

AUTOSTRADA(A4):TORINO-VENEZIA

POTENZIAMENTO ALLA 4^ CORSA DINAMICA
DEL TRATTO AUTOSTRADALE COMPRESO TRA
SVINCOLO CERTOSA E SVINCOLO SESTO SANGIOVANNI

ADEGUAMENTO SVINCOLO DI SESTO SANGIOVANNI

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA E ECONOMICA

DG-DOCUMENTAZIONE GENERALE

PARTE GENERALE

Studio di traffico

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Stefano Santambrogio
Ord. Ingg. Milano N. A27107

RESPONSABILE ANALISI
TRASPORTISTICHE

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Stefano Santambrogio
Ord. Ingg. Milano N. A27107



IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Andrea Tanzi
Ord. Ingg. Parma N. 1154

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO		RIFERIMENTO DIRETTORIO					RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE		
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog., Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	00		
110412	0001	PP	DG	GEN	00000	00000	R	A	T	R	0001	-1	SCALA -

 	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068						n.	data
							0	DICEMBRE 2018
							1	SETTEMBRE 2020
							2	-
REDATTO:			VERIFICATO:			3	-	
						4	-	

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE DEI LAVORI
Ing. Andrea Frediani

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI E IL PERSONALE
STRUTTURADIVIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

Sommario

1. OGGETTO E FINALITÀ	4
1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI PROGETTUALI	5
2. METODOLOGIA	9
3. DATI DI TRAFFICO	10
3.1 DOMANDA ATTUALE	12
4. IMPLEMENTAZIONE MODELLO DI MICROSIMULAZIONE	14
5. SCENARIO ATTUALE	16
5.1 MODELLO DI OFFERTA	16
5.2 MODELLO DI DOMANDA	16
5.3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO	17
6. SCENARIO PROGETTUALE	31
6.1 MODELLO DI OFFERTA	31
6.2 MODELLO DI DOMANDA	33
7. VERIFICA FUNZIONALE A4	36
7.1 CARREGGIATA EST	36
7.2 CARREGGIATA OVEST	47
8. VERIFICA FUNZIONALE A52	51
9. VERIFICA FUNZIONALE SS36	54
10. CONCLUSIONI	57
11. APPENDICE: A52 GALLERIA S. ROCCO	58
11.1 VERIFICA FUNZIONALE A4 CARREGGIATA EST	58
11.2 VERIFICA FUNZIONALE A4 CARREGGIATA OVEST	63
11.3 VERIFICA FUNZIONALE A52 CARREGGIATA EST	64
11.4 VERIFICA FUNZIONALE A52 CARREGGIATA OVEST	65

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1. INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO	4
FIGURA 2. SVINCOLO A4 CINISELLO B. / SESTO S. G. – STATO ATTUALE.....	5
FIGURA 3. SVINCOLO A4 CINISELLO B. / SESTO S. G. - INTERVENTO PROGETTUALE	6
FIGURA 4. INTERVENTO PROGETTUALE A52 (TRATTO INIZIALE): COMPLANARIZZAZIONE SVINCOLI	7
FIGURA 5. INTERVENTO PROGETTUALE A52 (TRATTO FINALE).....	7
FIGURA 6. INTERVENTO PROGETTUALE RETE LOCALE	8
FIGURA 7. PUNTI DI RILIEVO.....	10
FIGURA 8. PARTICOLARE PUNTI DI RILIEVO RAMPE A52 E SS36	10
FIGURA 9. PARTICOLARE PUNTI DI RILIEVO SVINCOLO A4	11
FIGURA 10. PARTICOLARE PUNTI DI RILIEVO RAMPE A4.....	11
FIGURA 11. PARTICOLARE PUNTI DI RILIEVO BARRIERE AUTOSTRADALI	12
FIGURA 12. LOCALIZZAZIONE CENTROIDI CORDONALI	12
FIGURA 13. MATRICE OD ATTUALE VENERDÌ 4 MAGGIO 2018 H 17:00 – 18:00.....	13
TABELLA 1. DENSITÀ E LOS SECONDO HCM – TRATTE ELEMENTARI	14
TABELLA 2. DENSITÀ E LOS SECONDO HCM – IMMISSIONI E DIVERSIONI.....	14
TABELLA 3. DENSITÀ E LOS SECONDO HCM – TRONCHI DI SCAMBIO.....	15
FIGURA 14. GRAFO AIMSUN – SCENARIO ATTUALE	16
FIGURA 15. DATI TOM TOM 17:30 – 17:45	18
FIGURA 16. LOCALIZZAZIONE DETECTORS – SCENARIO ATTUALE.....	19
GRAFICO 1. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE - A4 DIREZIONE EST	20
GRAFICO 2. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE - A4 DIREZIONE OVEST	21
GRAFICO 3. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – A52 DIREZIONE EST.....	22
GRAFICO 4. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – A52 DIREZIONE OVEST.....	23
GRAFICO 5. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – SS36 DIREZIONE NORD.....	24
GRAFICO 6. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – SS36 DIREZIONE SUD	25
FIGURA 17. ITINERARIO DI ANALISI.....	26
GRAFICO 7. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – COMPLANARE SS36 DIREZIONE NORD	27
GRAFICO 8. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – COMPLANARE SS36 DIREZIONE SUD.....	28
GRAFICO 9. CONFRONTO VELOCITÀ RILEVATE E SIMULATE – ITINERARIO DI ANALISI	29
FIGURA 18. GRAFO AIMSUN – SCENARIO PROGETTUALE	31
FIGURA 19. GRAFO AIMSUN – INTERVENTI A4.....	32
FIGURA 20. GRAFO AIMSUN – INTERVENTO A52 DIREZIONE EST (COMPLANARE)	32
FIGURA 21. GRAFO AIMSUN – INTERVENTI RETE LOCALE	33
FIGURA 22. NUOVI CENTROIDI PARCHEGGI CENTRO COMMERCIALE AUCHAN	34
FIGURA 23. NUOVO CENTROIDE PARCHEGGIO CENTRO DIREZIONALE.....	34
FIGURA 24. MATRICE OD PROGETTUALE VENERDÌ H 17:00 – 18:00.....	35
FIGURA 25. ACCODAMENTI A4 – SCENARIO ATTUALE.....	36
FIGURA 26. ACCODAMENTI A4 – SCENARIO PROGETTUALE.....	37
FIGURA 27. ITINERARIO RAMPA A4.....	37
GRAFICO 10. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – ITINERARIO RAMPA A4.....	39
FIGURA 28. DENSITÀ VEICOLARE ITINERARIO RAMPA A4 – SCENARIO ATTUALE	41
FIGURA 29. DENSITÀ VEICOLARE ITINERARIO RAMPA A4 – SCENARIO PROGETTUALE	42
FIGURA 30. LIVELLO DI SERVIZIO ITINERARIO RAMPA A4 – SCENARIO ATTUALE	43
FIGURA 31. LIVELLO DI SERVIZIO ITINERARIO RAMPA A4 – SCENARIO PROGETTUALE	44
GRAFICO 11. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. EST – SCENARIO ATTUALE	46
GRAFICO 12. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. EST – SCENARIO PROGETTUALE	47
FIGURA 32. GRAFO AIMSUN – RAMPA A4 CARR. OVEST: SCENARIO ATTUALE	48
FIGURA 33. GRAFO AIMSUN – RAMPA A4 CARR. OVEST: SCENARIO PROGETTUALE	48
GRAFICO 13. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. OVEST – SCENARIO ATTUALE	49
GRAFICO 14. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. OVEST – SCENARIO PROGETTUALE	50
GRAFICO 15. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – A52 DIREZIONE EST.....	52

GRAFICO 16. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – A52 DIREZIONE OVEST.....	53
GRAFICO 17. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – SS36 DIREZIONE NORD.....	55
GRAFICO 18. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – SS36 DIREZIONE SUD	56
FIGURA 34. GRAFO AIMSUN – INTERVENTO A52 DIREZIONE OVEST (GALLERIA)	58
FIGURA 35. ITINERARIO EST RAMPA A4	58
GRAFICO 19. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – ITINERARIO EST RAMPA A4	59
FIGURA 36. DENSITÀ VEICOLARE ITINERARIO EST RAMPA A4 – SCENARIO ATTUALE	60
FIGURA 37. DENSITÀ VEICOLARE ITINERARIO EST RAMPA A4 – SCENARIO PROGETTUALE	60
FIGURA 38. LIVELLO DI SERVIZIO ITINERARIO EST RAMPA A4 – SCENARIO ATTUALE.....	61
FIGURA 39. LIVELLO DI SERVIZIO ITINERARIO EST RAMPA A4 – SCENARIO PROGETTUALE	61
GRAFICO 20. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. EST – SCENARIO ATTUALE	62
GRAFICO 21. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. EST – SCENARIO PROGETTUALE	62
GRAFICO 22. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. OVEST – SCENARIO ATTUALE	63
GRAFICO 23. LUNGHEZZA DELLA CODA RAMPA A4 CARR. OVEST – SCENARIO PROGETTUALE	63
GRAFICO 24. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – A52 DIREZIONE EST.....	64
GRAFICO 25. CONFRONTO VELOCITÀ SIMULATE SCENARI ATTUALE E PROGETTUALE – A52 DIREZIONE OVEST.....	65

1. OGGETTO E FINALITÀ

Il presente studio di traffico illustra le attività svolte e le risultanze ottenute nell'ambito delle analisi funzionali riguardanti il **potenziamento infrastrutturale relativo al nodo stradale A4 – A52 – SS36**, focalizzando l'analisi soprattutto sull'autostrada A4 e la rampa di uscita a Cinisello B. in carreggiata Est.

Lo studio ha avuto i seguenti obiettivi:

- Fotografare le attuali condizioni di circolazione quantificando il carico veicolare che insiste sulla rete stradale in esame;
- Verificare l'efficienza dell'intervento progettuale previsto relativo alla A4 rispetto alla necessità di contenere gli accodamenti che si creano allo stato attuale in uscita a Cinisello B. in carreggiata Est.

L'area oggetto del presente studio è interessata da una serie di interventi, che verranno in seguito brevemente descritti, ed è costituita da:

- Una viabilità principale:
 - Autostrada A4 Milano-Venezia → gestione Autostrade per l'Italia;
 - Autostrada A52 Tangenziale Nord di Milano → gestione Milano-Serravalle Spa;
 - Strada statale SS36 del lago di Como e dello Spluga → gestione ANAS;
- Una viabilità ordinaria locale collegata ad essa.

L'immagine seguente evidenzia le infrastrutture e le loro interconnessioni interessate dal presente studio.

Figura 1. Inquadramento area di studio



Le scelte progettuali pensate per l'area provocheranno una modifica dell'assetto infrastrutturale sia principale (in A4 e in A52) che ordinario, in seguito all'intervento di ristrutturazione e ampliamento del Centro Commerciale Auchan già esistente.

Si è proceduto, pertanto, a raccogliere una robusta base dati in modo da ricostruire esaustivamente la fenomenologia della domanda di mobilità attuale dell'area di studio effettuando opportune indagini di traffico.

Al fine di fornire un quadro dettagliato degli impatti e degli effetti benefici legati alla realizzazione dell'intervento sono stati quindi elaborati diversi scenari e in particolare:

- Lo **scenario attuale**, definito dalla distribuzione dei flussi veicolari attuali sulla rete infrastrutturale attuale. Tale scenario è stato implementato per calibrare i parametri dei modelli comportamentali del modello di micro simulazione che ha supportato lo studio;
- Lo **scenario progettuale**, definito dalla distribuzione dei flussi veicolari attuali, nell'ipotesi di domanda invariata per i poli attrattori dello scenario attuale, sulla rete infrastrutturale di progetto che prevede tra l'altro l'entrata in esercizio del nuovo Centro Commerciale Auchan e la conseguente aggiunta degli spostamenti ad esso correlati. Tale scenario ha avuto la finalità di definire la funzionalità di particolari elementi infrastrutturali costituenti la rete.

