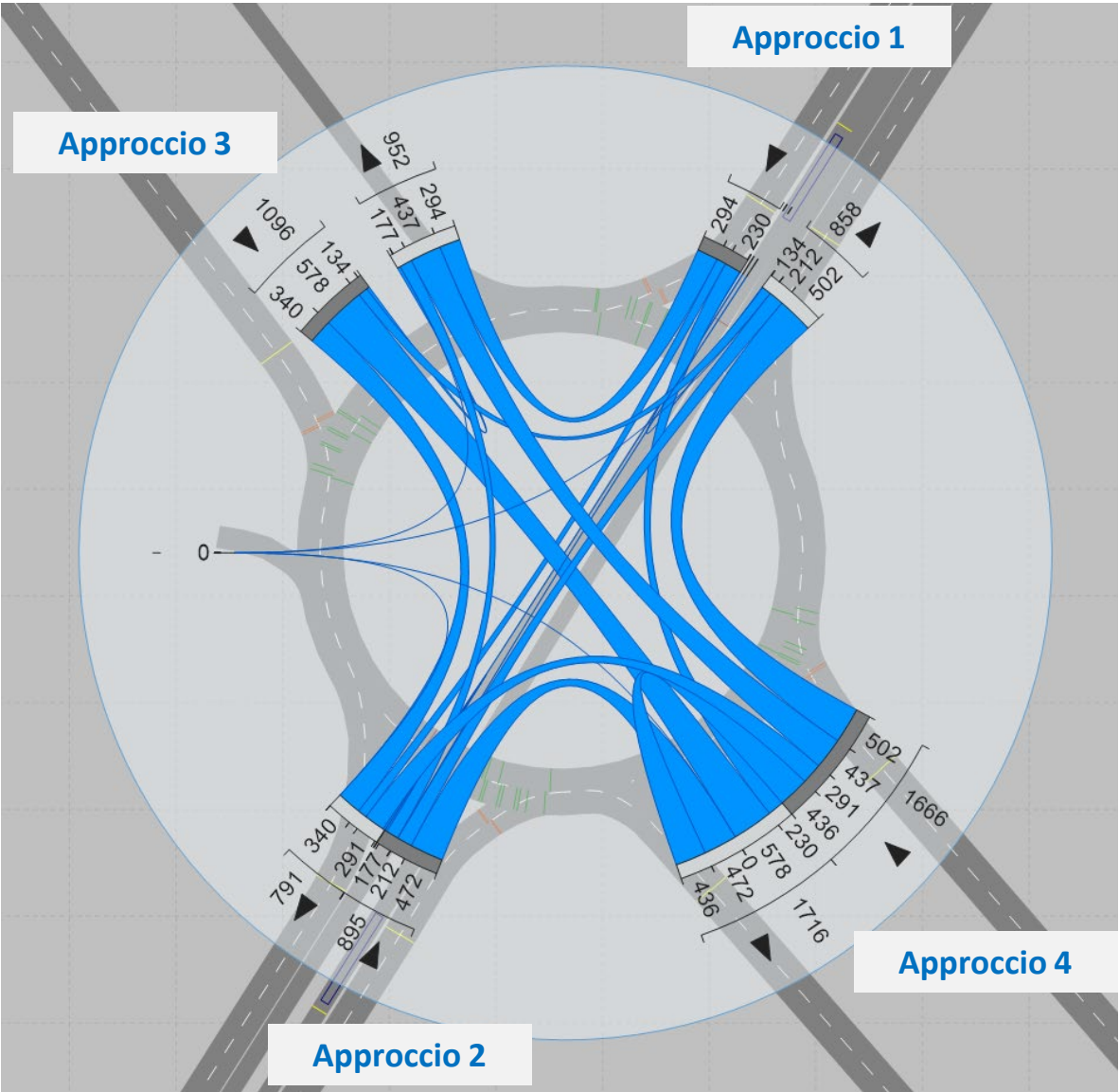
3 - Scenario Do Nothing Ottimizzato

Questo scenario differisce dal precedente in quanto l’offerta infrastrutturale prevede che anche il ramo SUD della SP525 sia a due corsie in approccio all’anello.

Si osserva della risultanze un generale miglioramento delle condizioni di circolazione del traffico.

Con l’introduzione del semaforo per il passaggio dell’E-BRT gli approcci 1 e 2 migliorano perchè durante il verde della fase semaforica per il BRT i veicoli possono avvicinare la rotatoria senza dare la precedenza. Questo aiuta anche le performances globali del nodo.

Questa configuazione infrastrutturle è stata dunque considerata negli scenari di progetto di seguito presentati.



Approccio	1	2	3	4	Intersezione
Veicoli/ora	663	885	1099	1672	4320
Ritardo (s)	24,7	28,9	20,4	15,6	22,4
LOS	C	D	C	C	C

Totale veicoli simulati

HdP AM:

4386

(3872 leggeri equivalenti + 514 pesanti)

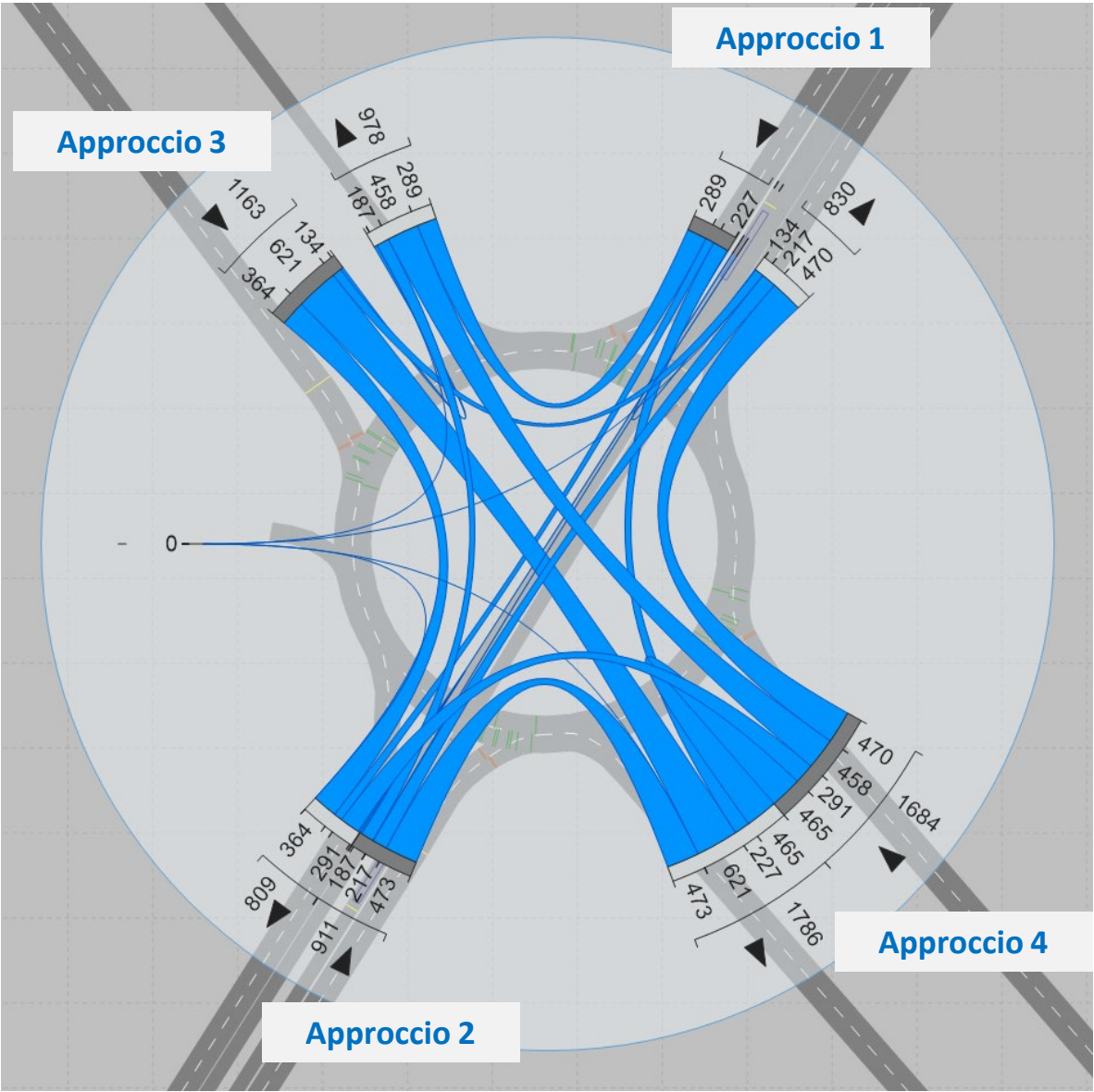
LOS (HCM 2010) Livello di Servizio per intersezioni a rotatoria	Delay (s)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

4 - Scenario di Progetto al 2026

Questo scenario replica le condizioni di traffico attese nell’ipotesi di attivazione della linea di E-BRT. I dati sono stati stimati sulla base delle risultanze estratte dal modello di macrosimulazione multimodale utilizzato per lo studio di fattibilità della linea

Con l’aumento della domanda le condizioni di deflusso al 2026 peggiorano leggermente e tornano simili a quelle della situazione attuale, anche se permangono i vantaggi per gli approcci 1 e 2 indotti dall’introduzione del semaforo per E-BRT che garantiscono un livello medio delle performances del nodo migliore rispetto a quelle delle condizioni attuali. L’aumento della domanda al 2026 è limitato e dell’ordine del 2% circa.



Totale veicoli simulati
HdP AM:
4459
(3945 leggeri equivalenti + 514 pesanti)

Approccio	1	2	3	4	Intersezione
Veicoli/ora	659	895	1163	1682	4398
Ritardo (s)	30,7	46,2	26,2	17,0	30,0
LOS	D	E	D	C	D

LOS (HCM 2010) Livello di Servizio per intersezioni a rotatoria	Delay (s)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

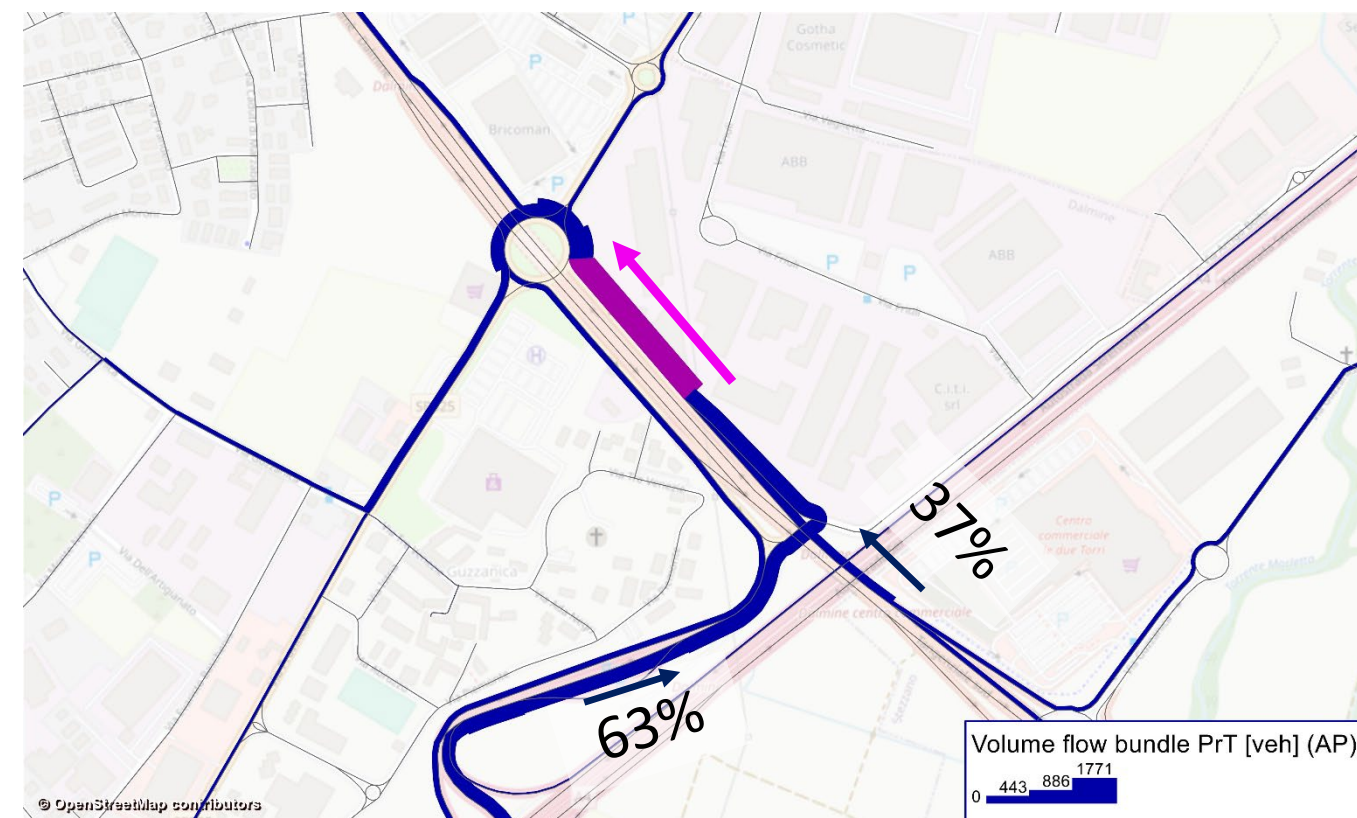
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

4 - Scenario di Progetto al 2026

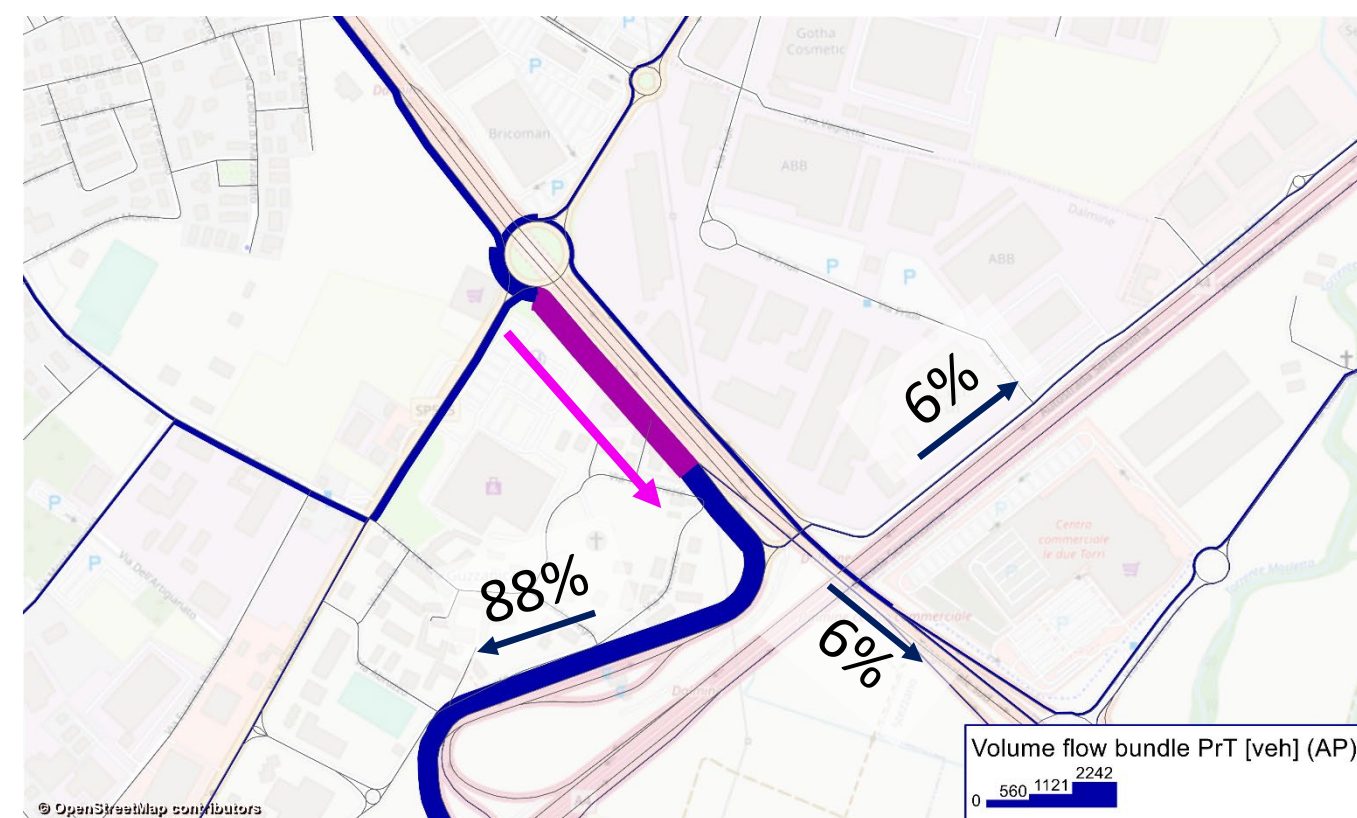
Come detto per valutare la domanda di traffico al nodo nell'anno 2026 è stato interrogato il modello di traffico multimodale a scala territoriale utilizzato per le analisi trasportistiche in fase di studio di fattibilità della linea.

Le immagini a lato rappresentano il dettaglio della composizioni di flusso degli archi di approccio e di uscita dalla rotatoria sulla SS470(via Guzzanica) nello scenario di Progetto al 2026. Come evidenziato, la maggior parte del flusso circolante sull'asta in analisi è relazionata con l'autostrada e rappresenta una quota molto importante sul totale complessivamente in transito al nodo. Per tale motivo il progetto di ridisegno dello svincolo autostradale ha un impatto significativo su tale intersezione andando a modificare completamente le relazioni OD.

