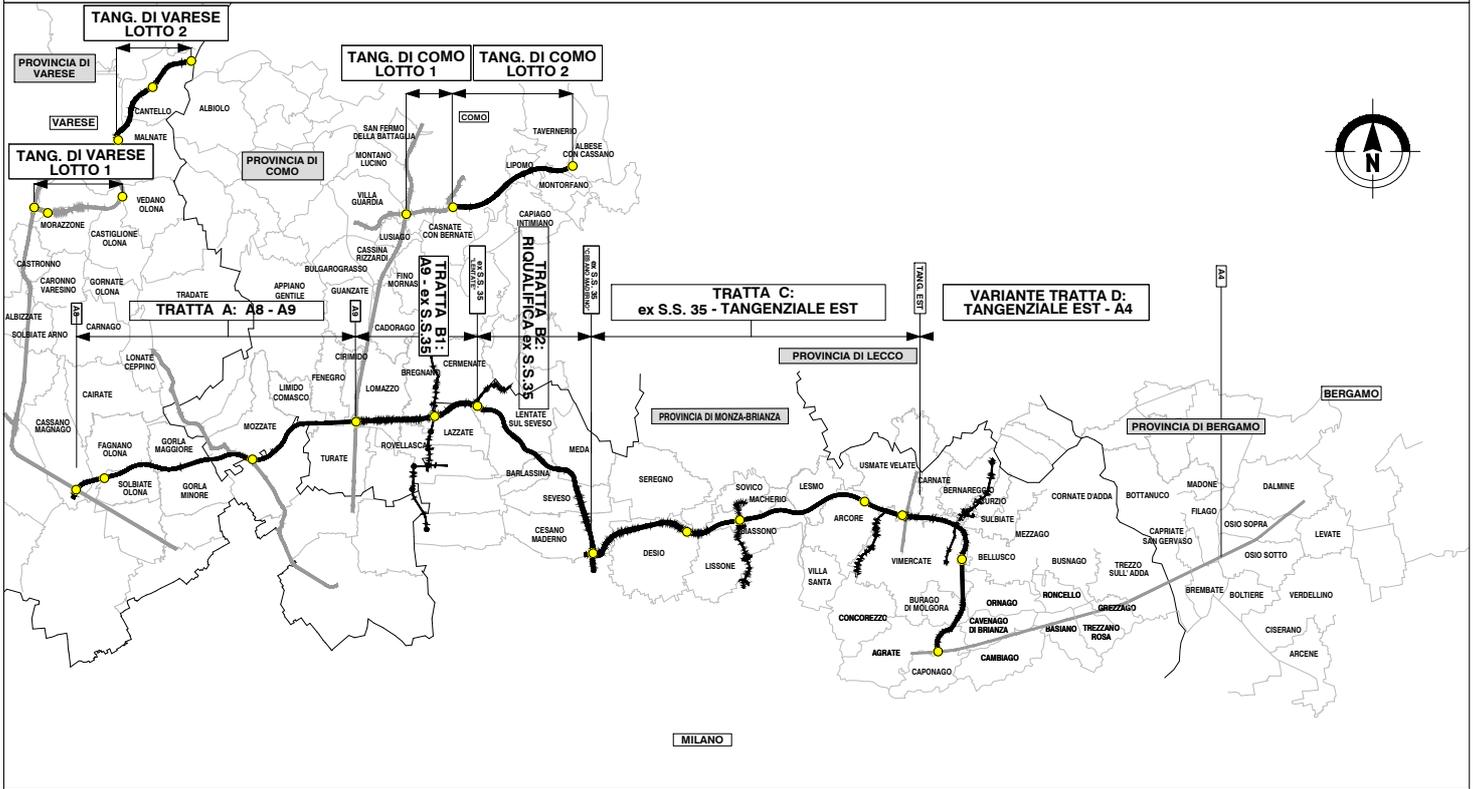


QUADRO DI UNIONE GENERALE



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO DEFINITIVO VARIANTE TRATTA D

PROGETTO STRADALE PARTE GENERALE

Verifiche funzionali delle intersezioni

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
D	SD	DD	000	0000	000	RS	002	A

DATA 30 Giugno 2023

SCALA -

CONCEDENTE



PROGETTAZIONE



DATA

REVISIONE

30 Giugno 2023 EMISSIONE A

ELABORAZIONE PROGETTUALE

Direzione Ingegneria BIM Center
 RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
 Arch. Fabio Massimo Saldini Ing. Lucia Samorani

Redatto: Ing. Norese Visto: Ing. Norese Contributo specialistico: Ing. iambozzo

CONCESSIONARIO

Direttore Ingegneria e BIM Center: Arch. Fabio Massimo Saldini
 Direttore Tecnico: Ing. Paolo Simonetta
 Responsabile Funzione Tecnica, Project Financing e ACT Ing. Andrea Monguzzi

VERIFICA E VALIDAZIONE

RTI: Conteco Check S.r.l. (Mandante), Rina Check S.r.l. (Mandataria), Bureau Veritas Italia S.p.a. (Mandataria)

Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato in tutto o in parte senza il consenso scritto di Autostrada Pedemontana Lombarda S. p. A. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.
 This document may not be copied, reproduced or published either in part or entirely without the written permission of Autostrada Pedemontana Lombarda S. p. A. Unauthorized use will be persecuted by law.



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA D

TRATTA D PROGETTO STRADALE

Verifiche funzionali delle intersezioni

INDICE

1. SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE SVINCOLI TRATTA D BREVE – MICRO-SIMULAZIONE	3
1.1 Introduzione.....	3
1.2 Gli indicatori analizzati.....	3
2. VERIFICA DEGLI SVINCOLI PER LA TRATTA D BREVE.....	5
2.1 Caratteristiche dell’offerta simulata.....	5
2.2 Caratteristiche della domanda simulata.....	6
2.3 Risultati delle simulazioni	8
2.3.1 Svincoli autostradali	8
2.3.2 Verifica delle rotatorie con viabilità ordinaria	16

1. SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE SVINCOLI TRATTA D BREVE – MICRO-SIMULAZIONE

1.1 INTRODUZIONE

A seguito dell'aggiornamento del modello di macrosimulazione del traffico, utilizzato per elaborare le previsioni di traffico futuro sulla rete APL, sono state effettuate le valutazioni trasportistiche relativamente alla capacità degli svincoli della tratta D breve nel gestire il traffico di previsione sugli stessi. Tali valutazioni sono state elaborate mediante l'utilizzo di un modello di microsimulazione dinamica del traffico che utilizza come input i dati ottenuti dal modello di macrosimulazione, con l'obiettivo di fornire ai progettisti indicazioni utili per dimensionare un'infrastruttura in grado di assorbire i volumi futuri previsti, garantendo un adeguato livello di servizio.