1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI PROGETTUALI

Di seguito vengono descritti in maniera sintetica gli interventi progettuali che interessano l'area di studio.

- **A4**

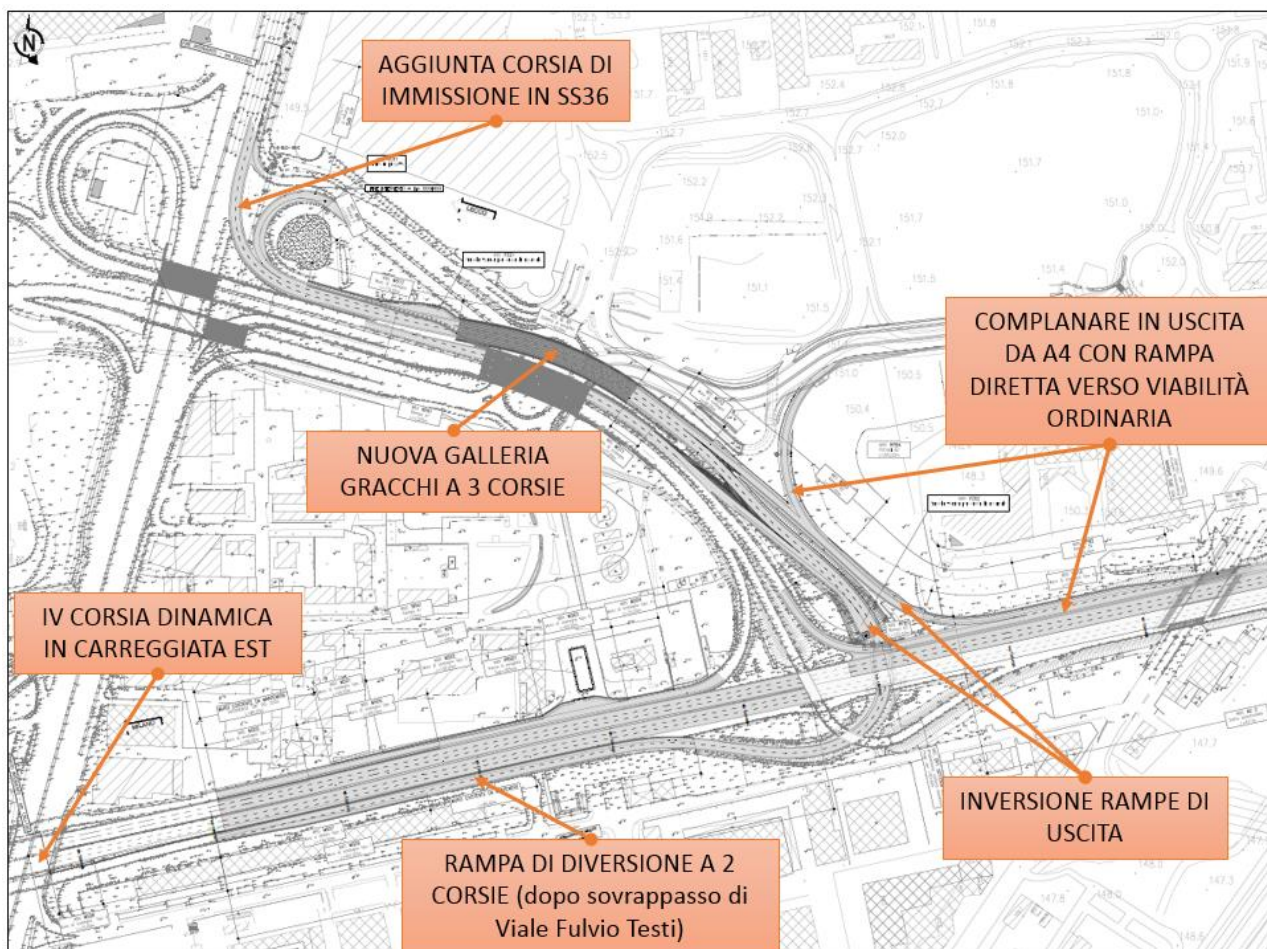
Gli interventi lungo la A4 interessano lo svincolo di Cinisello Balsamo / Sesto San Giovanni e comprendono i seguenti elementi infrastrutturali:

- IV corsia dinamica tra lo svincolo di Cormano e quello di Cinisello in carreggiata Est;
- Inversione delle due rampe di uscita da Venezia e da Torino nel loro punto di confluenza;
- Ampliamento della rampa di diversione in carreggiata Est da 1 a 2 corsie subito dopo il sovrappasso di Viale Fulvio Testi;
- Realizzazione di una nuova canna della galleria Gracchi in direzione Ovest e riordino della rampa di uscita dalla A4 e di raccordo alla SS36;
- Aggiunta di una corsia sulla rampa che dalla A4 consente l'immissione sulla SS36 in direzione Lecco, subito a valle della galleria Gracchi;
- Realizzazione di una complanare in uscita da Venezia con rampa diretta verso la viabilità ordinaria.

Figura 2. Svincolo A4 Cinisello B. / Sesto S. G. – Stato attuale



Figura 3. Svincolo A4 Cinisello B. / Sesto S. G. - Intervento progettuale



- **A52**

Per quanto riguarda la A52, di gestione della società Milano-Serravalle Spa, l'intervento progettuale, in capo al CC Auchan, prevede la realizzazione in carreggiata Est di una strada di servizio localizzata in corrispondenza della progressiva 6 + 500 e che termina con l'uscita di Robecco: tale complanare ha come finalità ultima la limitazione delle interferenze tra i flussi in attraversamento lungo la A52 e i veicoli che effettuano le varie manovre di immissione e uscita lungo le rampe.

Pertanto, la nuova configurazione prevede che tutte le rampe di uscita (svincoli di Cinisello B. Sud Viale Brianza / Milano Viale Zara, uscita SS36 Lecco / Monza Villa Reale, uscita Cinisello B. Robecco) e in ingresso in SS36 da Milano e da Lecco siano servite dalla nuova strada di servizio, permettendo così di limitare l'estensione e la numerosità delle aree di intreccio delle traiettorie.

La proposta progettuale prevede il mantenimento dell'attuale sedime stradale, senza modifiche alle opere strutturali esistenti, se non una riorganizzazione della piattaforma usufruendo dell'ampio spazio attualmente destinato a corsia di emergenza o banchina.

Lungo la A52 in direzione Est è prevista, inoltre, anche la rimozione della rampa di ingresso dello svincolo di Robecco che permette l'immissione in Tangenziale Nord da Via Thomas Edison.

Figura 4. Intervento progettuale A52 (tratto iniziale): complanarizzazione svincoli



Figura 5. Intervento progettuale A52 (tratto finale)



• **RETE LOCALE**

La ristrutturazione e l'ampliamento della superficie occupata dall'attuale Centro Commerciale Auchan prevede una modifica significativa dell'assetto viabilistico locale attualmente in esercizio che interessa l'area di studio.

In particolare si prevede:

- La realizzazione del collegamento Nord-Sud tra la rotonda di Via Menotti – svincolo A52 Robecco e la rotonda di Via Bettola – Via Biagi;
- Il potenziamento di Via Galilei mediante la realizzazione di 2 corsie per senso di marcia fino alla rotonda con Via Biagi;
- L'eliminazione di Via Bettola e Via Padre Pio di Pietralcina;
- L'adeguamento delle intersezioni a rotonda esistenti.

Figura 6. Intervento progettuale rete locale



2. METODOLOGIA

In funzione degli obiettivi specifici dello studio, sono state eseguite le seguenti attività:

- a) **Inquadramento territoriale e definizione dell'area di studio;**
- b) **Elaborazione dei dati di traffico:** raccolta dei dati di traffico reperiti attraverso database e apposite indagini effettuate ad hoc da Spea, dall'operatore del Centro Commerciale Auchan e da Milano-Serravalle Spa in funzione dei diversi ambiti gestionali;
- c) **Costruzione della domanda di mobilità:** attraverso i dati a disposizione e con il supporto di un modello di macrosimulazione implementato dal consulente del CC Auchan, è stata determinata la matrice o/d relativa allo scenario attuale;
- d) **Implementazione del micromodello di traffico:** costruzione e implementazione di un micromodello di simulazione del traffico privato;
- e) **Calibrazione del micromodello rappresentativo dello stato attuale:** grazie alla disponibilità di dati reali di velocità rilevata, è stata eseguita una procedura di calibrazione del modello operando un confronto con i dati simulati;
- f) **Stima della matrice o/d rappresentativa della mobilità generata e attratta dal CC Auchan:** recepimento della matrice o/d progettuale stimata dal consulente trasportistico del CC Auchan;
- g) **Acquisizione dei layout progettuali e loro implementazione micromodellistica;**
- h) **Estrazione e analisi degli indicatori:** predisposizione, a partire dagli output computazionali delle simulazioni effettuate, delle informazioni necessarie alla verifica della funzionalità degli elementi progettuali.

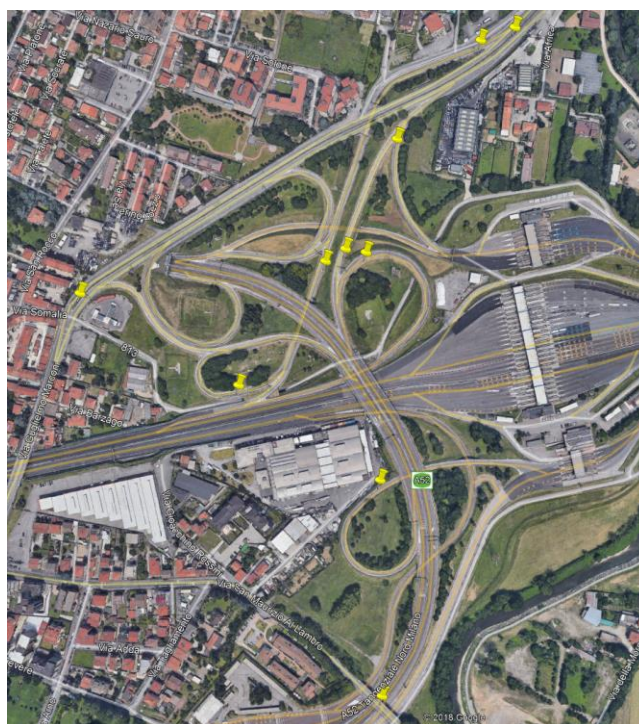
La metodologia descritta, supportata dall'utilizzo di uno strumento specialistico per la simulazione del flusso veicolare, ha consentito di valutare il carico veicolare che insiste su ciascun elemento della rete stradale analizzato nonché la sua risposta, in termini microscopici, di efficienza.

Di seguito vengono presentate nel dettaglio le attività svolte nell'ambito di ciascuna fase di lavoro.

Figura 9. Particolare punti di rilievo svincolo A4



Figura 10. Particolare punti di rilievo rampe A4



Le indagini per l'area in esame sono state eseguite tramite apparecchiature radar, videocamere e conteggi manuali e sono state svolte nel mese di Maggio 2018.

A tali rilievi devono poi aggiungersi anche i dati di traffico relativi alle barriere autostradali di Milano Est e Monza della A4, di gestione Autostrade per l'Italia, e della A52 Tangenziale Nord, di gestione Milano Serravalle Spa.

