

Marzo 2022

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 microsimulativa e aggiornamento cartografico



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

Systematica

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 geometrico 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.

Indice dei contenuti

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

1·Quadro diagnostico

1a·Campagna di indagine veicolare

Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

Campagna di indagine veicolare

Inquadramento e analisi dei dati

Quadro diagnostico

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

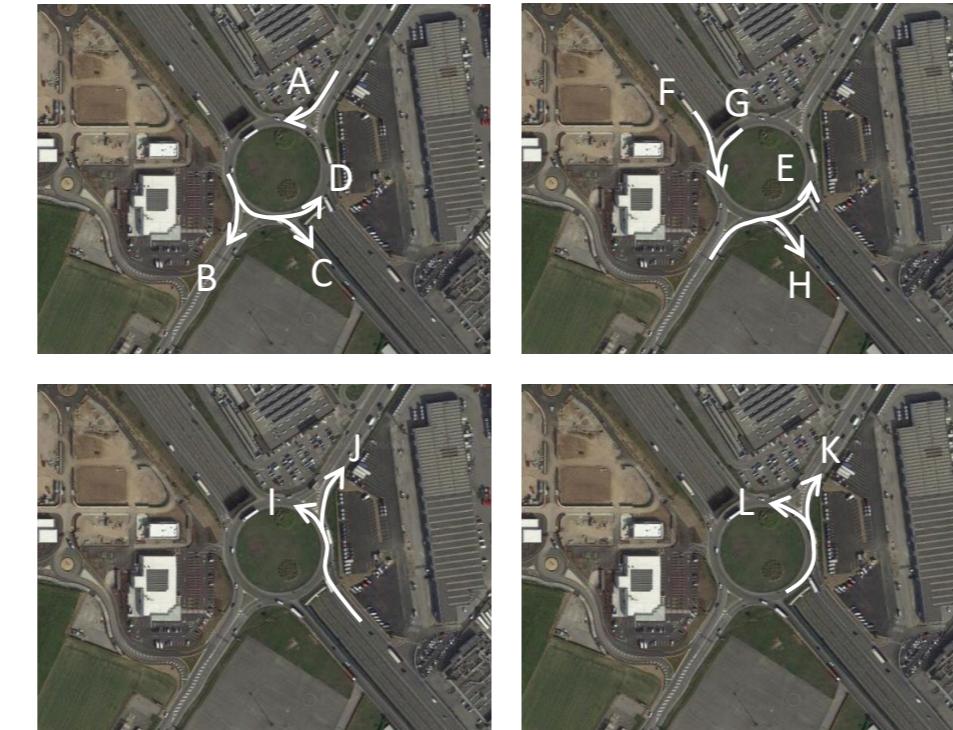
I conteggi effettuati il 27 gennaio hanno permesso di ricostruire la matrice del nodo nell'ora di picco della mattina, tra le 07:30 e le 08:30.

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.

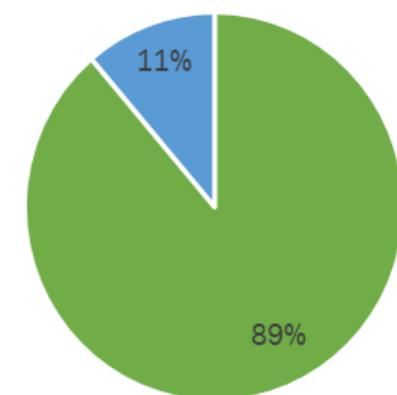


Diametro interno rotatoria: 80 metri



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

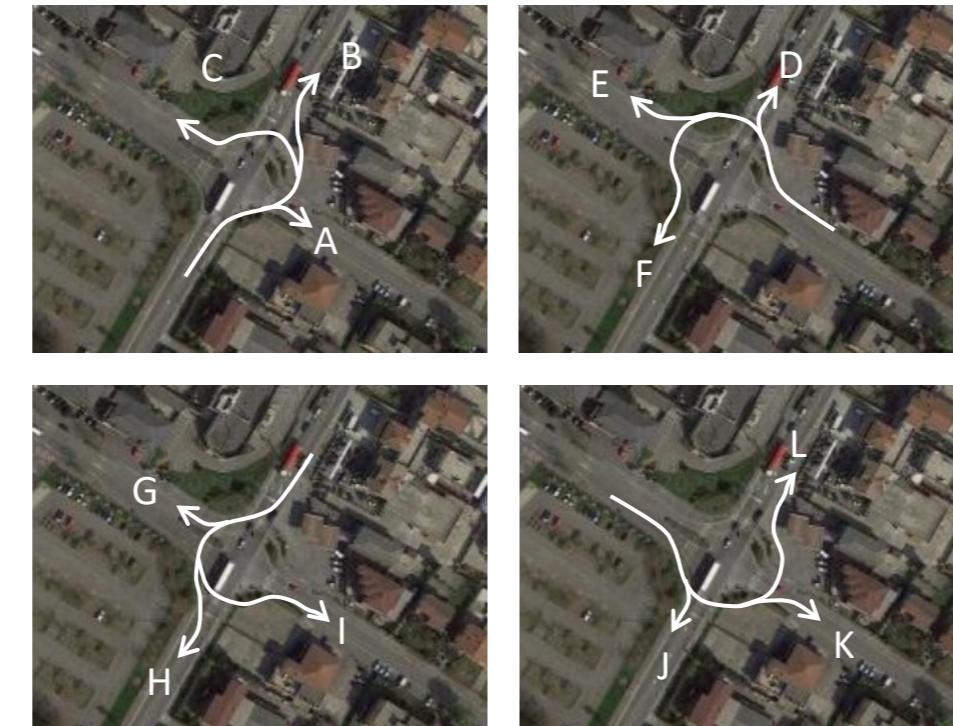
Postazione 2: SP525 – Via Locatelli

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 transito maggiore si verifica lungo la SP525 mentre la via Locatelli presenta valori di flusso nettamente inferiori.

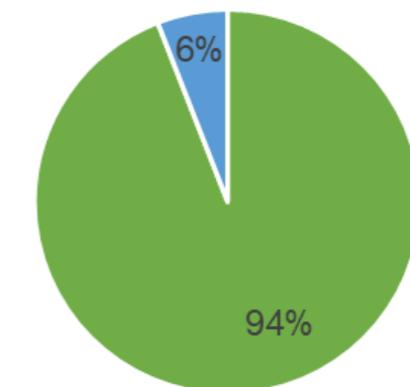


Diametro interno rotatoria: 24 metri



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



■ Leggeri equivalenti ■ Pesanti

□ Systematica

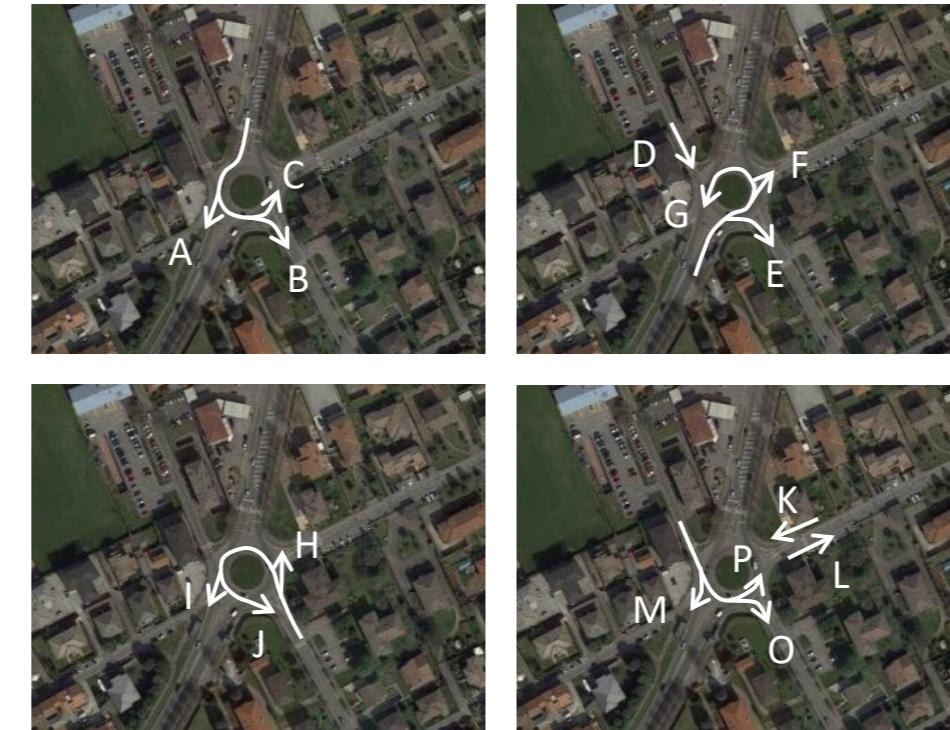
Campagna di indagine veicolare

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 pressoché uniformi.

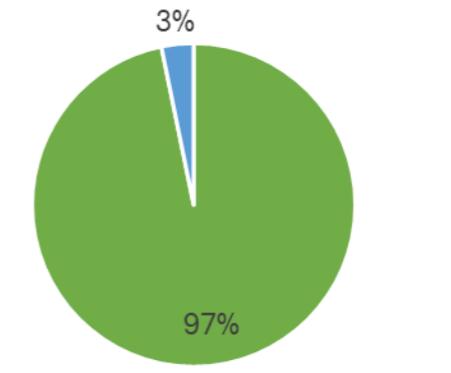


Diametro interno rotatoria: 22 metri



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



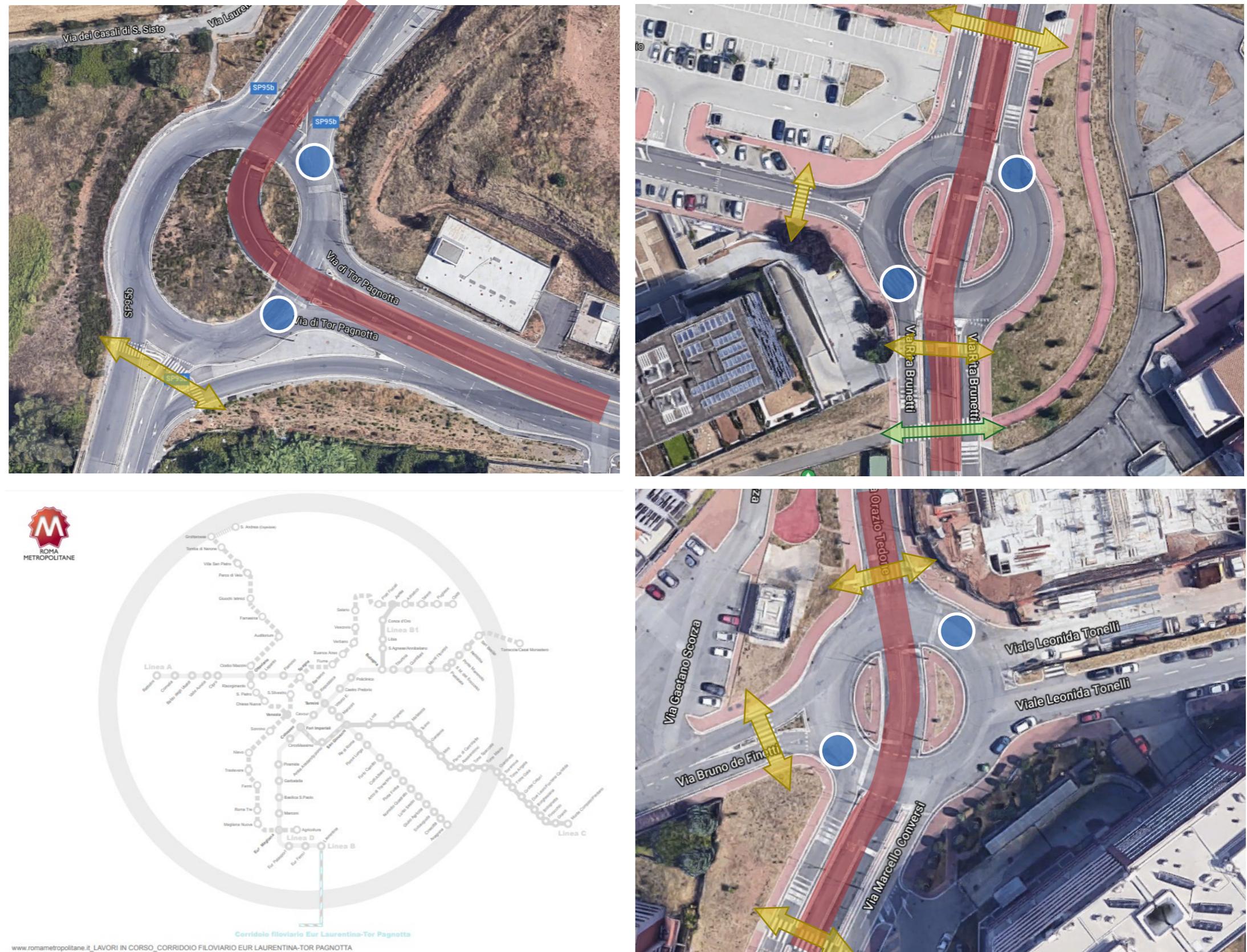
□ Systematica

2·Benchmark

rotatorie attraversate da linee TPL

Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

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

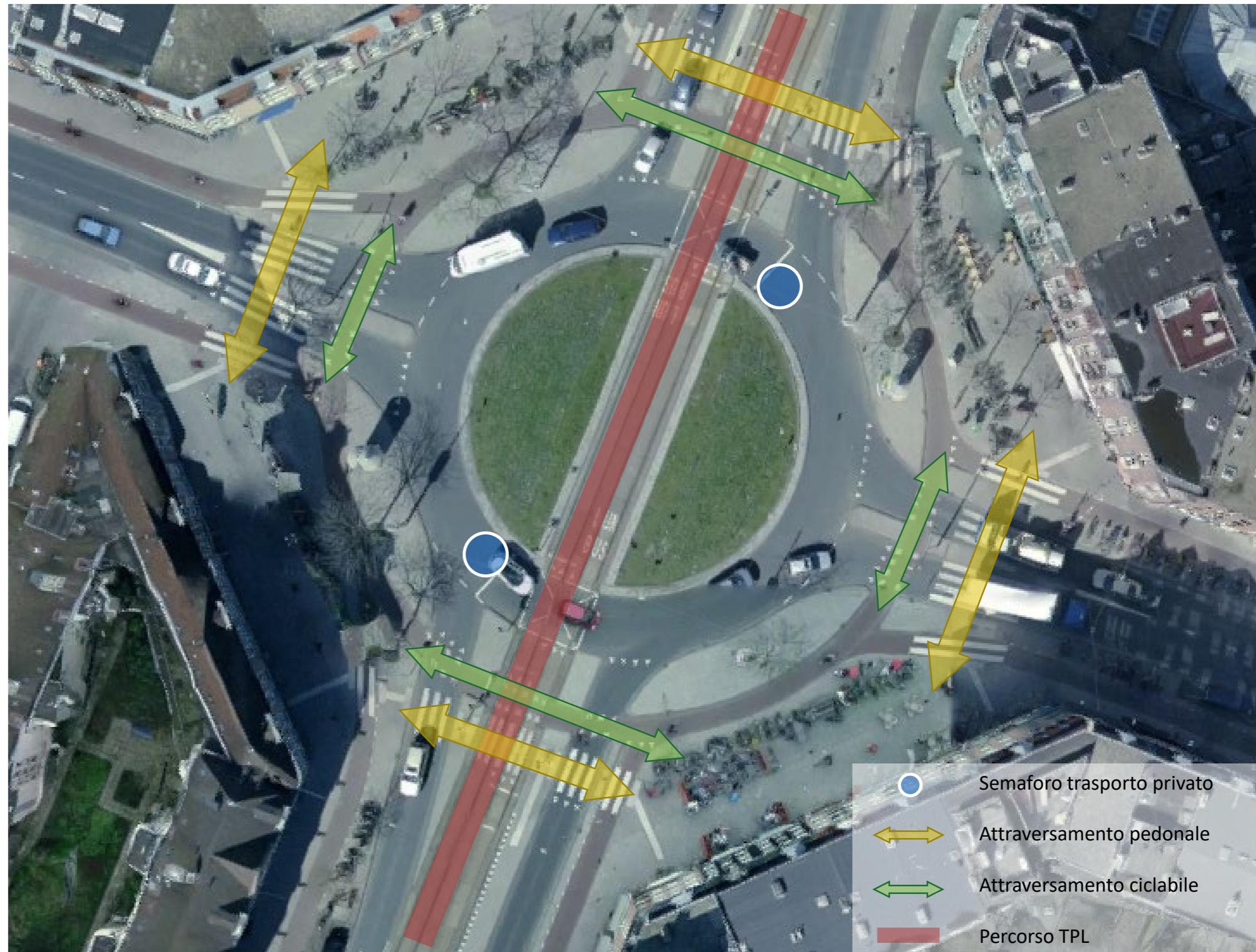
Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

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

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



Rotatoria Imienia Tadeusza Mazowieckiego – Danzica (Polonia)



Esempi di rotatorie attraversate da linee TPL

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)



3·Analisi microsimulativa rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Systematica

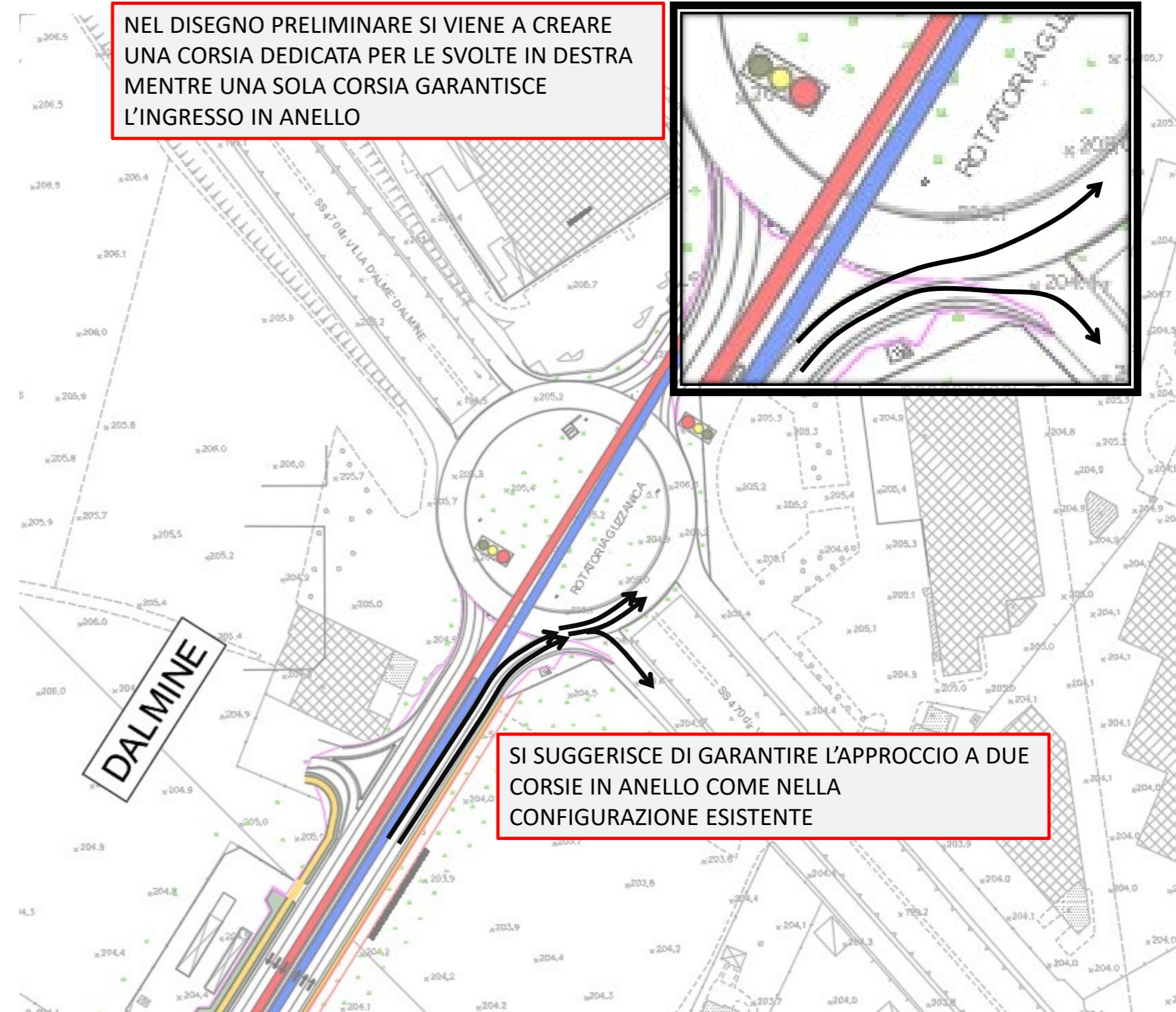
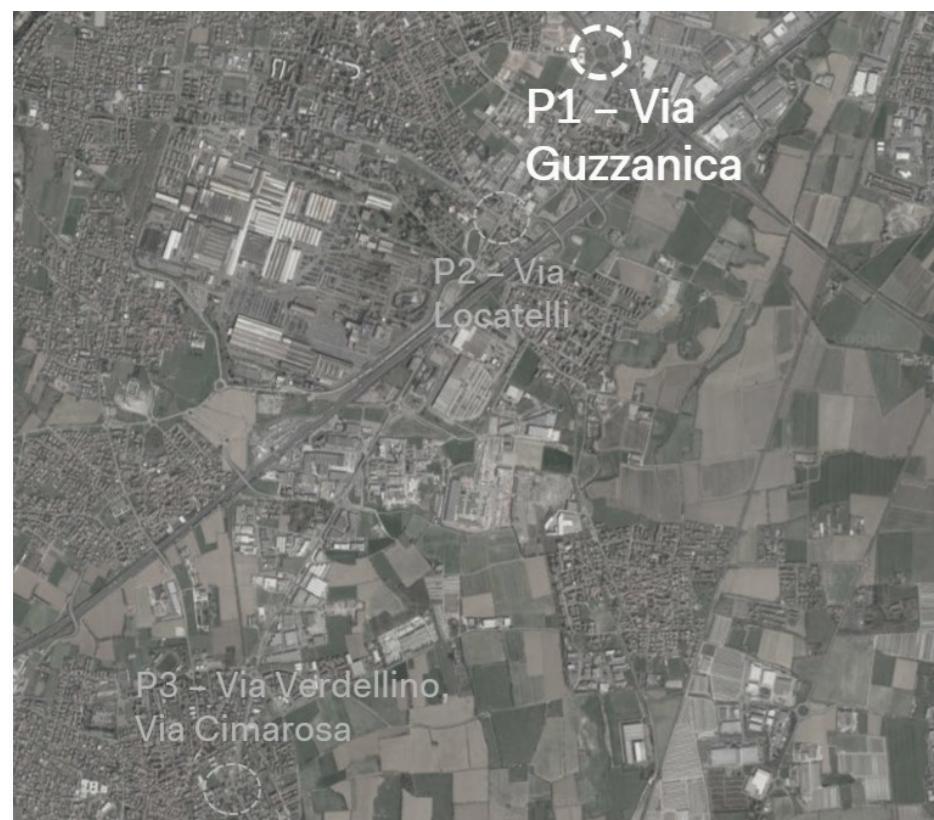
E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Scenari simulati

Analisi Postazione 1

A lato si riporta una immagine estratta dalla planimetria di progetto in corrispondenza della rotatoria di via Guzzanica a Dalmine. La linea 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.).