**63% dei veicoli in
approccio alla
rotatoria arrivano
da A4**



**88% dei veicoli in
uscita dalla
rotatoria vanno
verso A4**

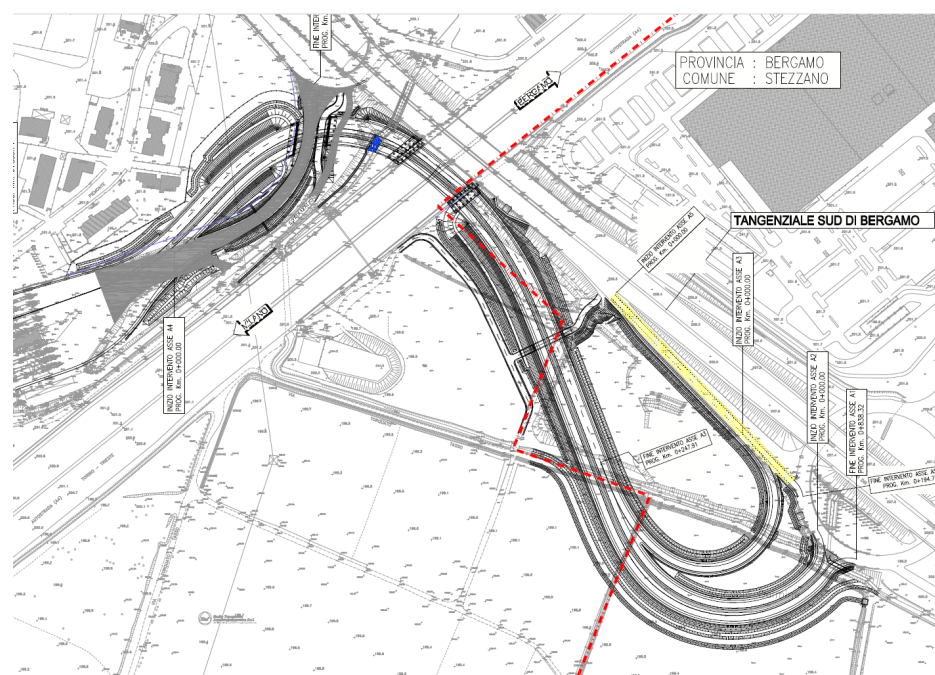


Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

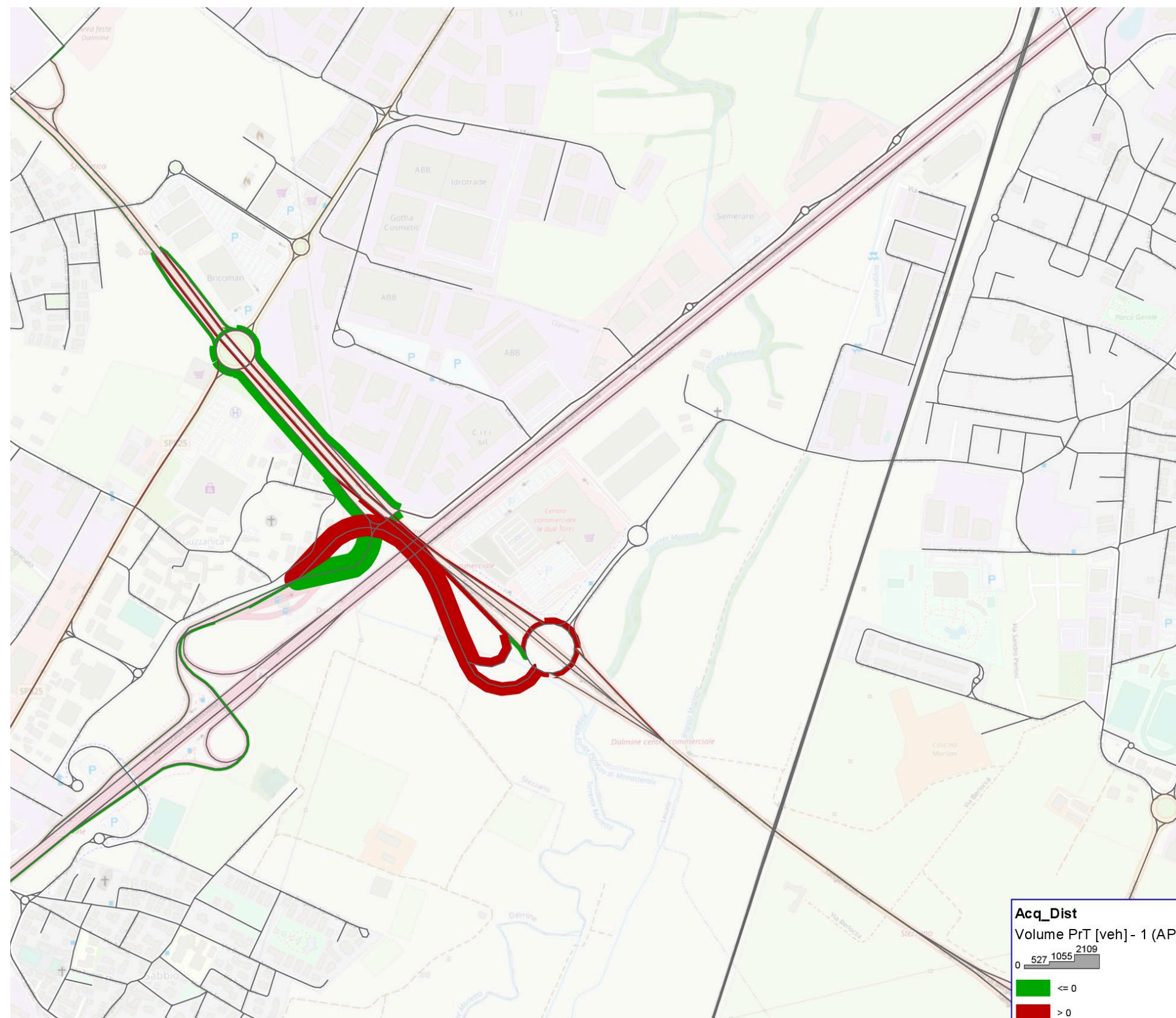
4- Scenario di Progetto al 2026

A conferma delle importanti riduzioni nelle matrici di progetto al 2026 a seguito della realizzazione del nuovo svincolo di Dalmine, si riporta a lato un'immagine del modello di area vasta a scala provinciale che mostra il traffico acquisito/distolto sui diversi archi stradali nella porzione di rete in esame. L'immagine riporta il risultato riferito allo scenario di progetto al 2026 con l'intervento allo svincolo meno lo scenario di progetto al 2026 senza intervento.

Le bande di colore rosso evidenziano gli archi che registrano un incremento del numero dei veicoli, mentre quelle verdi evidenziano gli archi che subiscono una riduzione del traffico. Si osserva come il traffico in corrispondenza della rotatoria di Via Guzzanica si riduca in quanto si viene a modificare le relazioni con la SS470.



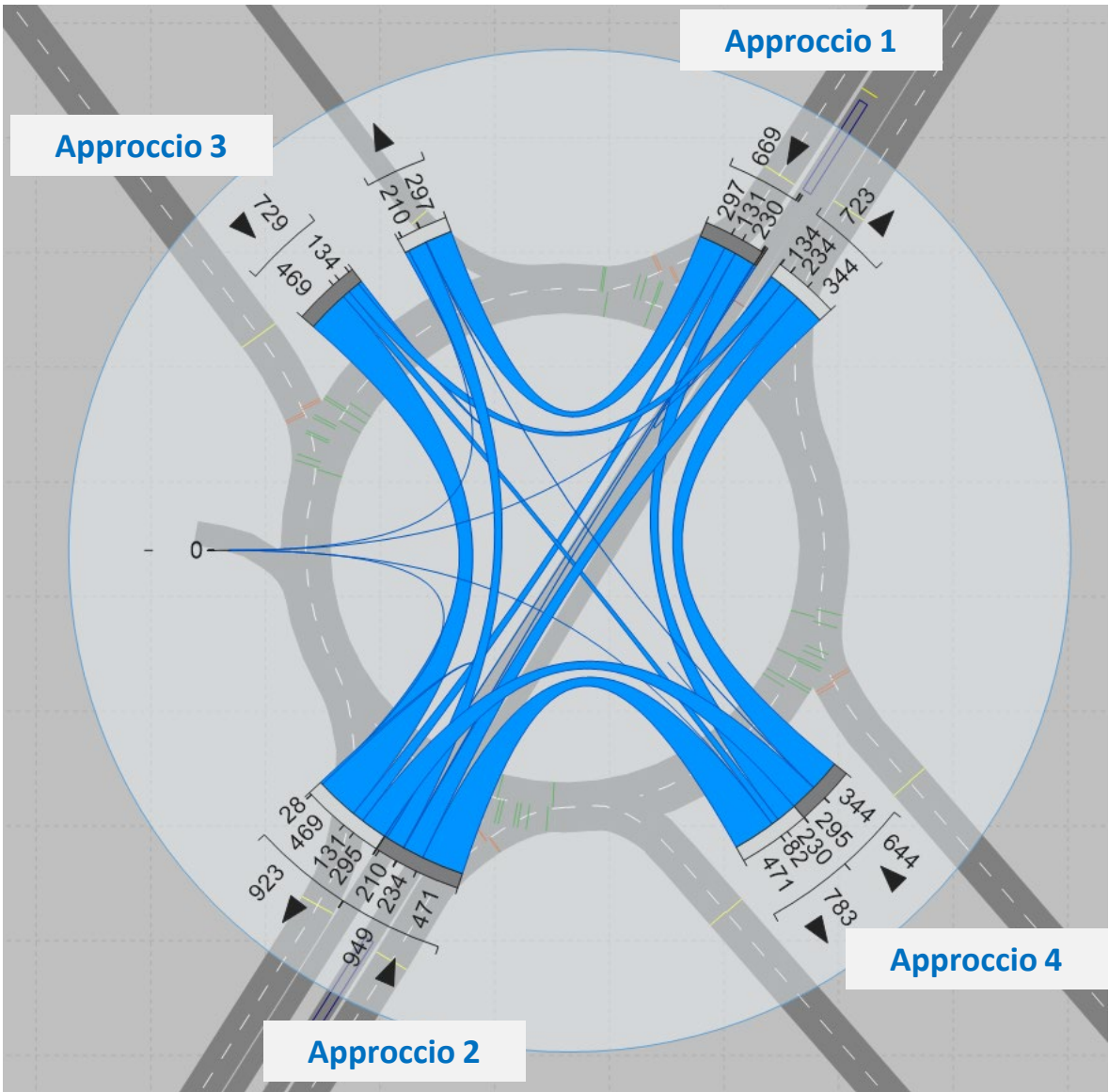
Estratto planimetria «Adeguamento svincolo di Dalmine- Planimetrie delle demolizioni» luglio 2018



Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

5- Scenario di Progetto al 2026 con nuovo svincolo di Dalmine

A lato si riportano dati e risultanze dello scenario di progetto che considera l’attuazione dell’intervento di ridisegno dello svincolo di Dalmine. La realizzazione del nuovo casello di Dalmine comporta una riduzione importante dei flussi circolanti in anello e azzerava quasi completamente la quota di veicoli che oggi effettua la manovra di torna indietro sulla SS470 per prendere l’autostrada. I veicoli pesanti diminuiscono di quasi la metà, mentre i veicoli leggeri diminuiscono di circa il 30% rispetto allo scenario di riferimento senza il nuovo casello. Il livello di servizio dell’intersezione è eccellente, raggiungendo il livello A in tutti i rami.



Totale veicoli simulati
HdP AM:
3013
(2748 leggeri equivalenti + 265 pesanti)

Approccio	1	2	3	4	Intersezione
Veicoli/ora	670	946	732	643	2991
Ritardo (s)	3,1	2,6	3,6	2,9	3,1
LOS	A	A	A	A	A

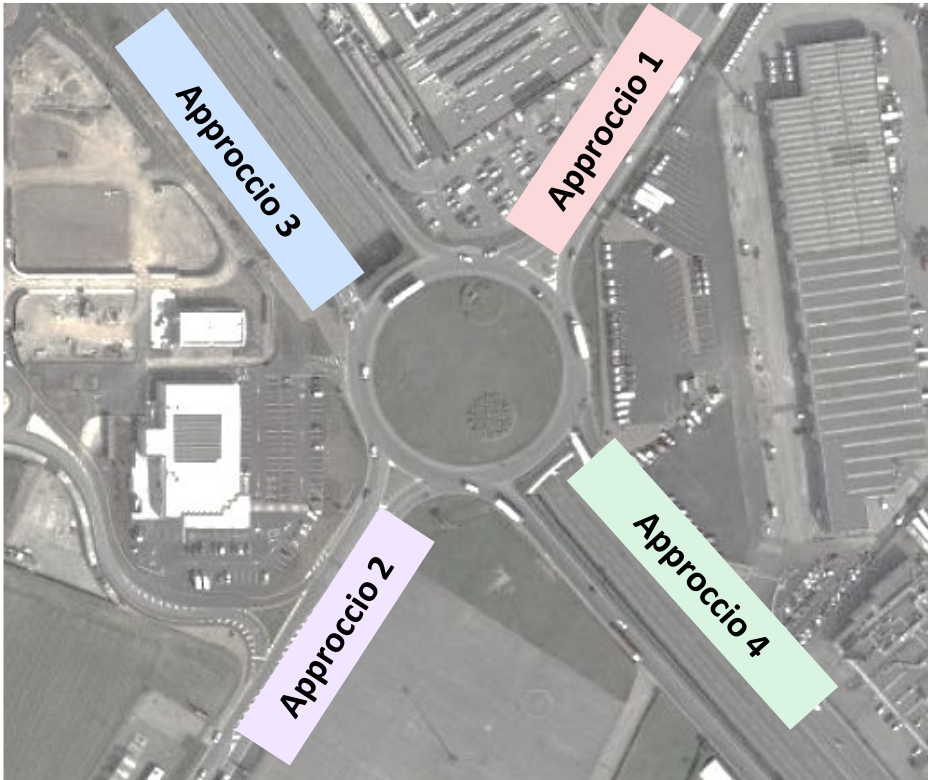
LOS (HCM 2010) Livello di Servizio per intersezioni a rotatoria	Delay (s)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Confronto di Scenari

A lato si riportano le tabelle di confronto dei diversi scenari simulati in termini di ritardo medio, coda media e massima per singolo approccio. In corsivo blu si indicano le code massime che raggiungono circa l'intera lunghezza dell'arco simulato. Per semplicità di lettura si riportano i risultati solo degli scenari della situazione attuale e della proiezione al 2026 senza e con la realizzazione del nuovo svincolo di Dalmine.

In particolare si osserva come lo scenario 04 di progetto presenta risultanze paragonabili o migliorative rispetto alla situazione attuale confermando la sostenibilità trasportistica dell'inserimento dell'impianto semaforico per la gestione del passaggio del E- Brt in anello ogni 10' per direzione di marcia.



□ Systematica

APPROCCIO 1	Veicoli/ ora	Ritardo medio (sec)	LOS	Coda media (m)	Coda massima (m)
Scenario 01 SDF	660	53,4	F	46,67	<i>154,54</i>
Scenario 04 PRG 2026	659	30,7	D	20,33	115,65
Scenario 05 (PRG+svinc.Dalmine)	670	3,1	A	0,58	34,79

APPROCCIO 2	Veicoli/o ra	Ritardo medio (sec)	LOS	Coda media (m)	Coda massima (m)
Scenario 01 SDF	877	52,7	F	59,43	<i>165,16</i>
Scenario 04 PRG 2026	895	46,2	E	26,38	137,45
Scenario 05 (PRG+svinc.Dalmine)	946	2,6	A	0,43	25,25

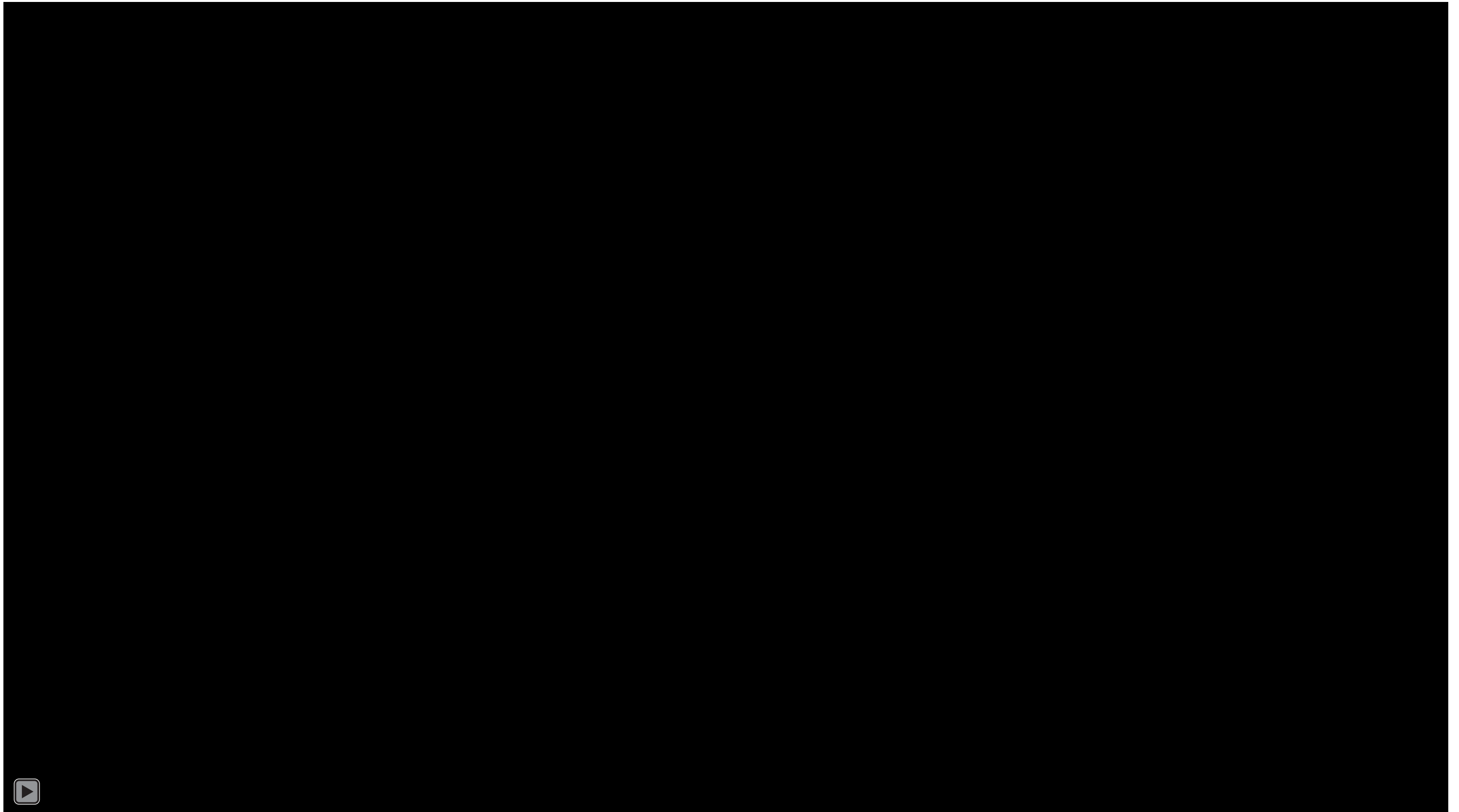
APPROCCIO 3	Veicoli/ ora	Ritardo medio (sec)	LOS	Coda media (m)	Coda massima (m)
Scenario 01 SDF	1099	21,6	C	24,90	132,71
Scenario 04 PRG 2026	1163	26,2	D	20,94	127,55
Scenario 05 (PRG+svinc.Dalmine)	732	3,6	A	0,37	22,35

APPROCCIO 4	Veicoli/ ora	Ritardo medio (sec)	LOS	Coda media (m)	Coda massima (m)
Scenario 01 SDF	1663	21,0	C	63,50	<i>235,87</i>
Scenario 04 PRG 2026	1682	17,0	C	30,16	<i>238,31</i>
Scenario 05 (PRG+svinc.Dalmine)	643	2,9	A	0,41	24,41