Figura 11. Particolare punti di rilievo barriere autostradali



3.1 DOMANDA ATTUALE

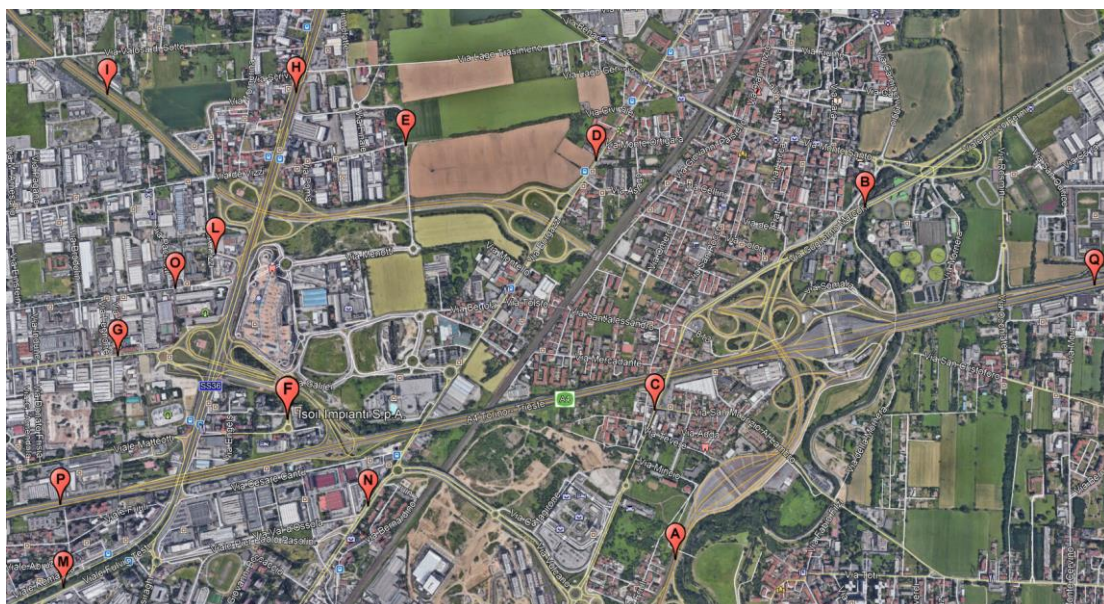
Per poter ricostruire la domanda di mobilità che interessa l'area di studio allo stato attuale, avendo a disposizione i dati di traffico derivanti dalle indagini e i dati alle barriere, è stato considerato come periodo di analisi un venerdì feriale, in particolare **venerdì 4 maggio 2018**. Di tale giorno è stata poi analizzata **l'ora di punta del pomeriggio 17:00 – 18:00**.

Considerando la costante congestione del nodo oggetto di studio, congestione che non varia durante tutto l'anno ad eccezione del mese di agosto, il giorno indagato lo si è considerato rappresentativo di un venerdì feriale medio.

La fascia oraria indagata è dipesa dalla Legge Lombarda che chiede per gli Studi di Traffico della Grandi Strutture di Vendita di indagare l'ora di punta serale 17-18 di un venerdì feriale.

L'immagine seguente mostra in modo dettagliato la localizzazione dei punti terminali della rete infrastrutturale esaminata, ovvero i centroidi cordonali.

Figura 12. Localizzazione centroidi cordonali



La ricostruzione della matrice o/d relativa all'ora di punta del pomeriggio si è avvalsa di una articolata procedura, eseguita dal consulente del CC Auchan, che ha previsto la costruzione di un modello in scala macroscopica: in esso sono stati implementati i dati di traffico disponibili e una matrice derivante da rilievi specifici effettuati utilizzando i dispositivi Bluetooth presenti a bordo dei veicoli in transito all'interno della rete in esame. In questo modo, riuscendo a rappresentare un campione sufficientemente significativo, è stato possibile effettuare una stima degli spostamenti tra tutte le coppie o/d in modo da ricalcare i dati di traffico e le ripartizioni percentuali della matrice Bluetooth.

Il sistema BT, adottato per ricostruire la matrice degli spostamenti dell'area di studio, è stato scelto poiché unica possibile metodologia disponibile per poter pervenire ad una stima minimamente realistica della matrice. Qualunque campione si fosse riusciti a catturare sarebbe stato comunque maggiore della totale assenza di informazioni. Il campionamento ottenuto dai dispositivi BT al cordone della matrice ha raggiunto un valore variabile tra il 5 ed il 15%. L'espansione all'universo è stata effettuata applicando la matrice BT delle percentuali di ripartizione delle destinazioni al flusso rilevato su ogni sezione di origine.

La matrice o/d così ricavata è in termini di **veicoli equivalenti**.

Figura 13. Matrice OD attuale venerdì 4 maggio 2018 h 17:00 – 18:00

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	Σ
A	0	145	0	45	0	115	12	494	1320	12	90	52	20	412	121	2838
B	120	0	1030	3	0	0	10	113	500	39	162	56	104	544	98	2779
C	4	901	0	1	0	0	0	1	5	0	3	0	0	0	110	1024
D	20	6	0	0	0	0	5	22	305	6	144	257	11	67	105	947
E	0	1	0	0	0	0	0	15	48	0	16	0	0	0	0	80
F	9	26	0	41	0	0	2	160	3	5	10	0	0	0	0	257
G	72	16	0	86	0	0	0	65	9	3	114	0	0	0	118	483
H	687	233	0	62	23	0	12	0	0	57	2750	1	92	538	529	4984
I	130	476	0	38	0	0	1	386	0	3	352	507	1	0	518	2411
L	14	0	0	1	66	0	0	5	1	0	34	11	0	11	15	158
M	145	367	0	62	0	0	3	3046	511	22	0	58	0	423	265	4901
N	13	50	0	322	0	1	4	533	256	0	101	0	292	135	67	1772
O	8	6	0	45	0	0	2	37	15	20	3	435	0	0	0	572
P	600	302	0	25	0	0	150	678	0	0	60	101	0	0	4576	6491
Q	0	163	0	14	0	0	158	516	249	0	531	4	0	3201	0	4836
Σ	1822	2692	1030	744	89	117	359	6071	3221	168	4369	1481	520	5330	6521	34534

4. IMPLEMENTAZIONE MODELLO DI MICROSIMULAZIONE

L'analisi trasportistica è stata effettuata impiegando un opportuno strumento modellistico sviluppato e affinato per questo scopo: il software di micro simulazione Aimsun.

Essa è stata condotta in riferimento all'**ora di punta pomeridiana 17:00 – 18:00 di venerdì 4 maggio 2018** (giorno di effettuazione dei rilievi) ed ha consentito la calibrazione del modello di micro simulazione e la conseguente distribuzione dei flussi veicolari sulla rete, nonché la valutazione della funzionalità di alcuni elementi caratteristici della rete viaria analizzata, come rampe di immissione e uscita, mediante la stima di specifici indicatori di prestazione, ovvero la densità veicolare ed il livello di servizio (Level of Service – LOS).

Il livello di servizio e la densità sono i due parametri utilizzati dall'HCM (Highway Capacity Manual) per valutare le funzionalità degli elementi infrastrutturali che compongono la rete.

Le seguenti tabelle riportano le corrispondenze tra i range di densità e i LOS.

Tabella 1. Densità e LOS secondo HCM – Tratte elementari

LOS	Densità veicolare [veh/km]
A	0 – 7
B	7 – 11
C	11 – 16
D	16 – 22
E	22 – 28
F	≥ 28 o v/C ≥ 1

Tabella 2. Densità e LOS secondo HCM – Immissioni e diversioni

LOS	Densità veicolare [veh/km]
A	0 – 6
B	6 – 12
C	12 – 17
D	17 – 22
E	≥ 22
F	v/C ≥ 1

Tabella 3. Densità e LOS secondo HCM – Tronchi di scambio

LOS	Densità veicolare [veh/km]
A	0 – 6
B	6 – 12
C	12 – 17
D	17 – 22
E	22 – 27
F	≥ 27 o $v/C \geq 1$

Il modello di traffico specificatamente sviluppato per la rete infrastrutturale in esame è stato strumento per l'implementazione della seguente metodologia di studio:

- Per lo **scenario attuale**:
 - Rappresentazione dell'offerta attuale tramite grafo;
 - Implementazione della domanda attuale tramite la matrice o/d oraria in termini di veicoli equivalenti;
 - Simulazione dello scenario attuale;
 - Calibrazione del modello tramite verifica di soddisfacimento della domanda prevista e del confronto tra la velocità rilevata e quella simulata.
 - Verifica funzionale degli elementi della rete nello scenario attuale.

- Per lo **scenario progettuale**:
 - Rappresentazione dell'offerta progettuale tramite grafo;
 - Implementazione della domanda attuale e di quella aggiuntiva relativa al Centro Commerciale Auchan tramite la matrice o/d oraria in termini di veicoli equivalenti;
 - Simulazione dello scenario progettuale;
 - Verifica funzionale degli elementi della rete nello scenario progettuale.

5. SCENARIO ATTUALE

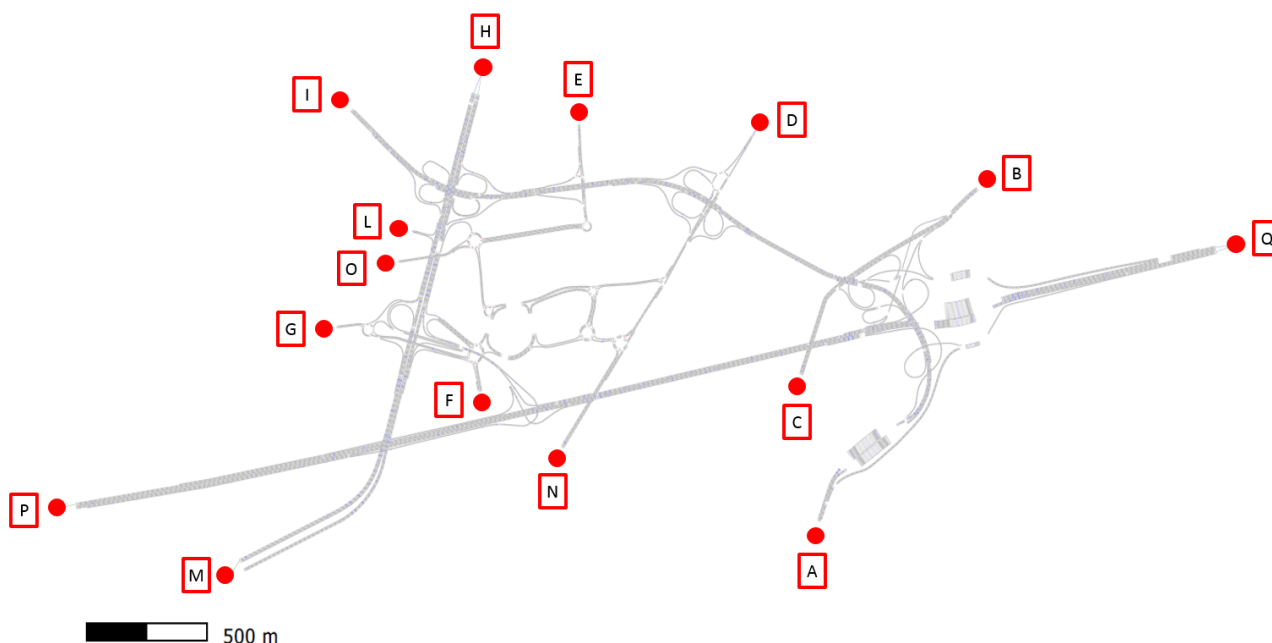
Lo scenario attuale è definito dall'offerta infrastrutturale presente all'attualità e dalla domanda di mobilità allo stato attuale.