Il software utilizzato per le valutazioni è Vissim, sviluppato dalla società tedesca PTV AG Karlsruhe; uno strumento multimodale di microsimulazione dinamica che permette di dettagliare la rete stradale e offre la possibilità di riprodurre il comportamento delle componenti di traffico, permettendo di osservare il risultato dei calcoli effettuati tramite una rappresentazione in real-time.

In particolare, Vissim consente di analizzare in tempo reale il deflusso veicolare, la formazione di code ed i fenomeni di congestione. Oltre alle rappresentazioni grafiche, lo strumento fornisce report numerici sia al livello di rete sia con dettaglio del singolo veicolo per ogni istante di marcia, mettendo a disposizione strumenti efficaci per l'analisi e la verifica delle scelte infrastrutturali adottate.

1.2 GLI INDICATORI ANALIZZATI

I risultati delle simulazioni, descritti nei seguenti paragrafi, sono sintetizzati mediante restituzioni grafiche ed indicatori trasportistici che supportano la valutazione della distribuzione stimata dei carichi sulla rete, le relative condizioni di deflusso ed eventuali criticità.

In particolare, sono stati analizzati gli indicatori di seguito descritti.

- **Fotogrammi esemplificativi delle simulazioni:** capaci di mostrare visivamente il dettaglio dello stato della circolazione dei nodi maggiormente rappresentativi dell'ambito di studio al termine dell'ora di simulazione.
- **Flussi veicolari sugli archi (veicoli/ora):** stimati dal modello come distribuzione dei carichi sulla rete, distinti per le categorie di domanda considerate.
- **Velocità medie di percorrenza (km/h):** velocità media con le quali vengono percorsi dai veicoli gli archi stradali nell'ora di simulazione.
- **Percentuale di ritardo (s/s) e Livello di Servizio (LOS):** il LOS è un indicatore utilizzato per fornire una valutazione qualitativa dello stato della circolazione sulle tratte della rete stradale simulata, calcolato in base al ritardo medio di percorrenza di un arco. Il deflusso libero corrisponde ai livelli A e B e rappresenta la condizione ottimale di circolazione; mentre il deflusso condizionato corrisponde ai livelli di

servizio C e D, che sono comunque accettabili in ambito urbano. Il deflusso critico corrisponde ai livelli di servizio E ed F e, nel caso di lunghe tratte interessate da questo livello di servizio, impongono una diversa soluzione progettuale per evitare di incorrere in fenomeni di congestione. Per ogni tratta della rete simulata è stata calcolata la percentuale di ritardo relativo rispetto al tempo di percorrenza in condizioni di libero deflusso; secondo quanto indicato dalle norme HCM (Highway Capacity Manual), quest'ultima è collegata al Livello di Servizio secondo quanto descritto nella tabella seguente.

Tabella 1.1: Definizione del Livello di Servizio (LOS) in funzione del ritardo relativo sugli archi

Stato della circolazione	Livello di Servizio (LOS)	Descrizione	% Ritardo relativo (t)
Deflusso libero	A	Circolazione libera, ogni veicolo si muove senza alcun vincolo ed in libertà assoluta di manovra nella corrente del traffico.	$t < 10\%$
	B	Circolazione libera ma con modesta riduzione nella velocità, le manovre cominciano a risentire della presenza degli altri utenti.	$10\% \leq t < 30\%$
Deflusso condizionato	C	La presenza degli altri veicoli determina vincoli sempre maggiori nel mantenere la velocità desiderata e nella libertà di manovra: si riduce il comfort ma il flusso è ancora stabile.	$30\% \leq t < 50\%$
	D	Si restringe il campo di scelta della velocità e la libertà di manovra, si ha elevata densità ed insorgono problemi di disturbo: il comfort si abbassa ed il flusso può divenire instabile	$50\% \leq t < 70\%$
Deflusso critico	E	Il flusso si avvicina al limite della capacità e si riducono la velocità e la libertà di manovra: il flusso diviene instabile, anche modeste perturbazioni possono causare fenomeni di congestione	$70\% \leq t < 90\%$
	F	Flusso forzato, il volume veicolare smaltibile si abbassa insieme alla velocità, si verificano facilmente condizioni instabili di deflusso fino all'insorgere di forti fenomeni di accodamento.	$t \geq 90\%$