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Analisi Postazione 1

Video dello Scenario di Riferimento 2026

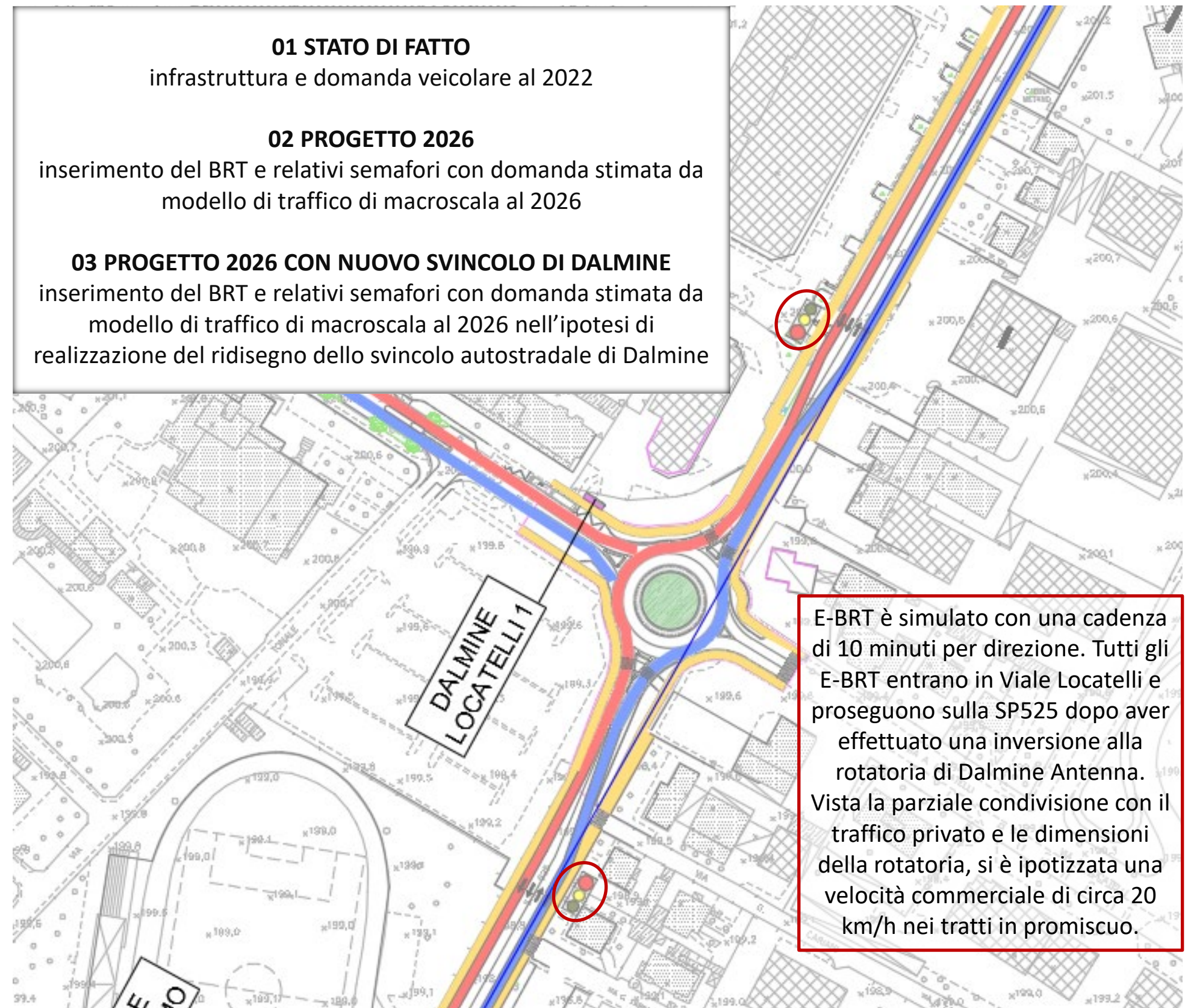


4•Analisi microsimulative rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Scenari simulati

L'immagine a lato illustra la soluzione progettuale ipotizzata per questa specifica rotatoria. Date le geometrie dell'intersezione che è stata riqualficata da non molto, si propongono due semafori sulla SP525, a valle e a monte della rotatoria, per garantire l'immissione prioritaria dell'E-BRT dalla propria sede protetta alla corsia di approccio alla rotatoria. Come evidenziato nell'immagine, nell'approccio alla rotatoria, così come nell'anello giratorio, nelle corsie di uscita e in Viale Locatelli, l'E-BRT sarà in sede promiscua condividendo la corsia con il traffico privato. Gli scenari simulati per questa intersezione sono evidenziati nel riquadro in alto.

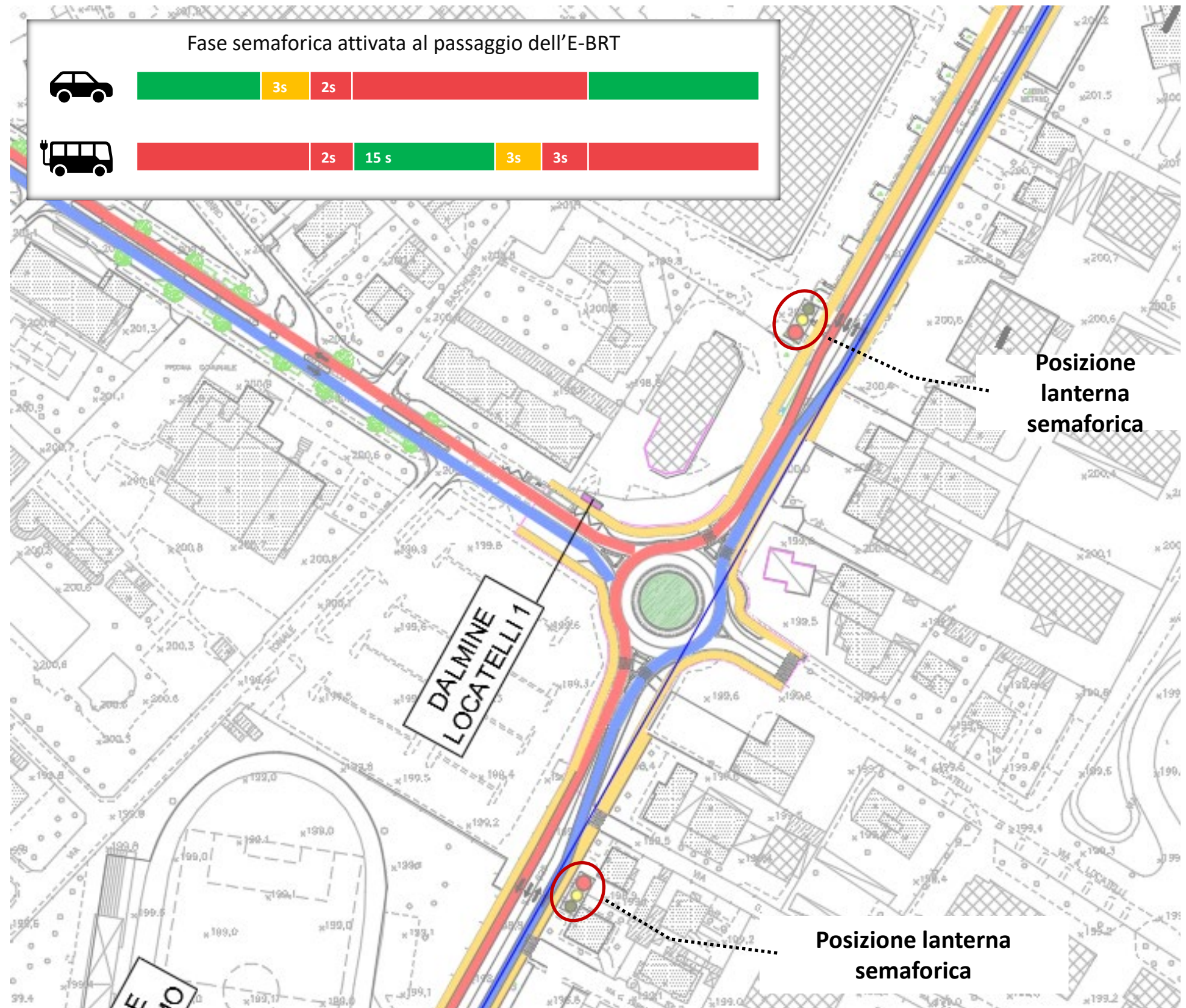


Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Impianto semaforico di progetto

L'immagine a lato illustra la fase semaforica inserita nei modelli di simulazione di progetto al 2026 (scenari 02 e 03).

Al passaggio dell'E-BRT si attiva una fase di rosso (lanterna semaforica gialla e poi rossa) per i veicoli privati e, di conseguenza, una di verde prioritario per l'E-BRT con durata di 15 secondi. Tale fase di verde permette l'immissione in sicurezza dell'E-BRT sulla corsia promiscua a monte della immissione in rotatoria



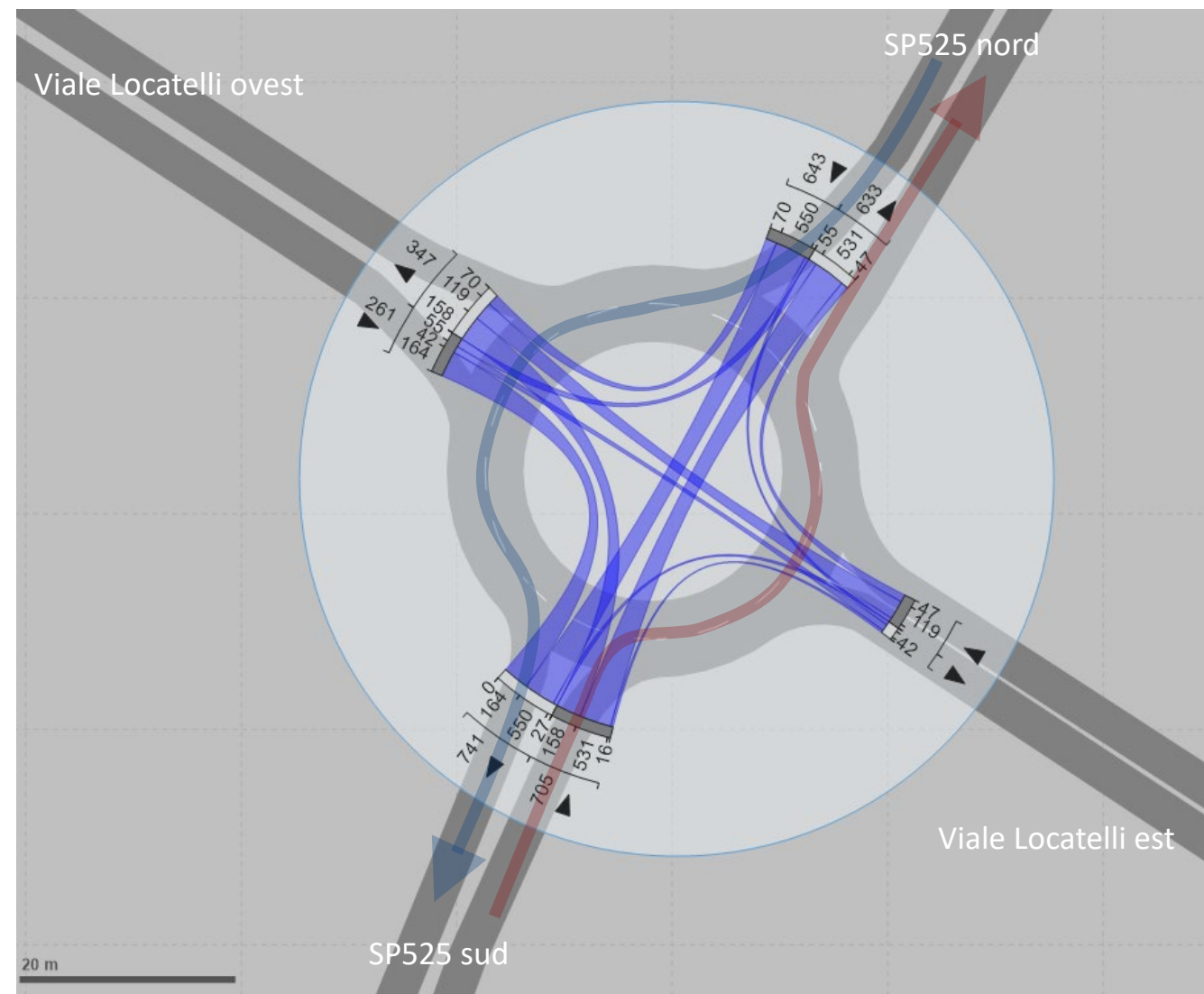
Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

01 Stato di Fatto

L'immagine a lato riporta il flusso orario dei veicoli simulati per ogni singola manovra. Il colore delle barre indica il Livello di Servizio corrispondente ad ogni manovra. L'intersezione ad oggi non presenta criticità rilevanti e il LOS medio si attesta su valori ottimali (LOS A con un ritardo medio all'intersezione pari a 6 secondi).

La velocità media globale di tutti i veicoli si attesta sui 32 km/h circa e il modello di simulazione non evidenzia accodamenti all'intersezione.

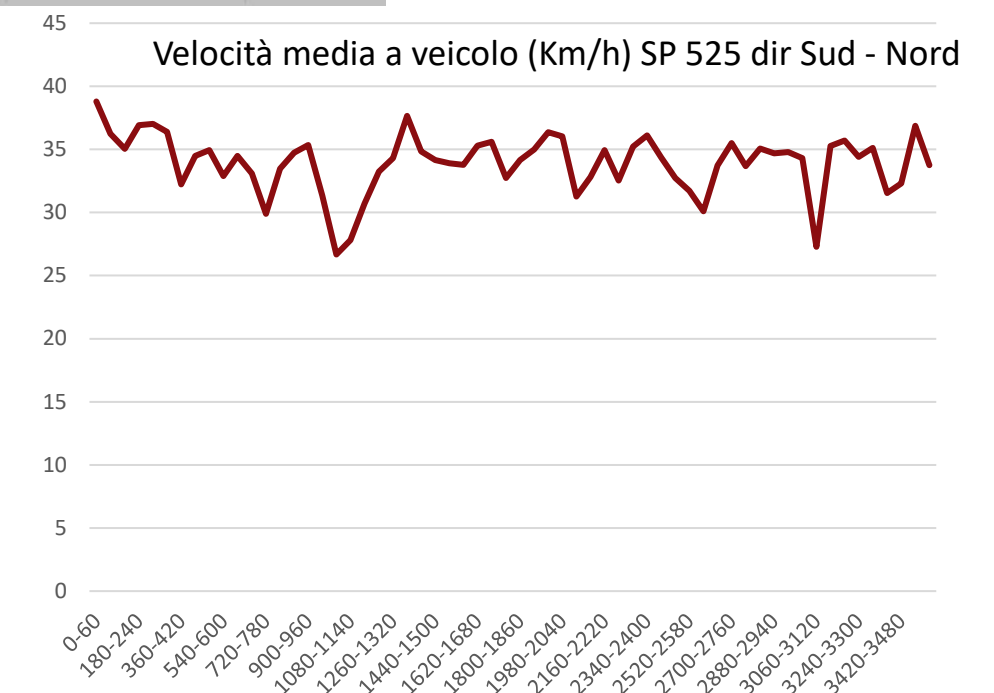
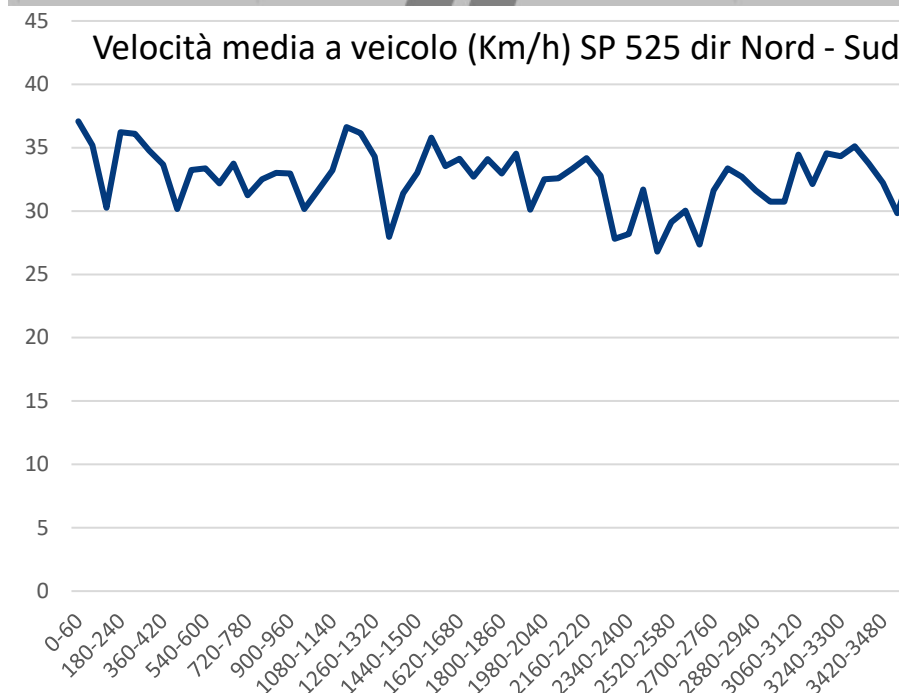
I grafici in basso mostrano l'andamento della velocità registrata dal modello di simulazione ad intervalli regolari di 1 minuto e sono riferiti ai soli veicoli lungo l'asse SP525.



**Totale veicoli
simulati
HdP AM:**

1811
(1699 leggeri
equivalenti +
112 pesanti)