5.1 MODELLO DI OFFERTA

Il grafo di rete utilizzato per la costruzione del modello di offerta nello scenario attuale è riportato in Figura 14: questo fa riferimento alla rete infrastrutturale comprendente la viabilità principale (A4, A52 e SS36) e quella ordinaria locale.

L'immagine mostra il grafo dell'intera rete che è stato implementato in Aimsun e in cui sono stati indicati anche i centroidi. Nelle sezioni stradali del modello sono state inserite le reali caratteristiche geometriche ed anche i limiti di velocità massima consentita. Tali parametri contribuiscono alla definizione del regime della circolazione stradale.

Figura 14. Grafo Aimsun – Scenario attuale



5.2 MODELLO DI DOMANDA

La ricostruzione della domanda, rappresentativa della mobilità che interessa l'area di studio, è stata effettuata secondo le seguenti fasi:

- Il consulente del CC Auchan ha costruito un modello in scala macroscopica, impiegando un apposito software, all'interno del quale sono stati inseriti i dati di traffico disponibili (rilievi da indagini, dati delle barriere autostradali, matrice Bluetooth di primo tentativo);
- Tramite una procedura di aggiustamento statico è stata ottenuta la matrice o/d espressa in veicoli equivalenti che rispecchia il più possibile i dati di traffico rilevati;
- Passando al modello in scala microscopica, è stata implementata tale matrice;
- Sono state effettuate le necessarie modifiche in modo da tenere in considerazione anche la quota di domanda non evasa a causa della presenza di congestione: per le sezioni dove si sono rilevati accodamenti si è sommato al flusso rilevato una stima del flusso in coda.

- La matrice o/d così stimata è stata ritenuta valida per poter essere applicata poi nel successivo scenario progettuale.

Si ricorda che il modello di domanda è stato costruito e implementato rispetto all'ora di punta del pomeriggio 17:00 – 18:00 di venerdì 4 maggio 2018 (giorno di effettuazione dei rilievi).

5.3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

In totale sinergia con la fase di aggiustamento della matrice o/d risultata dal modello di macro simulazione, è stata operata la fase di calibrazione del modello micro.

Con il termine calibrazione si intende quel processo di modifica di alcuni parametri caratteristici del micro modello grazie al quale si è cercato di ridurre, se non annullare, il gap tra i valori di determinate grandezze risultanti dalla simulazione e i valori che si sono osservati nella realtà. I parametri su cui si è intervenuti riguardano sostanzialmente la sfera del comportamento di guida dell'utente.

Per tale attività, sono stati acquisiti i dati di velocità relativi a un campione significativo di veicoli (quelli dotati di un dispositivo di navigazione Tom Tom a bordo) che sono circolati all'interno della rete di studio (in seguito si parlerà semplicemente di dati Tom Tom). Tali dati si riferiscono, in particolare, alla velocità media di percorrenza dei veicoli che hanno attraversato l'area di studio nel giorno e nell'ora in esame; i dati sono disponibili con aggregazione 15 minuti.

Pertanto, per l'ora di punta pomeridiana 17:00 – 18:00 di venerdì 4 maggio 2018 su cui si è incentrata l'analisi, si hanno a disposizione 4 valori di velocità, uno per ogni quarto d'ora, per ciascuna tratta elementare stradale.

In dettaglio, il processo di calibrazione ha interessato la viabilità principale e quindi i tre assi infrastrutturali cardine dell'area di studio:

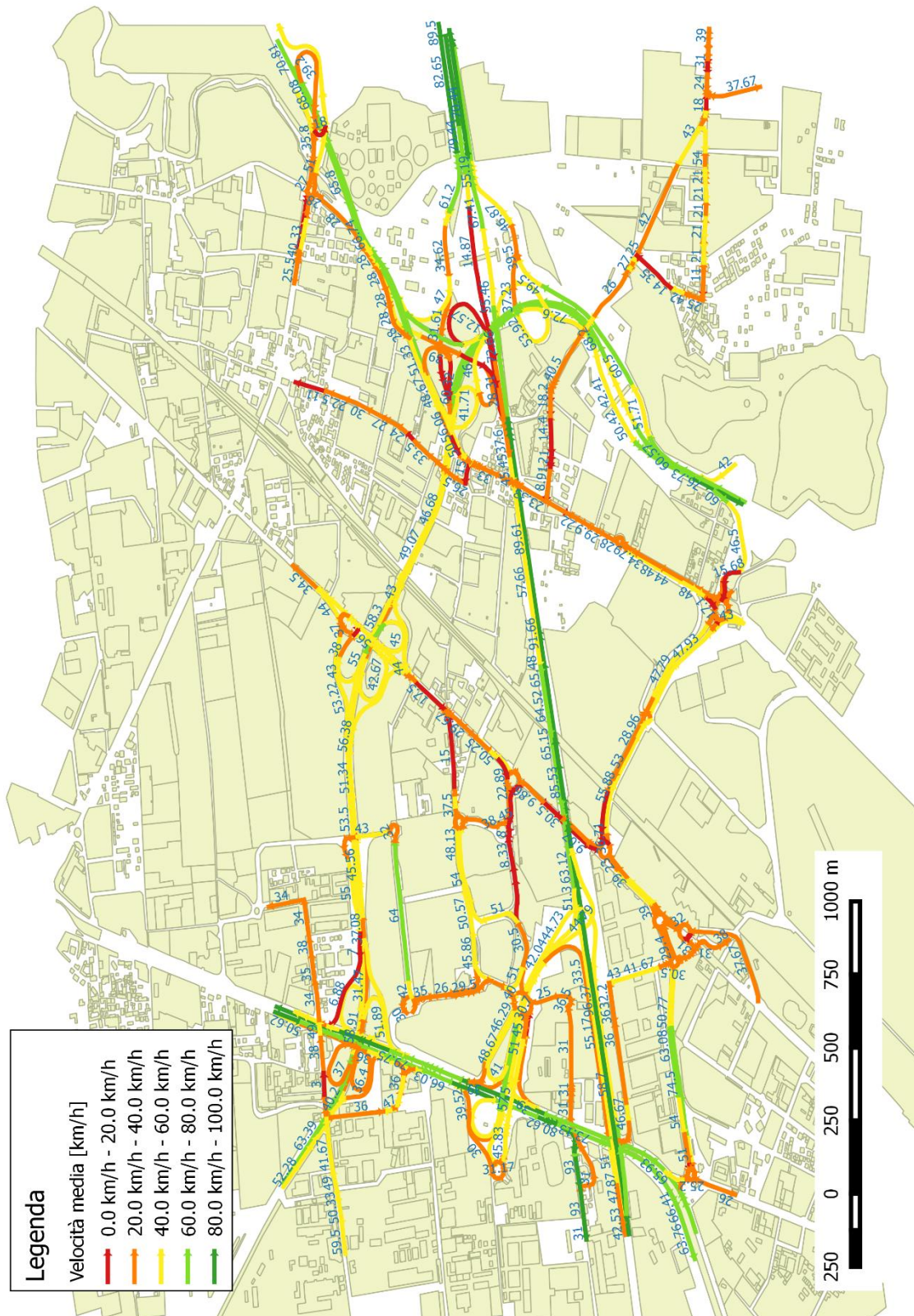
1. Autostrada A4;
2. Autostrada A52;
3. Strada Statale SS36.

Per ogni sezione stradale, i dati Tom Tom sono così composti:

- **Id:** valore identificativo del tratto di strada;
- **Length:** lunghezza del tratto di strada [m];
- **FRC:** classe funzionale della strada cui appartiene il segmento. È un valore che va da 0 (per le autostrade) a 8 (per le strade di destinazione);
- **Speed Limit:** limite di velocità del tratto di strada [km/h];
- **Street Name:** nome della strada;
- **Avg_tt:** tempo di percorrenza medio aritmetico del tratto di strada in riferimento al relativo quarto d'ora [sec];
- **Med_tt:** mediana aritmetica dei tempi di percorrenza del tratto di strada [sec];
- **Avg_sp:** velocità media aritmetica del tratto di strada in riferimento al relativo quarto d'ora [km/h];
- **Med_sp:** mediana aritmetica delle velocità del tratto di strada [km/h];
- **Sd_sp:** deviazione standard della velocità;
- **Hits:** numero di misurazioni rilevate per ciascun tratto di strada;
- **Px_sp:** velocità dell'*x* percentile con $x = 5, 10, \dots, 95$ (l'*x* % della velocità è superiore a tale valore) [km/h].

L'immagine seguente mostra, a titolo di esempio, i dati Tom Tom per l'intera rete in esame relativi al periodo temporale 17:30 – 17:45. In ogni segmento è riportato il valore della velocità media rilevata per il quarto d'ora specifico: tale valore è illustrato anche secondo una scala cromatica seguendo i range di riferimento descritti in legenda.

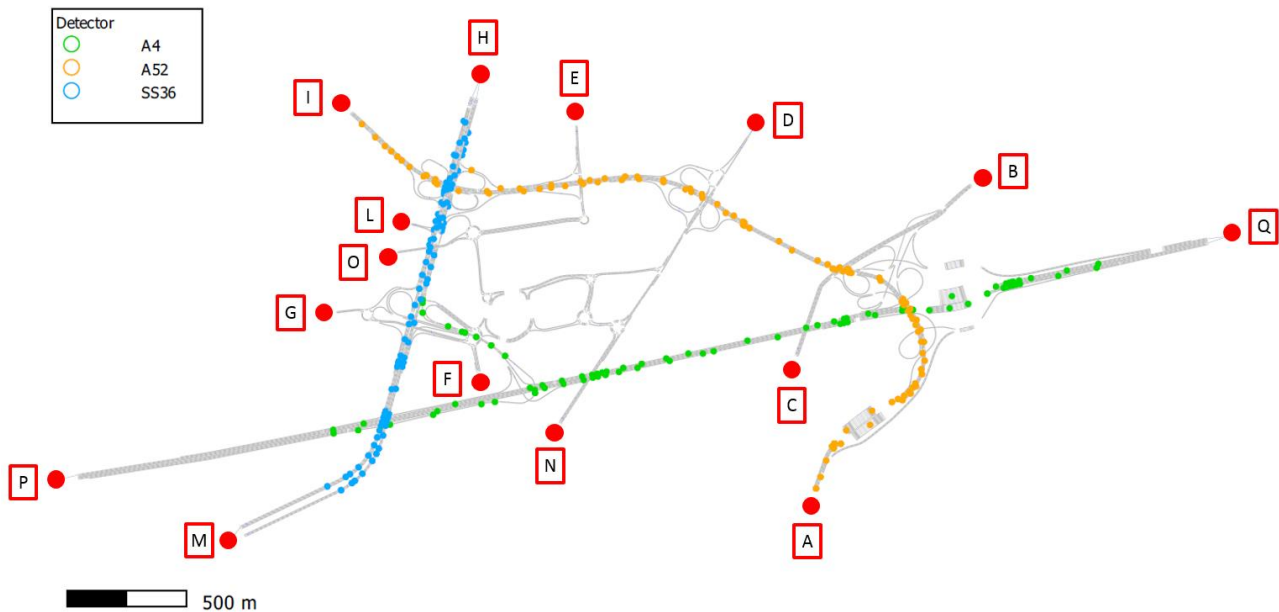
Figura 15. Dati Tom Tom 17:30 – 17:45



Nel micro modello realizzato in Aimsun, i segmenti cui si riferiscono i dati Tom Tom sono stati rappresentati tramite l'inserimento nel grafo di un "detector", cioè un rilevatore puntuale posto nel punto medio di ciascuna tratta, in grado di estrapolare, alla fine della simulazione, la velocità media dei veicoli transitanti impiegando un'aggregazione temporale di 15 minuti corrispondenti a quella dei dati Tom Tom a disposizione.