Fonte: HCM

2. VERIFICA DEGLI SVINCOLI PER LA TRATTA D BREVE

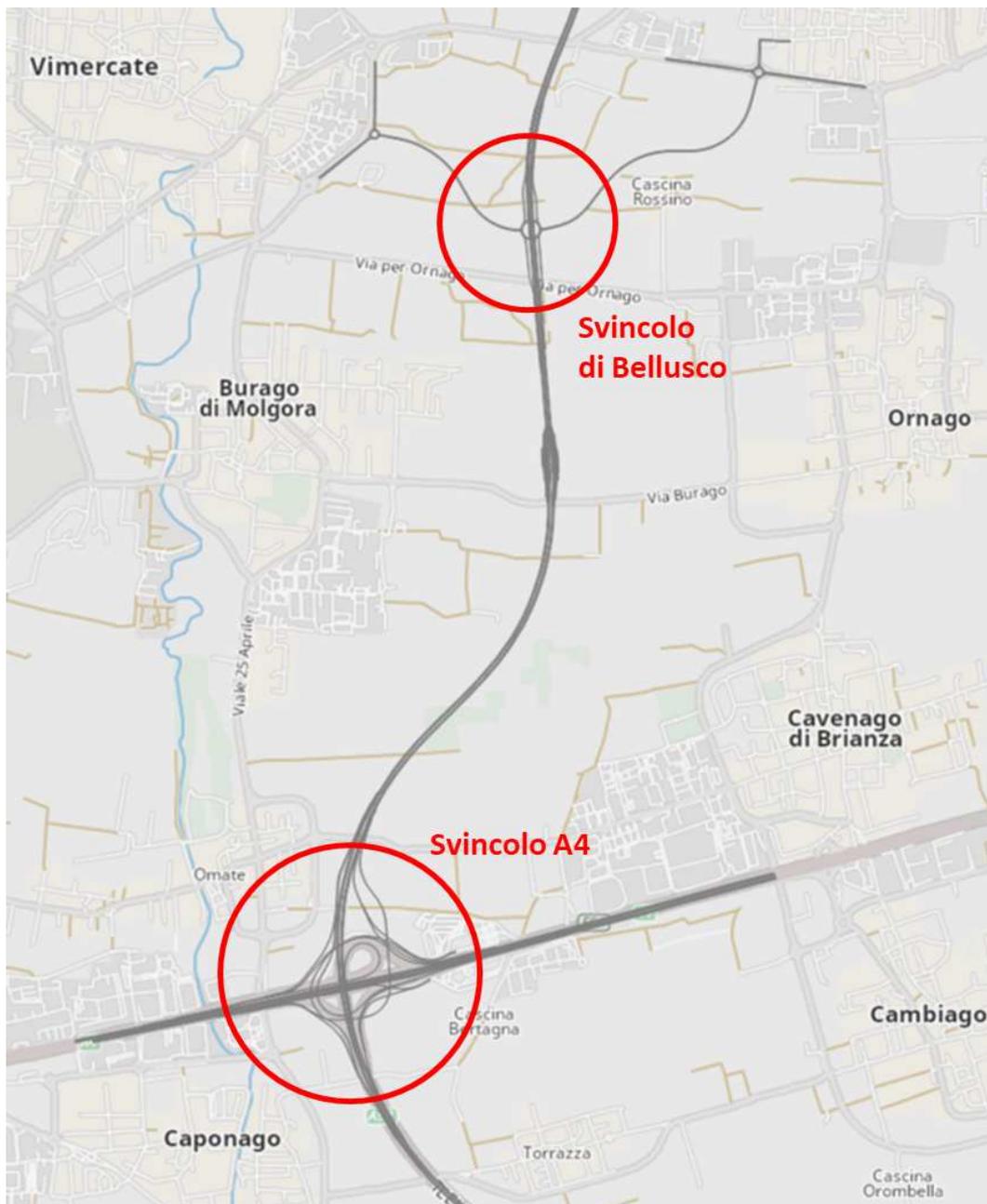
2.1 CARATTERISTICHE DELL'OFFERTA SIMULATA

Sulla base della configurazione futura individuata dai progettisti per la tratta D breve, è stata dettagliata l'infrastruttura stradale di progetto all'interno dell'area di studio come rappresentato nella figura seguente.

L'area comprende due svincoli:

- lo svincolo autostradale con l'A4, a sud;
- lo svincolo di Bellusco, a nord.

Figura 2.1: Configurazione progettuale simulata



Fonte: Elaborazione Steer

Da un punto di vista infrastrutturale, sono state prese in considerazione le caratteristiche geometriche della rete (quali larghezza delle sedi stradali, numero di corsie, ecc.), così come i limiti di velocità, gli schemi di circolazione veicolare e la segnaletica stradale.

2.2 CARATTERISTICHE DELLA DOMANDA SIMULATA

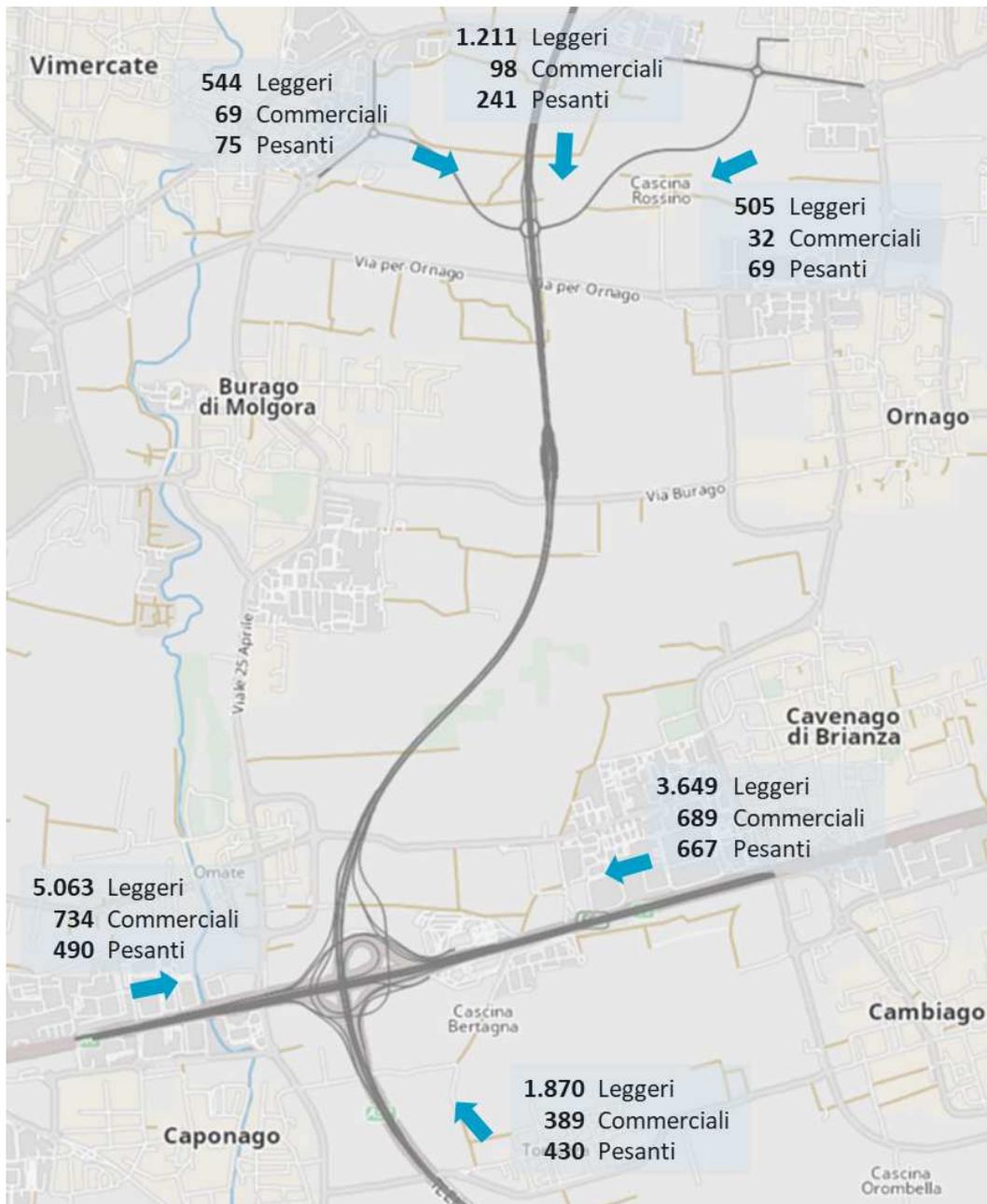
Coerentemente con i risultati del modello di macrosimulazione descritti nel relativo report, è stata simulata la domanda di mobilità stimata per l'orizzonte temporale 2030, e per l'ora di punta del mattino del giorno feriale medio.