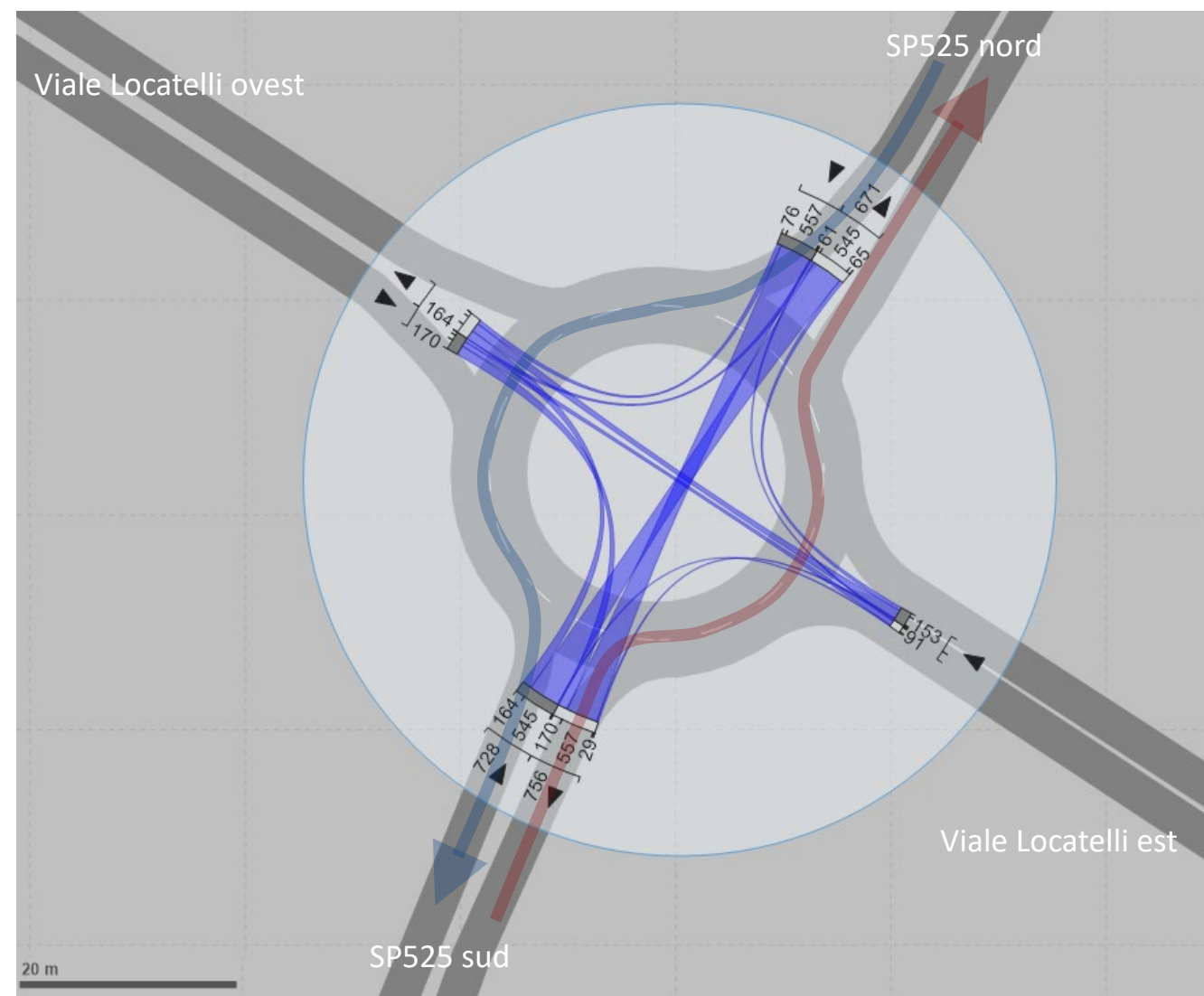
LOS A
LOS B
LOS C
LOS D
LOS E
LOS F



Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

02 Progetto 2026

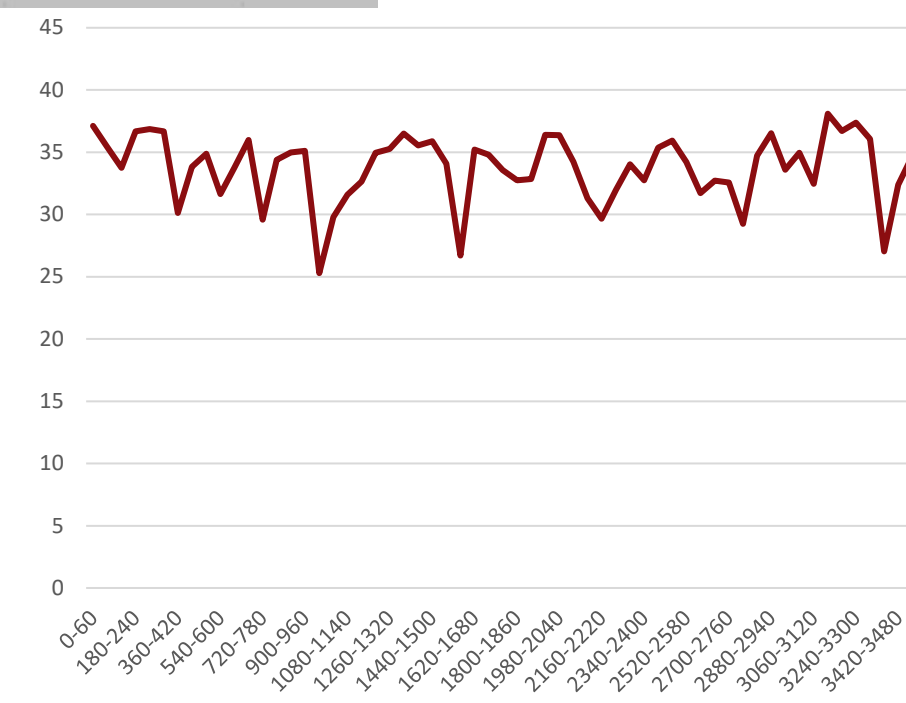
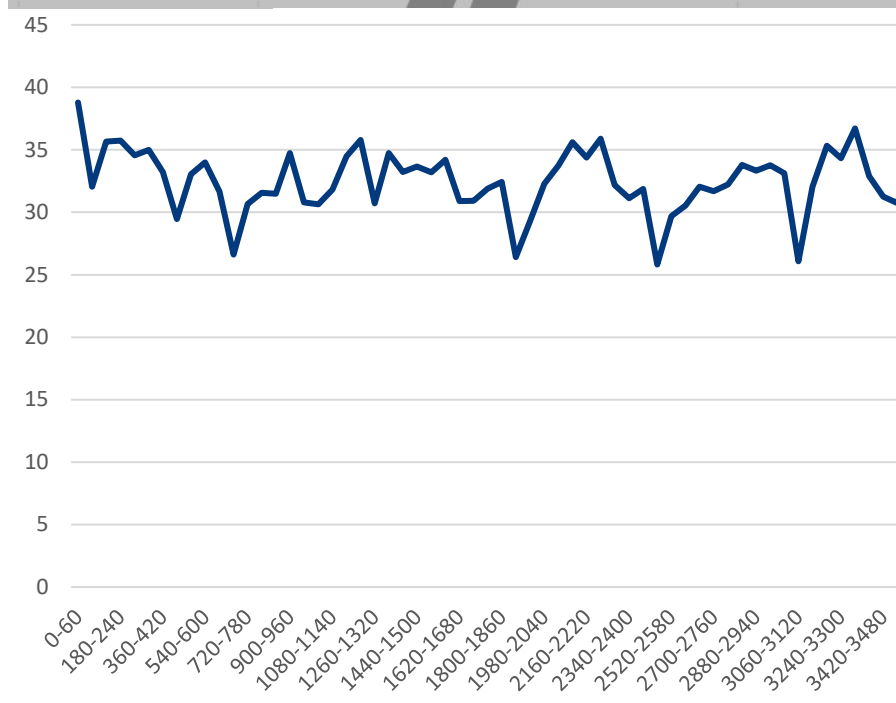
Le immagini e i grafici a lato si riferiscono allo Scenario con l'inserimento dell'E-BRT al 2026 senza la realizzazione del nuovo svincolo di Dalmine. I volumi orari inseriti nel modello sono stati dedotti dal modello di macrosimulazione su scala provinciale e prevedono un incremento di poco meno dell'8% dei veicoli leggeri equivalenti. Anche in questo scenario la rotatoria non presenta criticità rilevanti e non si rilevano accodamenti o fenomeni di congestione per l'inserimento del semaforo. Gli eventuali accodamenti sulla SP525 si risolvono sempre in un tempo limitato e contenuto all'interno dell'ora di simulazione. Il valore medio di velocità dell'intero modello si conferma praticamente uguale alla situazione attuale, 32 km/h.



Totale veicoli simulati HdP AM:

1940
(1828 leggeri equivalenti + 112 pesanti)

LOS A
LOS B
LOS C
LOS D
LOS E
LOS F



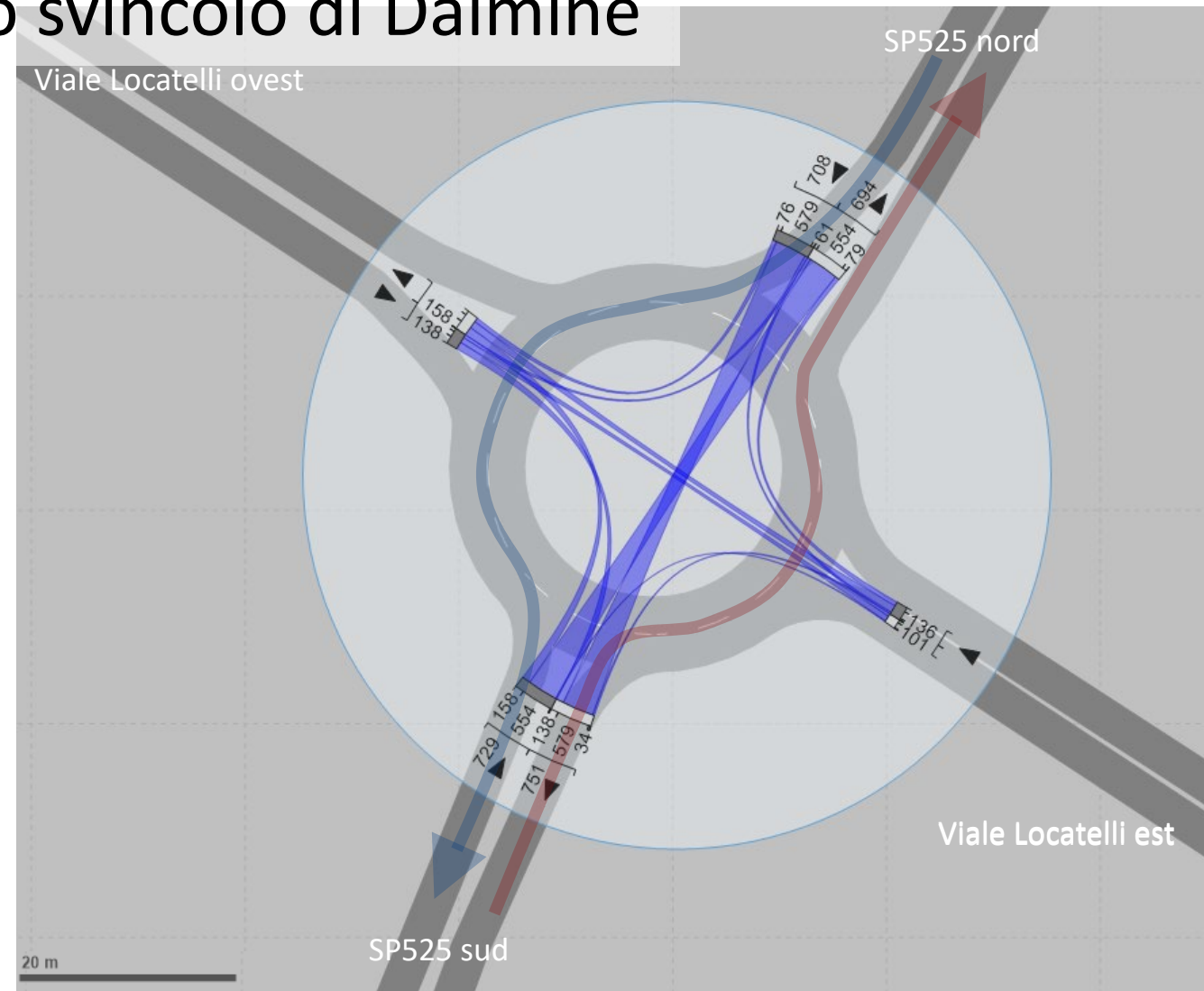
Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

03 Progetto 2026 con nuovo svincolo di Dalmine

Le immagini e i grafici a lato si riferiscono allo Scenario con l'inserimento dell'E-BRT al 2026 con la realizzazione del nuovo casello di Dalmine. Rispetto alla situazione attuale il volume orario dei veicoli leggeri aumenta di poco meno del 9% del totale, mentre c'è una differenza quasi trascurabile con i valori dello scenario di riferimento.

Anche per questo scenario si conferma l'assenza di criticità o accodamenti rilevanti.

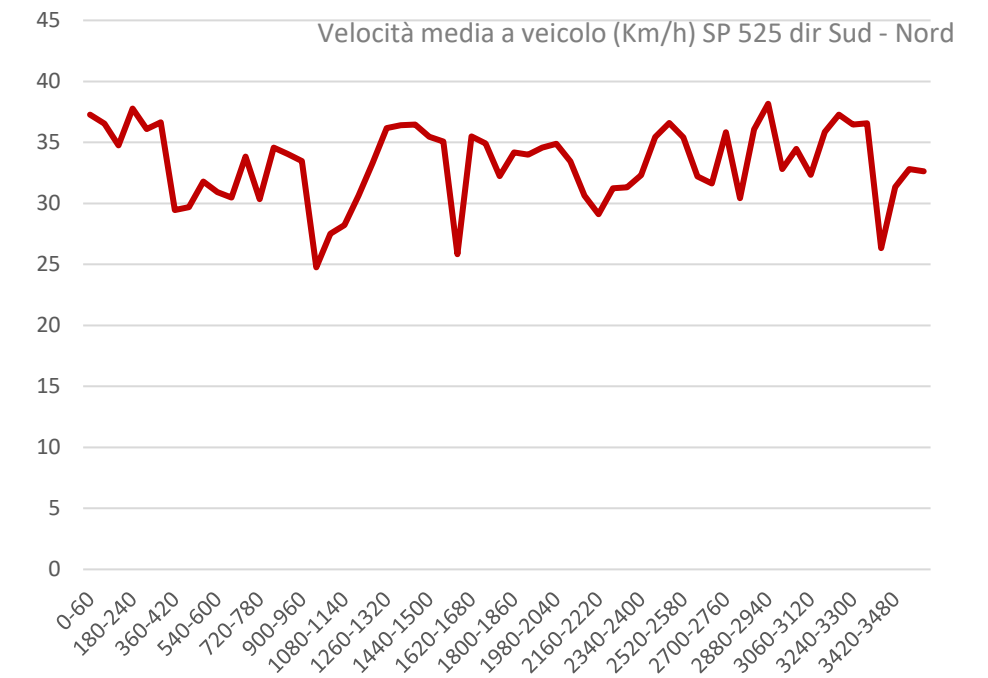
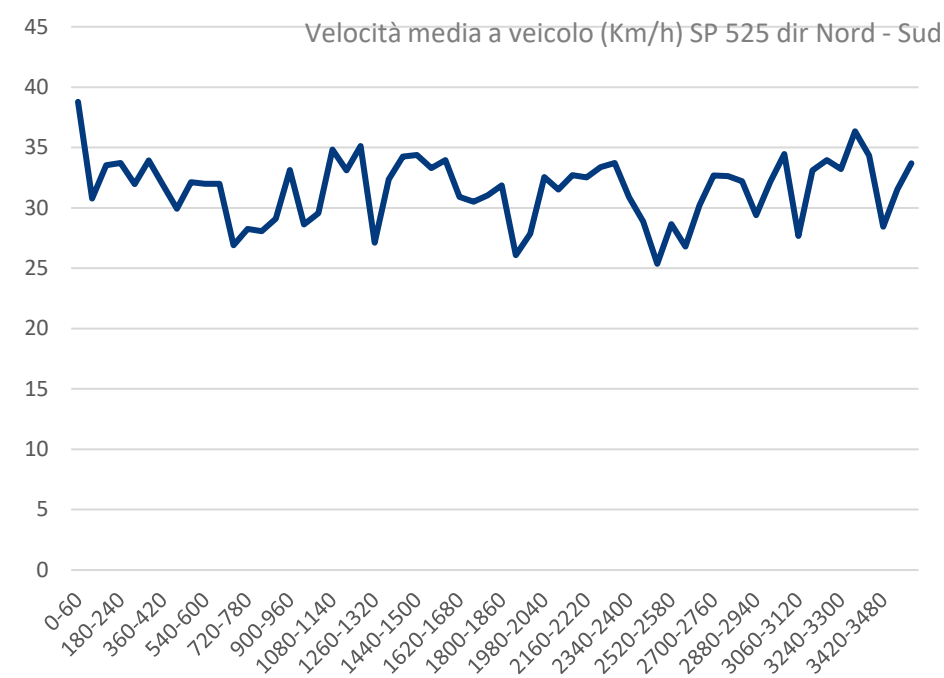
Il valore medio della velocità riferita all'intera rete simulata diminuisce leggermente attestandosi sui 31 km/h circa.



**Totale veicoli
simulati
HdP AM:**

**1971
(1859 leggeri
equivalenti +
112 pesanti)**

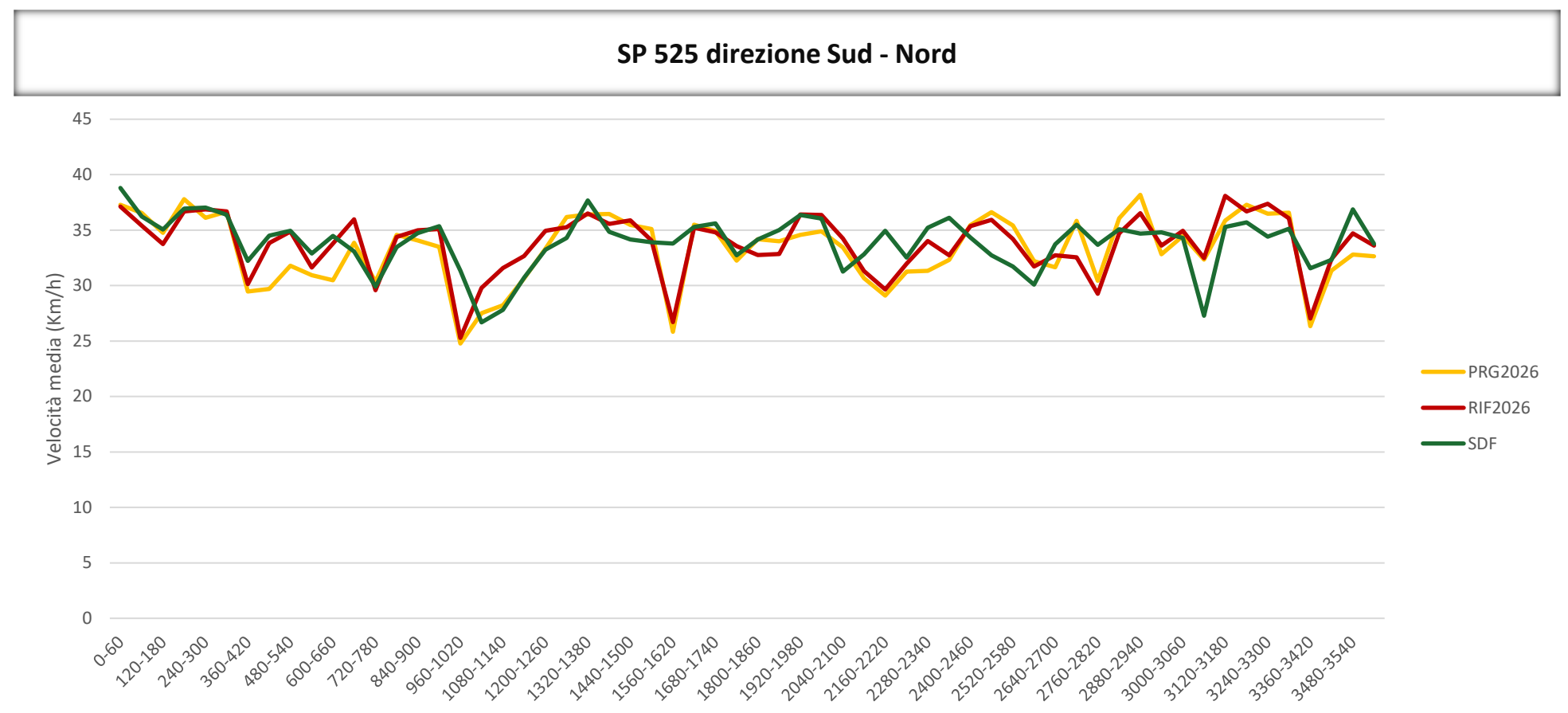
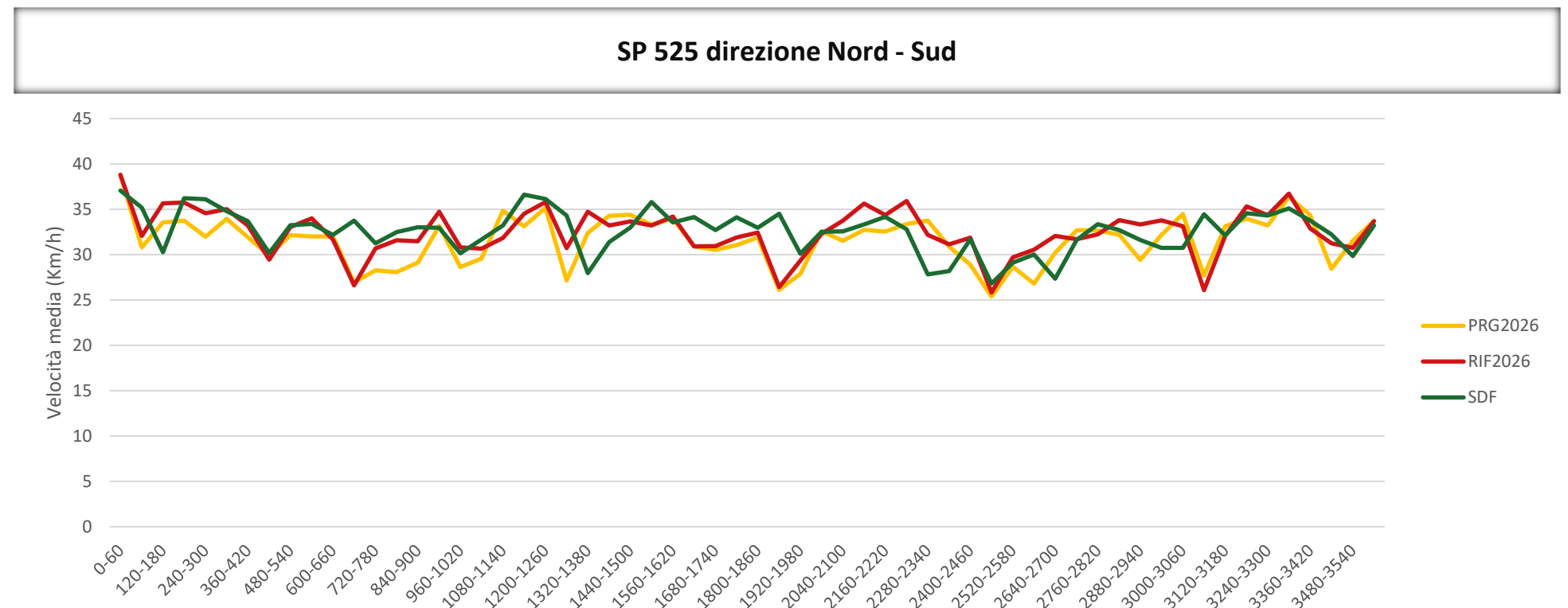
LOS A
LOS B
LOS C
LOS D
LOS E
LOS F



Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Velocità medie SP 525

I grafici a lato mostrano l'andamento delle velocità medie lungo l'asse SP525 nel confronto di scenari per la direzione Nord – Sud e viceversa. L'andamento della velocità non presenta particolari differenze tra gli scenari simulati, se non brevi rallentamenti negli scenari al 2026 in corrispondenza dell'attivazione del semaforo. La velocità media lungo l'asse si mantiene, però del tutto accettabile.



Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Accodamenti SP 525

In singole simulazioni si possono registrare accodamenti anche più elevati che però si risolvono in breve tempo.

I grafici a lato mostrano, invece, l'andamento delle code medie e massime nei soli scenari con l'inserimento dell'E-BRT.

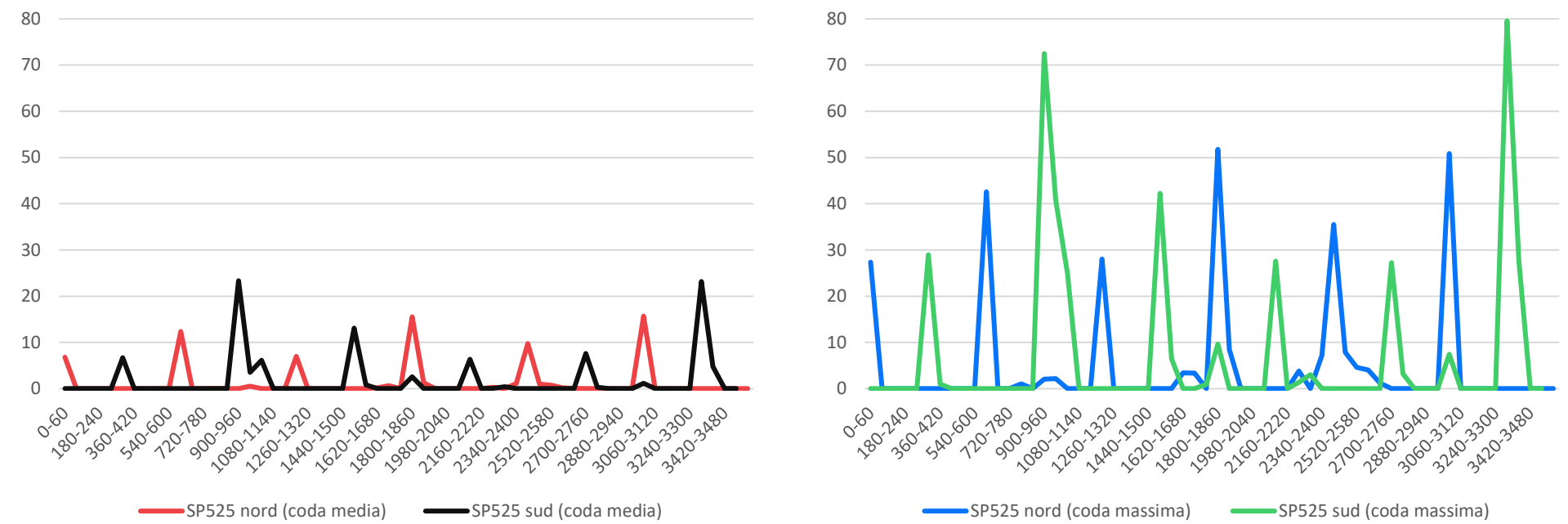
I contatori di coda si sono posti sulla SP525 a circa 80 metri dall'intersezione, sia a nord sia a sud, in corrispondenza con le linee di arresto del semaforo per i veicoli privati.

Come dimostrano i grafici, gli accodamenti si registrano all'attivazione del semaforo e sono limitati nel tempo non creando particolari disagi al traffico sull'asse in esame. Gli accodamenti massimi, si registrano, infatti, solo nel minuto di attivazione della fase semaforica.

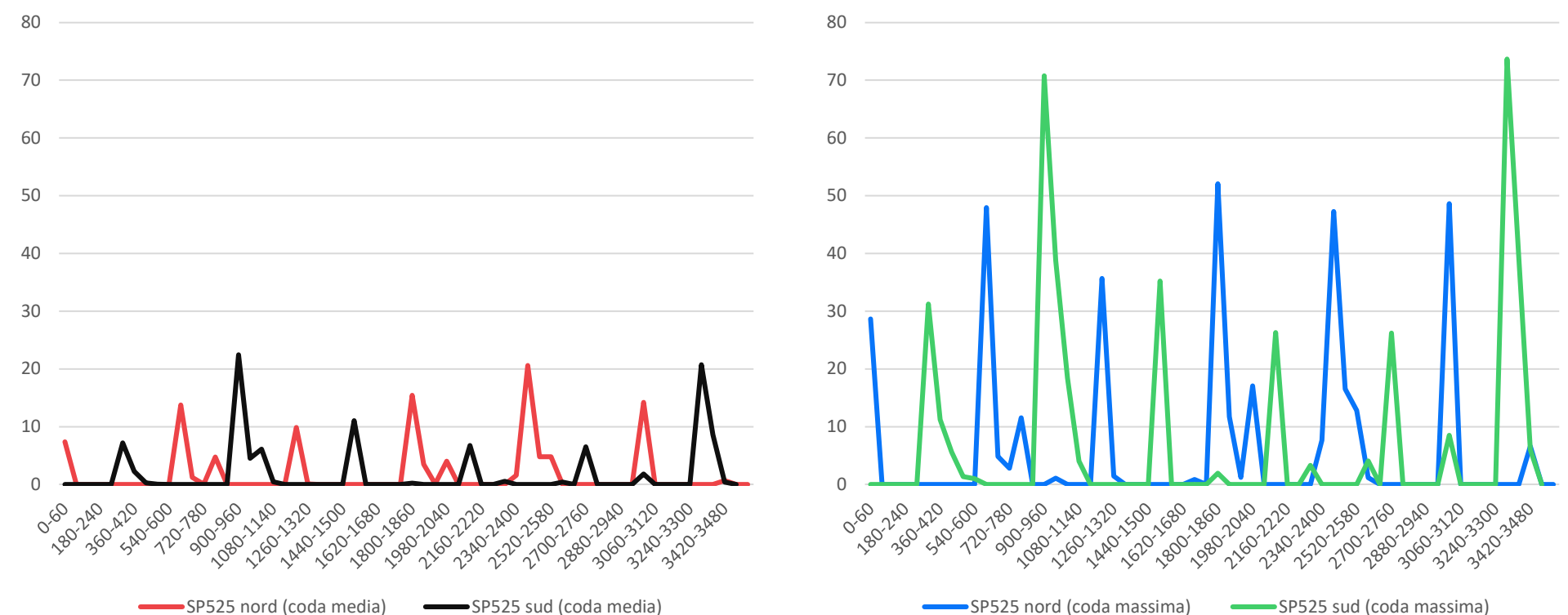
N.B. I termini coda media e massima indicano rispettivamente la media delle code medie e massime registrate nelle diverse simulazioni.



Scenario di Progetto 2026 – Lunghezza degli accodamenti dalla linea di arresto semaforica (metri)

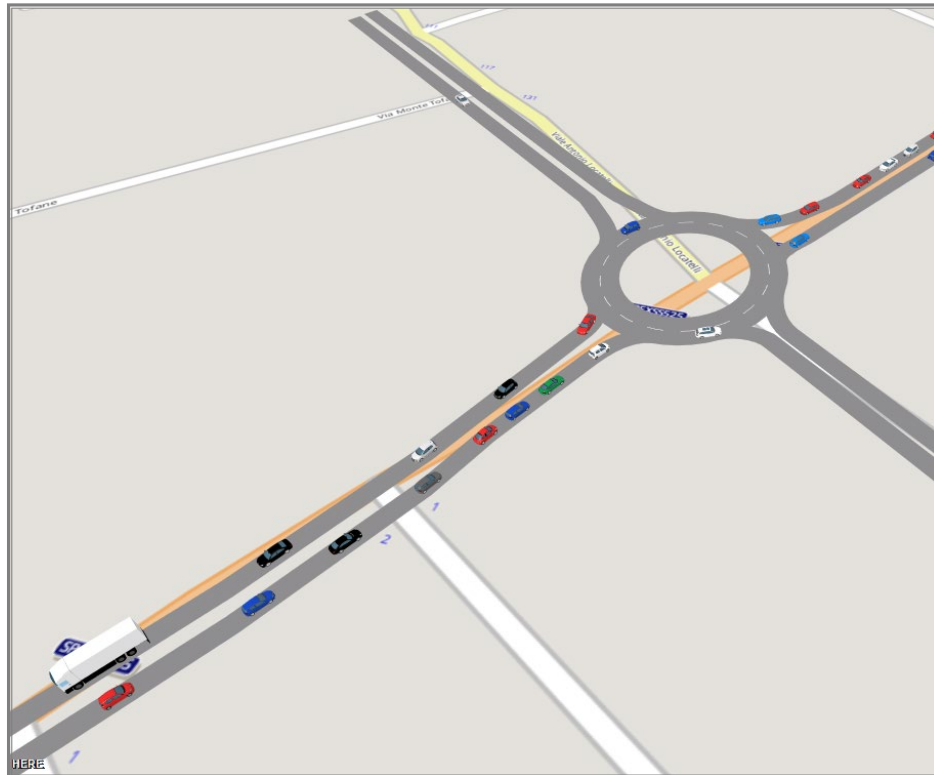


Scenario di Progetto 2026 con svincolo Dalmine – Lunghezza degli accodamenti dalla linea di arresto semaforica (metri)

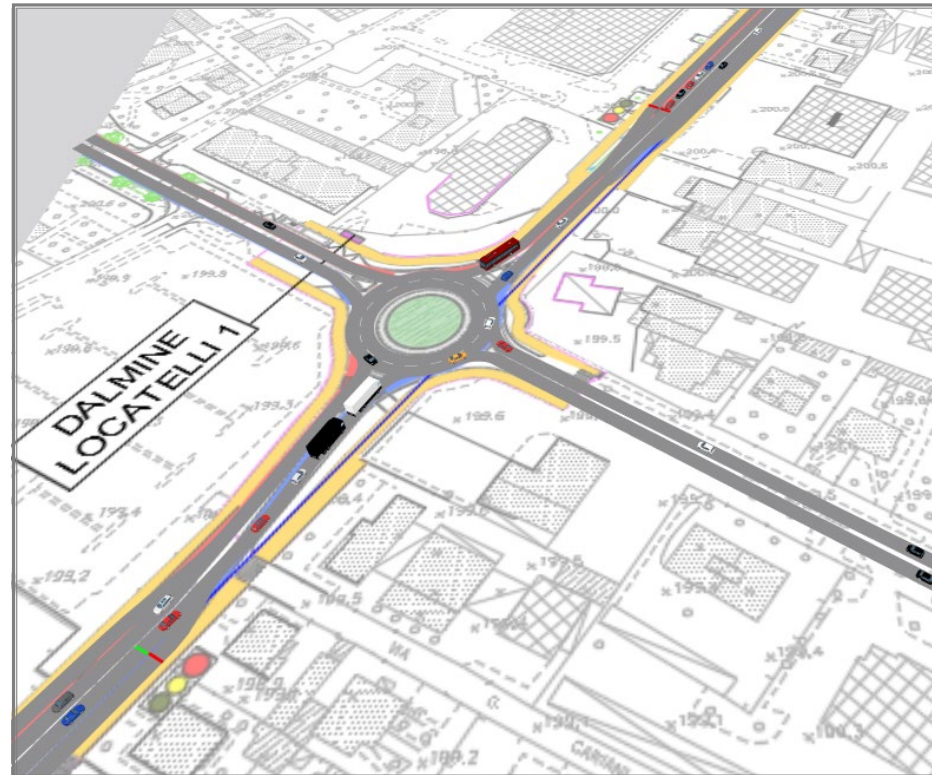


Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Istantanee di simulazione



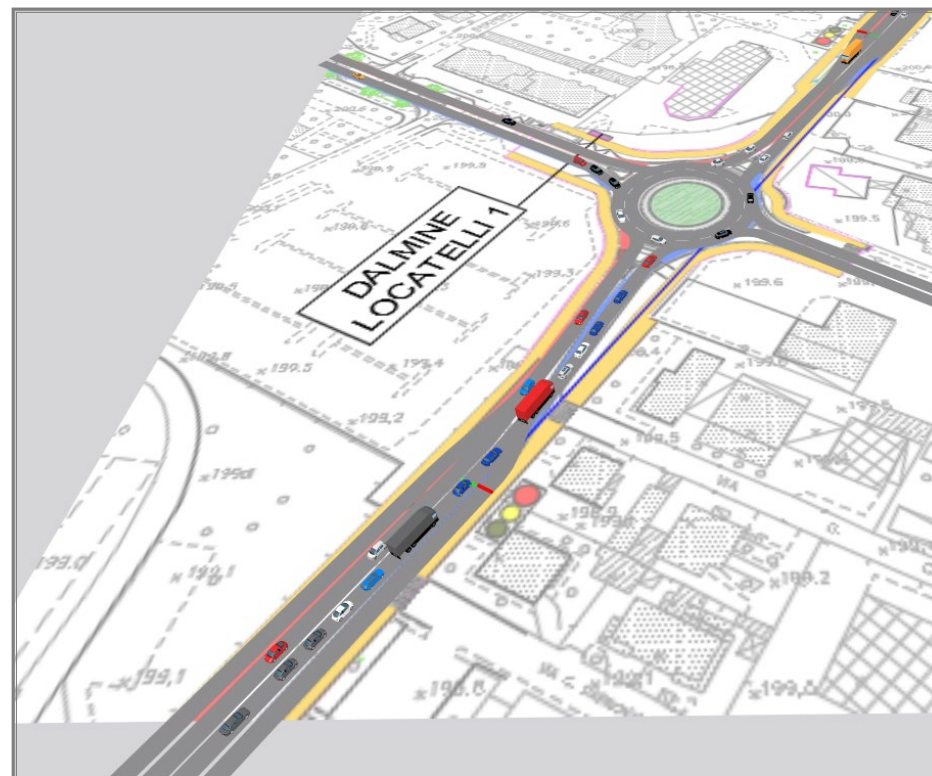
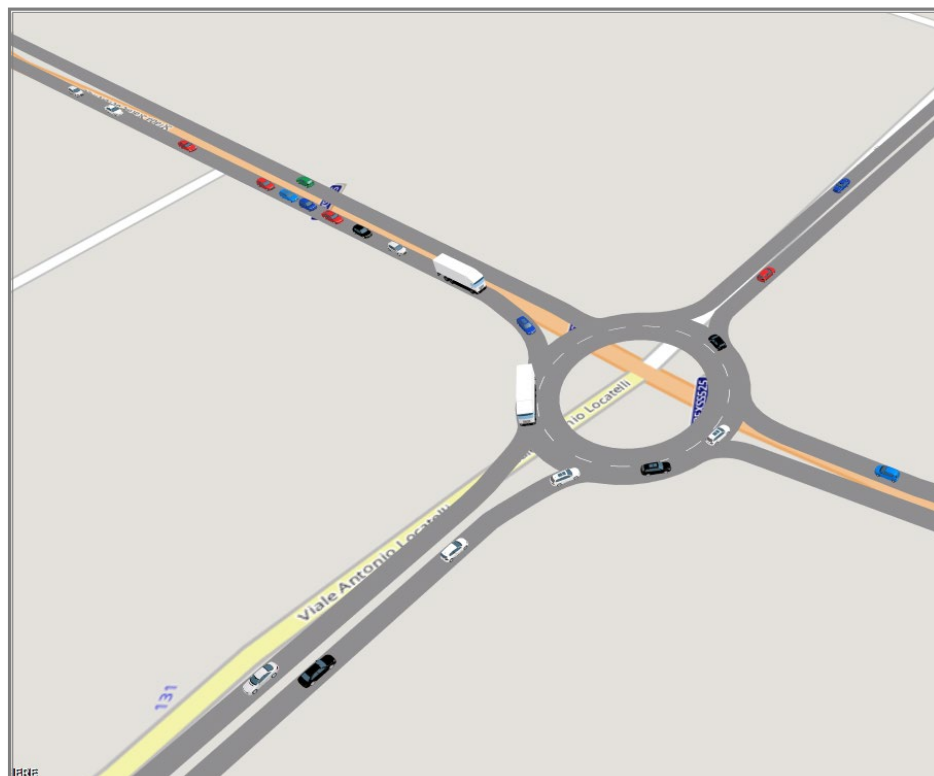
STATO DI FATTO



PROGETTO 2026



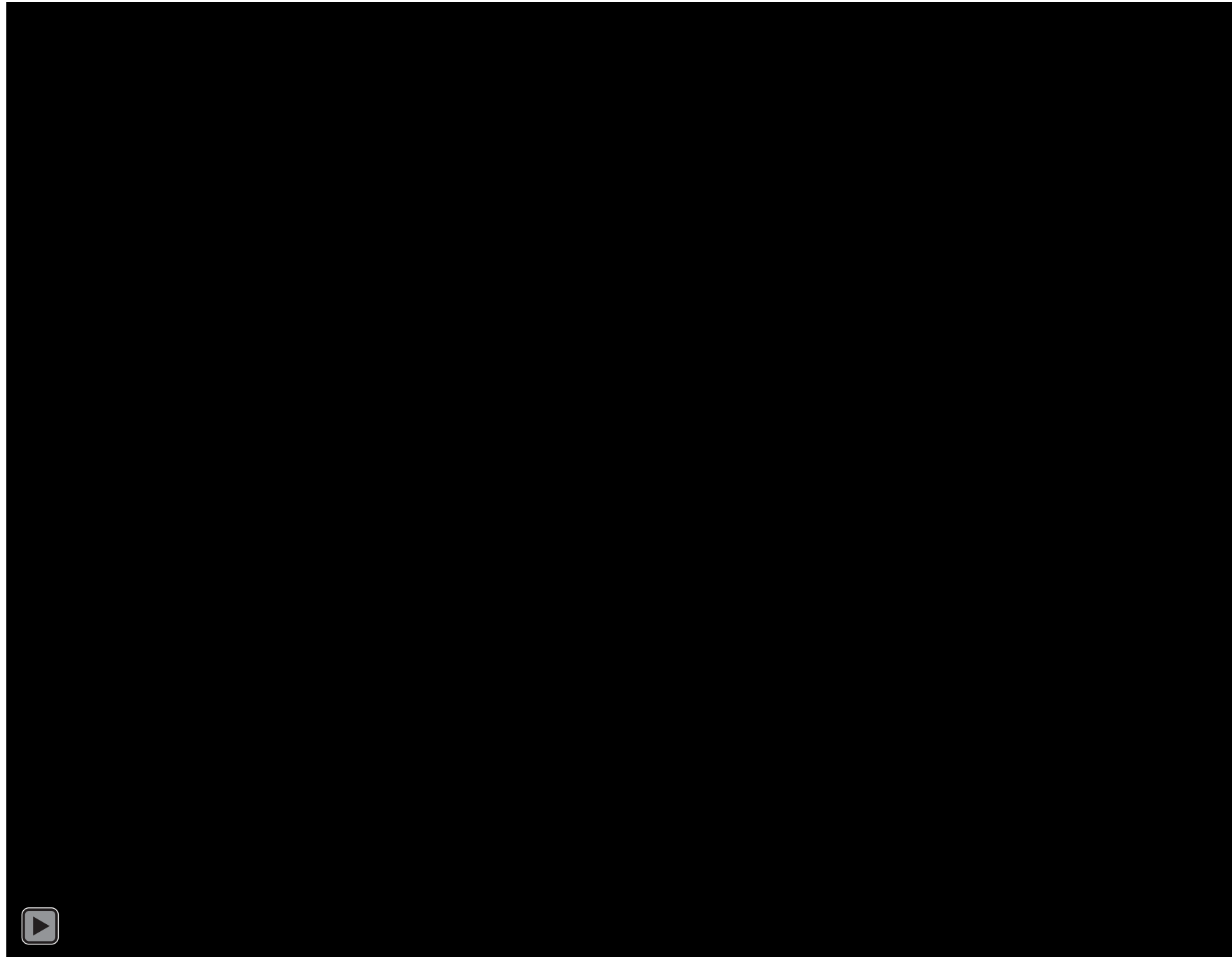
PROGETTO 2026 CON SVINCOLO DALMINE



Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Video dello Scenario di Progetto 2026

Analisi Postazione 2



5•Analisi microsimulative rotatoria SP525 – – Via Donizetti – Via Cimarosa – Via Verdellino – Via San Giorgio

Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Scenari simulati

L'immagine a lato illustra la soluzione progettuale ipotizzata per questa specifica rotatoria. Rispetto allo scenario proposto si è simulato l'inserimento di un solo semaforo sulla SP 525 nord. Il passaggio dell'E-BRT lungo quest'asse attiva uno stop (rosso semaforico) per tutti gli approcci all'anello per permettere all'E-BRT di attraversare la rotatoria in sicurezza. Si è scelto di non simulare un semaforo per l'E-BRT sulla Via Verdellino perchè nel tratto in promiscuo risulterebbe di difficile attuazione. Gli scenari simulati per questa intersezione sono evidenziati nel riquadro in alto. Anche in questo caso si valuta lo scenario di domanda che prevede la realizzazione dell'intervento di ridisegno dello svincolo di Dalmine anche se in questa postazione non si verificano particolari cambiamenti.