L'immagine che segue mostra la localizzazione nel grafo di Aimsun dei detectors distinti per i tre assi viari principali.

Figura 16. Localizzazione detectors – Scenario attuale



A valle della simulazione dello scenario attuale, quindi, è stato possibile estrarre un database relativo ai detectors ed effettuare un **confronto grafico tra i valori di velocità media rilevata dai dispositivi Tom Tom e quelli risultanti dalla simulazione del micromodello**, per ogni segmento e per ogni quarto d'ora.

Si riportano di seguito i grafici che mostrano tale confronto per i tre assi viari principali distinti per direzione di marcia: si tenga presente che ogni punto rappresenta un valore univoco di velocità media e la distanza tra due punti consecutivi è data dalla distanza dei punti medi dei relativi due segmenti successivi.

Si ricorda altresì che il dato Tom Tom è un dato campionario mentre il dato modellizzato rappresenta l'universo dei veicoli.

La calibrazione è stata così ritenuta valida quando l'andamento della curva dei dati modellati si trovava in un intorno di quella dei dati rilevati e ne rappresentava verosimilmente l'andamento.

Grafico 1. Confronto velocità rilevate e simulate - A4 direzione Est

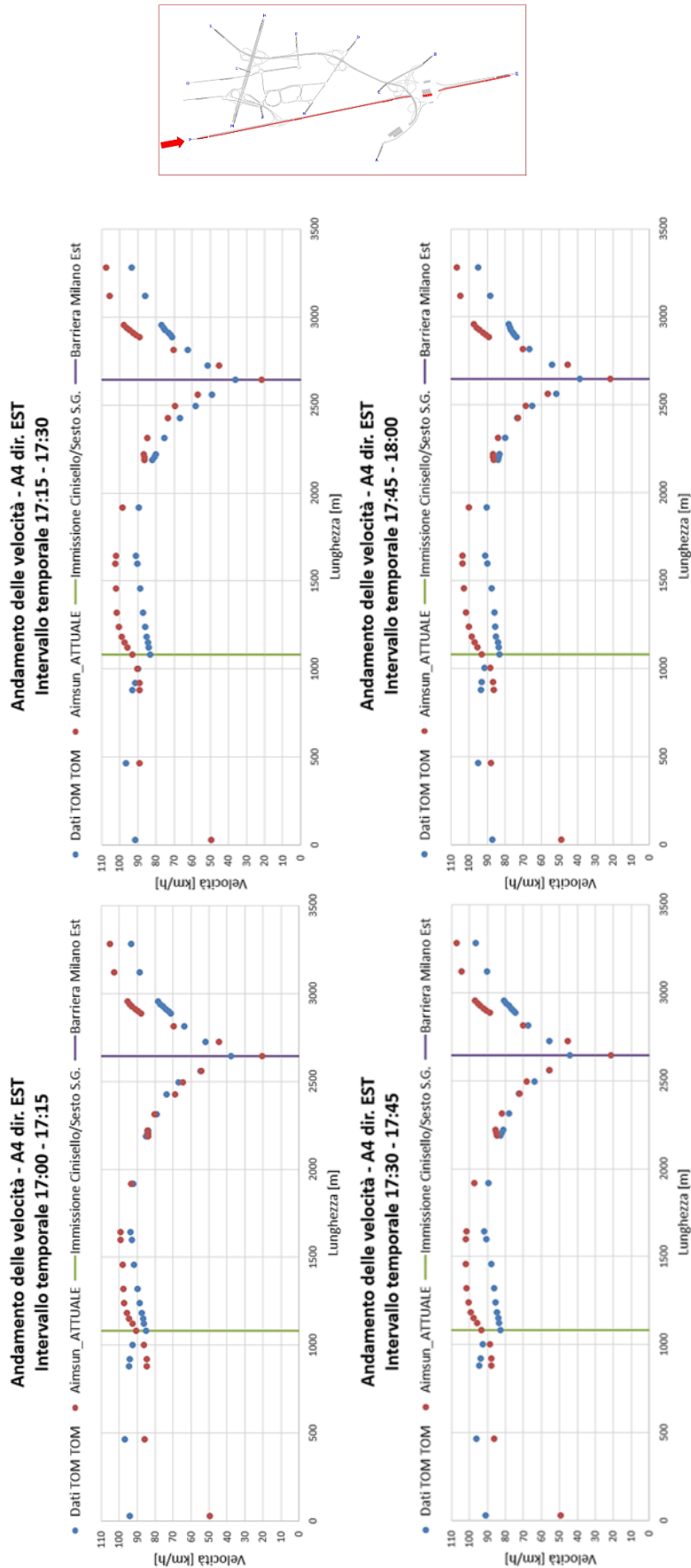


Grafico 2. Confronto velocità rilevate e simulate - A4 direzione Ovest

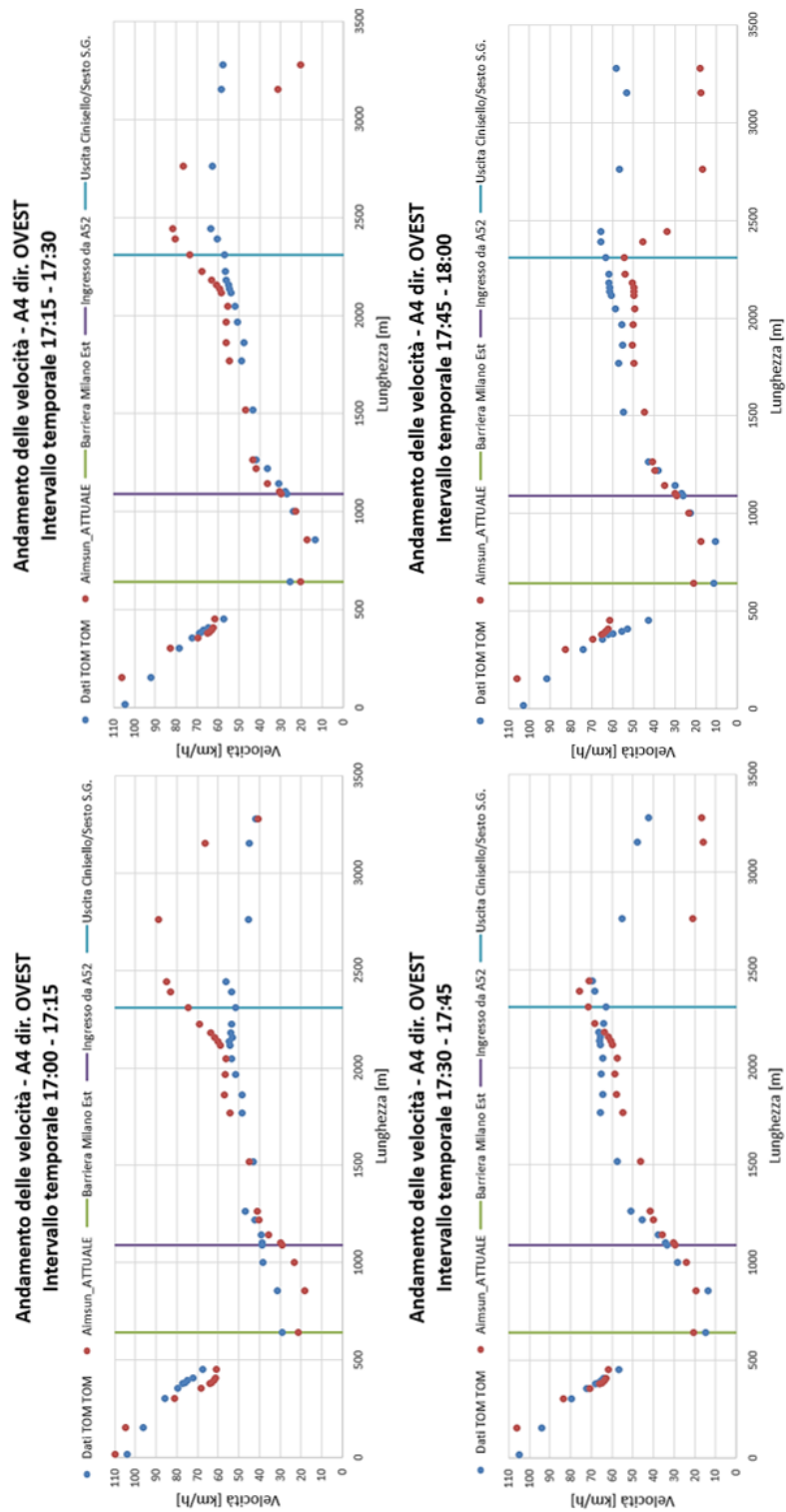
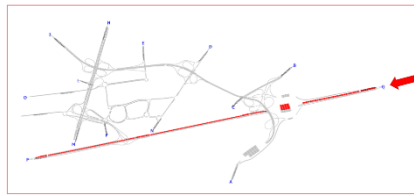


Grafico 3. Confronto velocità rilevate e simulate – A52 direzione Est

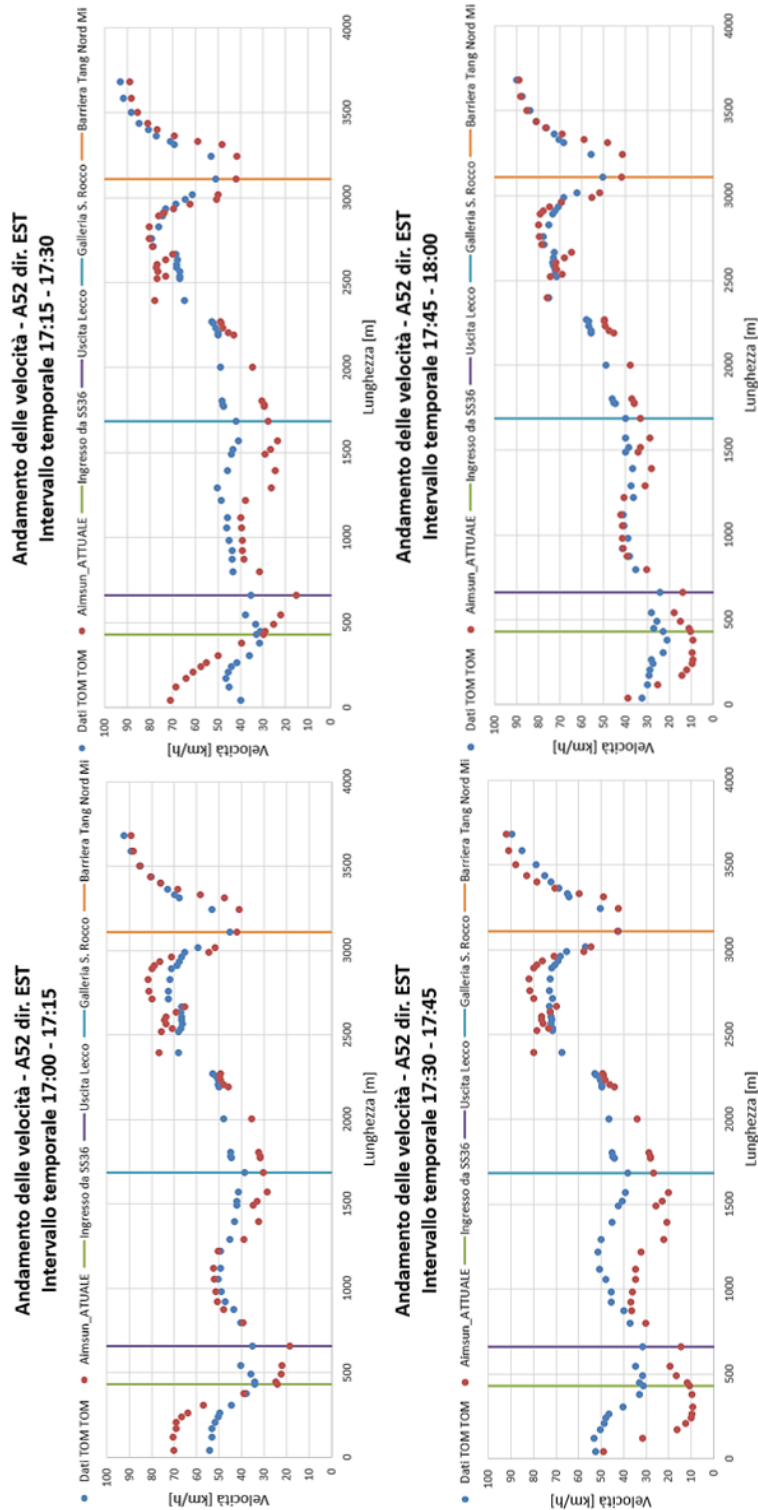
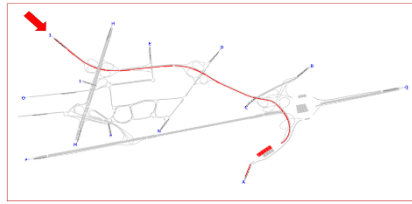