□ Systematica

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Analisi Postazione 1

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

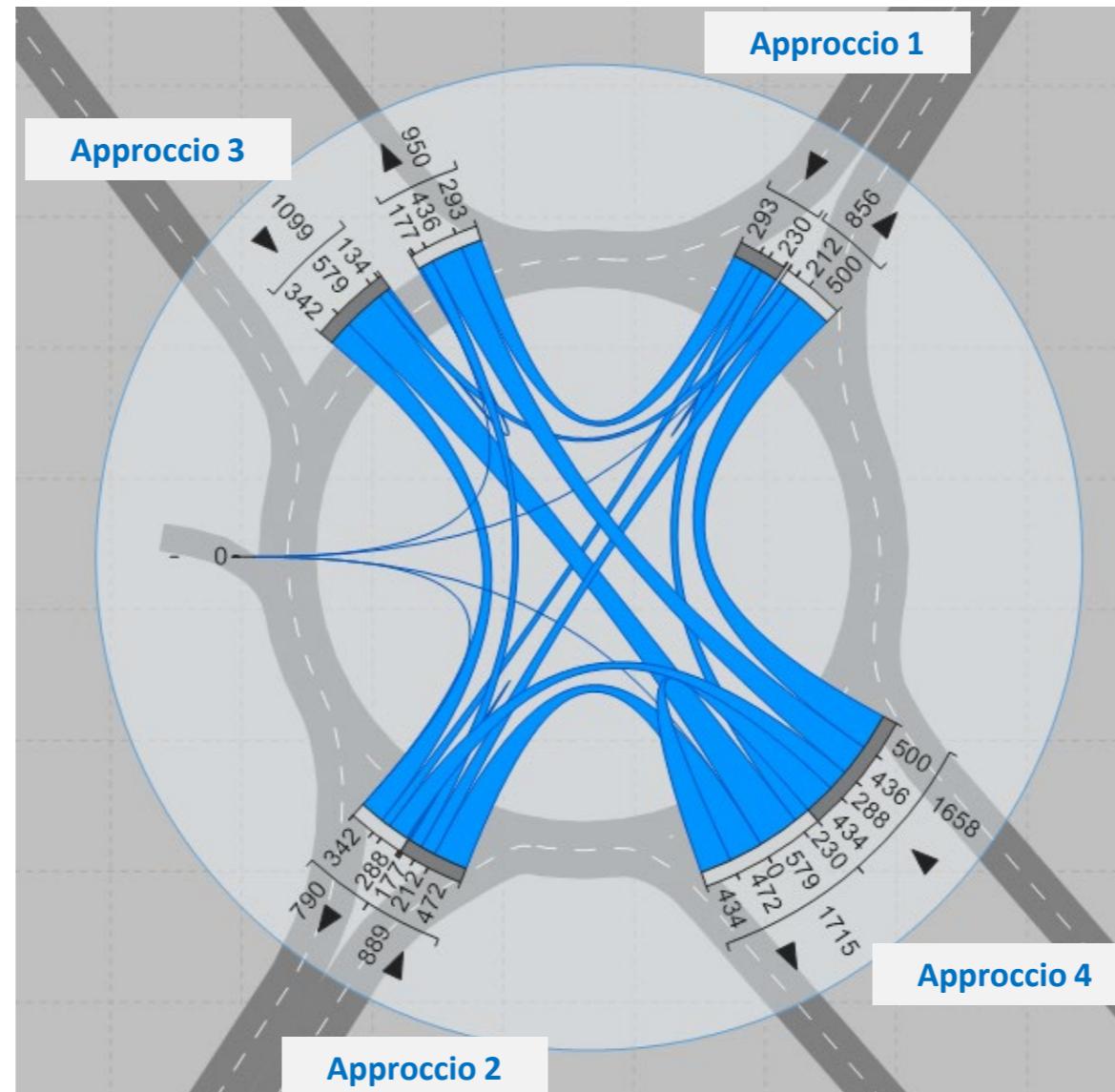
01 -Scenario Stato di Fatto

Analisi Postazione 1

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.



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

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

□ Systematica

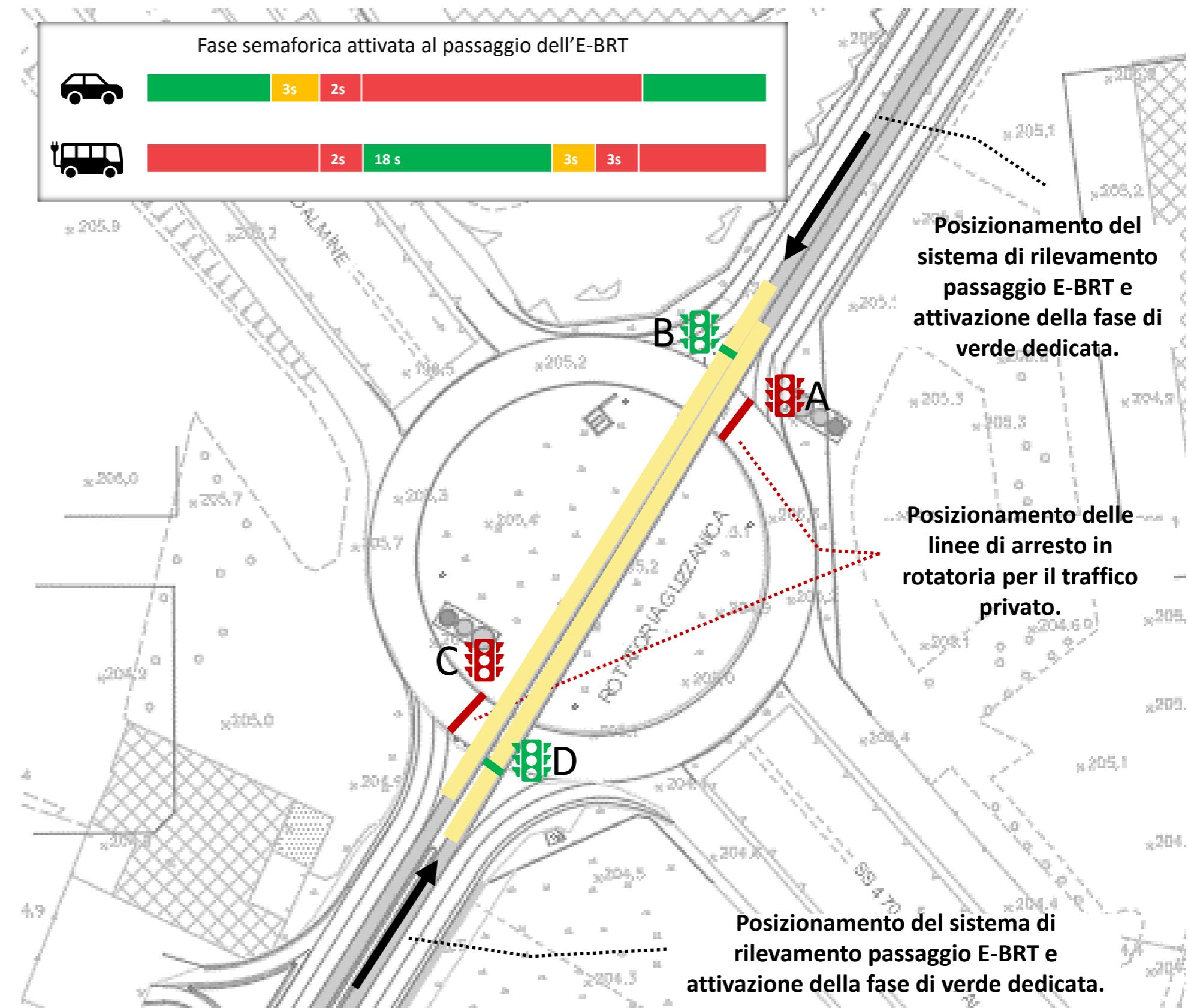
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

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'.

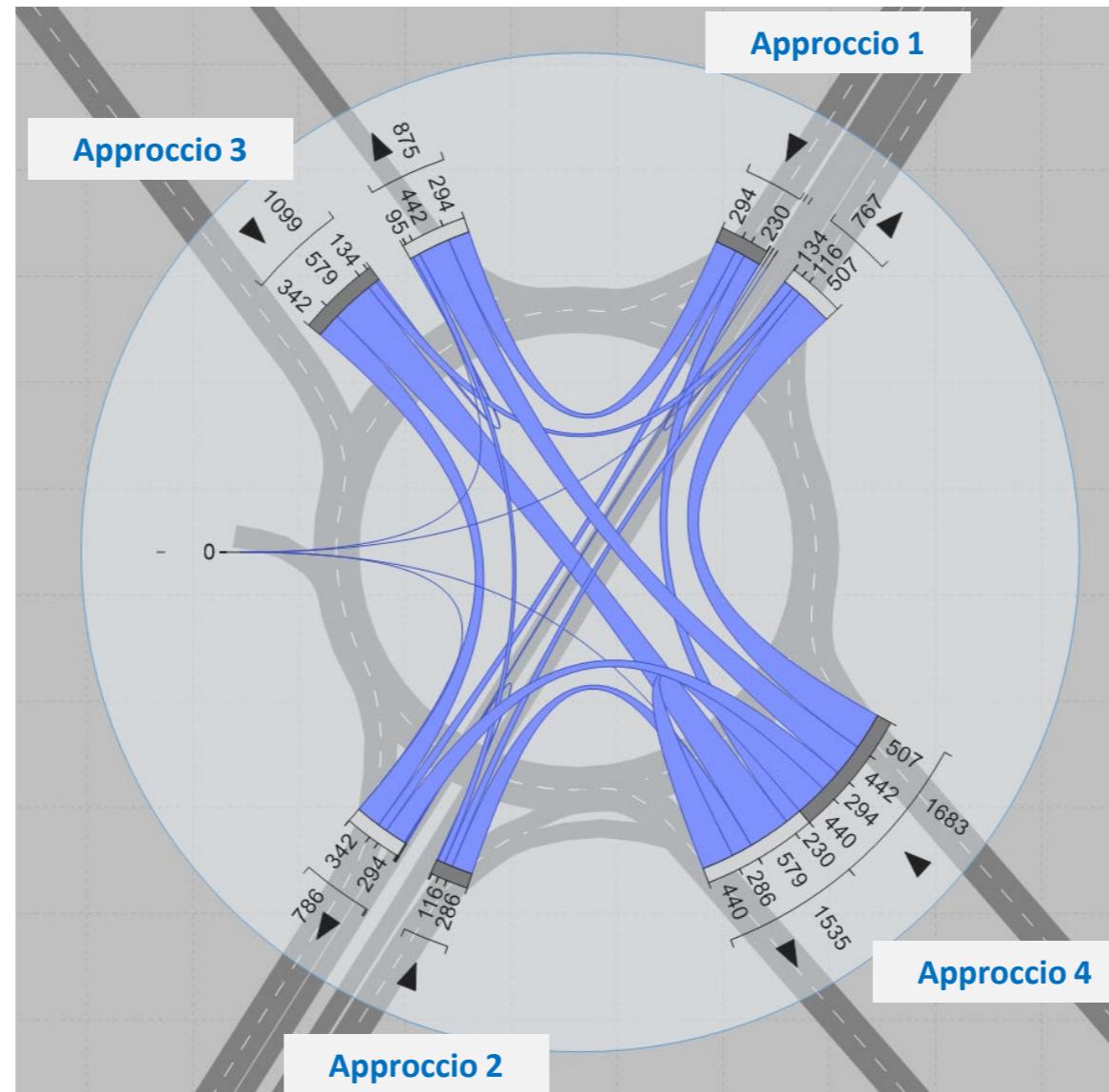


Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

1 -Scenario Do Nothing

Analisi Postazione 1

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.



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

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

□ Systematica

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

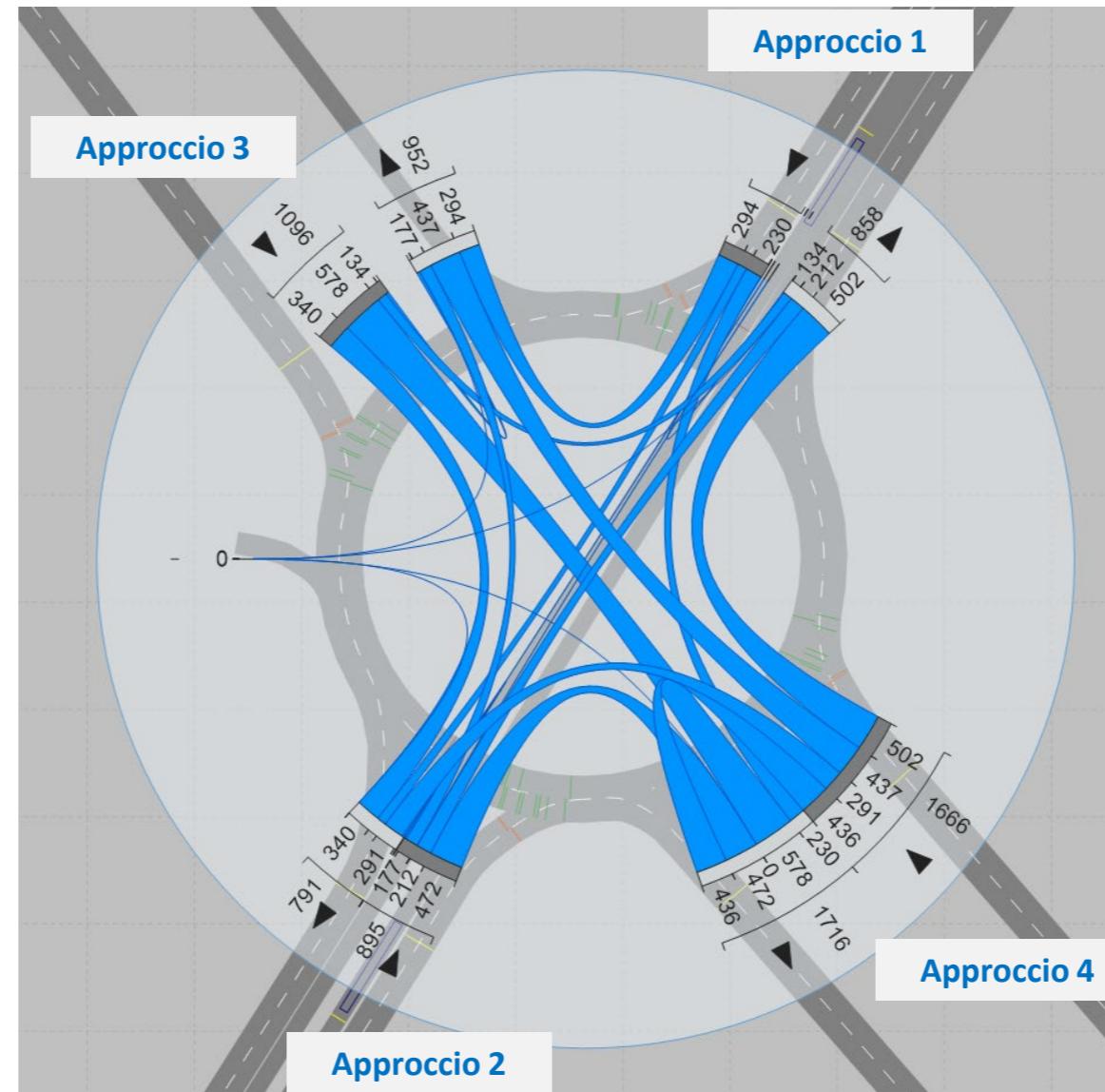
3 - Scenario Do Nothing Ottimizzato

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 delle 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 perché durante il verde della fase semaforica per il BRT i veicoli possono approcciare la rotatoria senza dare la precedenza. Questo aiuta anche le performances globali del nodo.

Questa configuazione infrastrutturale 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

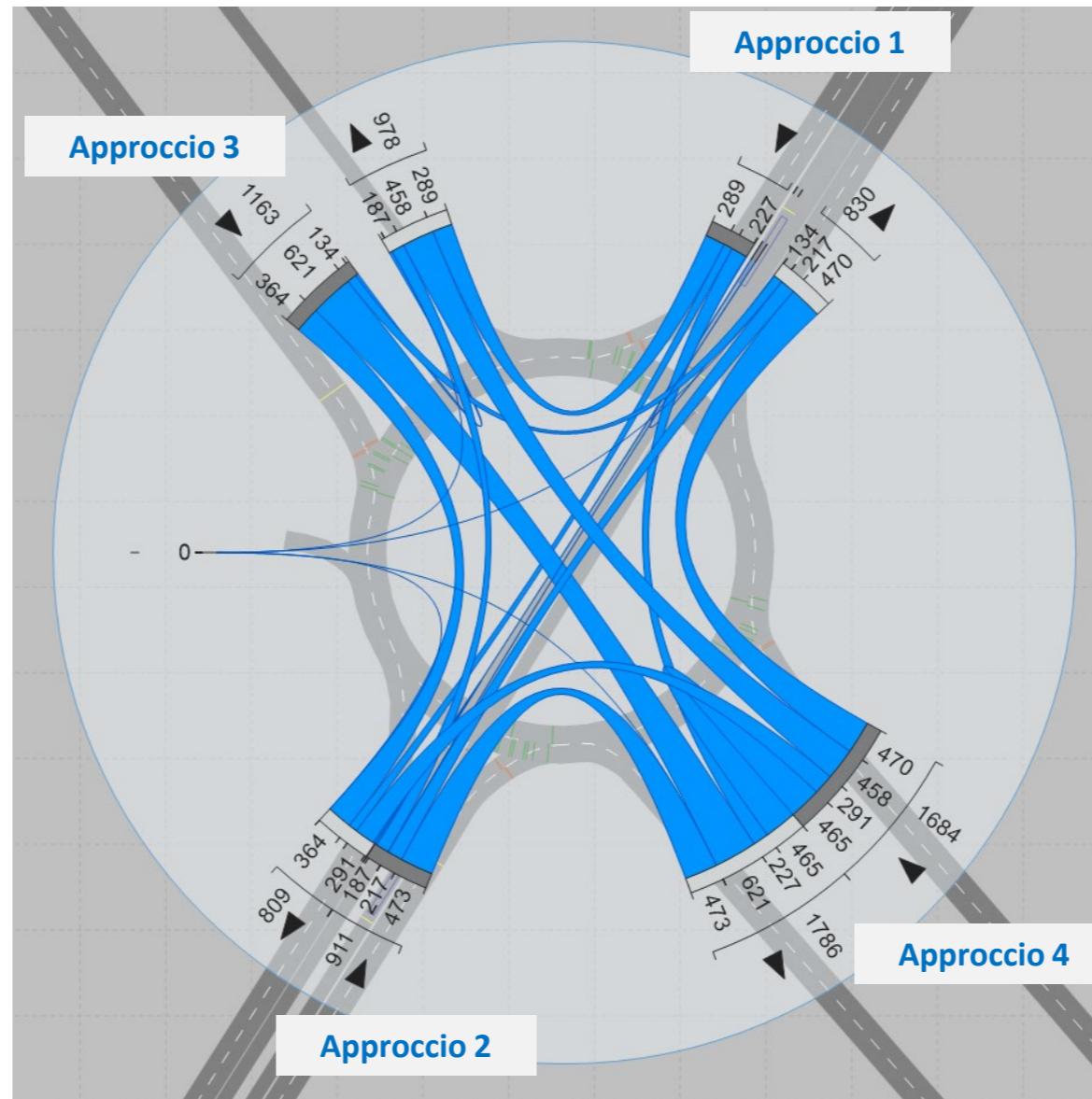
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

4 - Scenario di Progetto al 2026

Analisi Postazione 1

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.