Tale domanda non include il periodo iniziale di ramp-up e può quindi ritenersi rappresentativa di volumi di traffico a regime sulla tratta D breve.

In particolare, la domanda in ingresso all'area di studio è stata codificata rispetto alle seguenti classi veicolari come riportato nella figura seguente:

- Veicoli leggeri;
- Veicoli commerciali;
- Mezzi pesanti.

Figura 2.2: Domanda di mobilità in ingresso all'area di studio – ora di punta del mattino 2030



Fonte: Elaborazione Steer

Successivamente, tale domanda è stata ripartita all'interno del modello di microsimulazione in base ai percorsi origine-destinazione effettuati da ogni tipologia di veicolo, coerentemente a quanto rilevato nel modello di macrosimulazione.

2.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

2.3.1 Svincoli autostradali

Di seguito si riportano i risultati della valutazione trasportistica per i due svincoli oggetto di analisi, per l'ora di punta del mattino simulata. Si sottolinea che per una maggiore affidabilità e bontà dei risultati, la simulazione prevede mezz'ora di pre-carico per consentire la registrazione degli indicatori trasportistici in una condizione di deflusso già a regime.

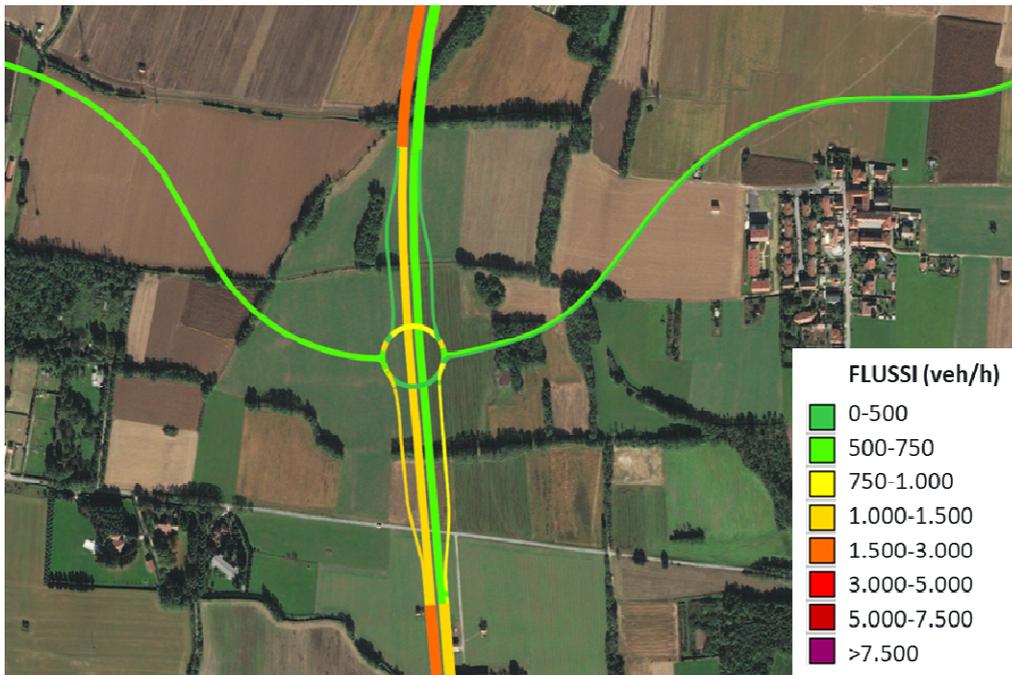
In particolare, i risultati vengono presentati in termini di:

- Veicoli/ora per corsia;
- Velocità (km/h) per arco;
- LOS stimato sulla base dei ritardi accumulati dai veicoli alle intersezioni.

La simulazione ha evidenziato come la tratta D breve, ed in particolare gli svincoli con l'Autostrada A4 e di Bellusco, riescono a gestire i volumi di traffico stimati senza particolari criticità.