Grafico 4. Confronto velocità rilevate e simulate – A52 direzione Ovest

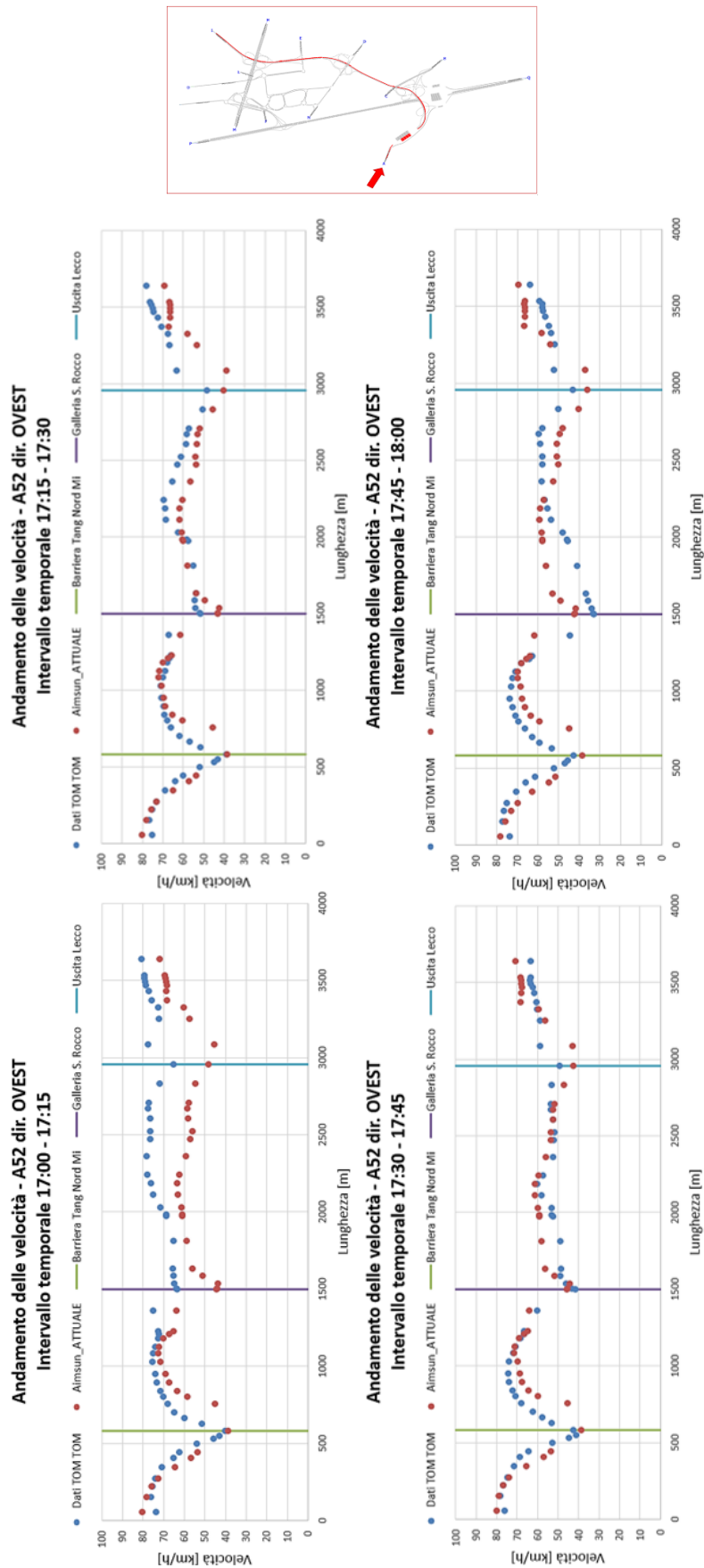


Grafico 5. Confronto velocità rilevate e simulate – SS36 direzione Nord

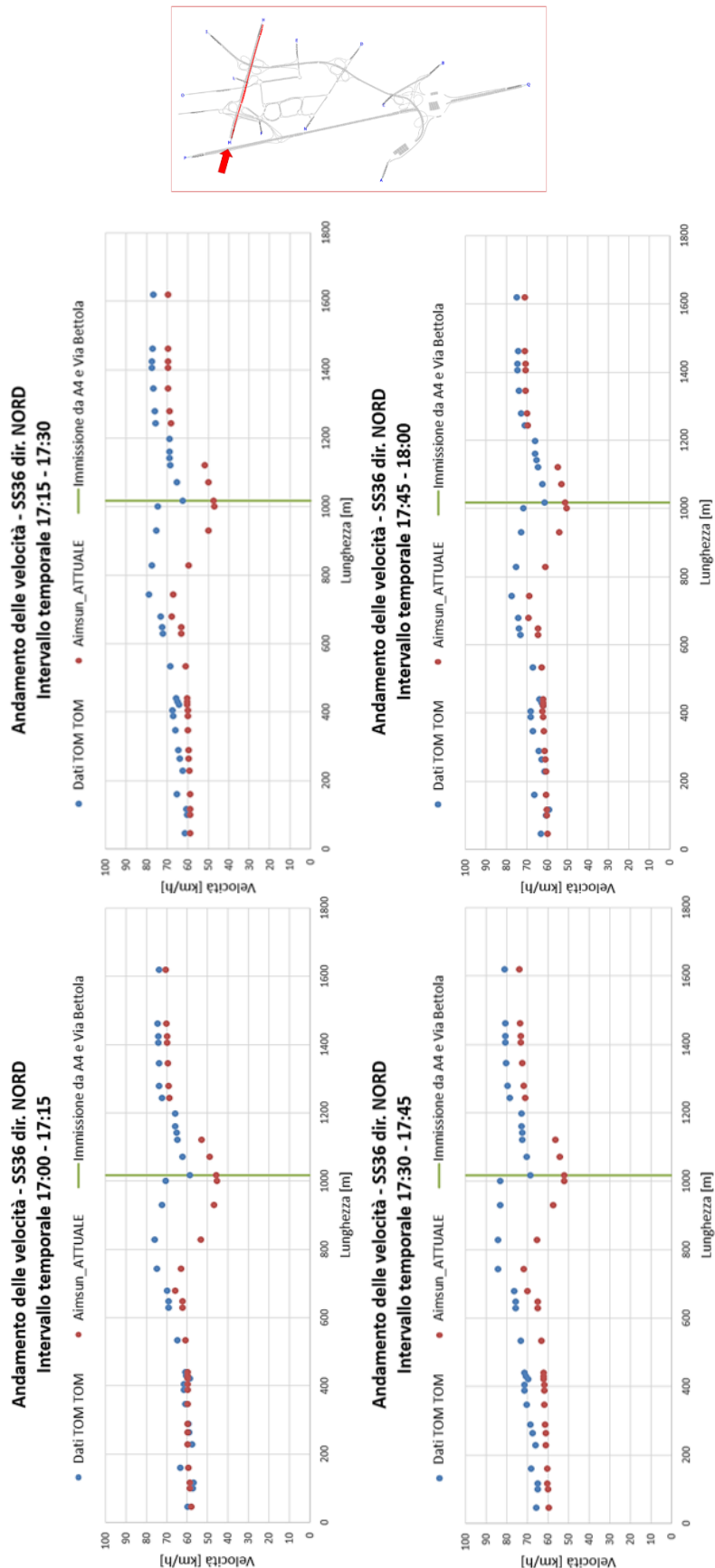
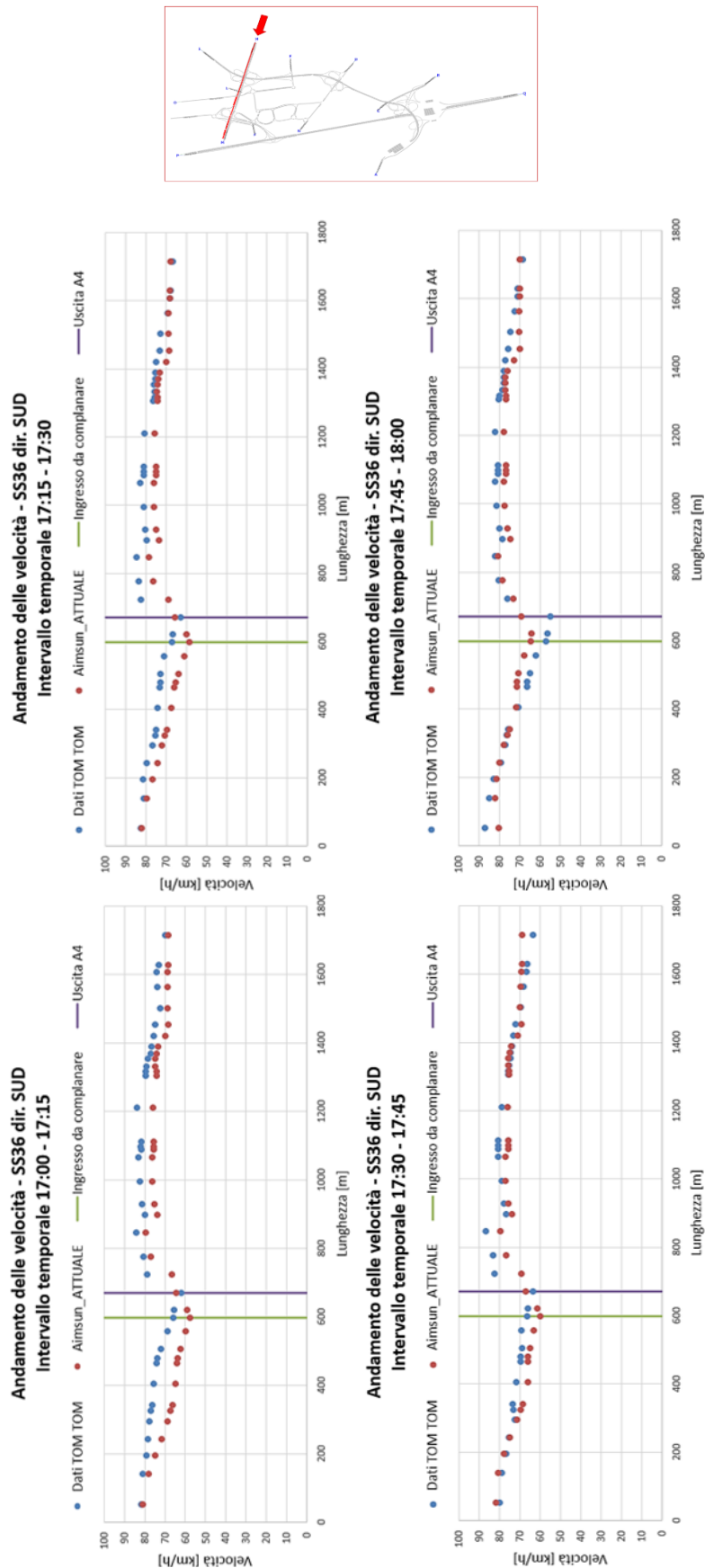


Grafico 6. Confronto velocità rilevate e simulate – SS36 direzione Sud



Per avere un quadro più generale, l'analisi di confronto tra le velocità rilevate e quelle simulate dal modello si è incentrata non solo sulle singole infrastrutture principali che circoscrivono l'area di studio ma ha tenuto conto anche delle complanari della SS36, in entrambe le direzioni di marcia, e di un particolare itinerario di collegamento.