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

Totale veicoli simulati
HdP AM:
4459
(3945 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

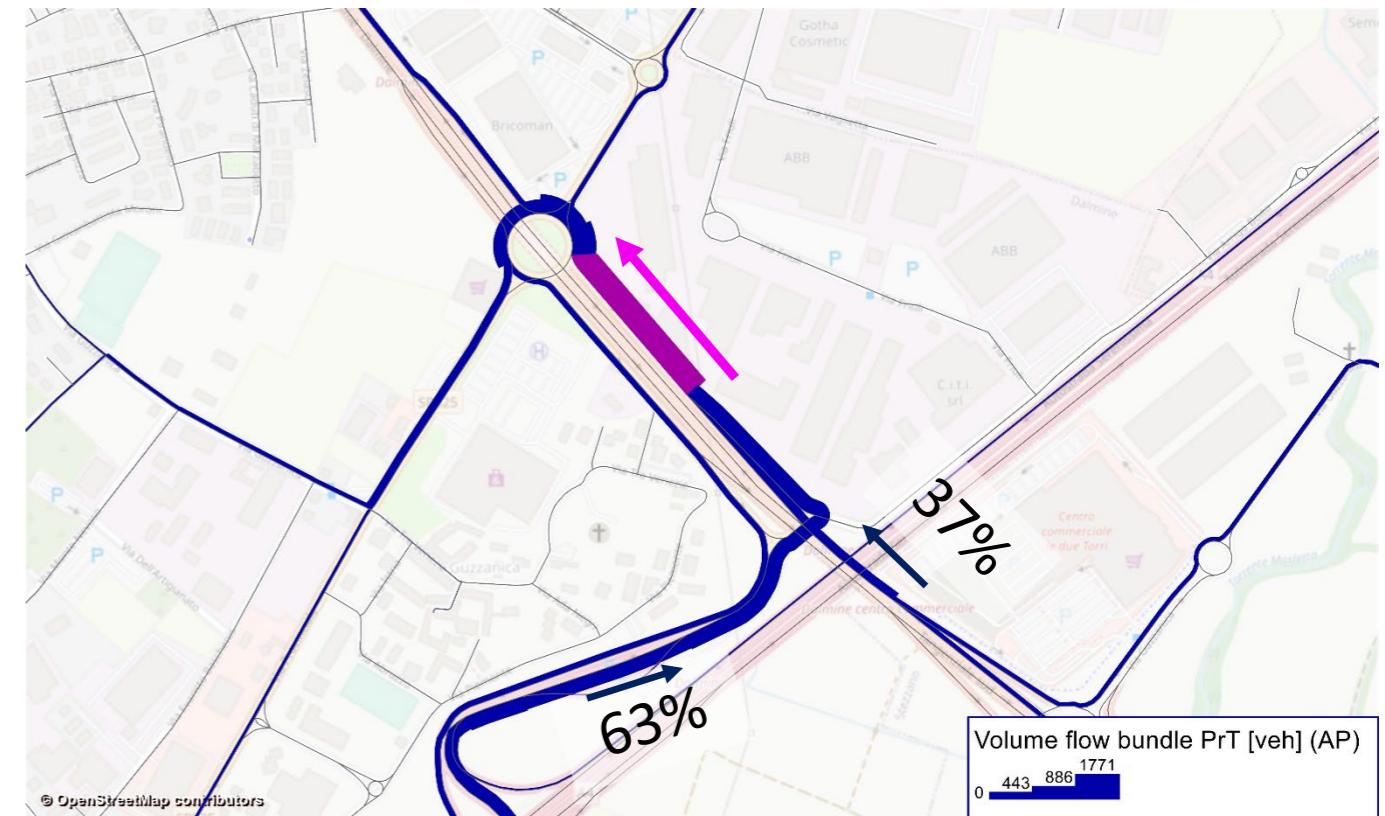
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

4 - Scenario di Progetto al 2026

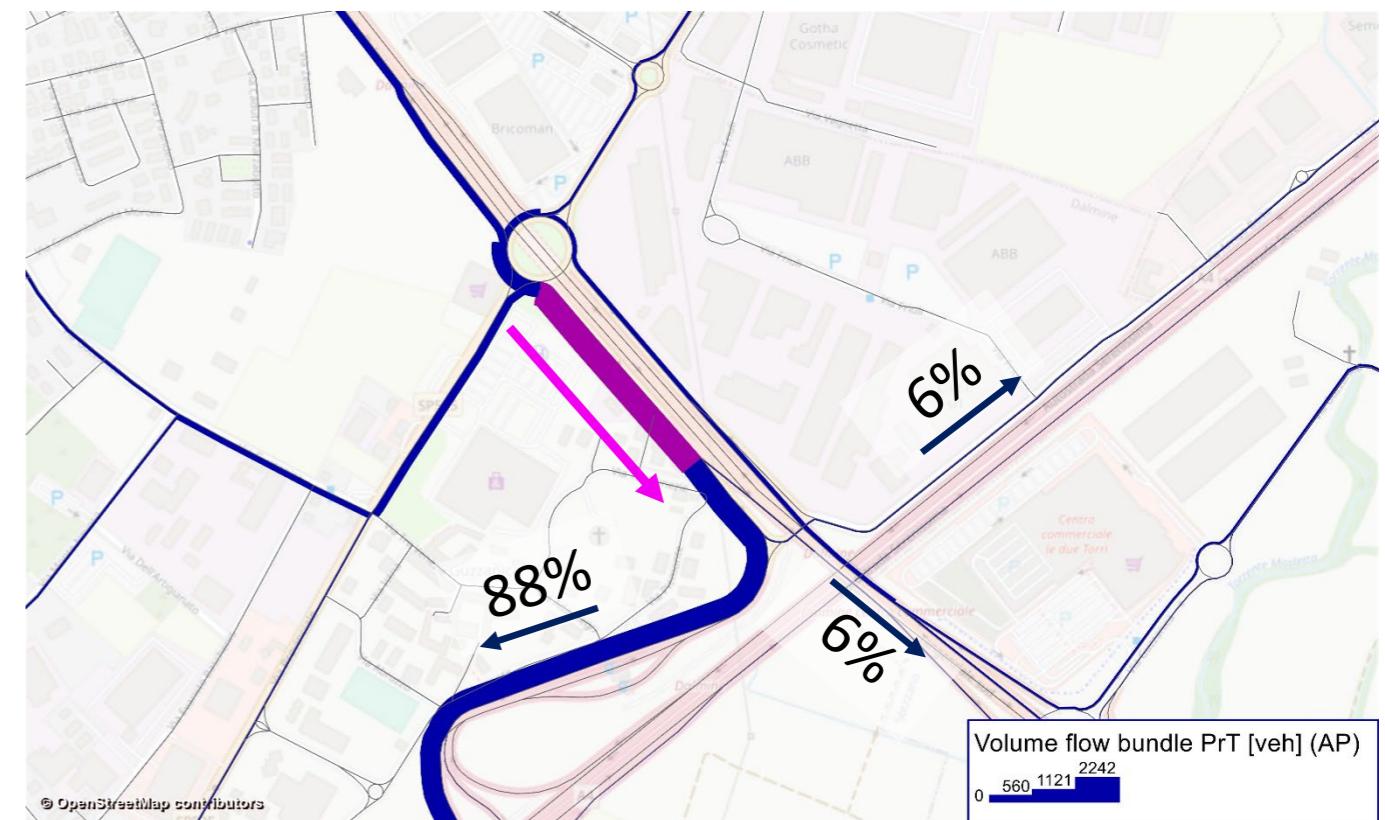
Come detto per valutare la domanda di traffico al nodo nell'anno 2026 è stato interrogato il modello di traffico multimodale a scala territoriale utilizzato per le analisi trasportistiche in fase di studio di fattibilità della linea.

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 relazionato 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



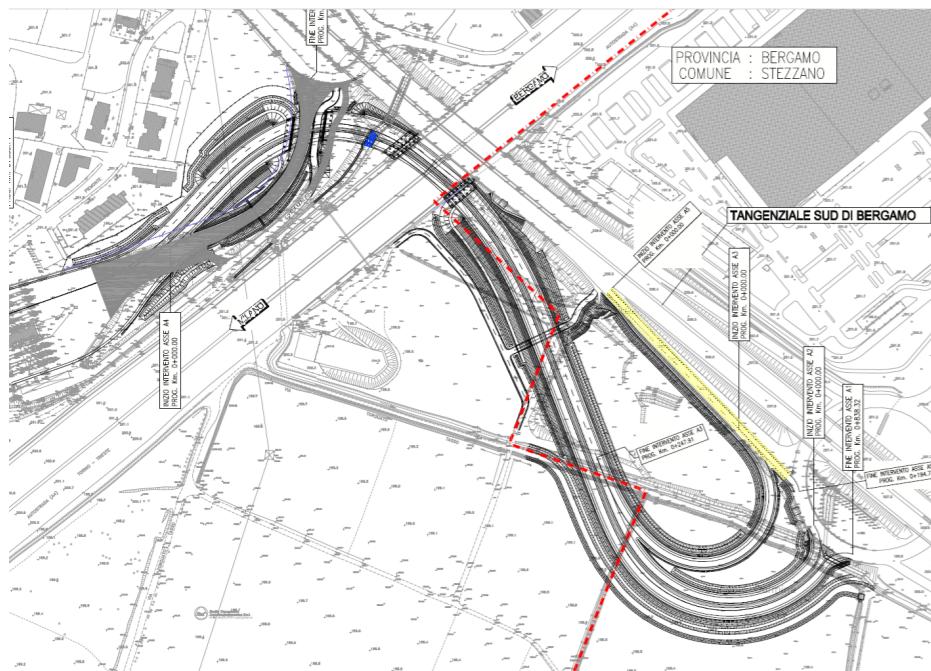
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Analisi Postazione 1

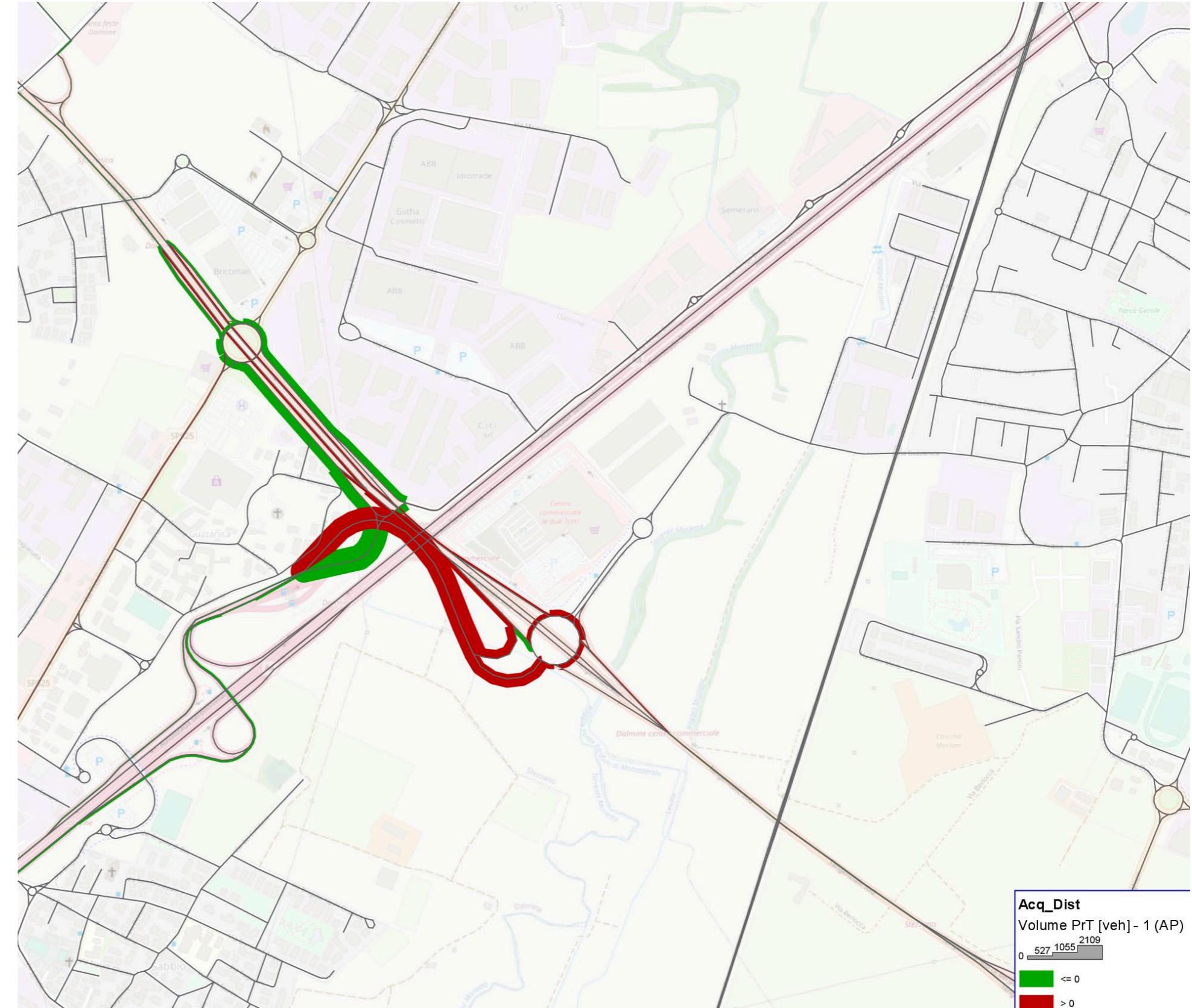
4- Scenario di Progetto al 2026

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



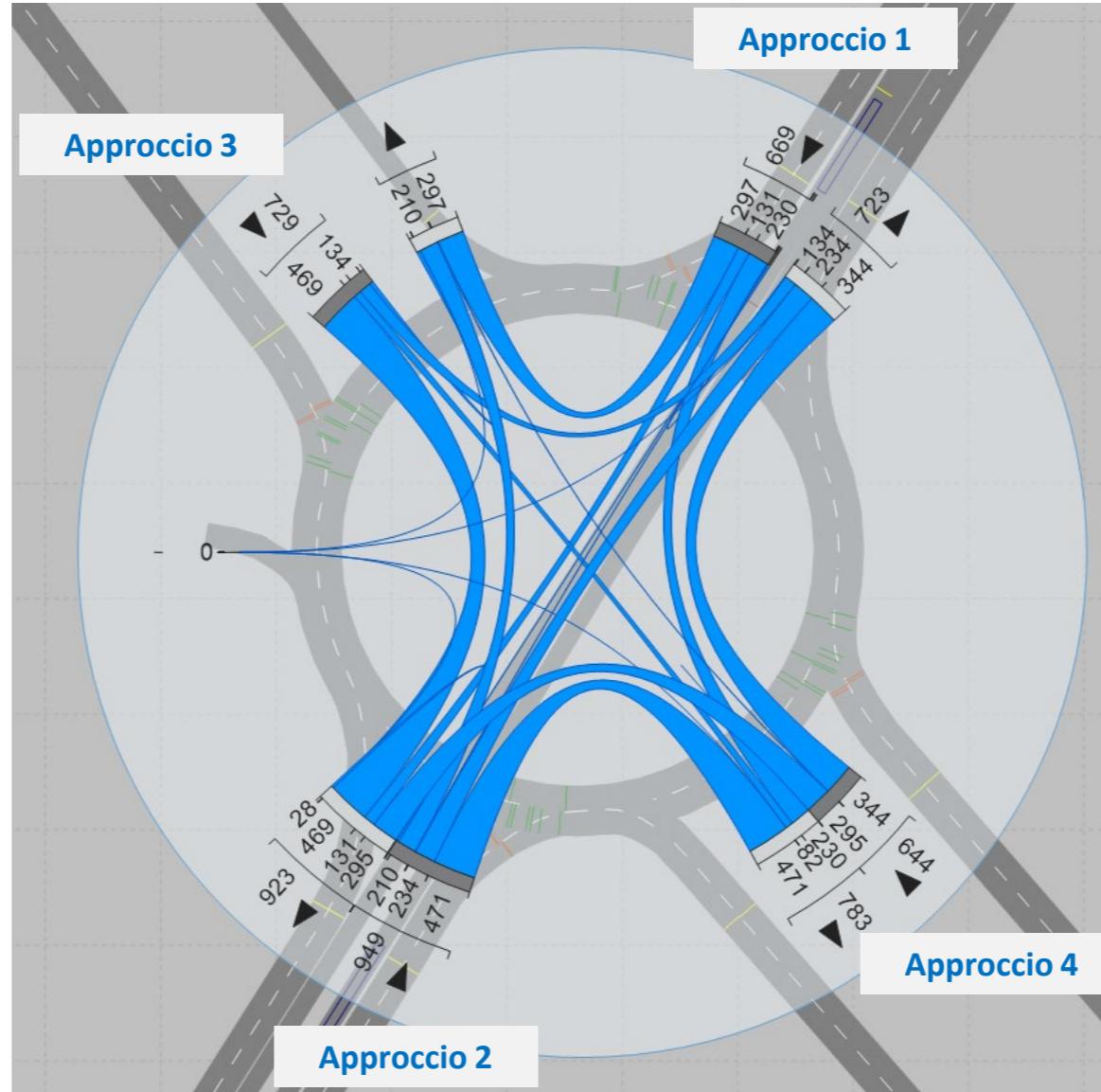
□ Systematica

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

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

Analisi Postazione 1

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 azzerà 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.



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

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

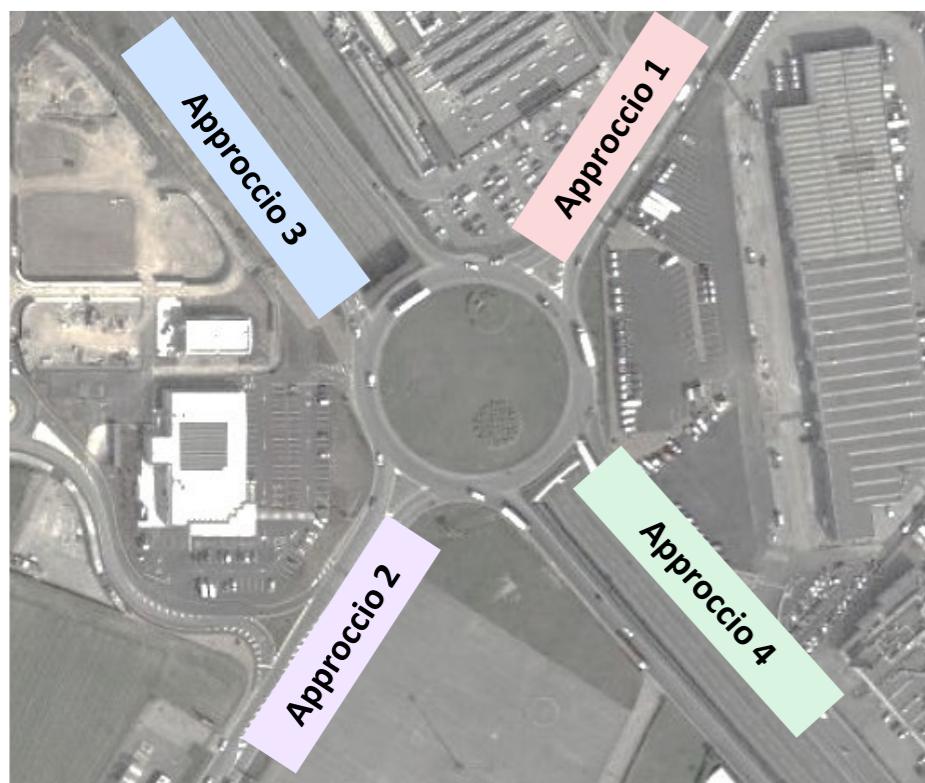
Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Analisi Postazione 1

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.



APPROCCIO 1	Veicoli/ ora	Ritardo medio (sec)	LOS	Coda media (m)	Coda massima (m)
Scenario 01 SDF	660	53,4	F	46,67	154,54
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	165,16
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

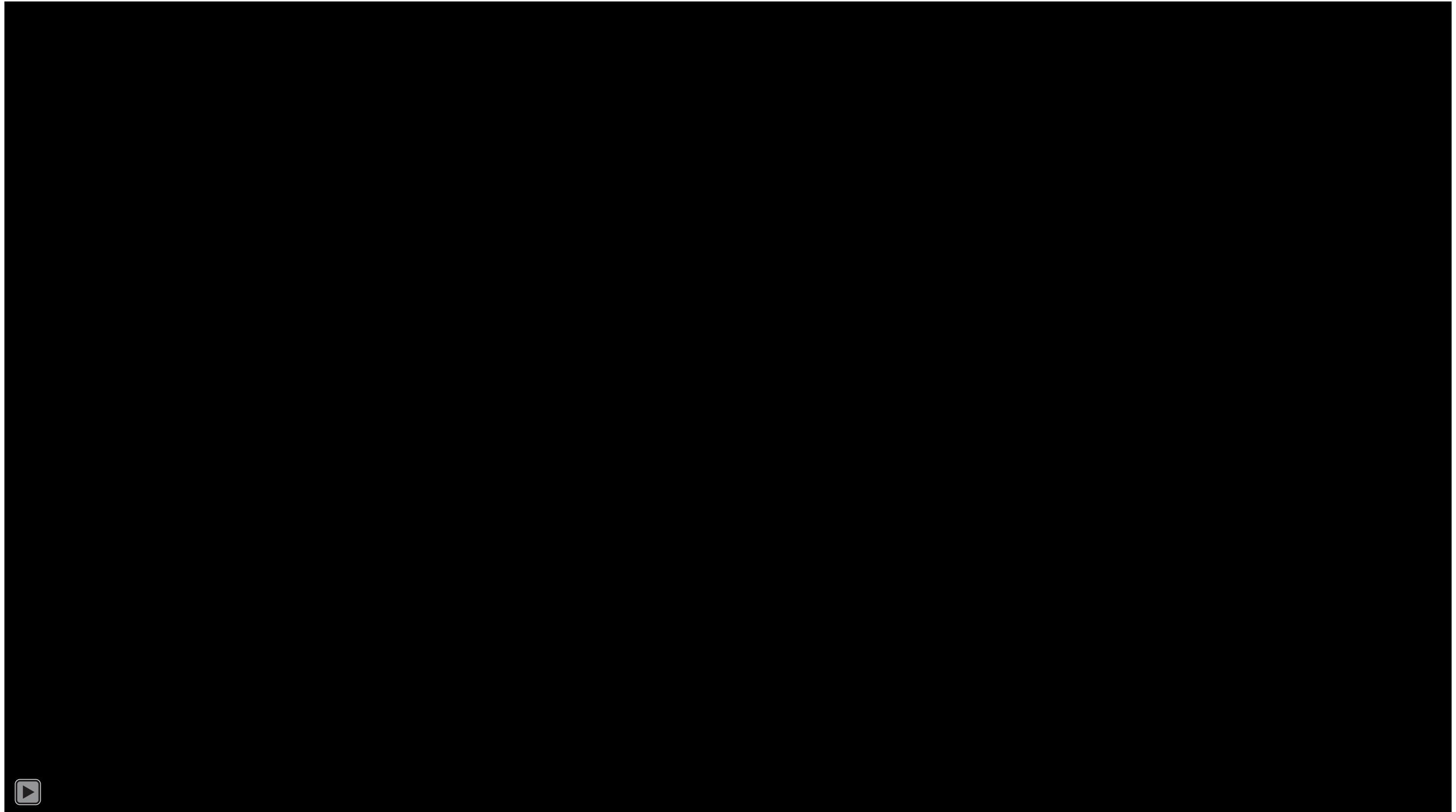
APPROCCIO 3	Veicoli/ ora	Ritardo medio (sec)	LOS	Coda media (m)	Coda massima (m)
Scenario 01 SDF	1099	21,6	C	24,90	132,71
Scenario 04 PRG 2026	1163	26,2	D	20,94	127,55
Scenario 05(PRG+svinc.Dalmine)	732	3,6	A	0,37	22,35