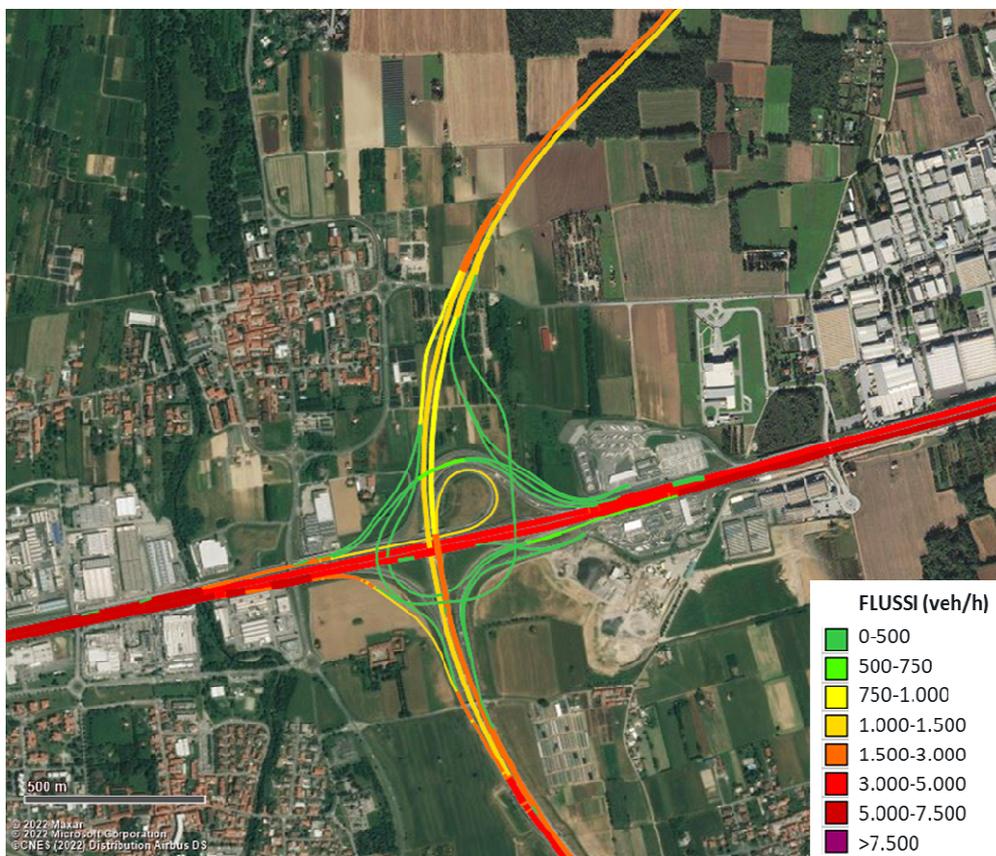
Le rampe dello svincolo di Bellusco che presentano i flussi maggiori sono quelle con le carreggiate in direzione sud, con valori compresi tra i 900 ed i 1.100 veicoli/ora; mentre in direzione nord i valori sono più modesti. Le viabilità ordinarie in direzione est-ovest raccolgono flussi direzionali dell'ordine dei 600 veicoli/ora. Lo svincolo complessivamente mostra un funzionamento corretto, solamente l'approccio da ovest evidenzia maggiori rallentamenti, con formazione di code moderate (in media poco superiori ai 30 metri di lunghezza) che si smaltiscono in tempi ragionevoli. Occorre osservare che, cautelativamente, gli approcci sono stati modellati con una singola corsia, eventuali potenziamenti progettuali potranno eliminare completamente i modesti ritardi riscontrati. Le immissioni sulla carreggiata principale non evidenziano invece ritardi o problematiche. Sullo svincolo con l'A4 i volumi maggiori si concentrano sulle rampe tra A4 e TEEM in direzione ovest, con valori dell'ordine dei 1.400 veicoli/ora. Il carico maggior si riscontra immediatamente a monte dell'immissione in carreggiata direzione ovest dell'A4, dove si sommano i flussi provenienti da TEEM e dalla tratta D, raggiungendo quasi i 2.000 veicoli/ora. I volumi riescono ad essere gestiti in modo corretto dall'infrastruttura, senza evidenziare rallentamenti o formazione di code.