In particolare l'itinerario, come mostrato nell'immagine che segue, è così composto:

- Autostrada A52 direzione Ovest;
- Rampa di uscita svincolo Lecco / Monza Villa Reale;
- Complanare SS36 direzione Nord.

Figura 17. Itinerario di analisi

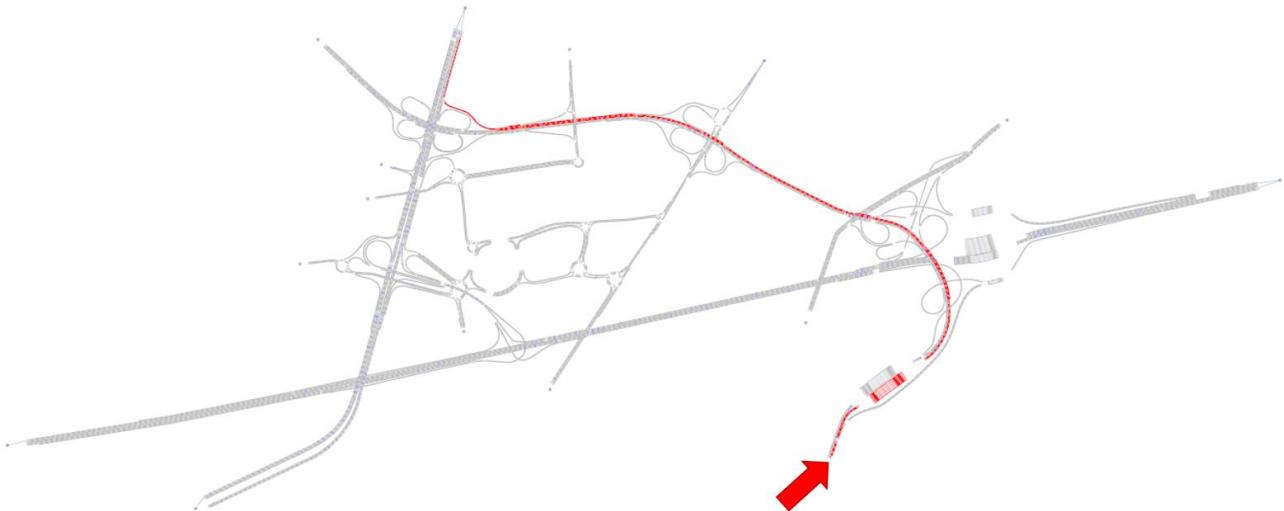


Grafico 7. Confronto velocità rilevate e simulate – Complanare SS36 direzione Nord

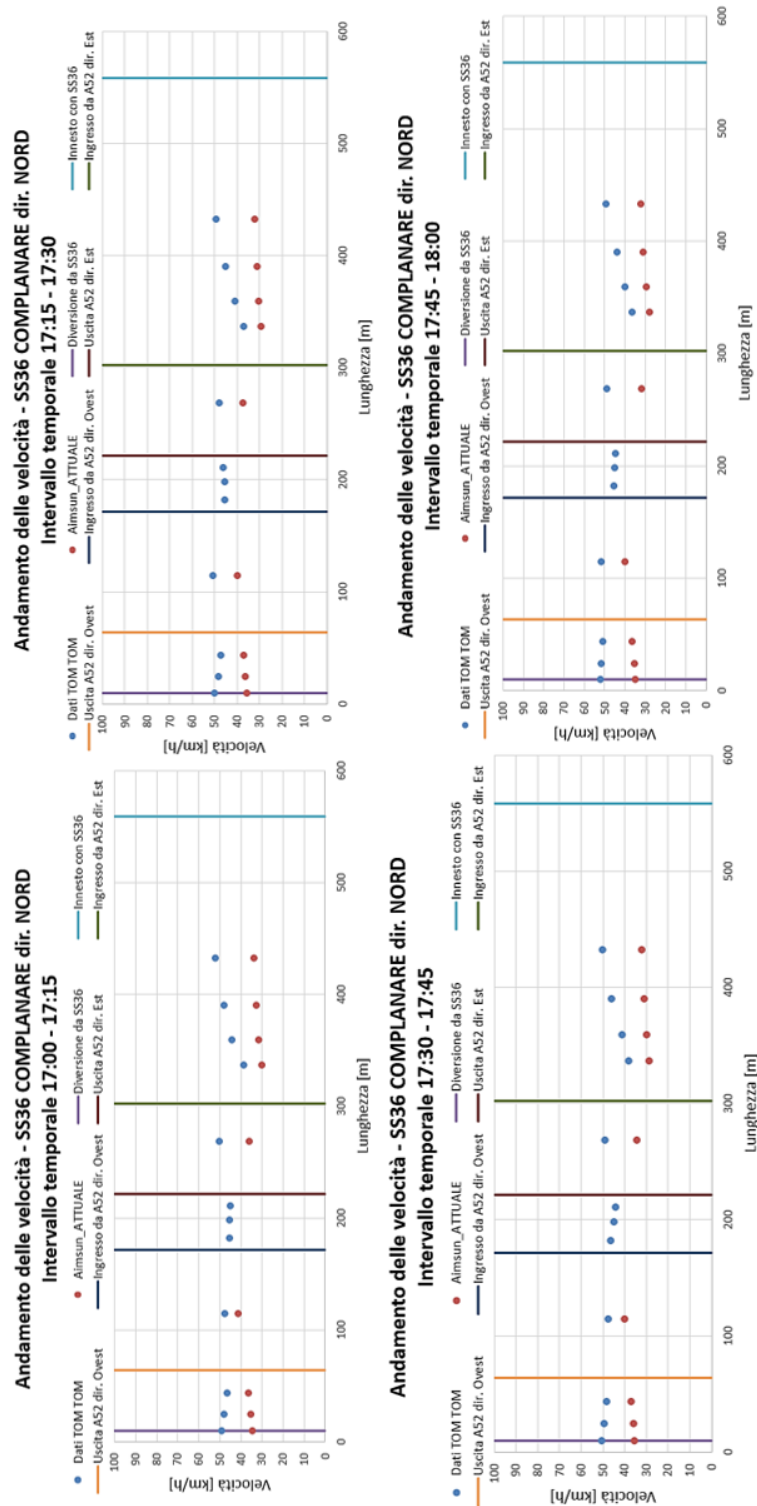


Grafico 8. Confronto velocità rilevate e simulate – Complanare SS36 direzione Sud

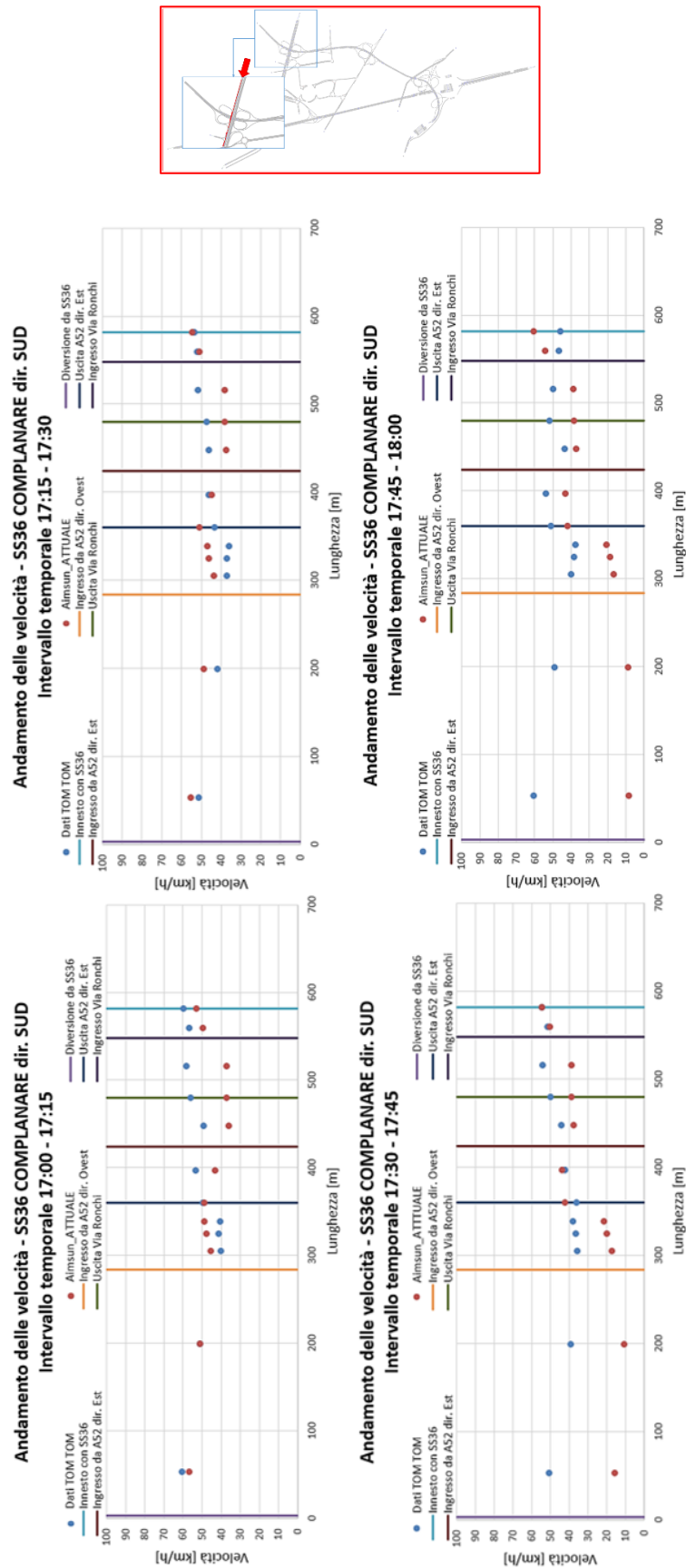
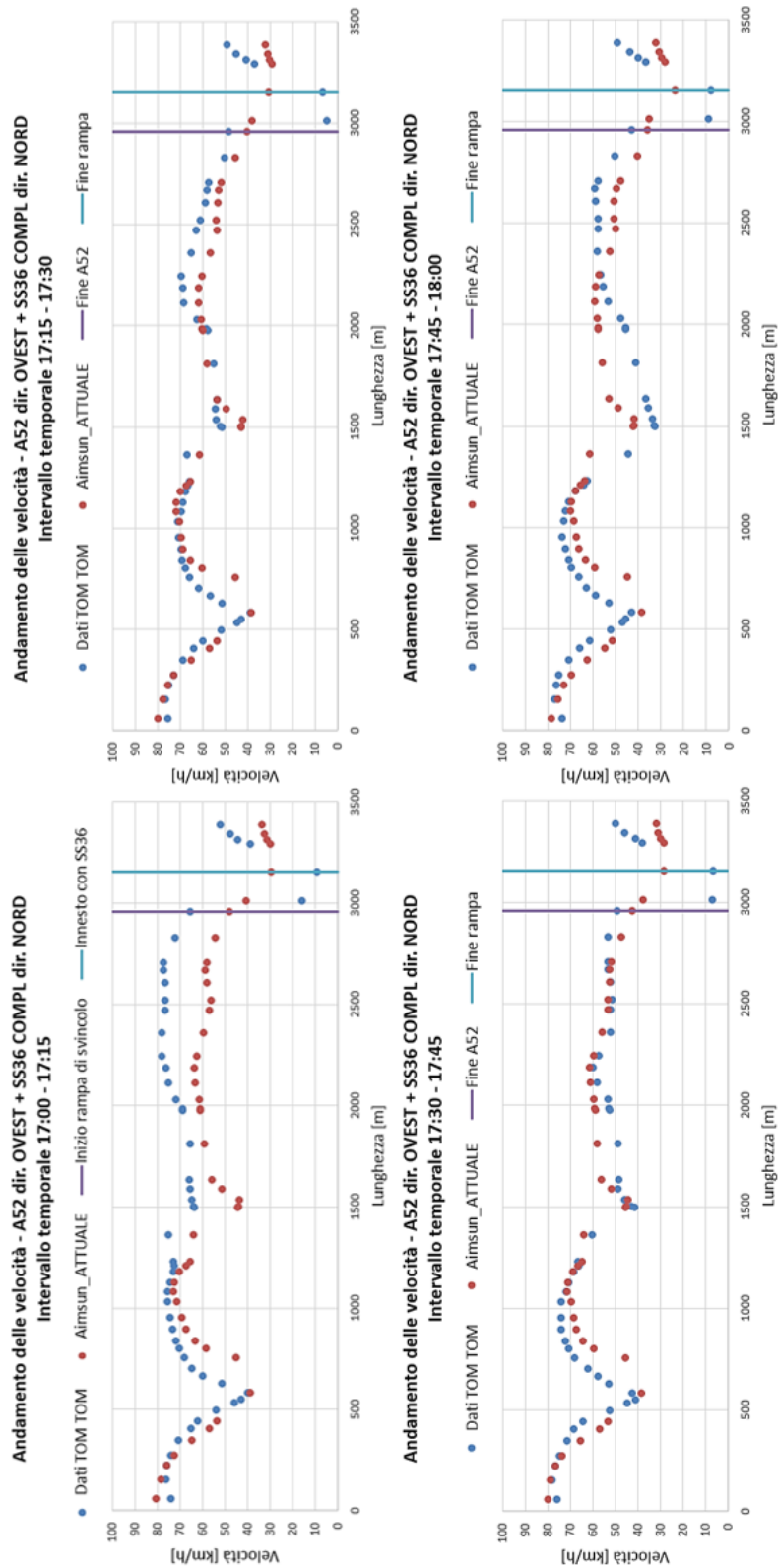