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

Rotatoria SP525 – Via Guzzanica

Video dello Scenario di Riferimento 2026

Analisi Postazione 1



Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

4·Analisi microsimulativa rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Scenari simulati

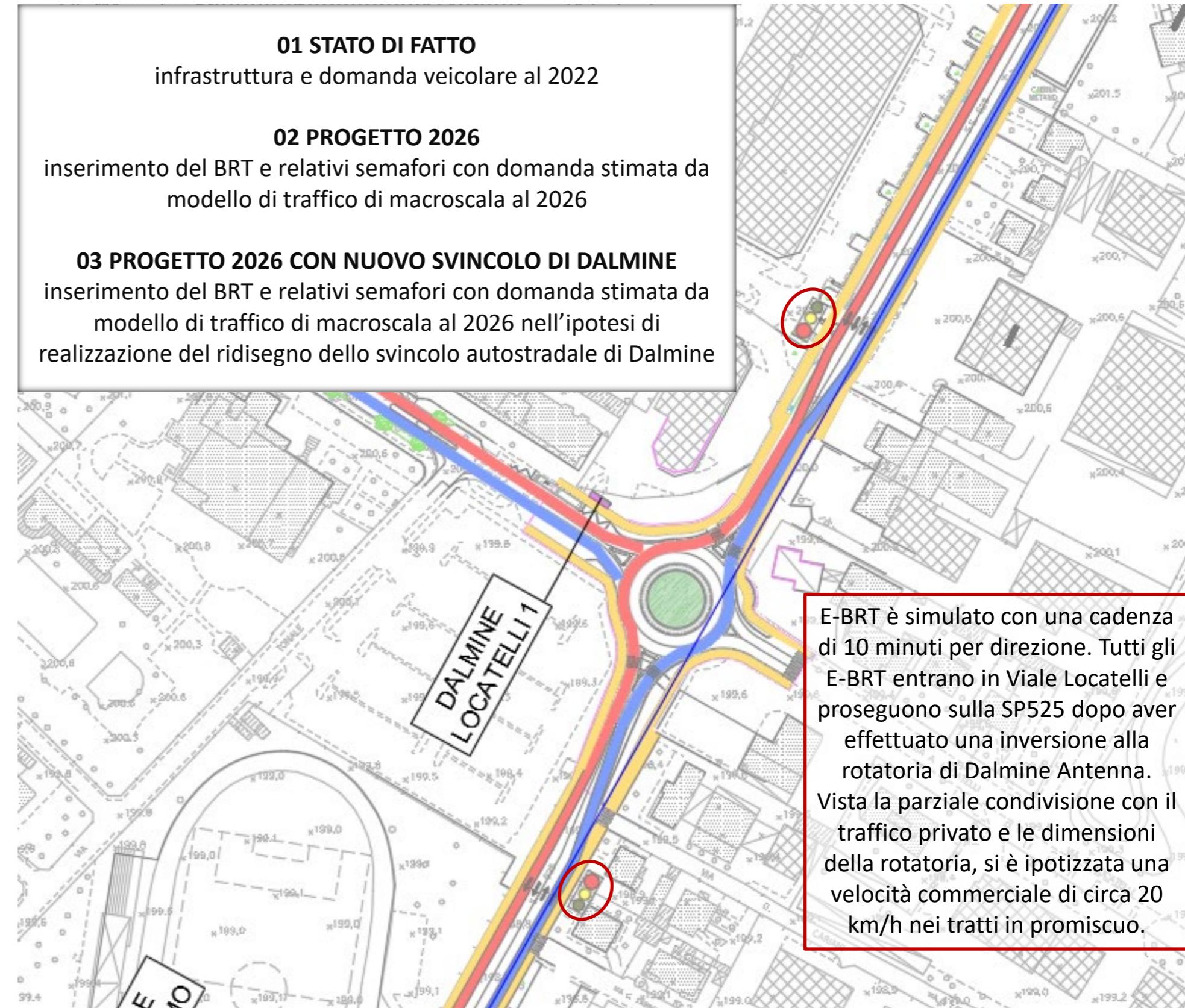
Analisi Postazione 2

L'immagine a lato illustra la soluzione progettuale ipotizzata per questa specifica rotatoria.

Date le geometrie dell'intersezione che è stata riqualificata 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.

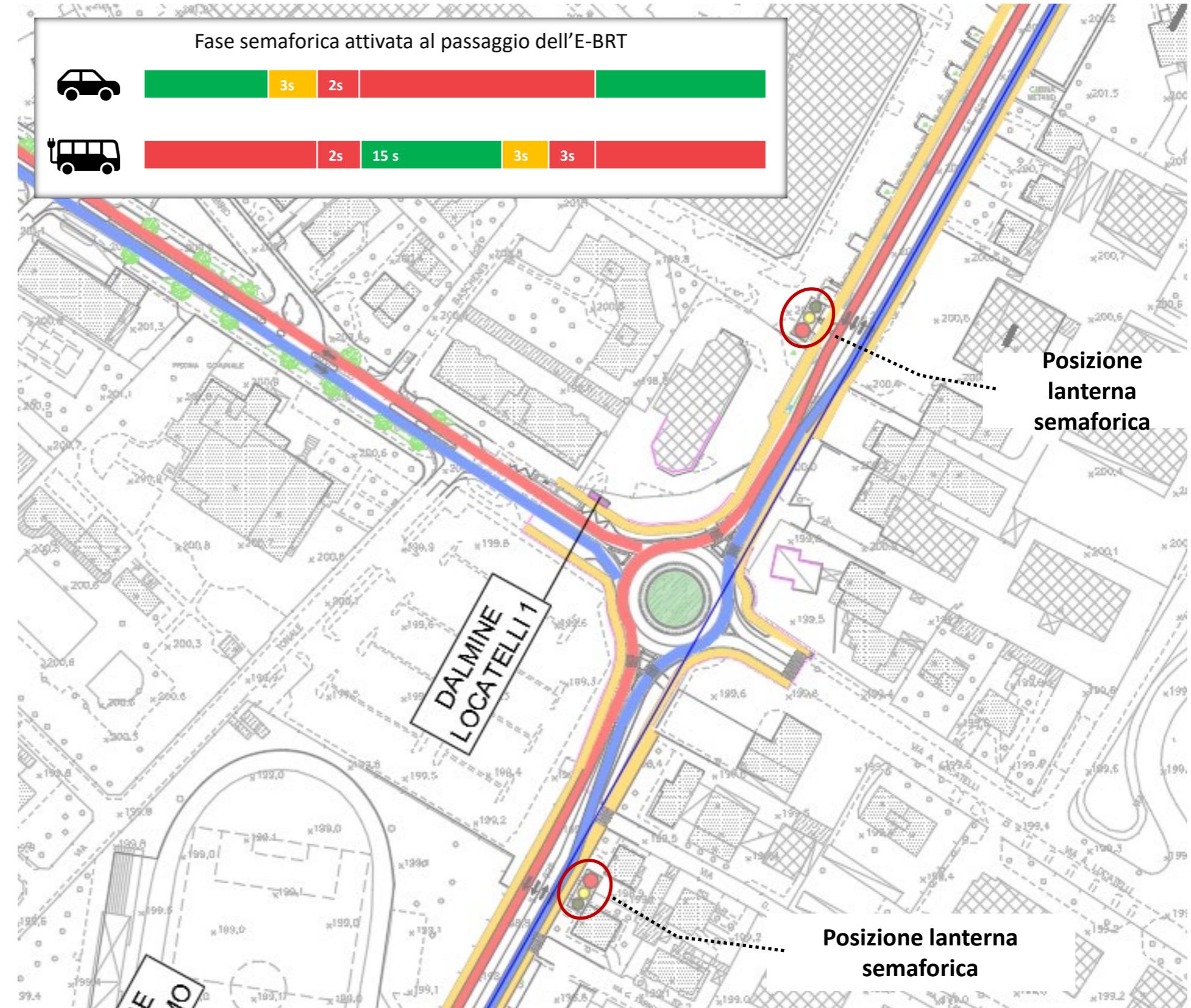


Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

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



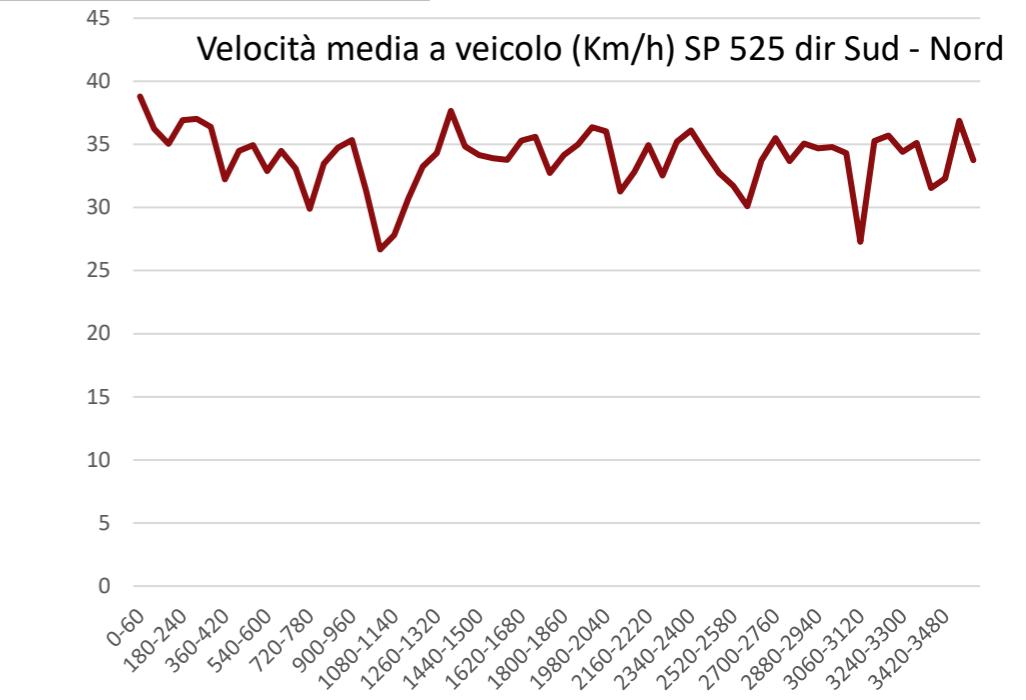
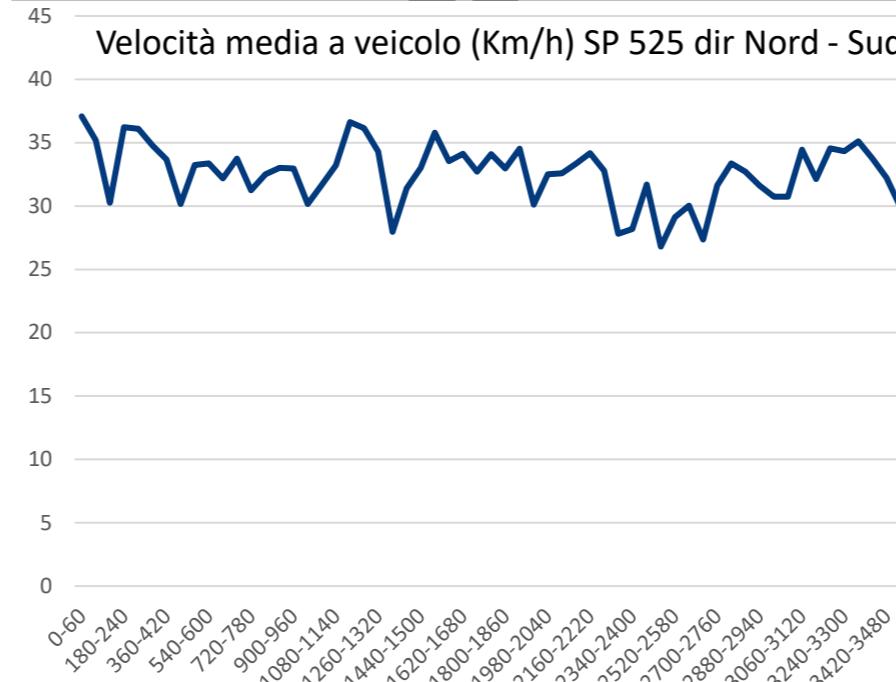
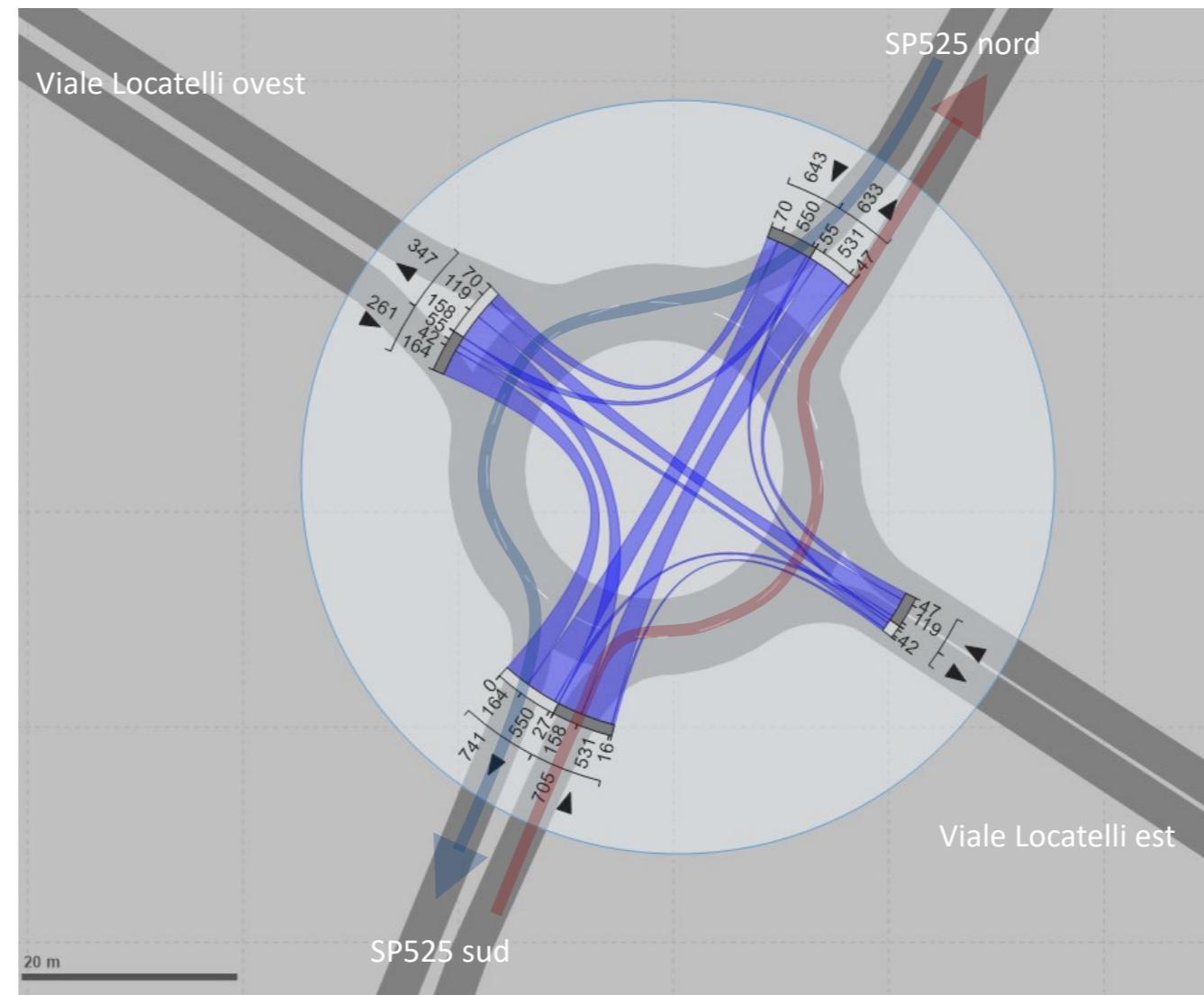
Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

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)

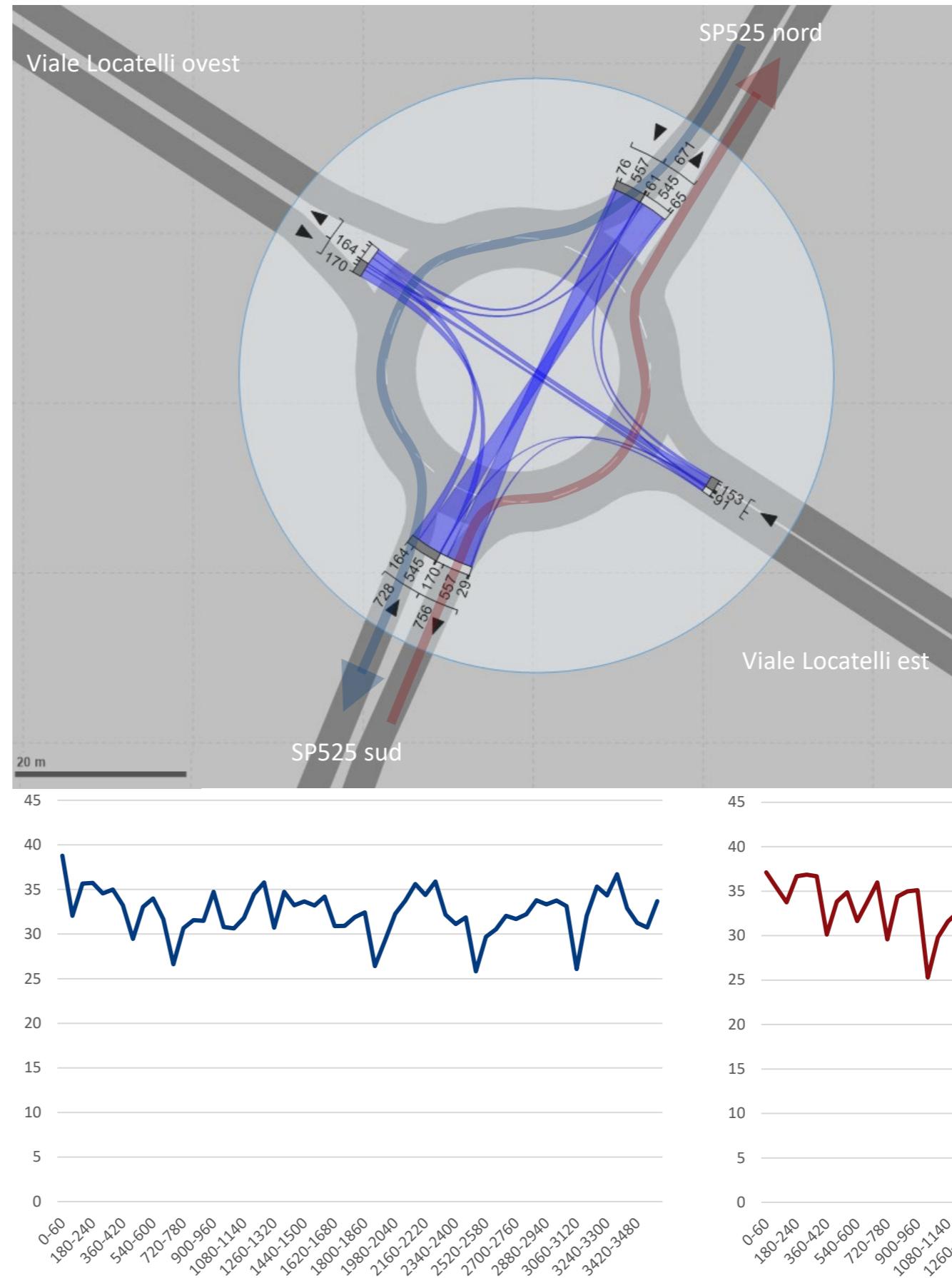
□ Systematica

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

02 Progetto 2026

Analisi Postazione 2

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)