Figura 2.3: Flussi – Svincolo di Bellusco



Fonte: Elaborazione Steer

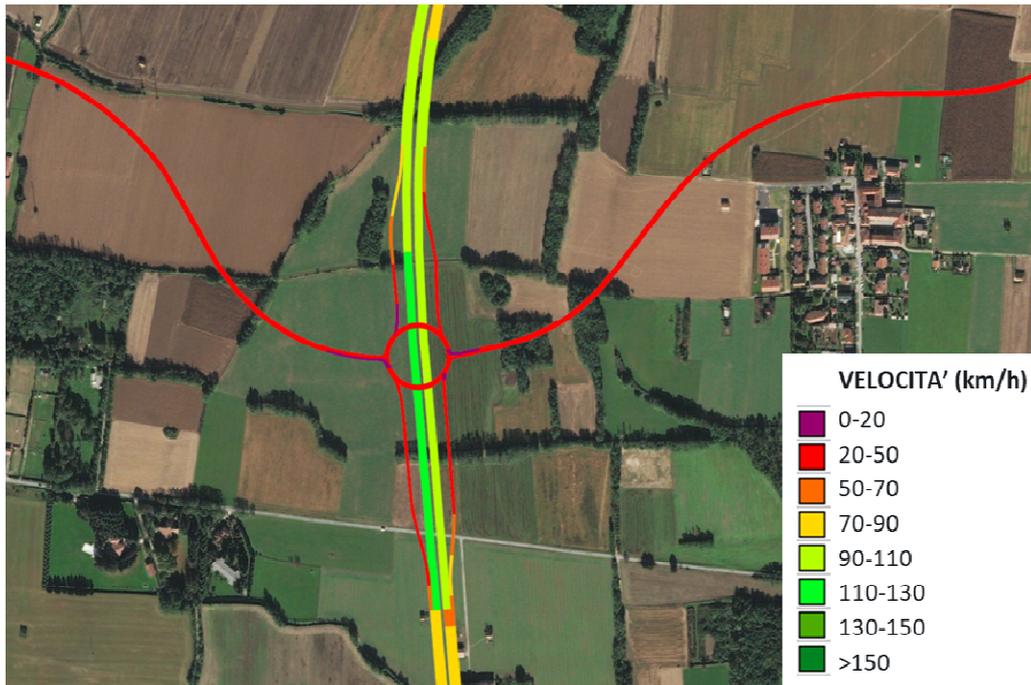
Figura 2.4: Flussi – Svincolo A4



Fonte: Elaborazione Steer

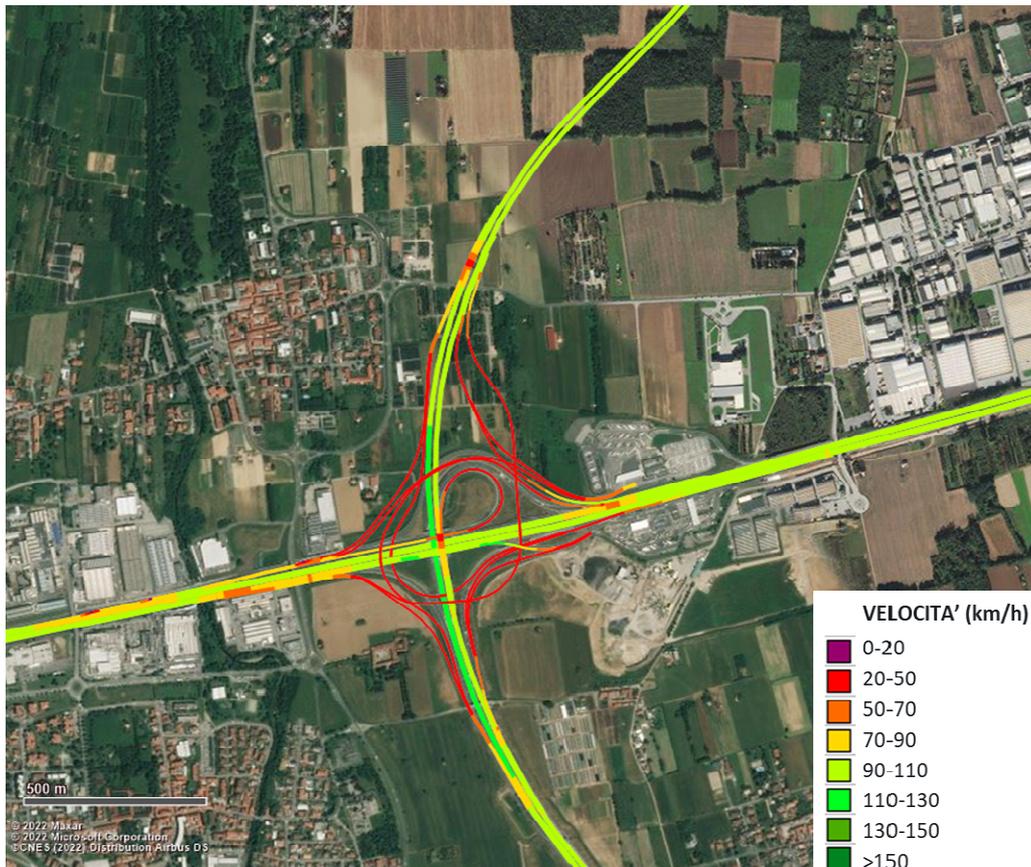
Le velocità di percorrenza sono buone, con riduzioni per lo più legate alle caratteristiche dell'infrastruttura (rampe, accessi, limiti di velocità) ed in modo limitato ai volumi di traffico. Sulle rampe degli svincoli si stimano velocità di percorrenza dell'ordine dei 40-50 km/h, coerentemente con i limiti imposti, in particolar modo sulla viabilità ordinaria.

Figura 2.5: Velocità – Svincolo di Bellusco



Fonte: Elaborazione Steer

Figura 2.6: Velocità – Svincolo A4



Fonte: Elaborazione Steer

In termini di livelli di servizio, di seguito si riportano le mappe tematiche e le tabelle che riassumono i valori stimati dal modello espressi in termini di ritardo medio lungo l'intera estensione delle rampe e approcci.

In generale, i livelli di servizio sono accettabili, generalmente superiori a LOS C al 2030, su quasi tutta la rete analizzata ad eccezione di tratti limitati con livelli più modesti, che non determinano comunque scadimenti della qualità del deflusso, rallentamenti o code.

Figura 2.7: LOS – Svincolo di Bellusco



Fonte: Elaborazione Steer

Complessivamente lo svincolo di Bellusco ha livelli di servizio buoni per tutte le rampe analizzate. Solo tre rampe mostrano un livello di servizio C che si ritiene comunque accettabile considerando che stiamo analizzando l'ora di punta del mattino.

Tabella 2.1: Riassunto LOS 2030 – Svincolo di Bellusco

Rampa	Infrastruttura/Manovra	LOS 2030
1	Immissione da est (ultimi 250m di approccio alla rotatoria)	C
1 bis	Uscita da est (ultimi 250m di approccio alla rotatoria)	A
2	Immissione da ovest (ultimi 250m di approccio alla rotatoria)	C
2 bis	Uscita da ovest (ultimi 250m di approccio alla rotatoria)	A
3	Rampa di immissione da sud	B
4	Rampa di uscita da sud	B
5	Rampa di immissione da nord	C
6	Rampa di uscita da nord	A

Fonte: Elaborazione Steer

Lo svincolo con l'A4 mostra livelli di servizio buoni su tutte le rampe, ed anche le immissioni sulle carreggiate principali autostradali non mostrano rallentamenti o formazione di code.