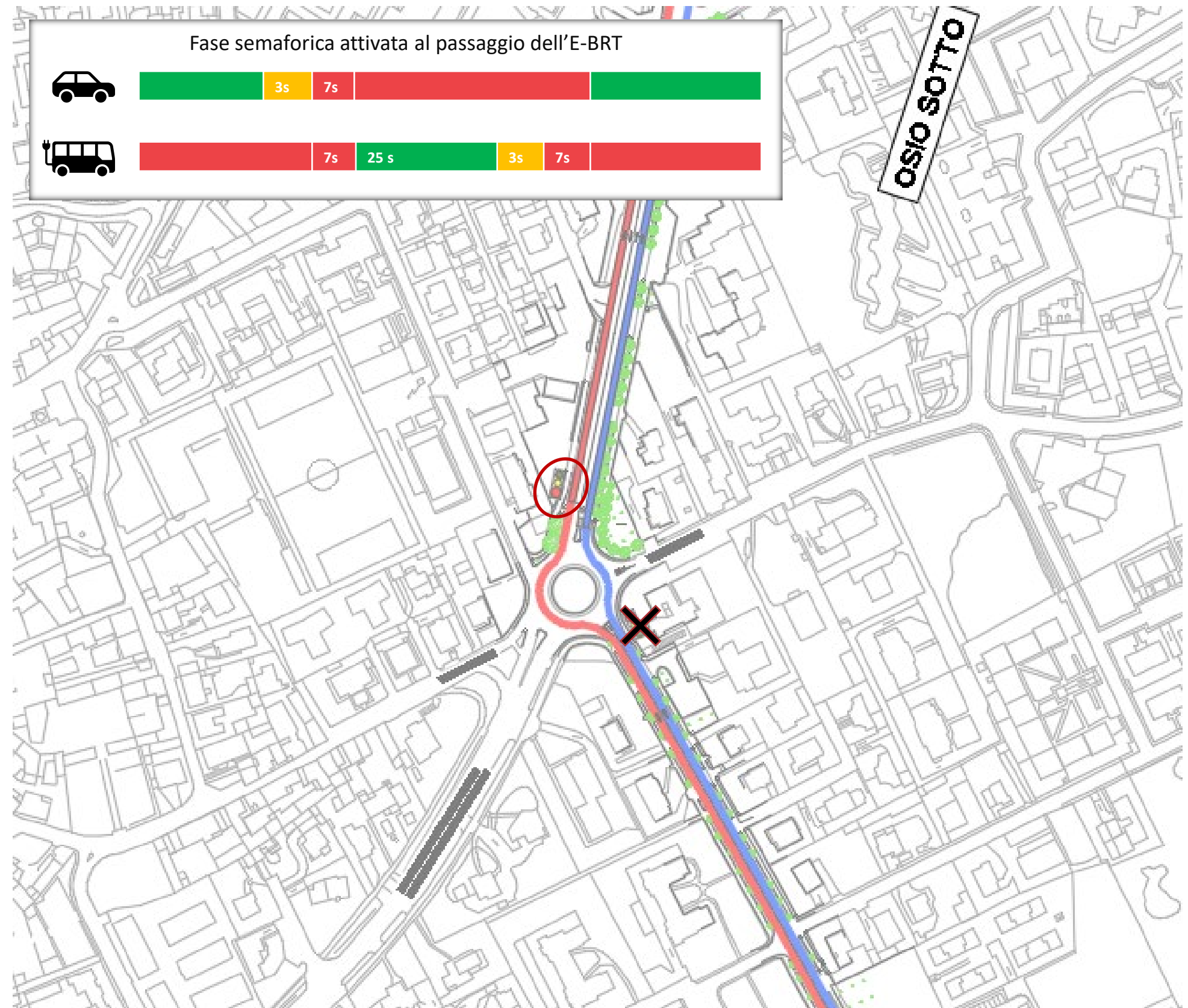


Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Impianto semaforico di progetto

L'immagine a lato illustra la fase semaforica inserita nei modelli di simulazione di riferimento e progetto al 2026.

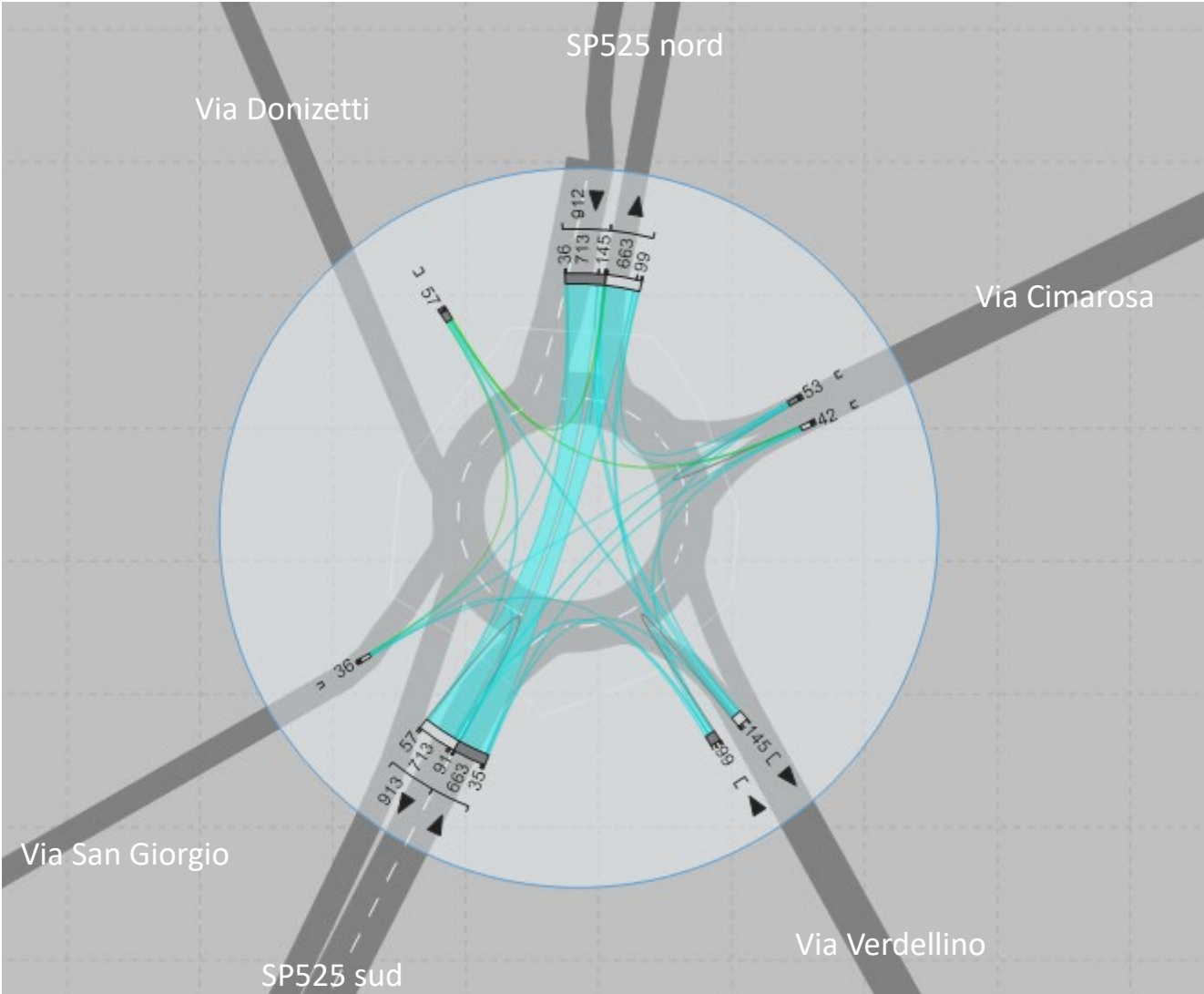
Al passaggio dell'E-BRT si attiva una fase di stop (lanterna semaforica gialla e poi rossa) per i veicoli privati e, di conseguenza, una di verde prioritario per l'E-BRT con durata di 25 secondi. Rispetto ai semafori ipotizzati per le altre due intersezioni, in questo caso si sono inseriti dei tempi di tutto rosso più elevanti per permettere ai veicoli già presenti in anello o nel tratto di immissione della SP 525 nord, di effettuare le manovre in sicurezza senza interferire con il passaggio dell'E-BRT.



01 Stato di Fatto

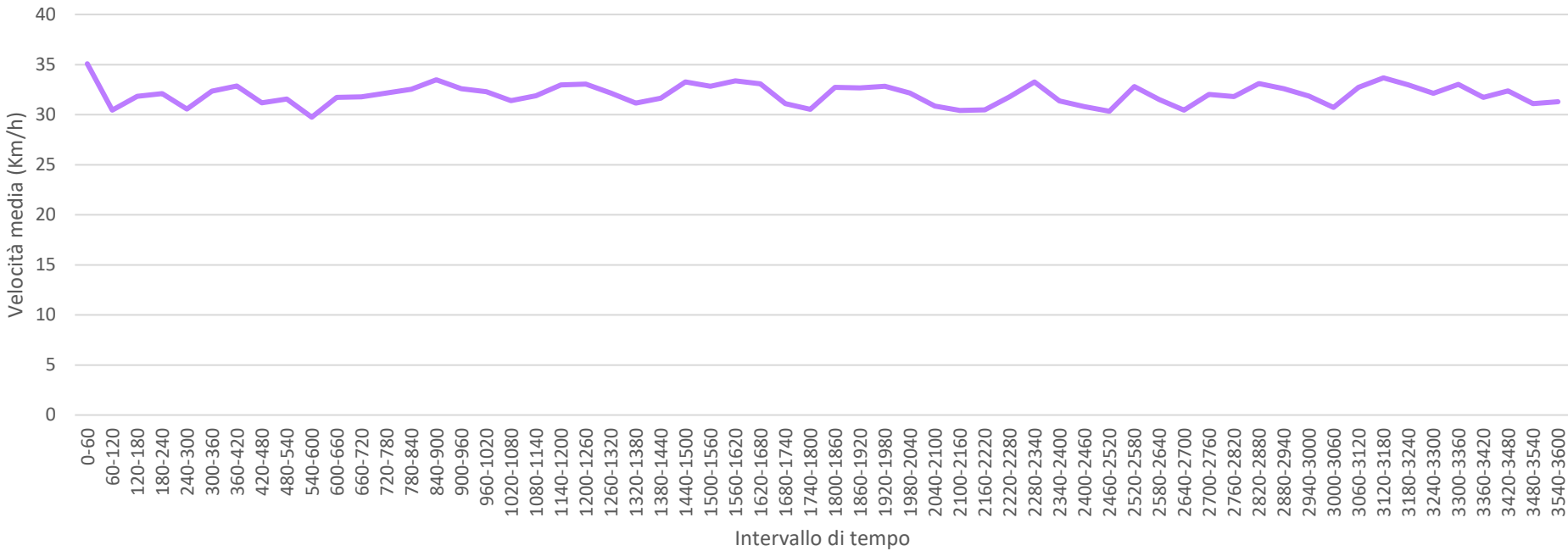
L'immagine a lato riporta il flusso orario dei veicoli simulati per ogni singola manovra. Il colore delle barre indica il Livello di Servizio corrispondente ad ogni manovra. L'intersezione ad oggi non presenta criticità rilevanti e il LOS medio si attesta su valori ottimali(LOS A con un delay medio all'intersezione pari a 6 secondi).

La velocità media globale di tutti i veicoli si attesta sui 32 km/h circa e il modello di simulazione non evidenzia accodamenti critici all'intersezione. Il grafico in basso mostra l'andamento della velocità media registrata dal modello di simulazione ad intervalli regolari di 1 minuto. L'andamento uniforme conferma l'assenza di criticità rilevanti.



Totale veicoli simulati HdP AM:

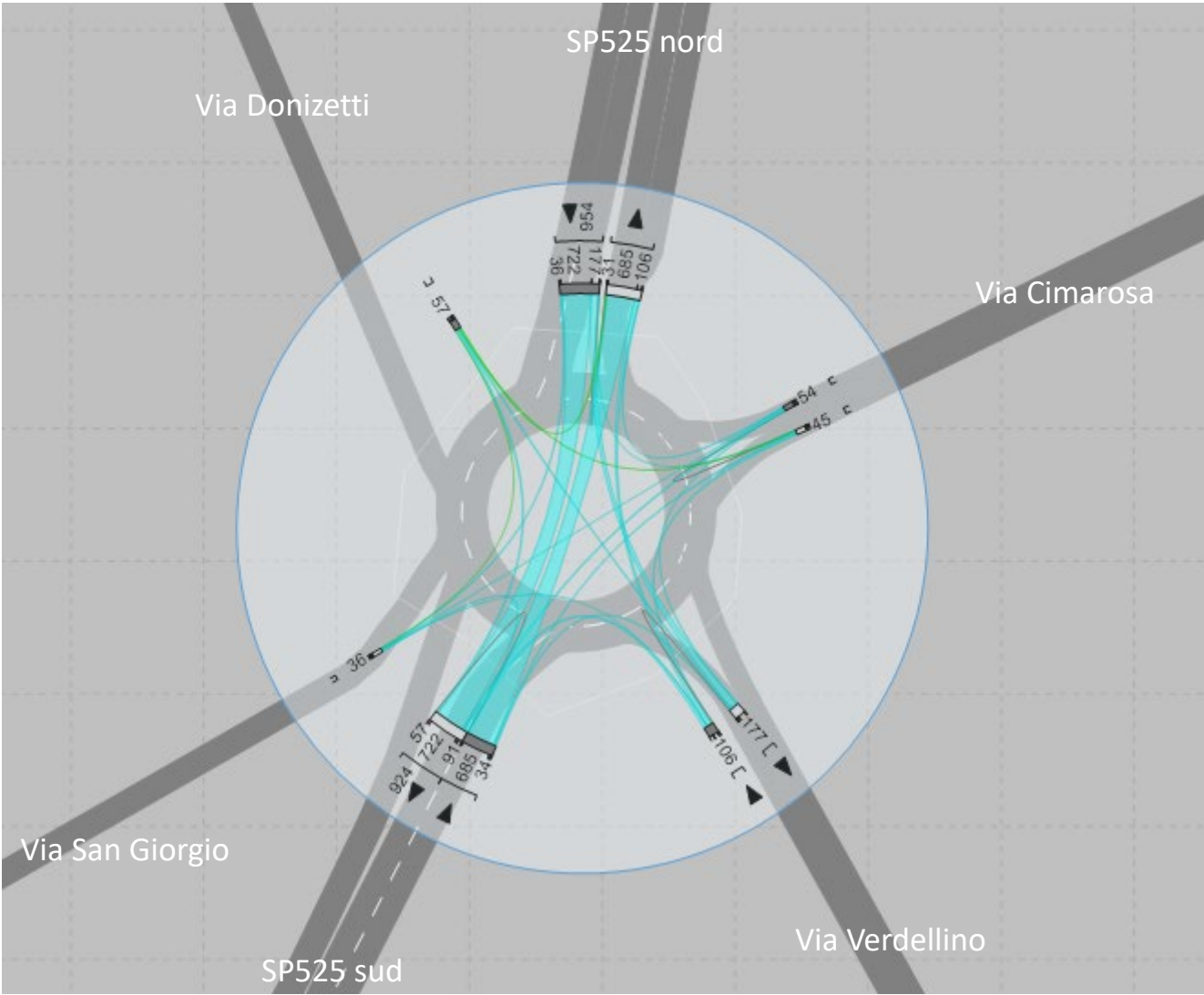
2222
(2154 leggeri equivalenti + 68 pesanti)



Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

02 Progetto2026

Le immagini e i grafici a lato si riferiscono allo Scenario con l’inserimento dell’E-BRT al 2026 senza la realizzazione del nuovo casello di Dalmine con i flussi dedotti dal modello di macrosimulazione su scala provinciale. L’incremento del volume orario è di poco più del 2% dei veicoli leggeri equivalenti. In questo scenario aumentano, rispetto alla situazione attuale, gli accodamenti agli approcci e la velocità media diminuisce di circa 2 km/h, attestandosi sui 30 km/h circa. Proprio l’inserimento del semaforo modifica l’andamento della velocità media che riscontra forti riduzioni all’attivazione del verde semaforico per l’E-BRT. Il ritardo medio all’intersezione peggiora fino ad arrivare a 9,3 secondi rimanendo al limite del LOS A.