□ Systematica

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

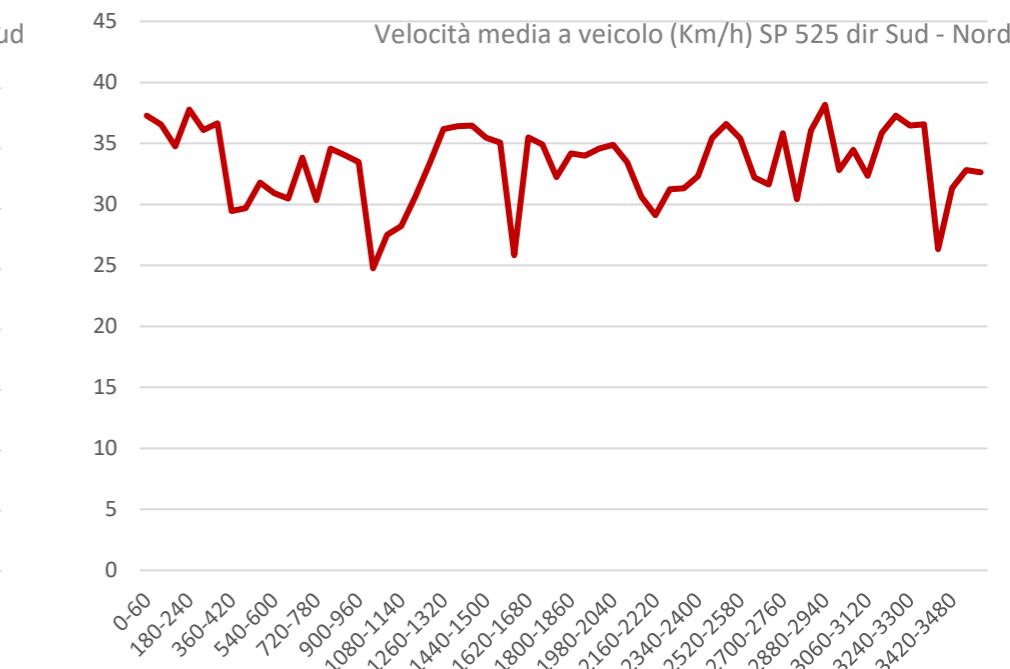
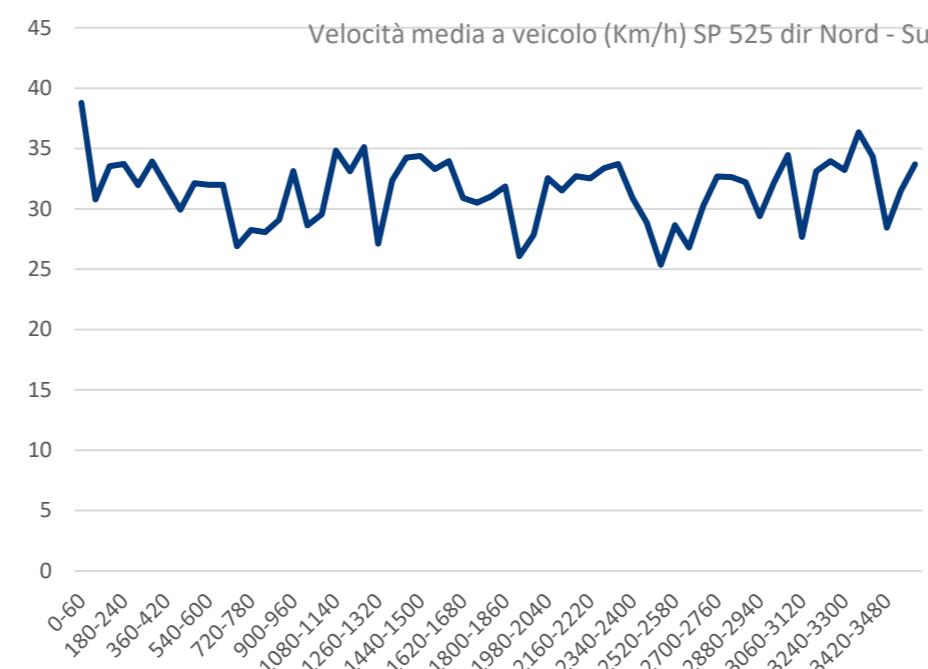
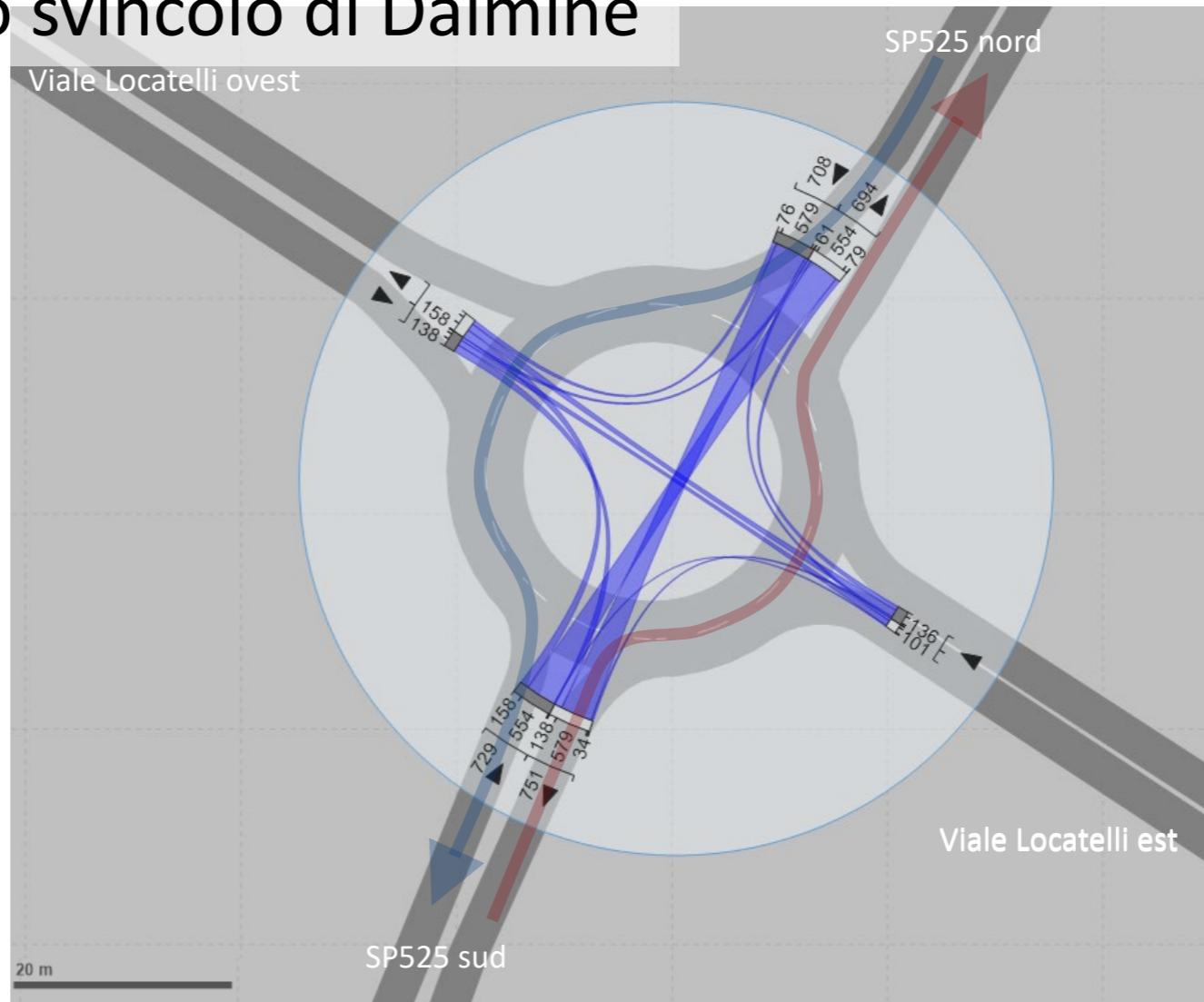
03 Progetto 2026 con nuovo svincolo di Dalmine

Analisi Postazione 2

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)

□ Systematica

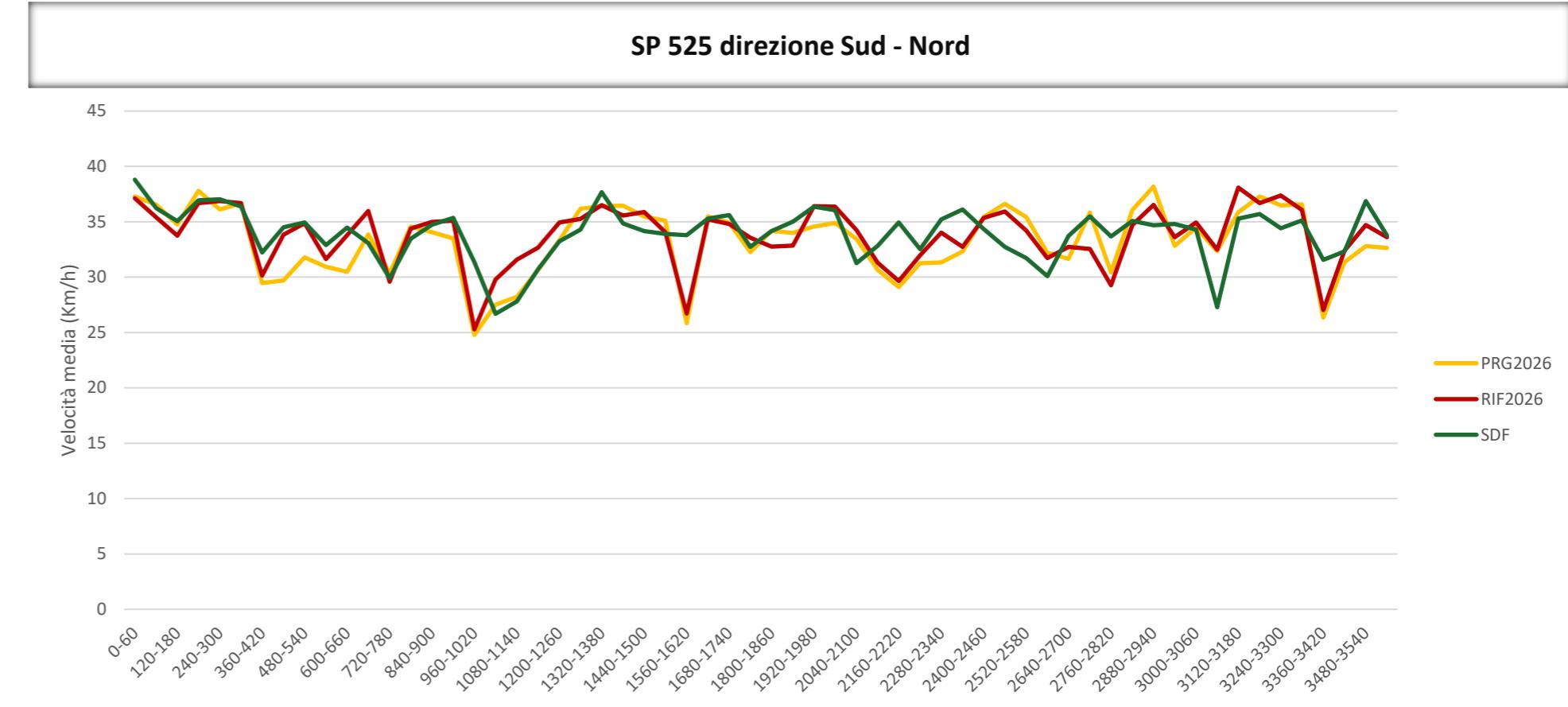
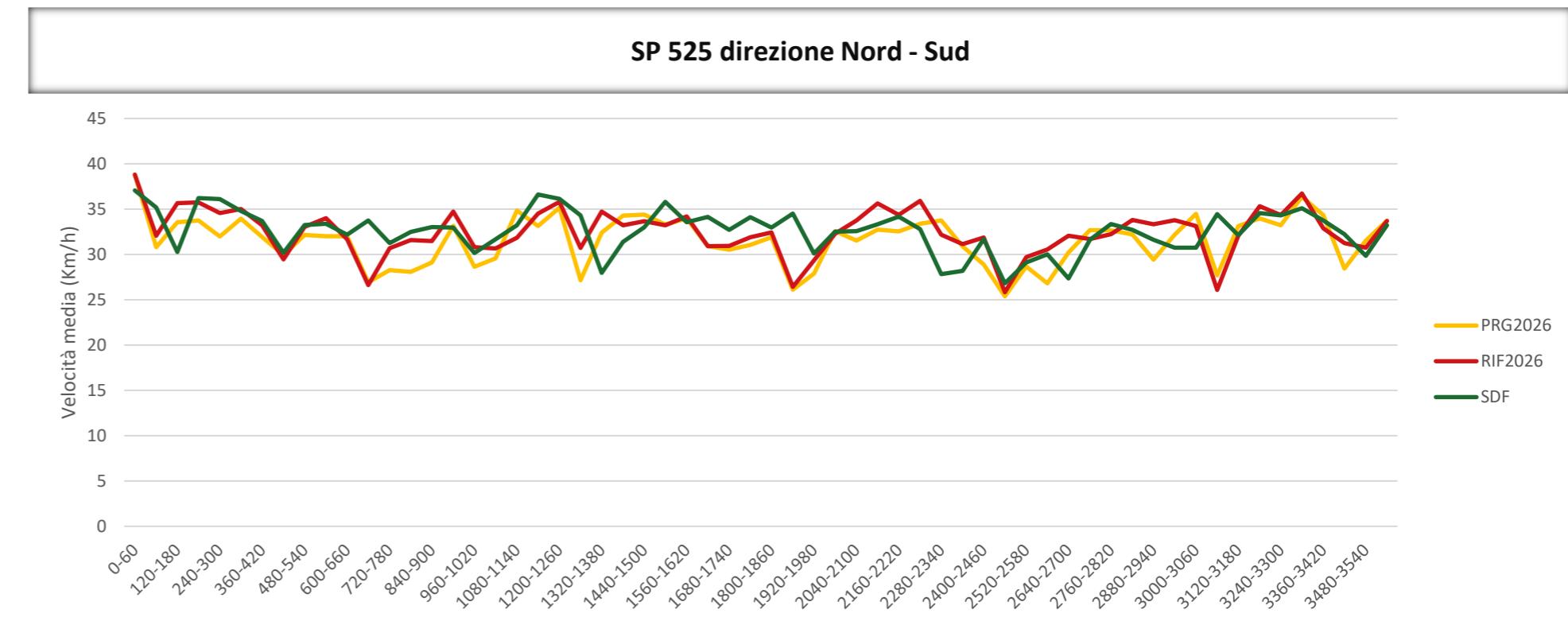
Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Velocità medie SP 525

Analisi Postazione 2

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.



□ Systematica

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Accodamenti SP 525

Analisi Postazione 2

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.

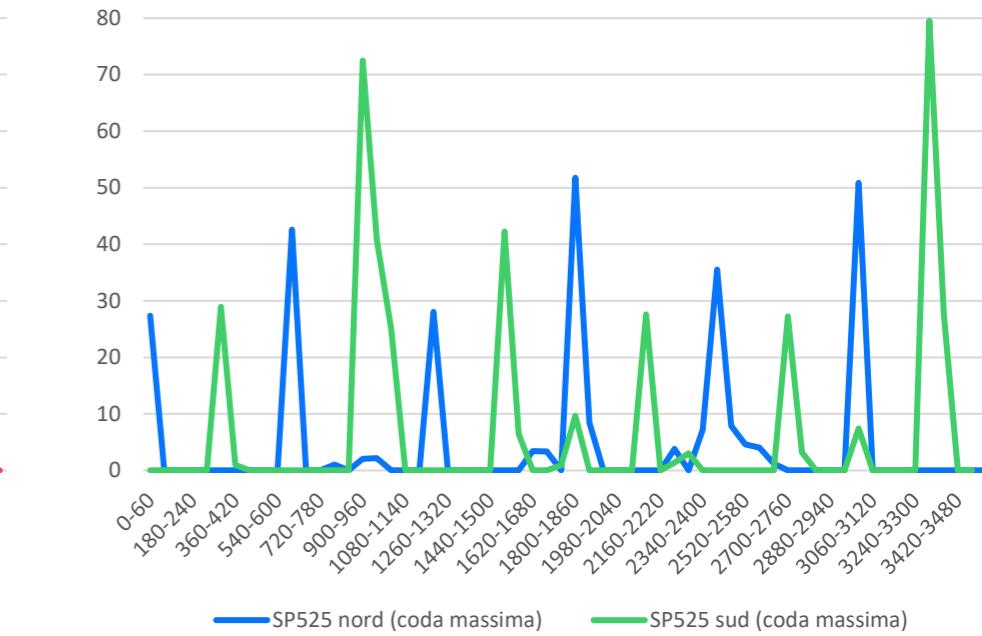
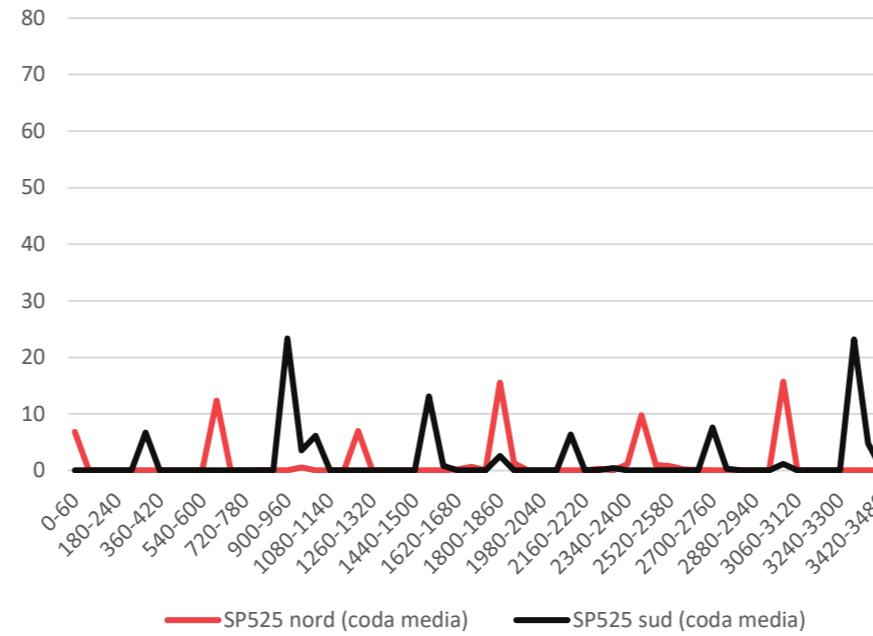
Come dimostrano i grafici, gli accodamenti si registrano all'attivazione del semaforo e sono limitati nel tempo non creando particolari disagi al traffico sull'asse in esame. Gli accodamenti massimi, si registrano, infatti, solo nel minuto di attivazione della fase semaforica.

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

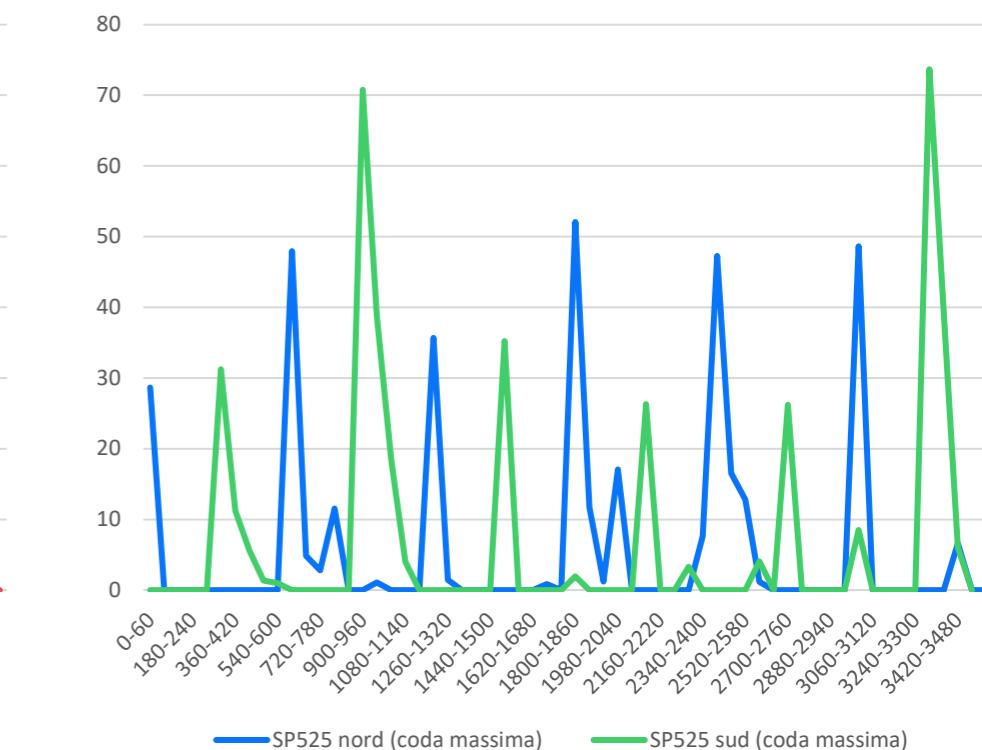
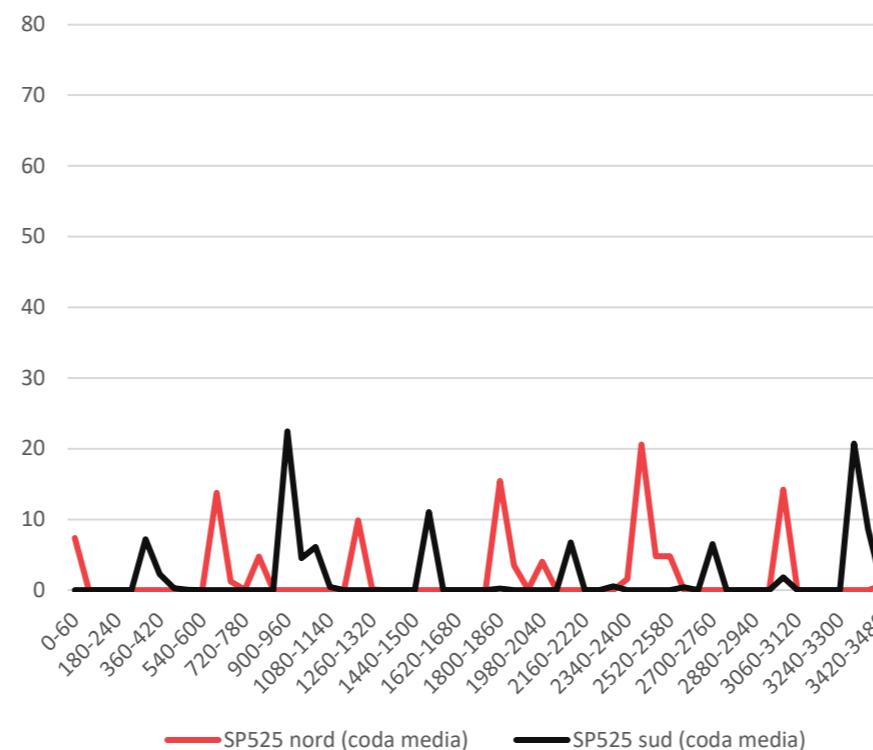


In singole simulazioni si possono registrare accodamenti anche più elevati che però si risolvono in breve tempo.