Figura 2.8: LOS – Svincolo A4



Fonte: Elaborazione Steer

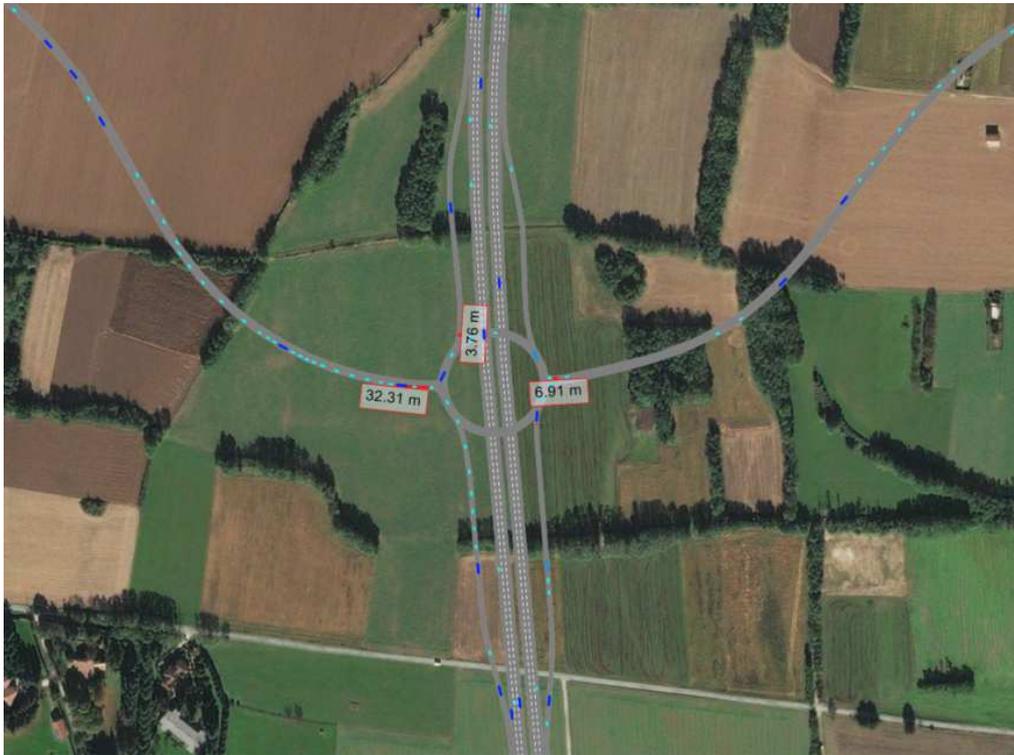
Tabella 2.2: Riassunto LOS 2030 – Svincolo A4

Rampa	Infrastruttura/Manovra	LOS 2030
1	A4 Asse Est	B
2	Rampa di immissione carreggiata dir. Nord (rampa da est)	A
3	Rampa di immissione carreggiata dir. Ovest (rampa da est)	A
4	Rampa di immissione carreggiata dir. Sud (rampa da est)	A
5	A58 Asse Sud	B
6	Rampa di immissione carreggiata dir. Est (rampa da sud)	A
7	Rampa di immissione carreggiata dir. Ovest (rampa da sud)	B
8	A4 Asse Ovest	B
9	Rampa di immissione carreggiata dir. Sud (rampa da ovest)	B
10	Rampa di immissione carreggiata dir. Nord (rampa da ovest)	A
11	DBreve Asse Nord	A
12	Rampa di immissione carreggiata dir. Ovest (rampa da nord)	B
13	Rampa di immissione carreggiata dir. Est (rampa da nord)	A

Fonte: Elaborazione Steer

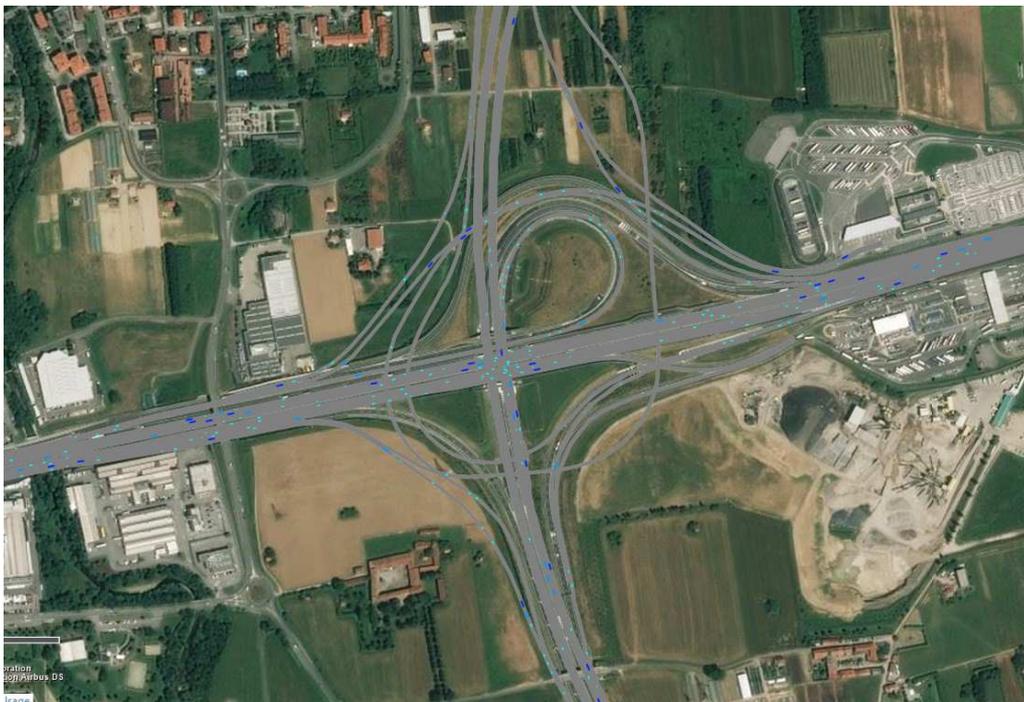
Le figure seguenti mostrano degli screenshots delle simulazioni al 2030, che consentono di visualizzare la distribuzione dei veicoli sulla rete ed evidenziare le buone condizioni di deflusso riscontrate durante le analisi e la lunghezza delle code sulla rotatoria dello svincolo di Bellusco.

Figura 2.9: Screenshot della simulazione e lunghezza delle code medie – Svincolo di Bellusco



Fonte: Elaborazione Steer

Figura 2.10: Screenshot della simulazione – Svincolo A4



Fonte: Elaborazione Steer

Le verifiche di dettaglio a supporto della progettazione della tratta D breve, con particolare attenzione agli svincoli autostradali di Bellusco e A4, elaborate mediante microsimulazione dinamica, hanno evidenziato quindi una capacità adeguata dell'infrastruttura ad assorbire i carichi previsti, mostrando condizioni di deflusso buone senza formazione di rallentamenti o code di rilievo.

2.3.2 Verifica delle rotatorie con la viabilità ordinaria

In maniera analoga agli svincoli autostradali, si riportano in questo paragrafo i risultati della simulazione nell'orizzonte temporale al 2030, per le due rotatorie con la viabilità ordinaria mostrati in figura: Rotatoria 1 con la Tangenziale Sud di Vimercate e Rotatoria 2 con la SP2.