Totale veicoli simulati HdP AM:

2274
(2206 leggeri equivalenti + 68 pesanti)

- LOS A
- LOS B
- LOS C
- LOS D
- LOS E
- LOS F

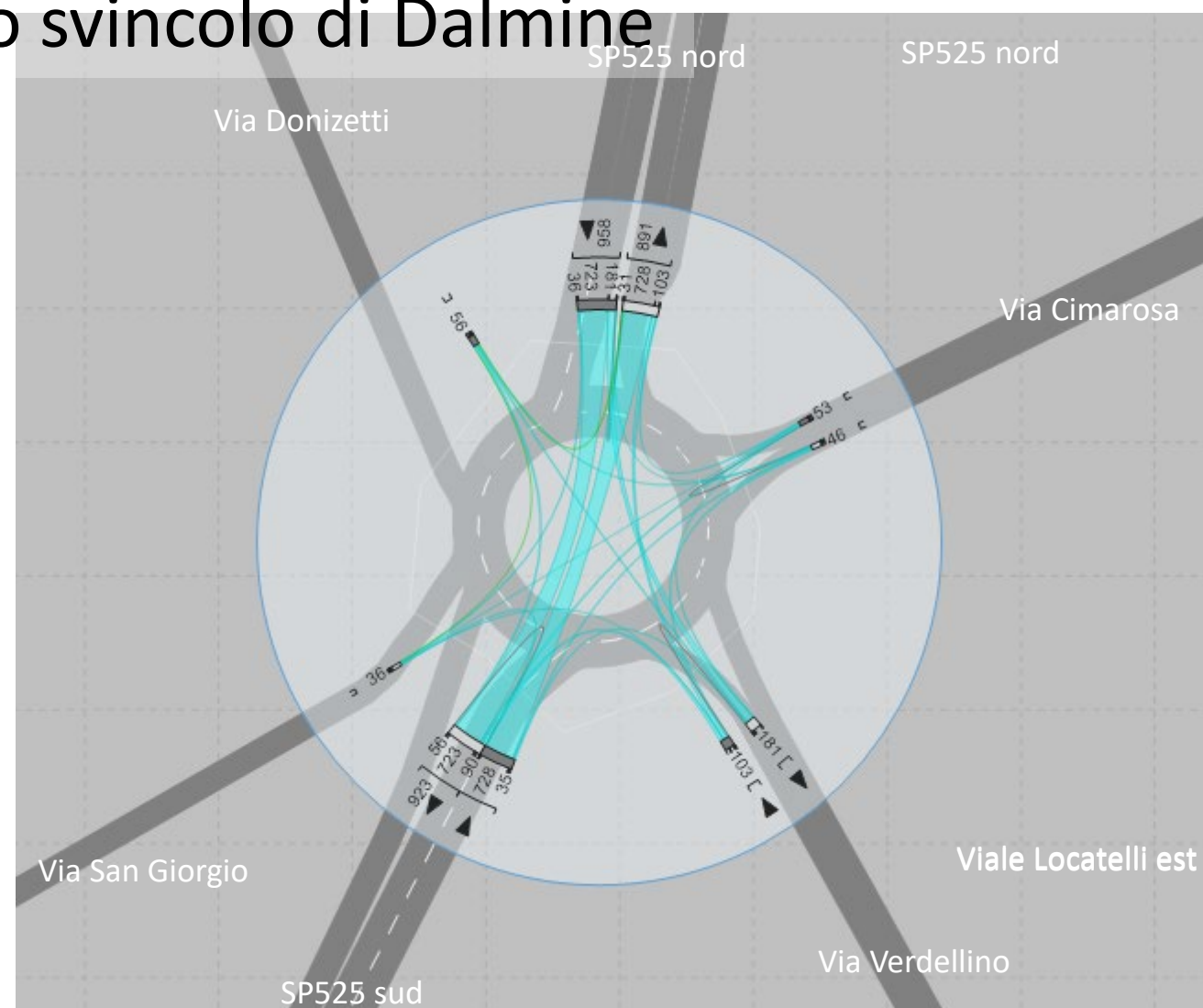


Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

03 Progetto 2026 con nuovo svincolo di Dalmine

Le immagini e i grafici a lato si riferiscono allo Scenario con l'inserimento dell'E-BRT al 2026 con la realizzazione del nuovo casello di Dalmine. Rispetto alla situazione attuale il volume orario dei veicoli leggeri aumenta di circa il 4,4%, mentre c'è una differenza quasi trascurabile con i valori dello scenario di progetto.

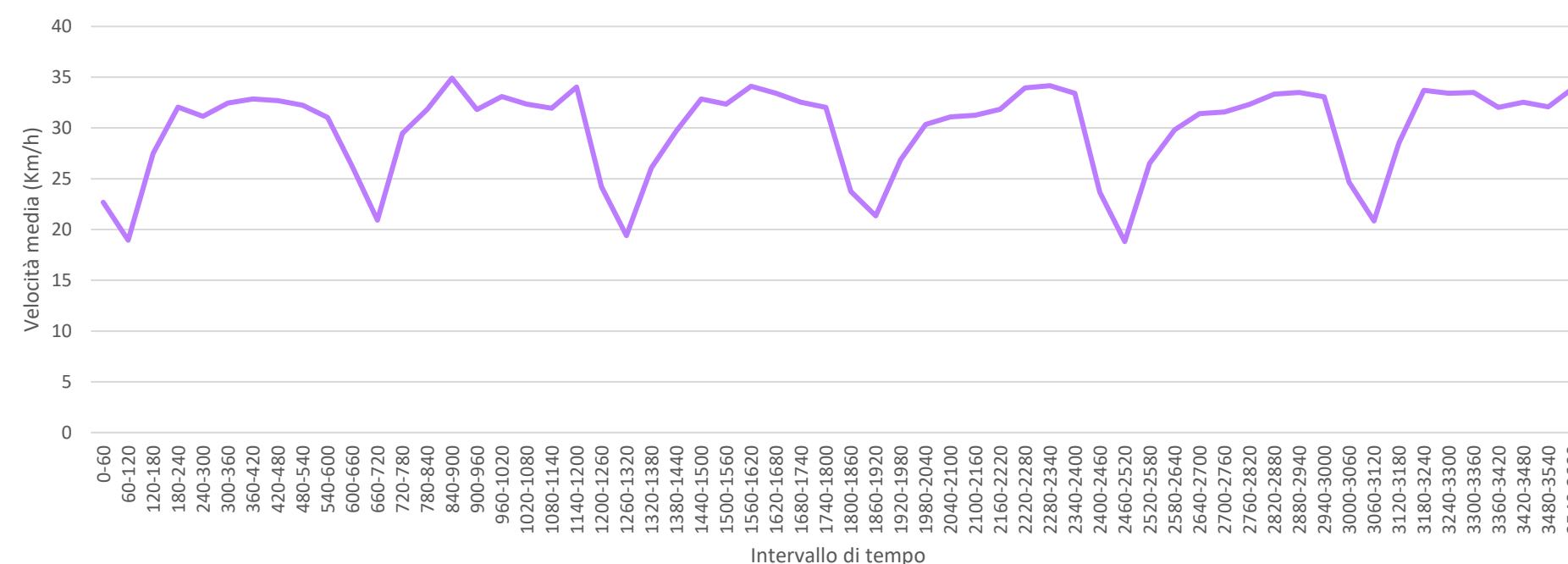
Le risultanze si presentano dunque analoghe allo scenario precedente, anche in questo caso, infatti, l'andamento delle velocità ha delle cadute in contemporanea all'attivazione della fase di verde per il passaggio dell'E-BRT, criticità che torna a stabilizzarsi dopo qualche minuto.



Totale veicoli simulati HdP AM:

2317
(2249 leggeri equivalenti + 68 pesanti)

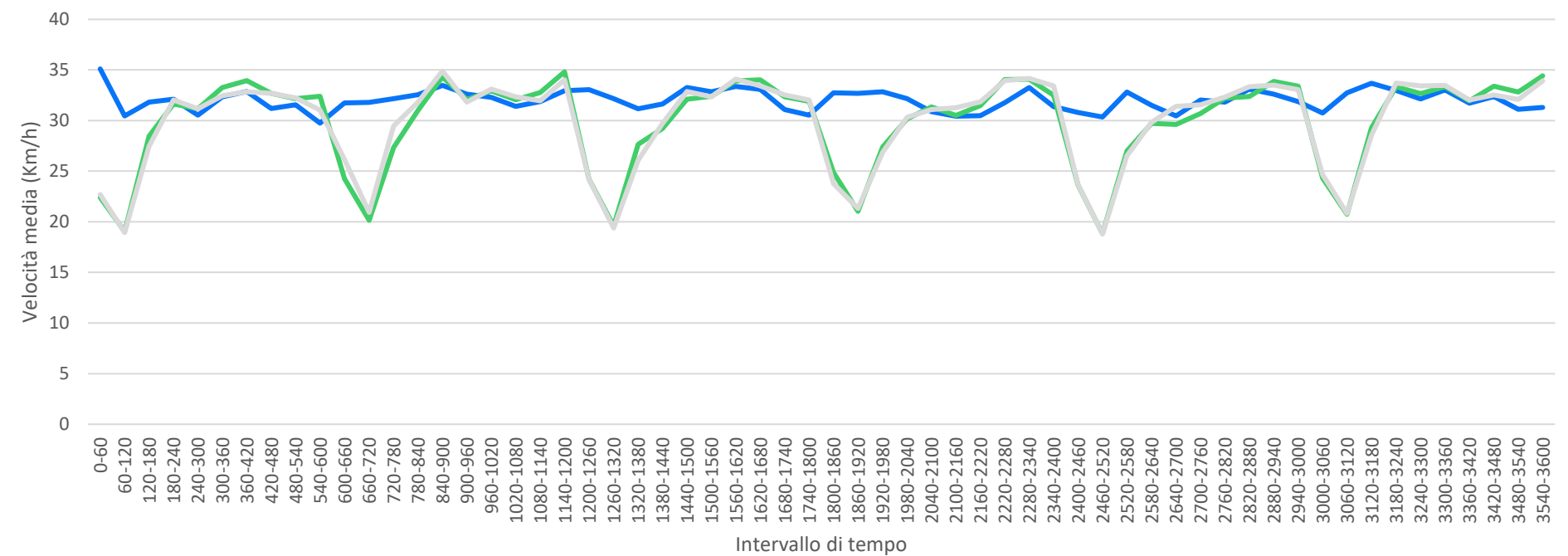
LOS A
LOS B
LOS C
LOS D
LOS E
LOS F



Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Velocità medie

Il grafico a lato mostra il confronto nell'andamento delle velocità per i diversi scenari simulati. Come anticipato, nei momenti in cui non c'è l'attivazione del semaforo per l'E-BRT, negli scenari di progetto, le velocità medie tendono ad allinearsi a quelle attuali e l'andamento rimane stabile tra una fase semaforica e l'altra, a testimonianza che la rete è in grado di gestire e assorbire (nel giro di 2-3 minuti) gli accodamenti agli approcci dovuti alla fase di stop durante il passaggio dell'E-BRT. Sotto si riportano le istantanee di simulazione dei diversi scenari simulati.



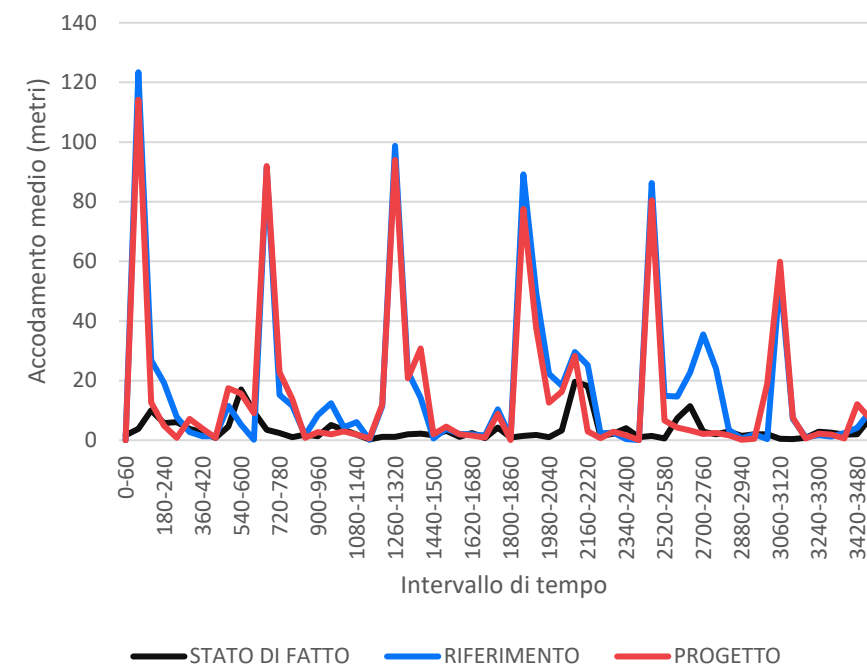
Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Accodamenti medi agli approcci

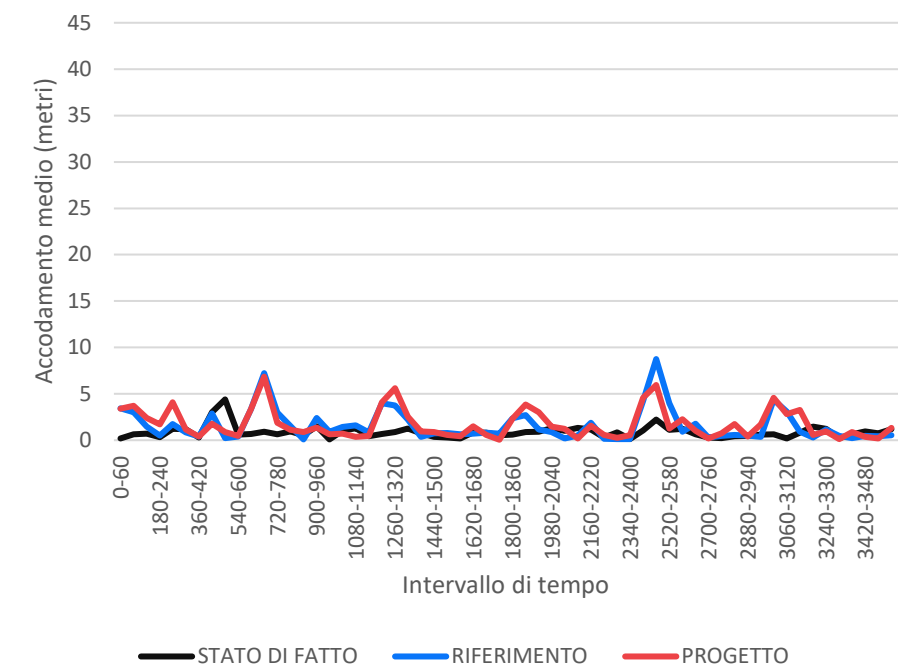
I grafici a lato mostrano l'andamento delle code medie nei diversi approcci in tutti gli scenari simulati. L'inserimento del semaforo crea accodamenti che prima erano praticamente inesistenti, ma le code rilevate si risolvono nel giro di qualche minuto e comunque prima dell'attivazione della successiva fase di rosso per i veicoli privati

N.B. La coda media mappata nei grafici a lato è la media delle code medie registrate ogni minuto in diverse simulazioni. In singole simulazioni si possono registrare accodamenti anche più elevati che però si risolvono in pochi minuti.