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 – Instantanee di simulazione

Analisi Postazione 2



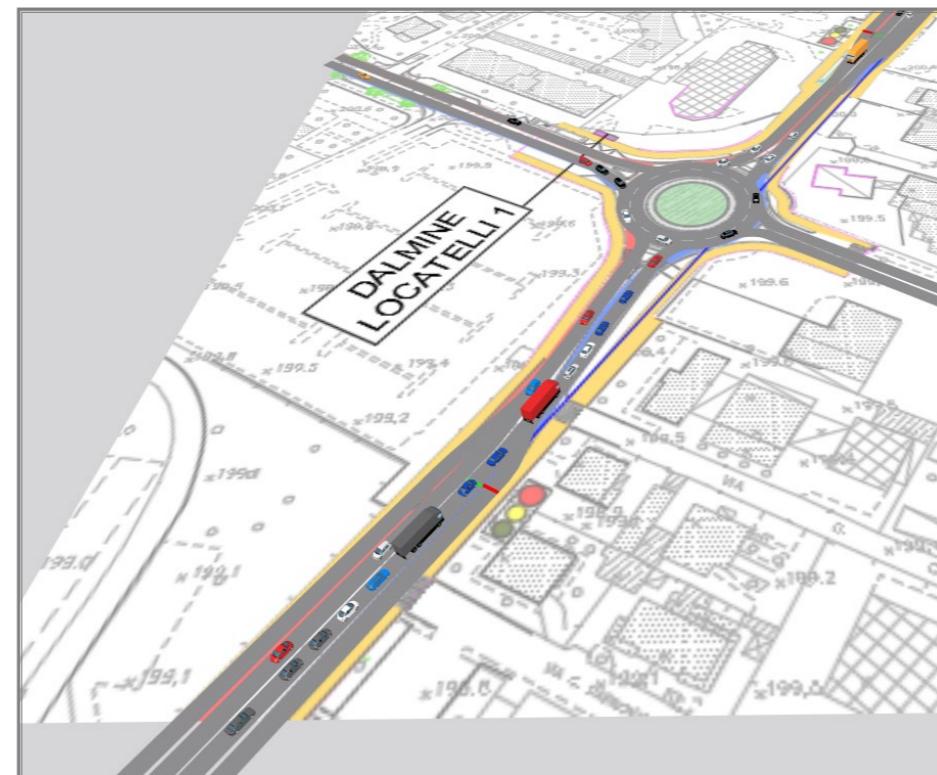
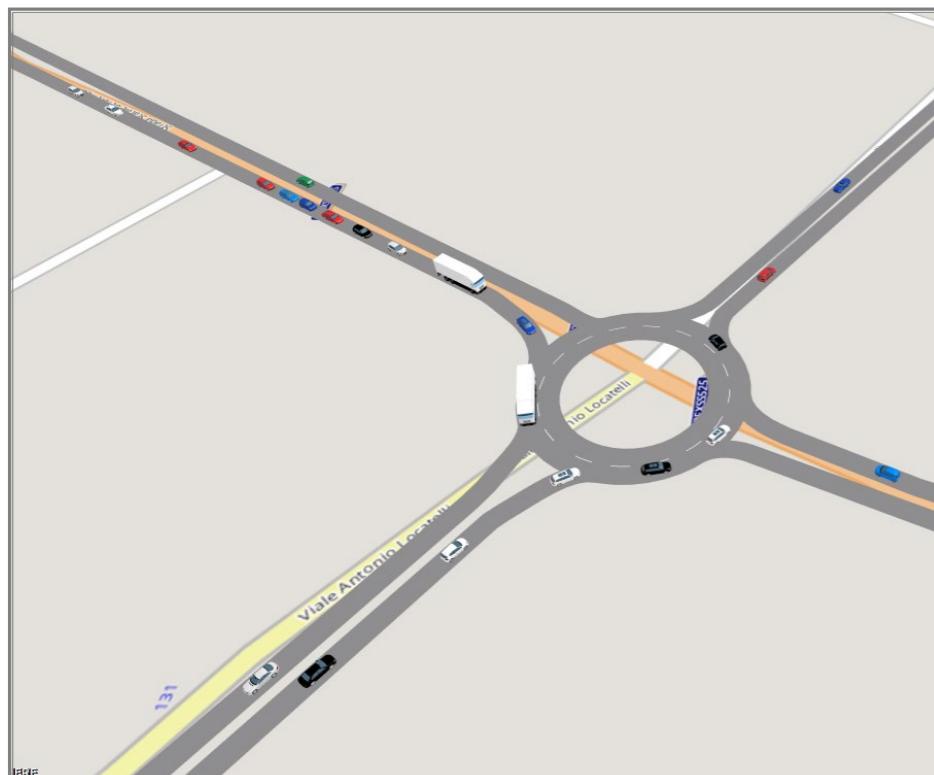
STATO DI FATTO



PROGETTO 2026



PROGETTO 2026 CON SVINCOLO DALMINE

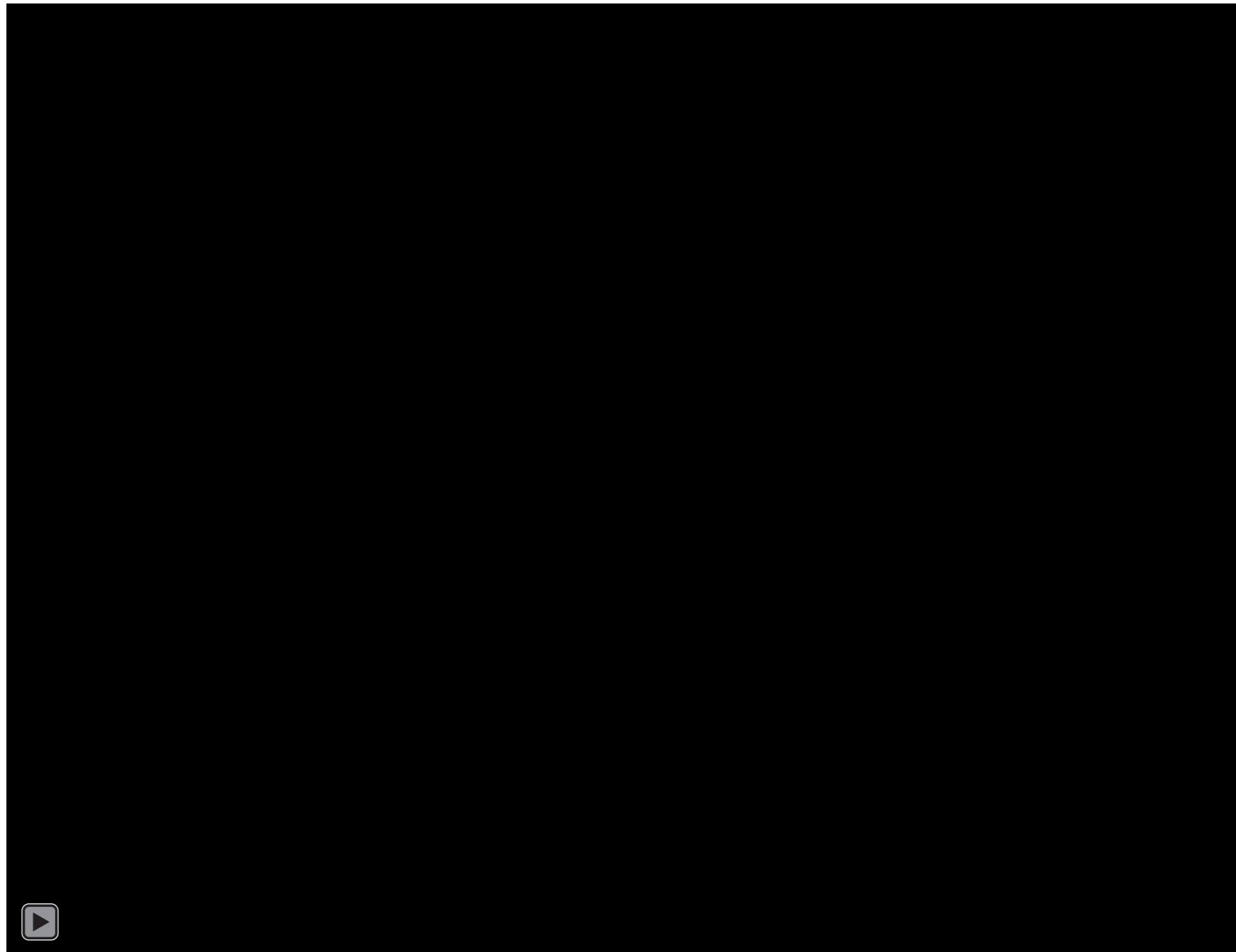


Systematica

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Video dello Scenario di Progetto 2026

Analisi Postazione 2



5·Analisi microsimulativa rotatoria SP525 – – Via Donizetti – Via Cimarosa – Via Verdellino – Via San Giorgio

Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Analisi Postazione 3

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.



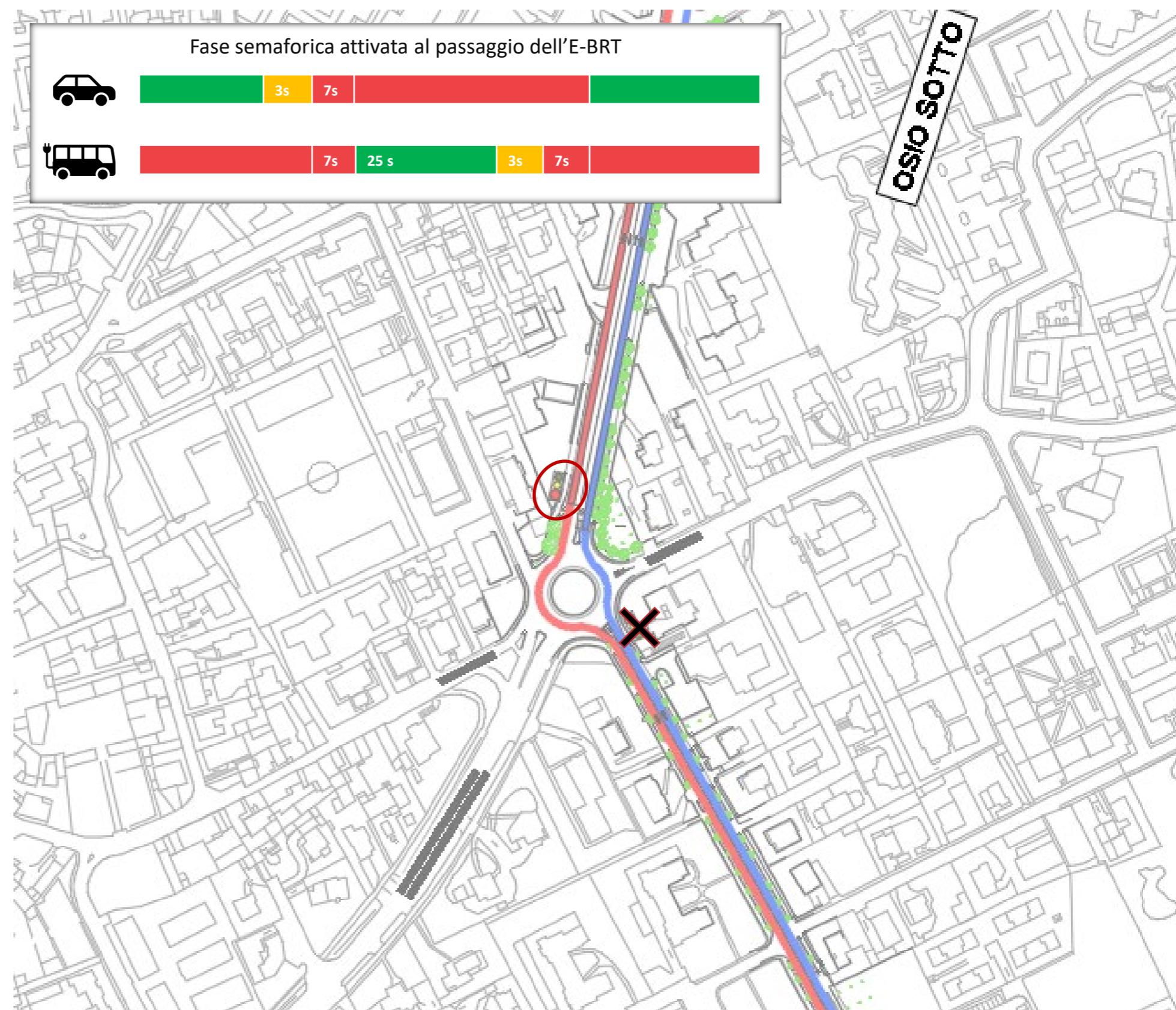
Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Analisi Postazione 3

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.



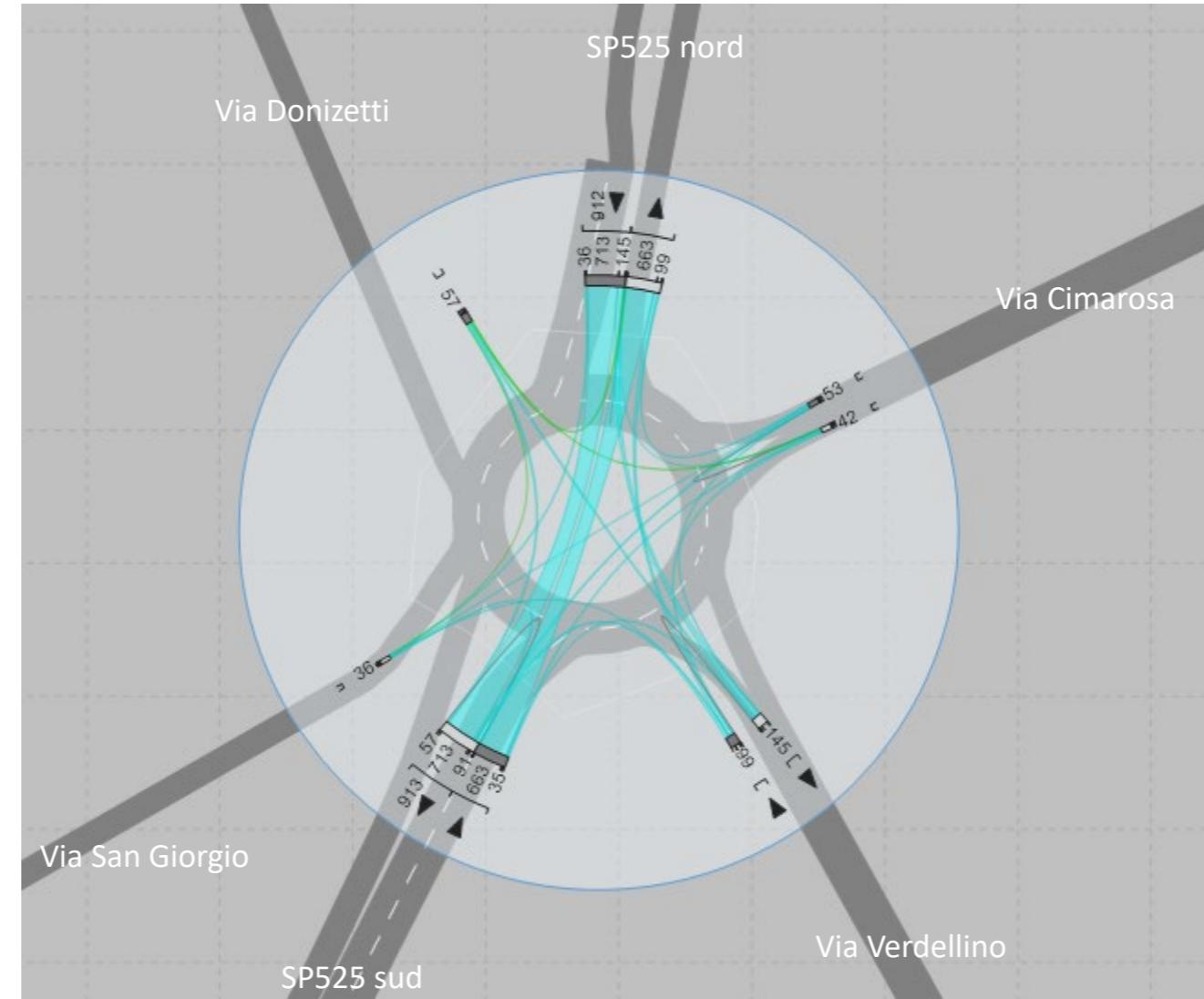
Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Analisi Postazione 3

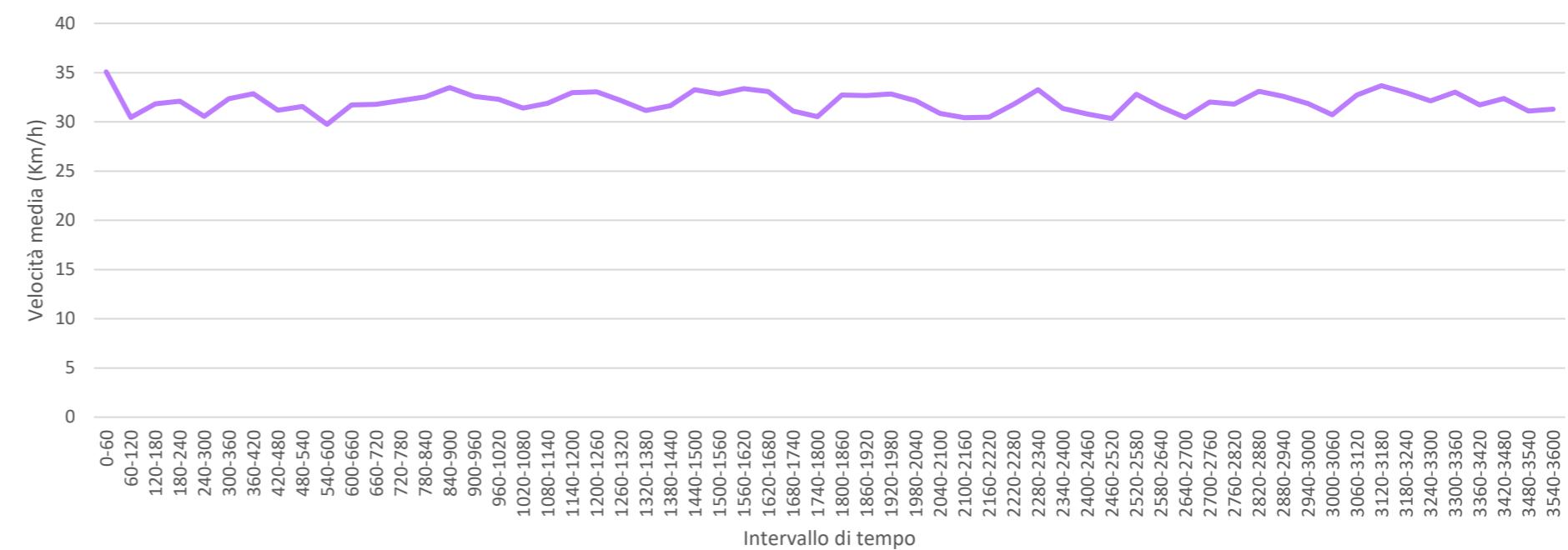
01 Stato di Fatto

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)