Figura 2.11: Configurazione progettuale simulata – Rotatorie con la viabilità ordinaria



Fonte: Elaborazione Steer

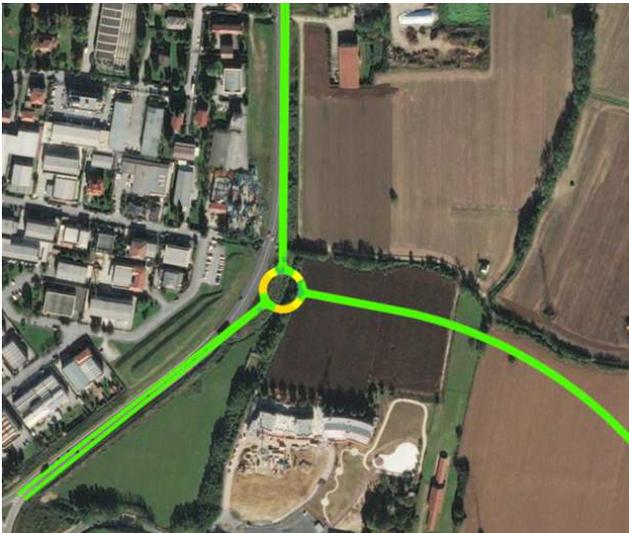
La simulazione ha evidenziato che le due rotatorie non presentano criticità rilevanti, riuscendo a gestire i volumi di traffico stimati con buone condizioni di deflusso e la sostanziale assenza di accodamenti.

La Rotatoria 1 gestisce un carico orario complessivo pari a circa 1.900 veicoli, mentre i flussi di traffico sugli approcci sono dell'ordine dei 550-750 veicoli/ora, con i volumi più elevati concentrati nel ramo nord.

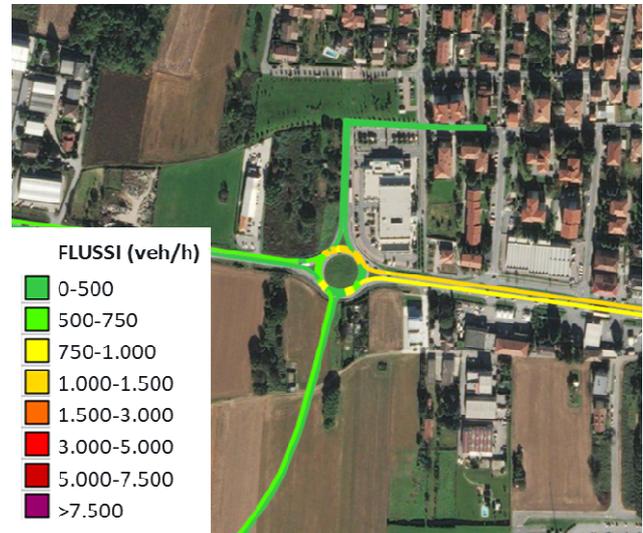
La rotatoria 2 è interessata da flussi leggermente più elevati, superiori ai 2.000 veicoli orari complessivi; i carichi maggiori sono presenti sull'approccio da est della SP2 con circa 1.050 veicoli/ora, mentre gli approcci SP2-ovest e Dbreve-sud mostrano flussi dell'ordine dei 400-500 veicoli/ora.

Figura 2.12: Flussi – Rotatorie viabilità ordinaria

Rotatoria 1



Rotatoria 2

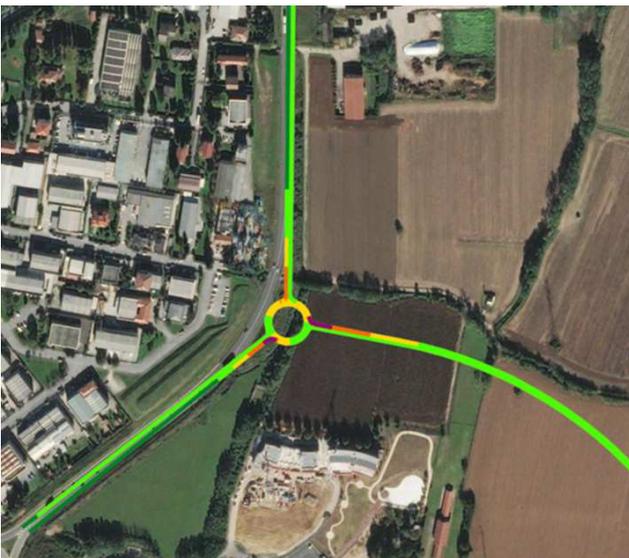


Fonte: Elaborazione Steer

Le velocità di percorrenza sono buone e in linea con i limiti imposti e le caratteristiche dell'infrastruttura, con rallentamenti solo in approccio alle rotatorie dove i veicoli concedono la precedenza a chi è già all'interno dell'anello.

Figura 2.13: Velocità – Rotatorie viabilità ordinaria

Rotatoria 1



Rotatoria 2



Fonte: Elaborazione Steer

In termini di livelli di servizio, si riportano di seguito la tabella e le mappe tematiche che riassumono i valori stimati dal modello espressi in termini di ritardo medio.

I risultati sono buoni in tutti i rami di approccio delle due intersezioni (LOS B), ad eccezione di brevi tratti in corrispondenza dei dare precedenza delle rotatorie.

Tabella 2.3: Riassunto LOS 2030 – Rotatorie viabilità ordinaria

Rotatoria	Ramo di ingresso	LOS 2030
1	1	B
	2	B
	3	B
2	4	B
	5	B
	6	B
	7	B

Fonte: Elaborazione Steer

Figura 2.14: LOS – Rotatorie viabilità ordinaria

Rotatoria 1

Rotatoria 2



Fonte: Elaborazione Steer

Non si stimano particolari rallentamenti in approccio alle due rotatorie, con code medie di lunghezza non superiore ai 15 metri (circa 2-3 veicoli).

Figura 2.15: Lunghezza delle code – Rotatorie viabilità ordinaria

Rotatoria 1



Rotatoria 2



Fonte: Elaborazione Steer