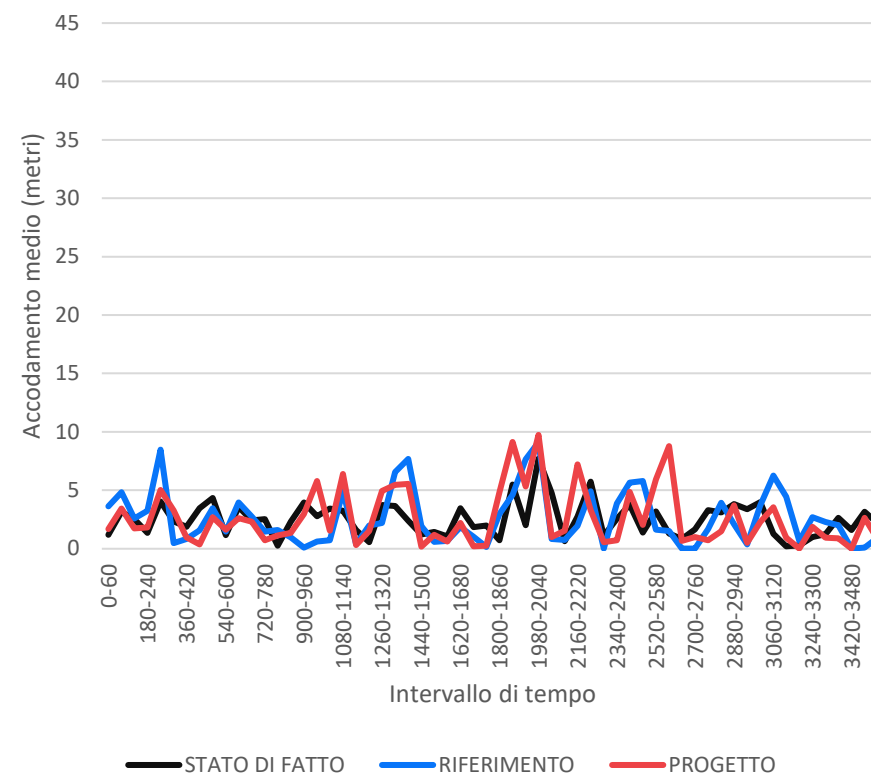
Approccio SP 525 nord



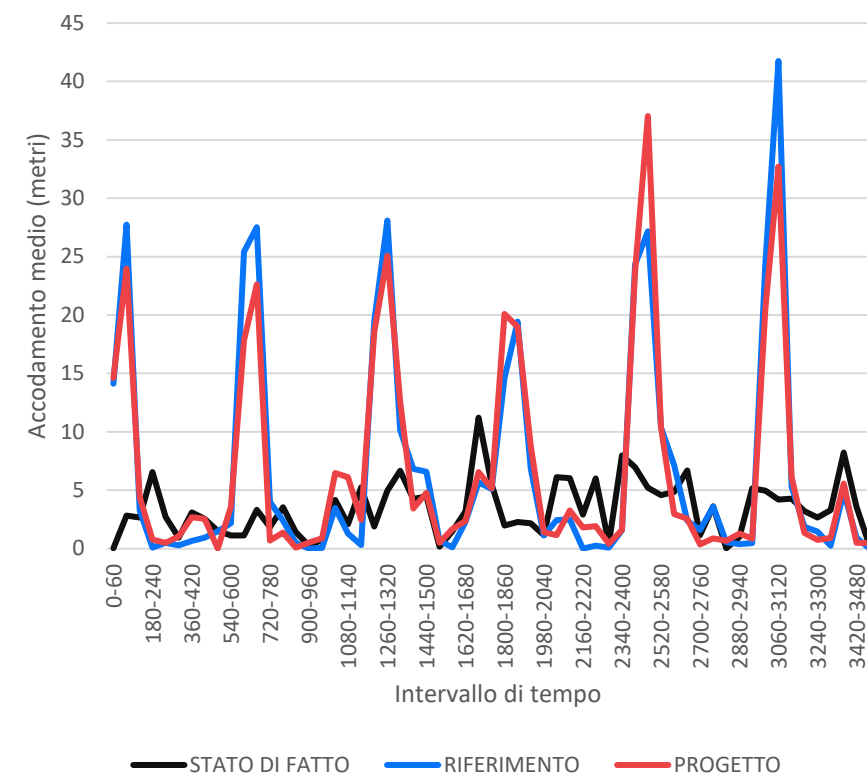
Approccio Via Cimarosa



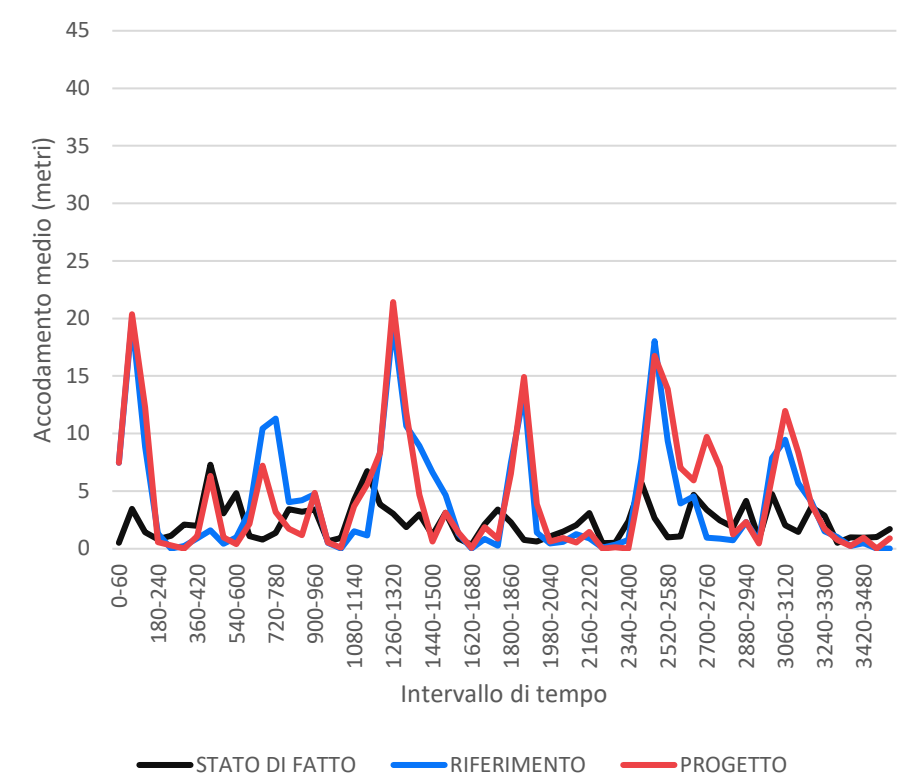
Approccio Via Donizetti



Approccio SP 525 sud



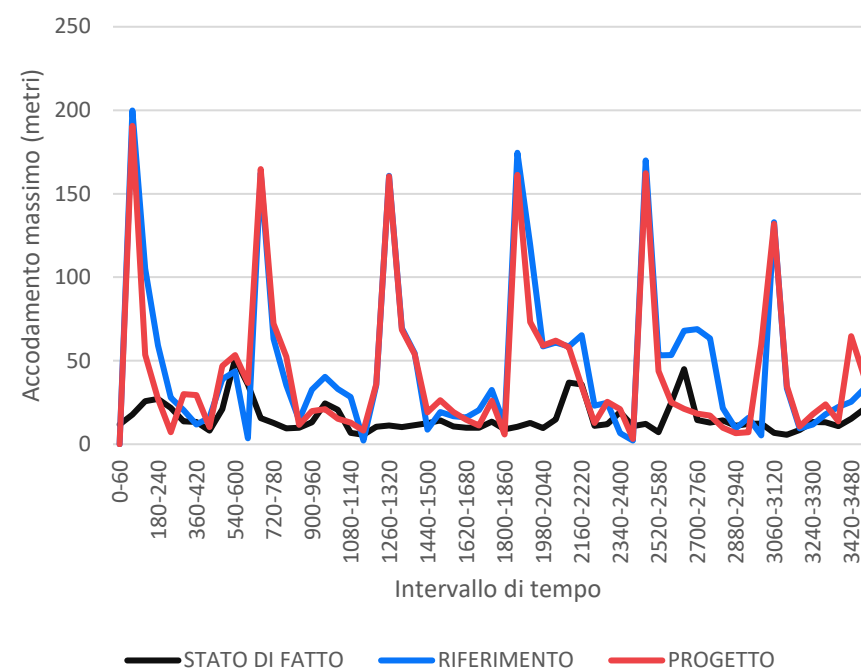
Approccio Via Verdellino



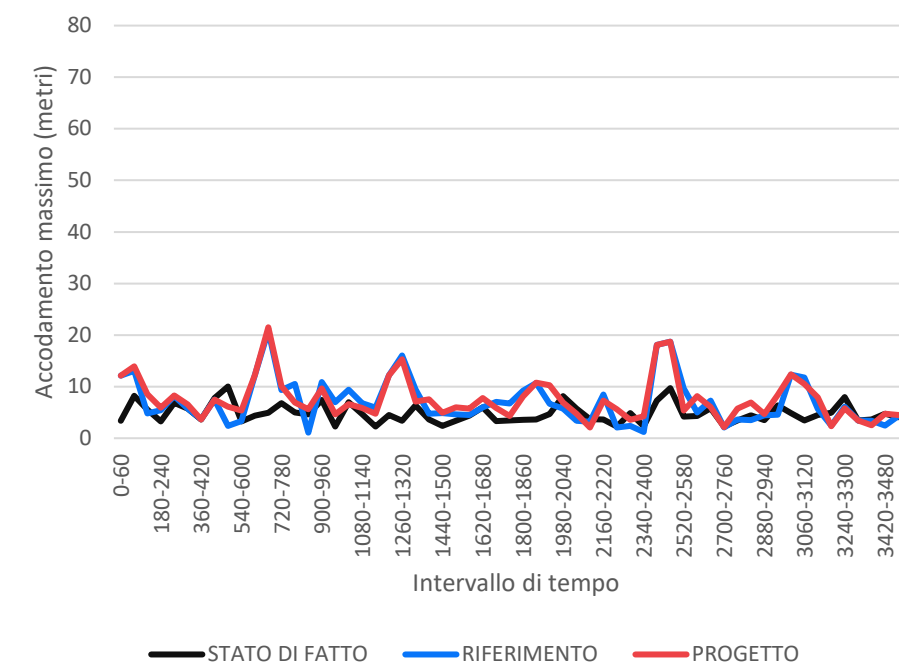
Confronto di Scenari – Accodamenti massimi agli approcci

I grafici a lato mostrano l'andamento delle code massime nei diversi approcci in tutti gli scenari simulati. Anche per gli accodamenti massimi vale quanto detto in precedenza. Come per l'andamento delle code medie, si conferma il maggiore impatto del semaforo lungo la SP525 sia in direzione nord che in direzione sud. La SP525 ha, infatti, il maggior numero di veicoli e quindi risente maggiormente dell'inserimento del semaforo. **N.B.** La coda massima mappata nei grafici a lato è la media delle code massime registrate ogni minuto in diverse simulazioni. In singole simulazioni si possono registrare accodamenti anche più elevati che però si risolvono in pochi minuti.

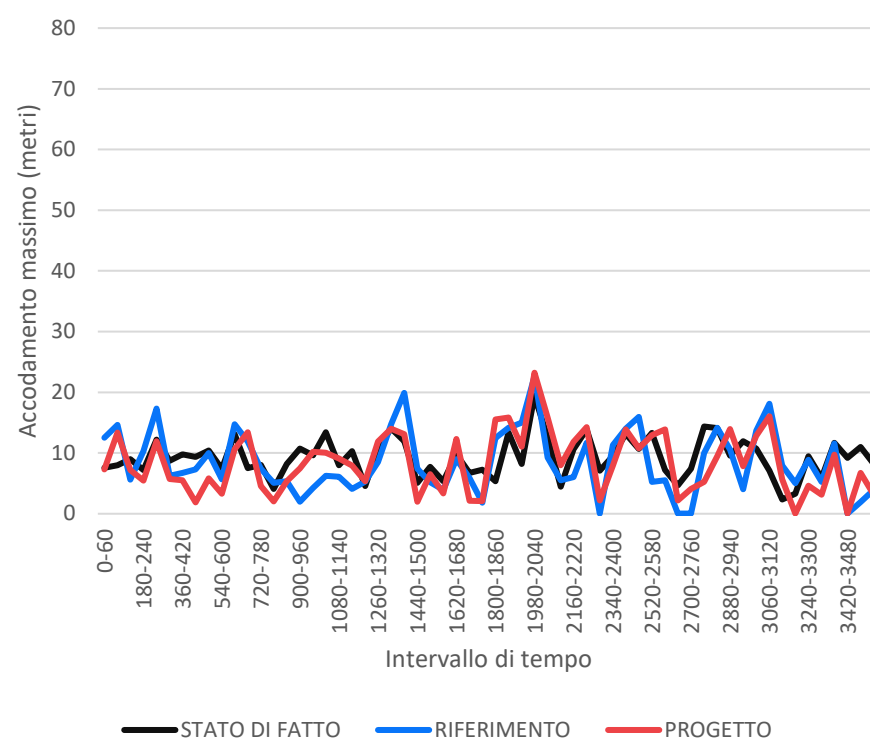
Approccio SP 525 nord



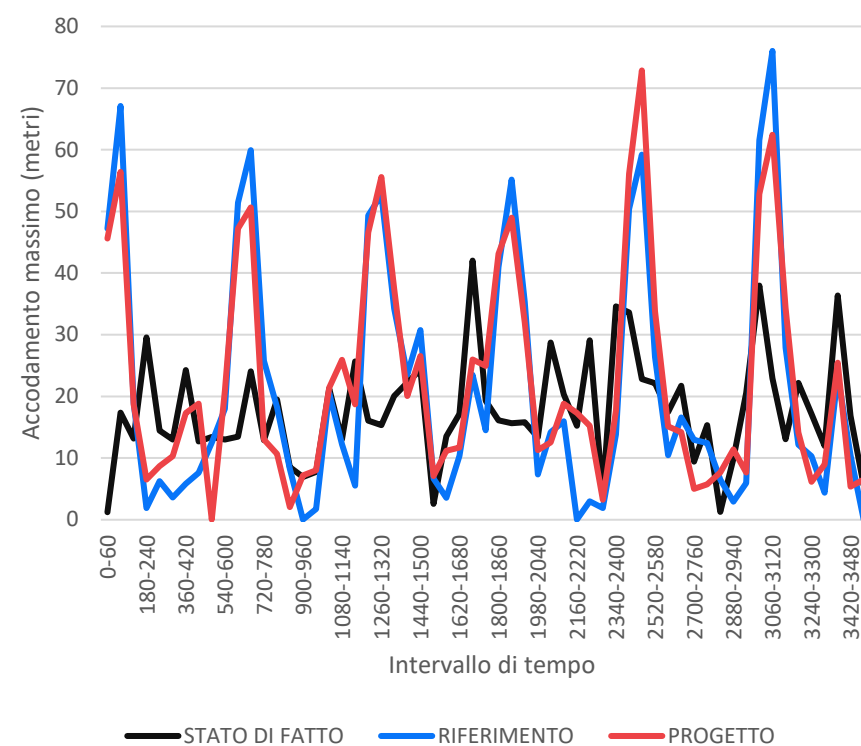
Approccio Via Cimarosa



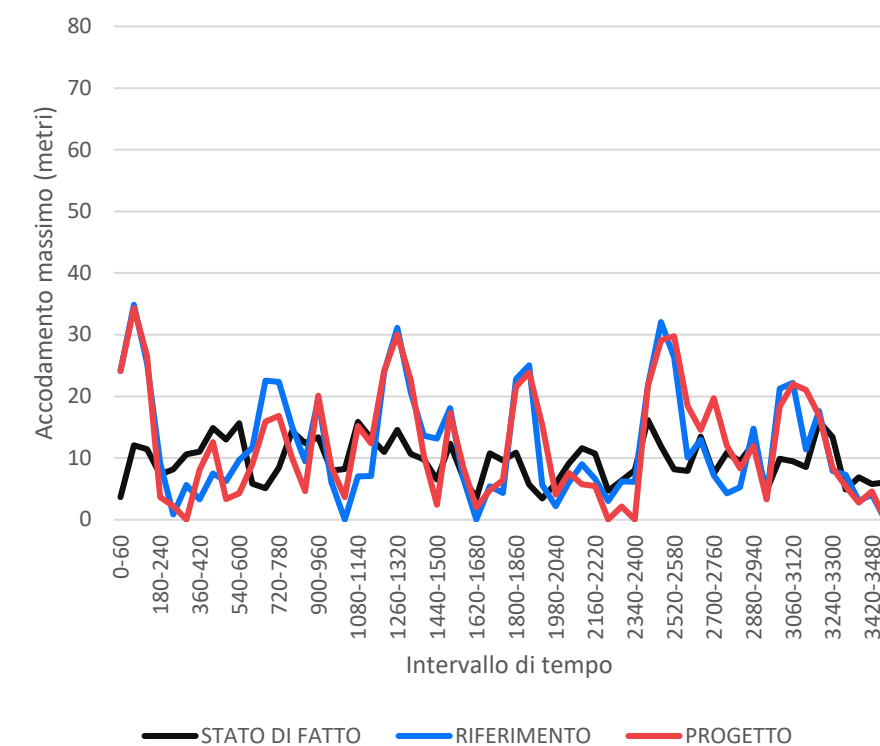
Approccio Via Donizetti



Approccio SP 525 sud



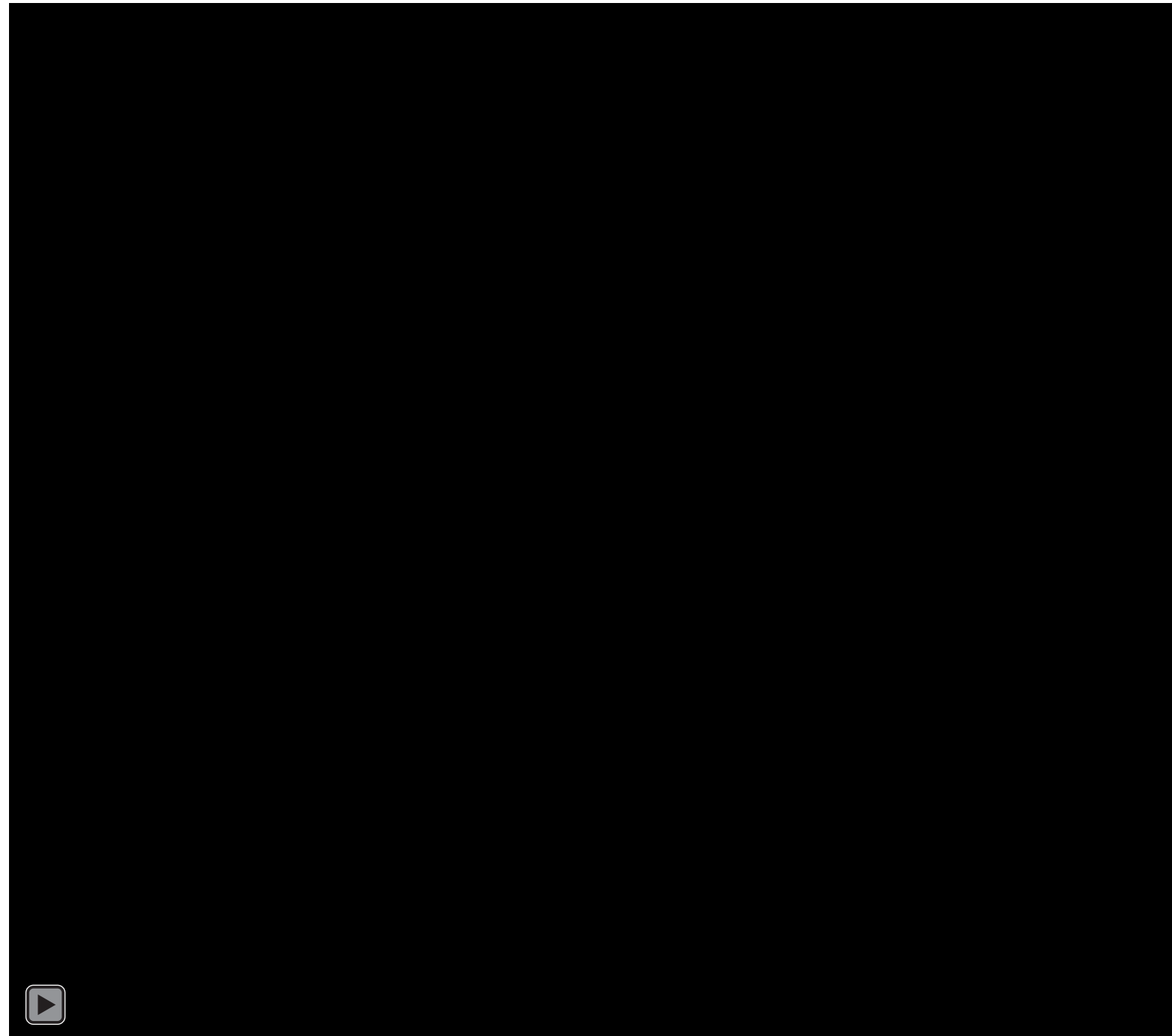
Approccio Via Verdellino



Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Video dello Scenario di Progetto 2026

Analisi Postazione 3



6·Valutazioni conclusive

Conclusioni

Nel presente studio si valuta la sostenibilità trasportistica di tre differenti nodi a rotatoria, siti nei comuni di Dalmine e Osio Sotto, nel momento in cui saranno interessati dall'attraversamento della futura linea di E-Brt in progetto.

Le analisi sono condotte in corrispondenza dell'ora di punta del mattino nell'ipotesi che il passaggio del BRT sia previsto ogni 10 minuti in entrambi le direzioni di viaggio. I dati di domanda sono stati raccolti tramite una apposita campagna di rilievo veicolare condotta a Gennaio 2022 in corrispondenza delle tre intersezioni. Le variazioni di domanda ai nodi, attese per l'orizzonte veicolare 2026, anno in cui si prevede l'attivazione della linea, sono state stimate interrogando la piattaforma di macrosimulazione multimodale di traffico utilizzata per lo studio di fattibilità della linea.

Le rotatorie presentano configurazioni geometriche differenti; per ciascuna di esse dunque si propongono soluzioni differenti per minimizzare l'impatto indotto dal transito dei veicoli di E-Brt.

Si presentano dunque le risultanze modellistiche mettendo a confronto gli scenari di progetto con gli scenari che riproducono le condizioni di traffico attuali (scenario stato di fatto).

Per ogni modello di simulazione si riportano i dati di input ed in particolare la matrice OD del nodo e i cicli semaforici utilizzati, mentre come risultanze

modellistiche il ritardo medio e dunque il livello di servizio dei rami e dell'intersezione, la lunghezza degli accodamenti medi e massimi e l'andamento, nell'ora di simulazione, della velocità media di percorrenza.

I nodi vengono analizzati singolarmente dunque non si valutano eventuali rallentamenti del traffico veicolare a valle o a monte degli stessi che potrebbero avere effetto sullo scorrimento veicolare al nodo.

Nei tre nodi analizzati le analisi dimostrano la sostenibilità dell'intervento. Gli indici trasportistici non evidenziano criticità significative. La presenza degli impianti semaforici produce temporanei accodamenti che si risolvono nel tempo di qualche minuto. Le code maggiori si registrano nella rotatoria di Osio Sotto dove si ritiene di aver comunque considerato un ciclo semaforico molto cautelativo che blocca i veicoli su tutti i rami della rotatoria al passaggio del BRT. Eventuali scenari di ottimizzazione dell'impianto potranno dunque essere valutati, in fase di progettazione più avanzata, nell'ottica di ridurre le code lungo la SP525.

In generale lo strumento di simulazione evidenzia come negli scenari di progetto si registrino condizioni di circolazione paragonabili a quelle attualmente riscontrate sul territorio, dando evidenza della sostenibilità trasportistica dell'intervento di semaforizzazione dei nodi.

7·Linea E-Brt e linee di adduzione

© 2021 Systematica Srl

All mobility studies presented in this document are developed by Systematica Srl. All rights reserved. Unauthorised use is prohibited.

Systematica Srl
Via Lovanio 8
20121 Milan
+39 02 62 31 19 1
www.systematica.net
milano@systematica.net