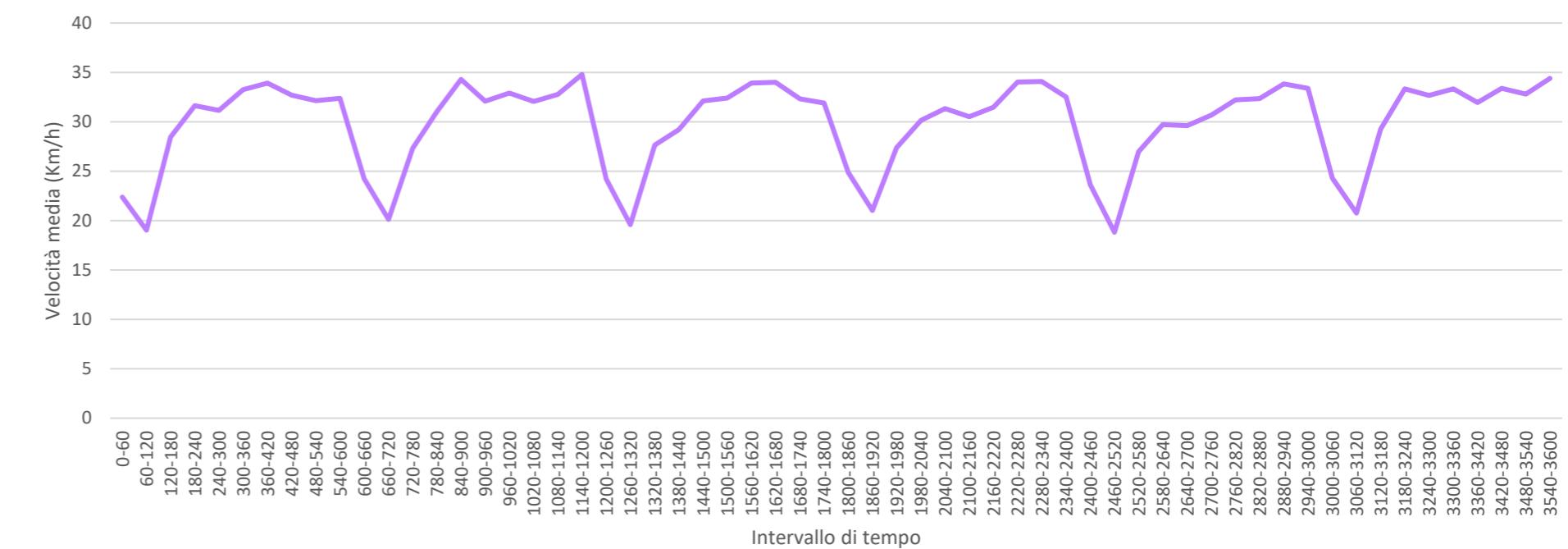
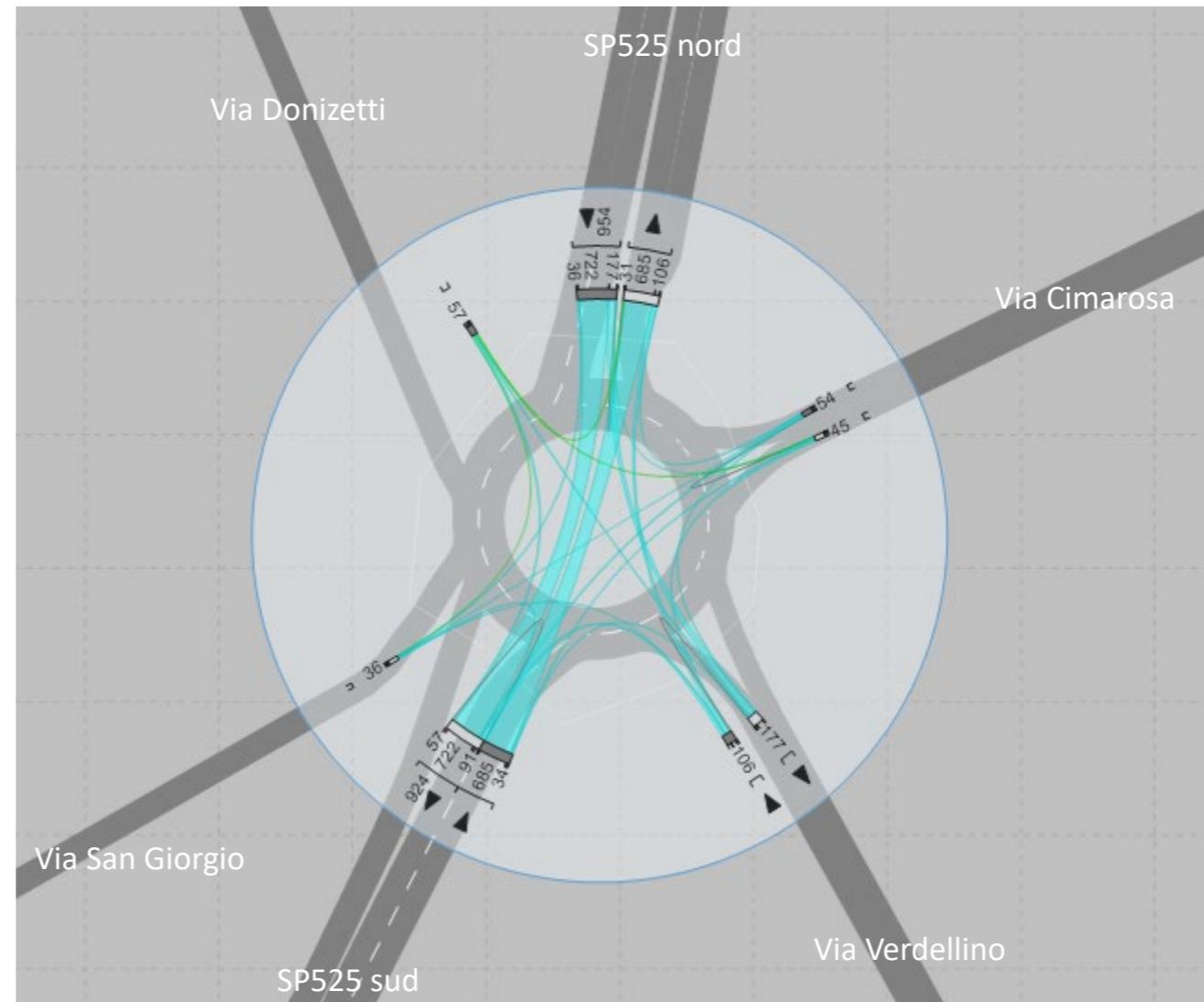


Systematica

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)

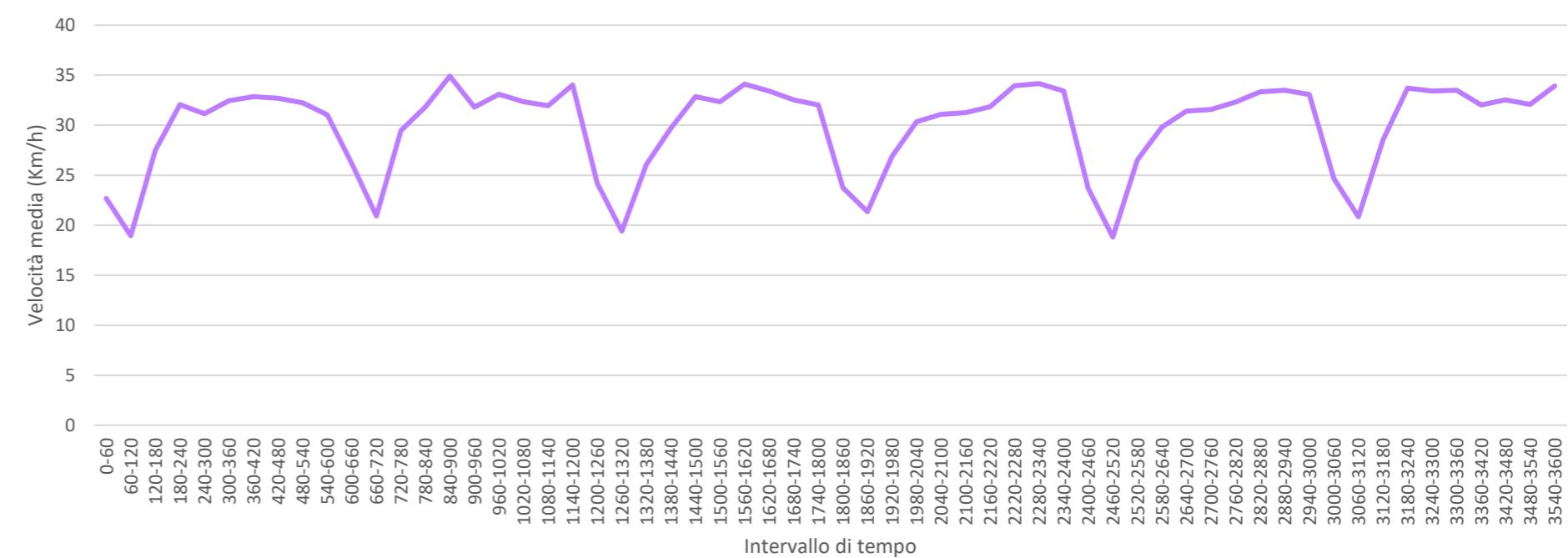
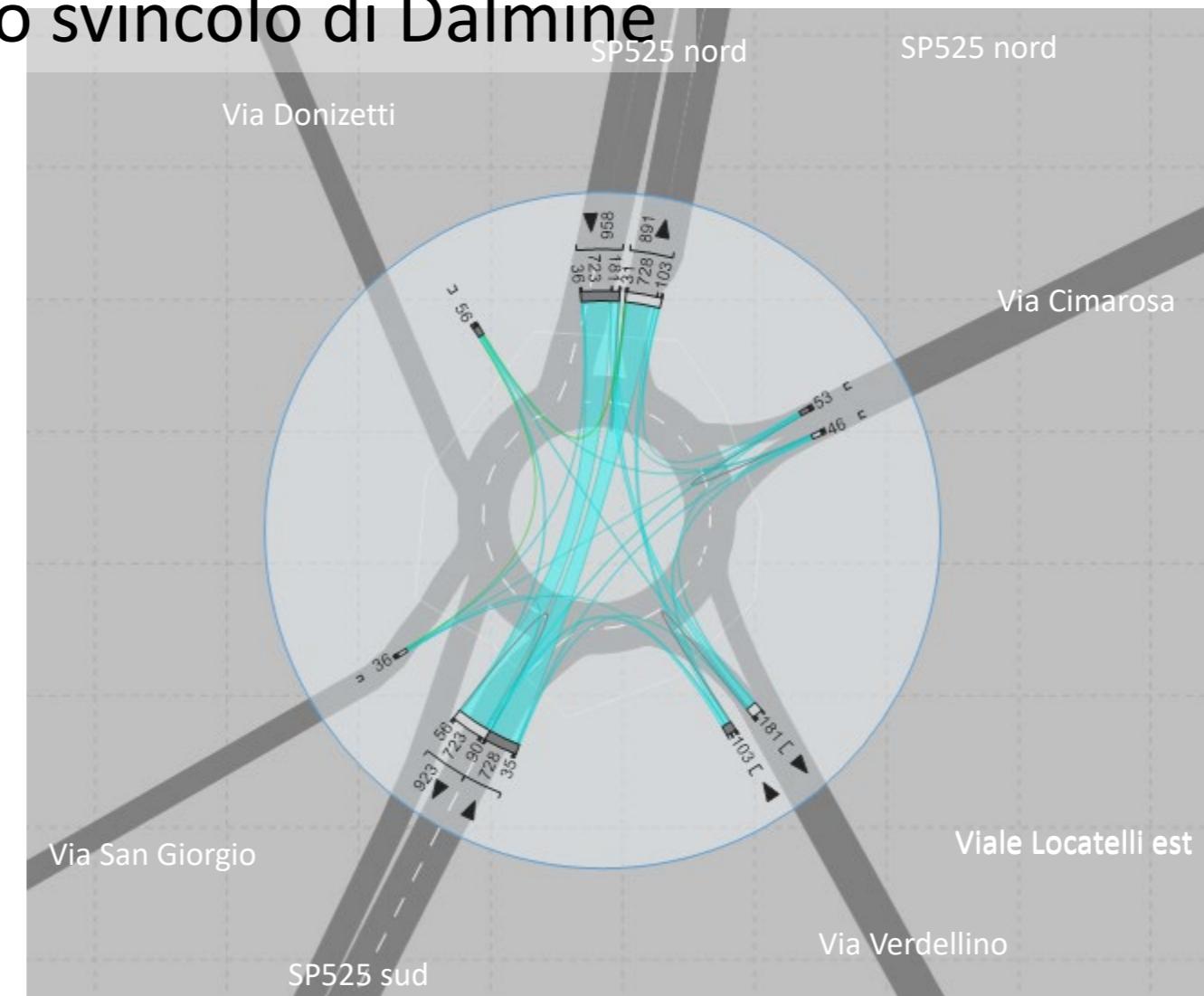
Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

03 Progetto 2026 con nuovo svincolo di Dalmine

Analisi Postazione 3

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.



□ Systematica

Totale veicoli simulati HdP AM:
2317
(2249 leggeri equivalenti + 68 pesanti)

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

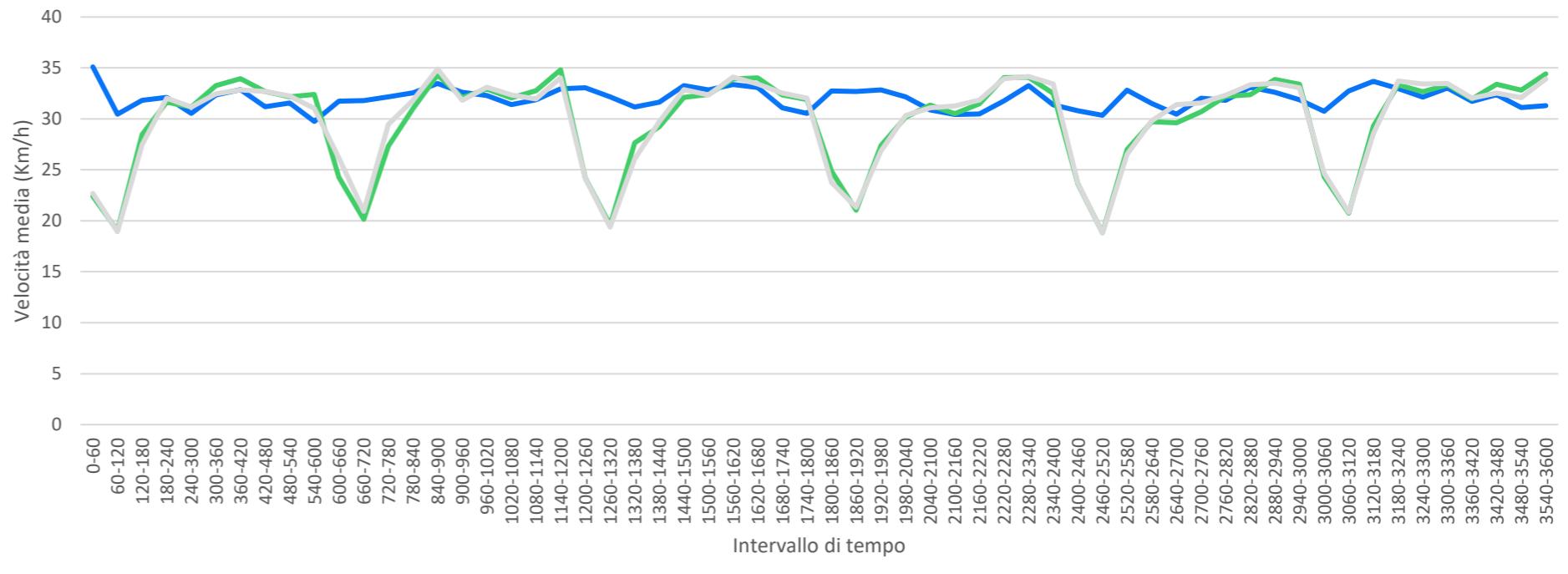
Confronto di Scenari – Velocità medie

Analisi Postazione 3

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.



SDF



PRG 2026



PRG 2026
+ SVINCOLO DALMINE

Systematica

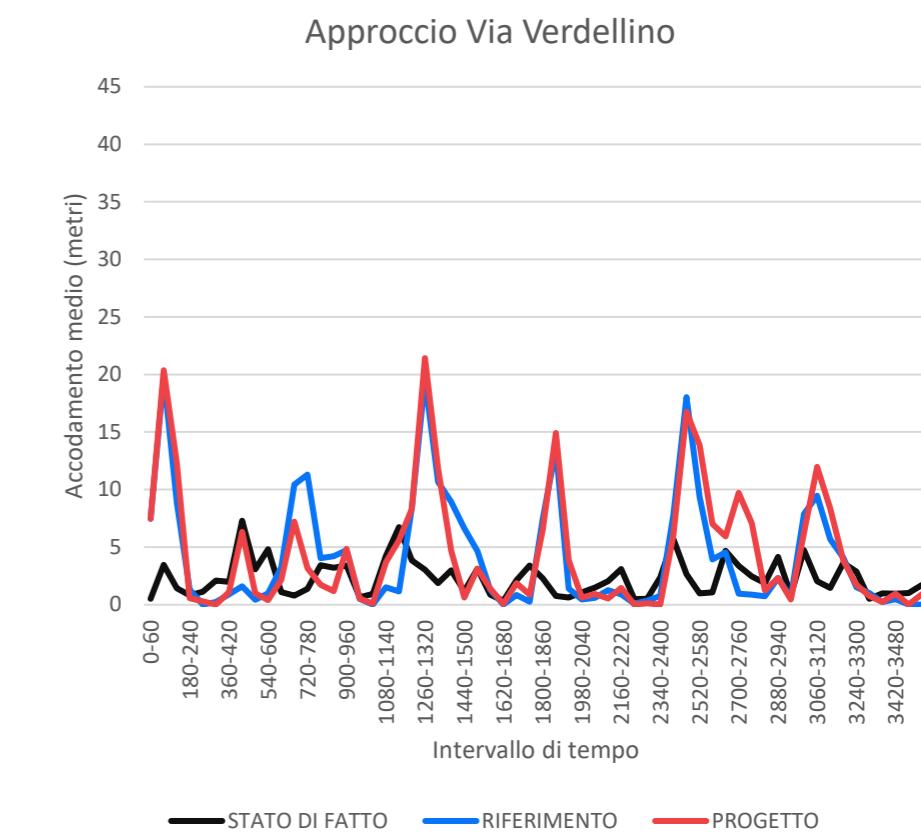
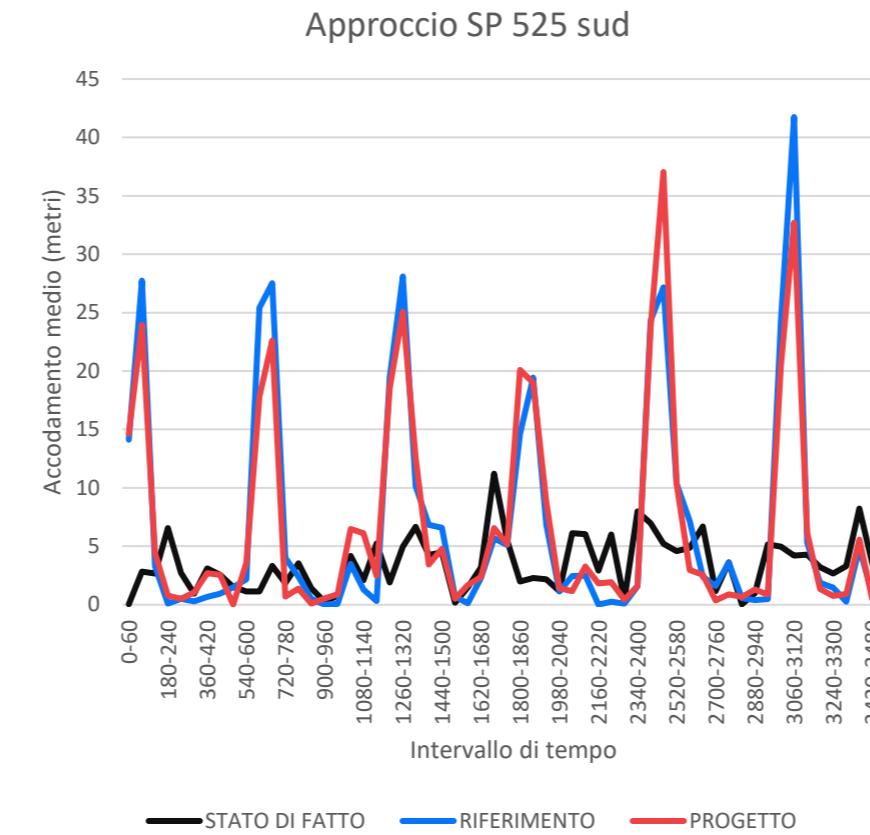
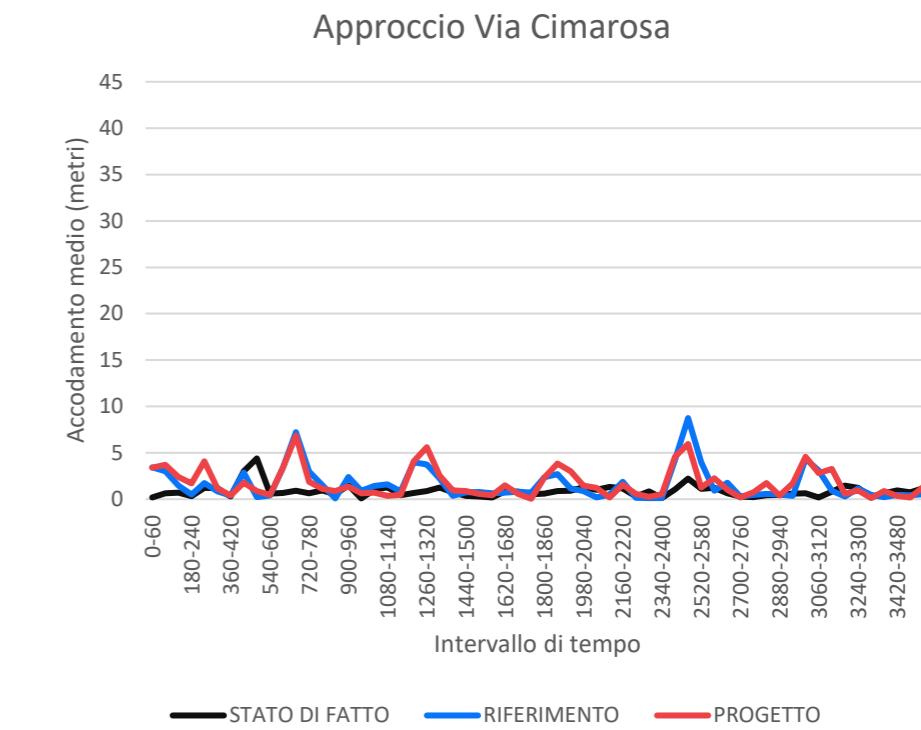
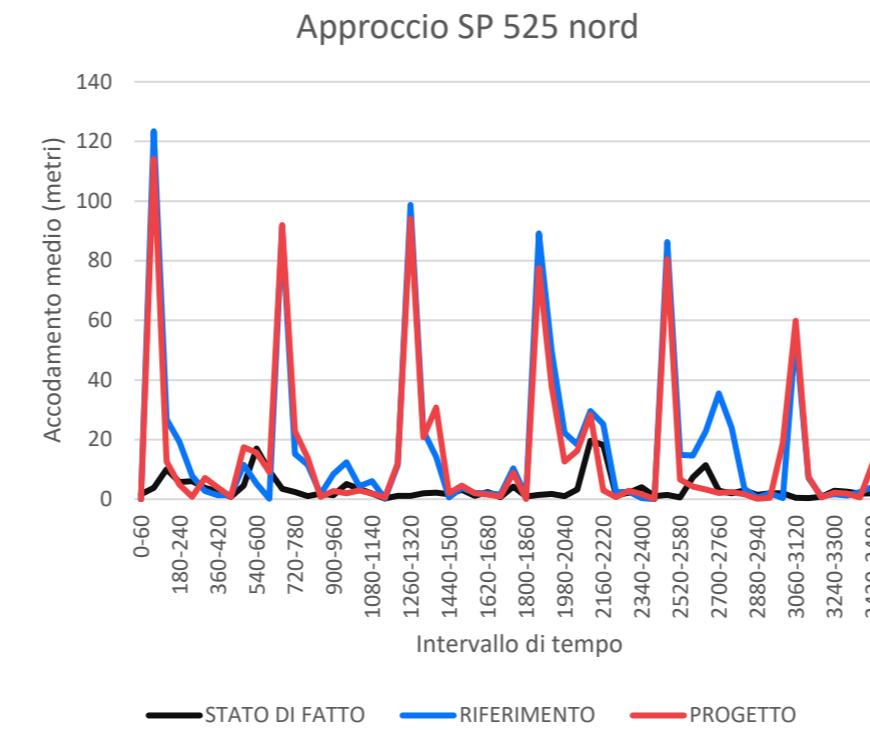
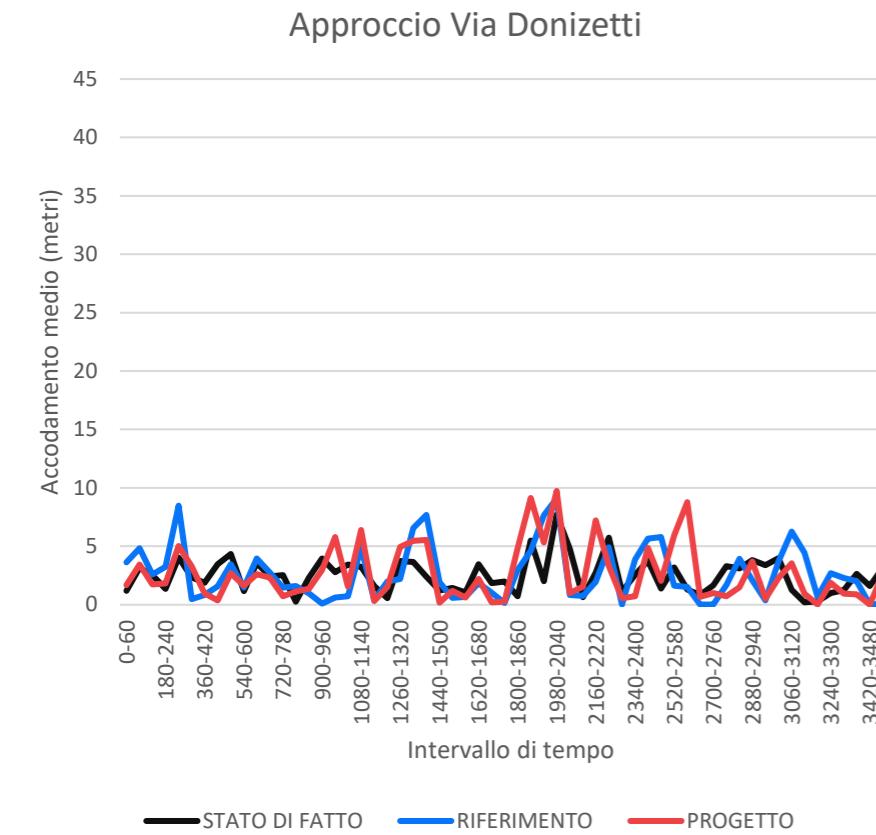
Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Analisi Postazione 3

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.



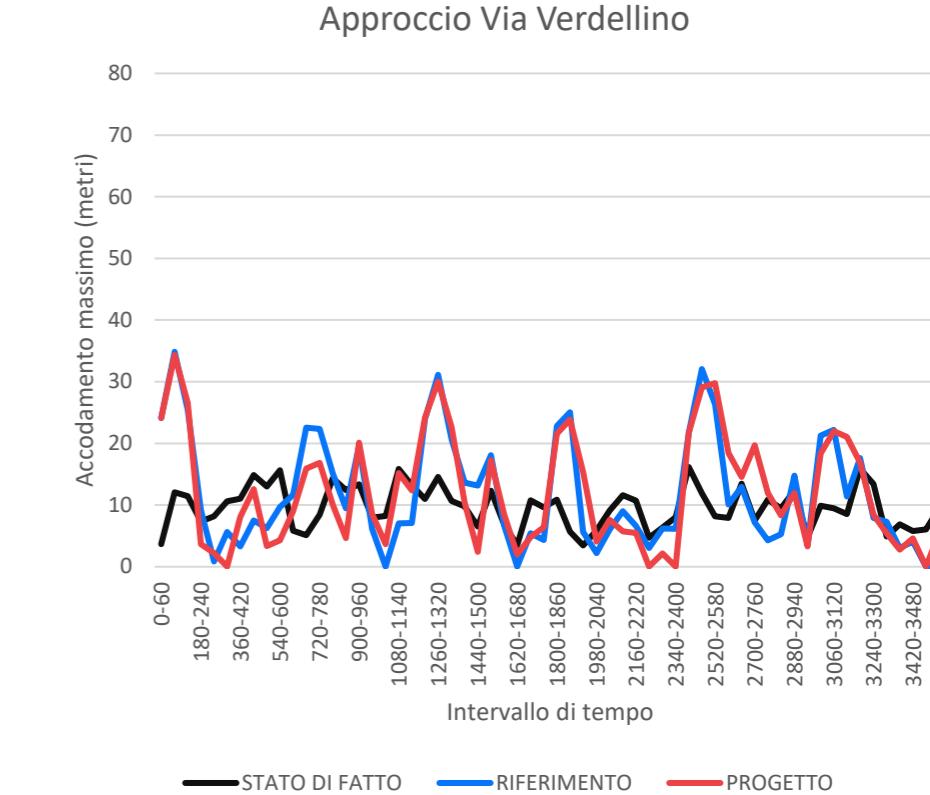
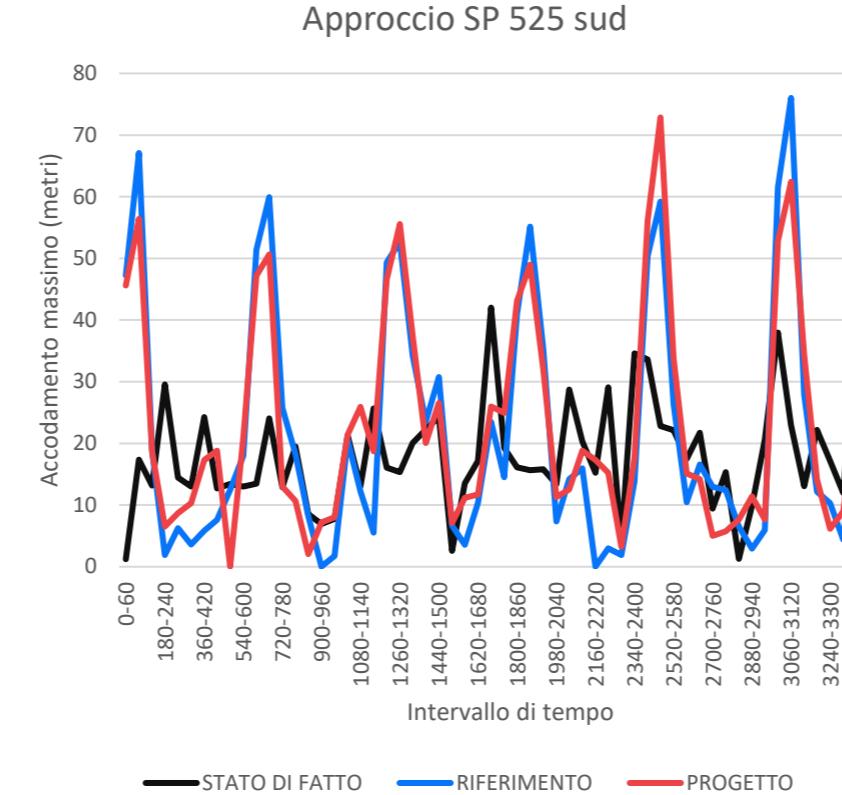
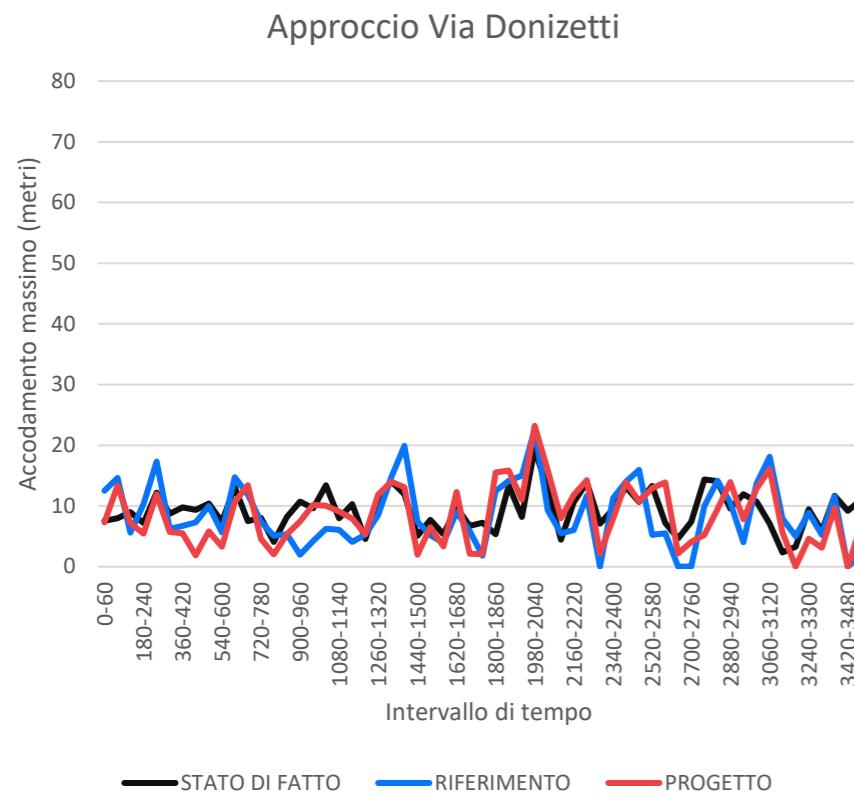
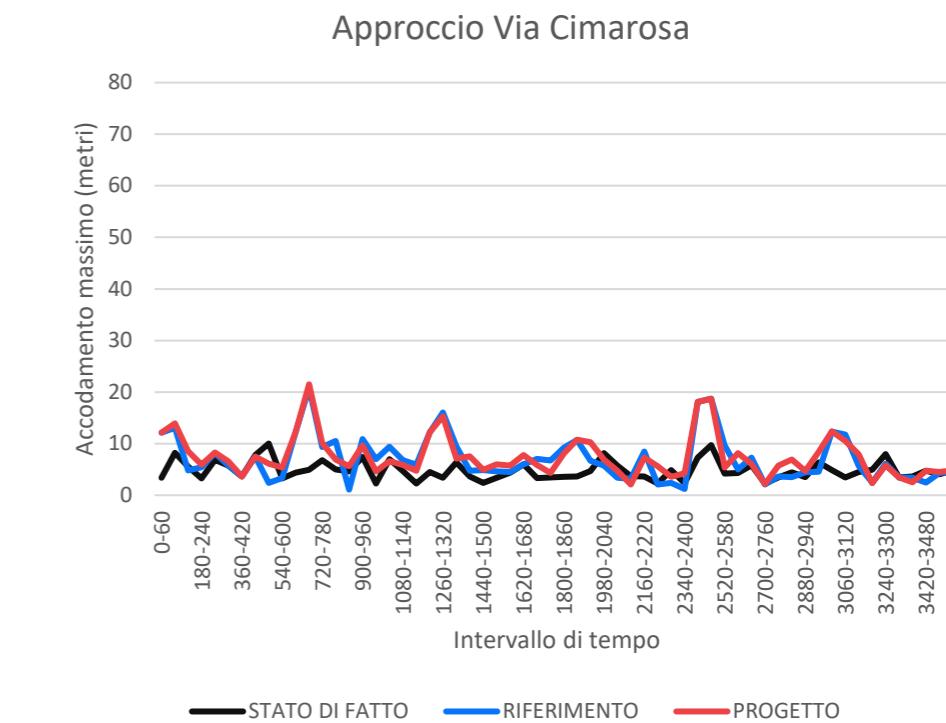
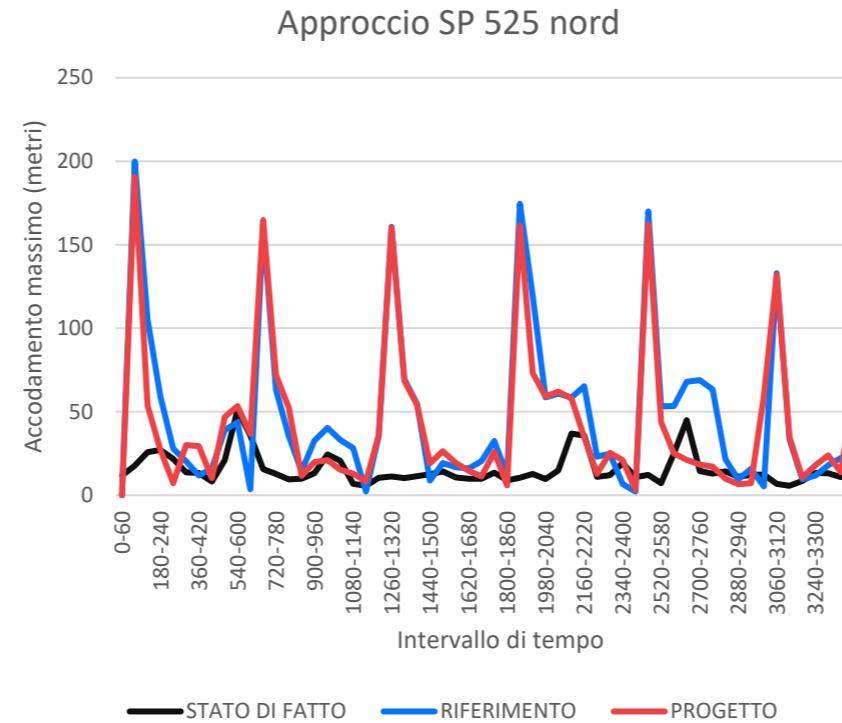
□ Systematica

Rotatoria SP525 – Viale Locatelli

Confronto di Scenari – Accodamenti massimi agli approcci

Analisi Postazione 3

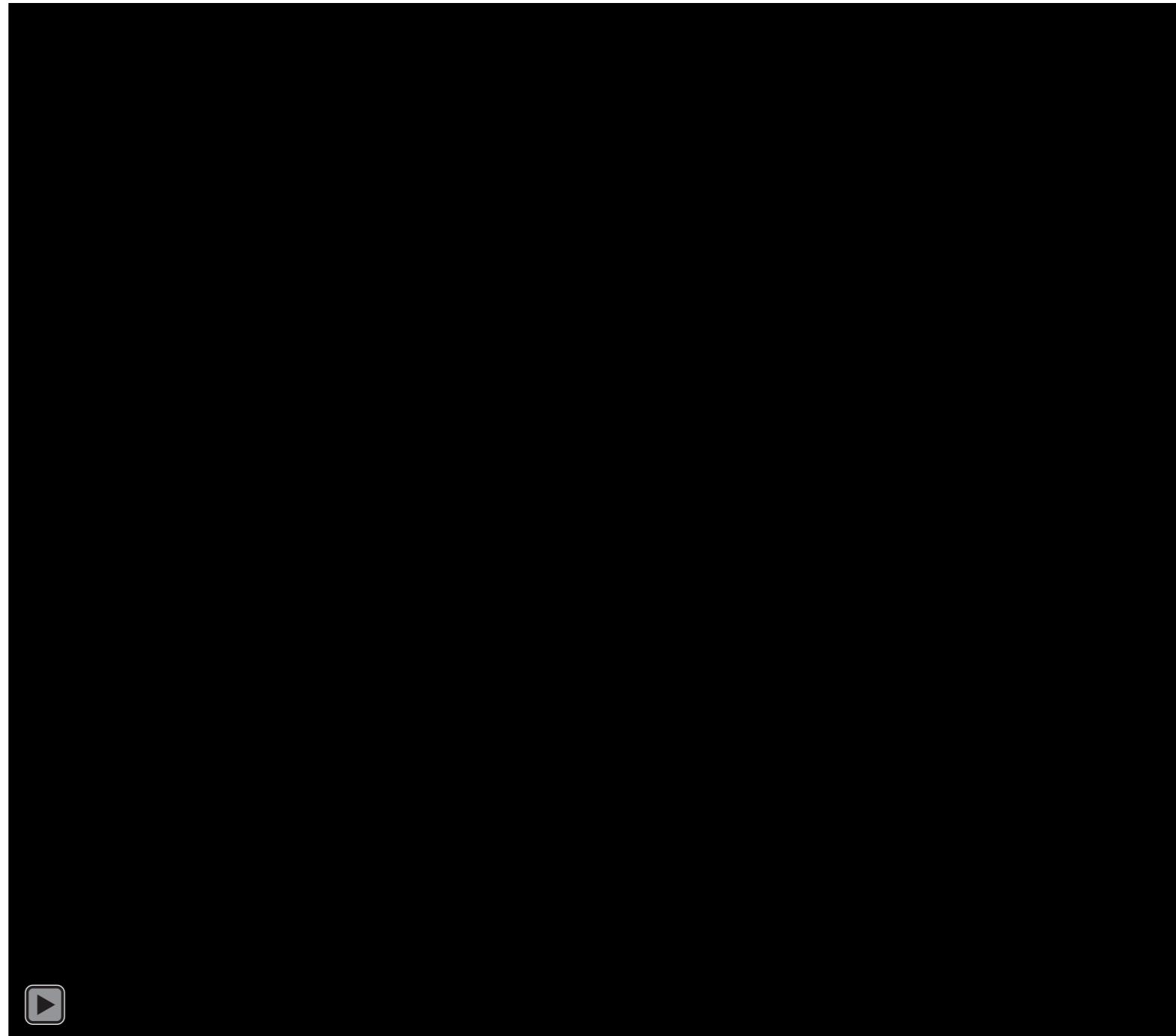
I grafici a lato mostrano l'andamento delle code massime nei diversi approcci in tutti gli scenari simulati. Anche per gli accodamenti massimi vale quanto detto in precedenza. Come per l'andamento delle code medie, si conferma il maggiore impatto del semaforo lungo la SP525 sia in direzione nord che 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.*



Rotatoria SP525 – Via Verdellino – Via Cimarosa

Video dello Scenario di Progetto 2026

Analisi Postazione 3



6·Valutazioni conclusive

□ Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

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.

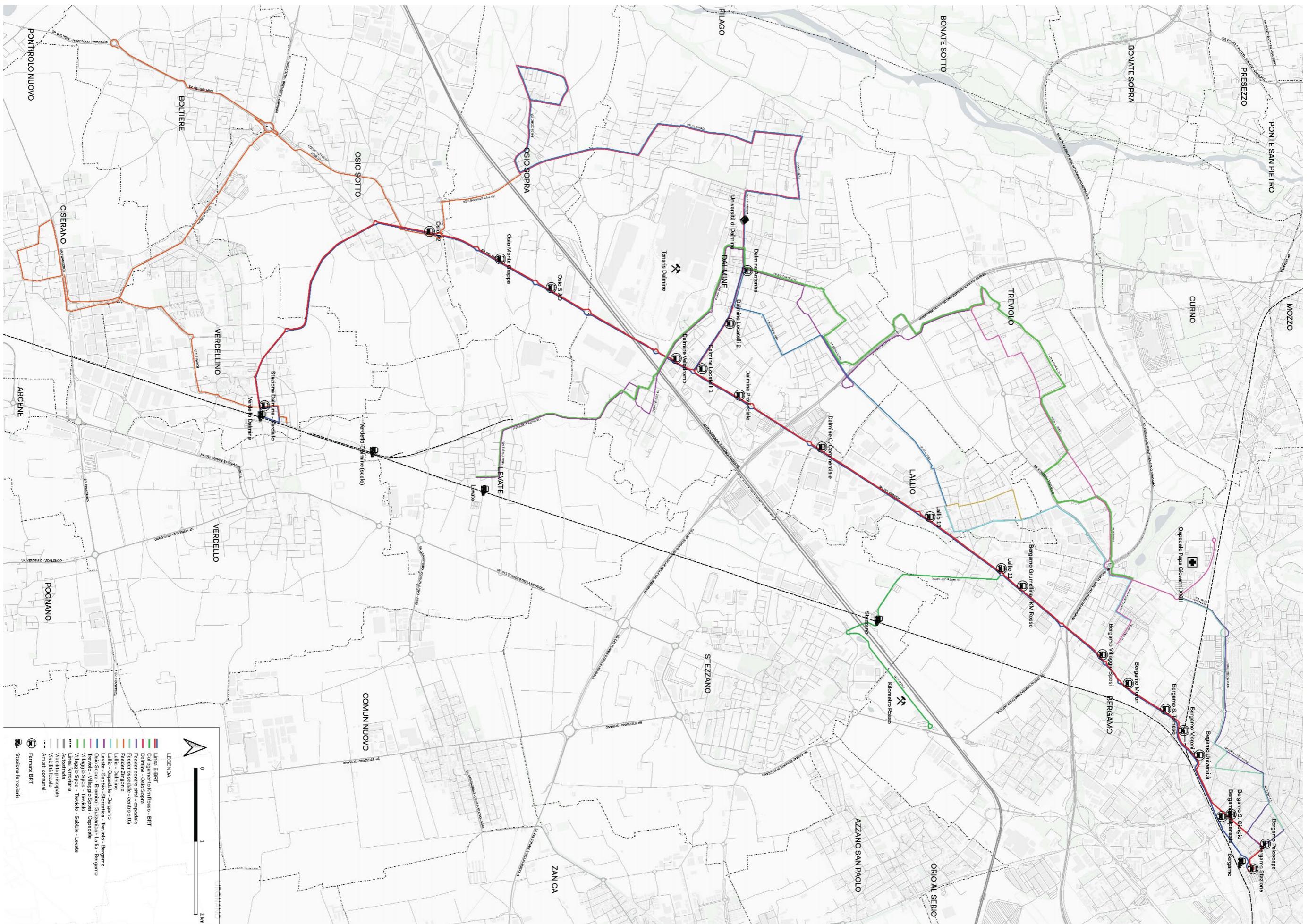
Nei tre nodi analizzati le analisi dimostrano la sostenibilità dell'intervento. Gli indici trasportistici non evidenziano criticità significative. La presenza degli impianti semaforici produce temporanei accodamenti che si risolvono nel tempo di qualche minuto. Le code maggiori si registrano nella rotatoria 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

□ Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022



□ Systematica

E-BRT Bergamo – Dalmine – Analisi prestazionale nodi viabilistici e aggiornamento cartografico infrastruttura di progetto – Marzo 2022

© 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