Grafico 9. Confronto velocità rilevate e simulate – Itinerario di analisi



Come risulta dall'osservazione dei grafici di confronto tra velocità medie rilevate (punti blu) e quelle simulate (punti rossi), il modello risulta essere sufficientemente calibrato.

La calibrazione del modello è anche passata attraverso il confronto tra la domanda rilevata al cordone e la domanda evasa nel modello. Considerando però l'estrema complessità del contesto e del modello, questo confronto è stato effettuato solo lungo quegli assi che non presentavano congestione e cioè dove la domanda rilevata corrispondeva esattamente alla domanda potenziale: in queste sezioni si è verificato in sostanza che tutti i flussi previsti da matrice riuscissero ad entrare nella rete modellizzata.

6. SCENARIO PROGETTUALE

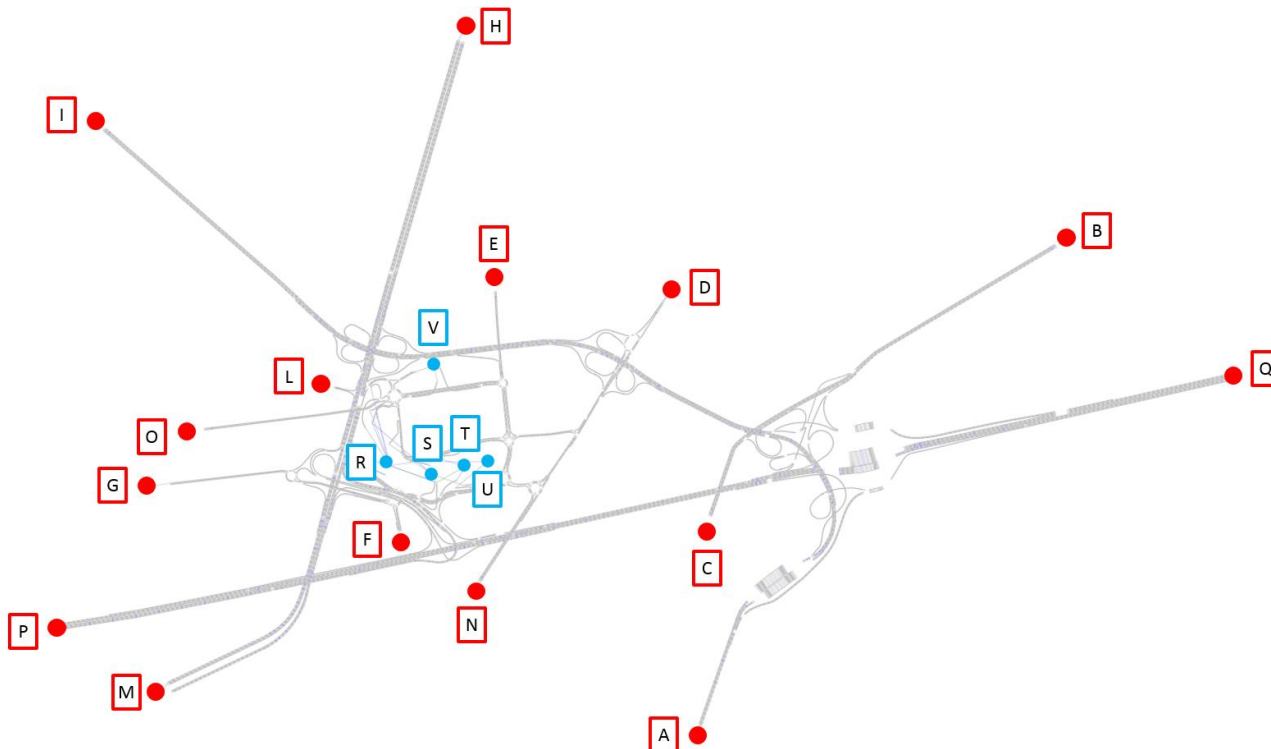
Lo scenario progettuale è definito dall'offerta infrastrutturale di progetto e dalla domanda di mobilità stimata allo stato attuale a cui è stata aggiunta la domanda indotta dal nuovo Centro Commerciale Auchan secondo quanto fornitoci dal proponente del CC stesso.

6.1 MODELLO DI OFFERTA

Nel modello di simulazione che rappresenta lo scenario progettuale viene implementata la rete infrastrutturale prevista dagli interventi descritti nel paragrafo 1.1 e che riguardano sia la viabilità principale (A4, A52, SS36) sia quella ordinaria interessata da un riassetto urbanistico a causa dell'ampliamento del Centro Commerciale Auchan.

Nell'immagine che segue è mostrato il grafo implementato in Aimsun con i relativi centroidi: quelli rossi sono i centroidi presenti anche nello scenario attuale, mentre quelli blu sono i nuovi centroidi del Centro Commerciale.

Figura 18. Grafo Aimsun – Scenario progettuale



Si riportano nelle immagini seguenti alcuni dettagli del grafo di Aimsun che rappresentano la rete di progetto: le sezioni interessate dagli interventi sono illustrate in grigio scuro per una maggior visibilità e chiarezza.

Lungo l'autostrada A4 gli interventi progettuali sono incentrati sullo svincolo di Cinisello B. / Sesto S. G. mentre per l'autostrada A52 è prevista la realizzazione di una complanare a servizio delle immissioni e delle uscite in direzione Est.

Figura 19. Grafo Aimsun – Interventi A4

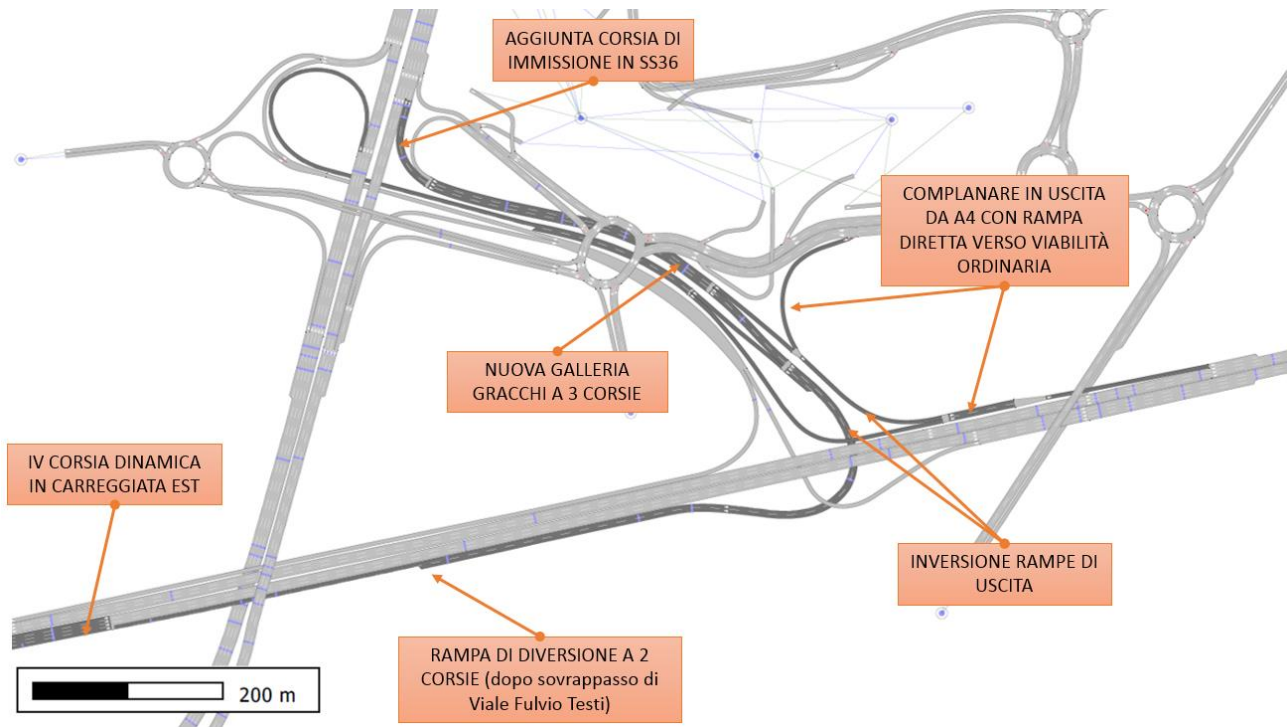
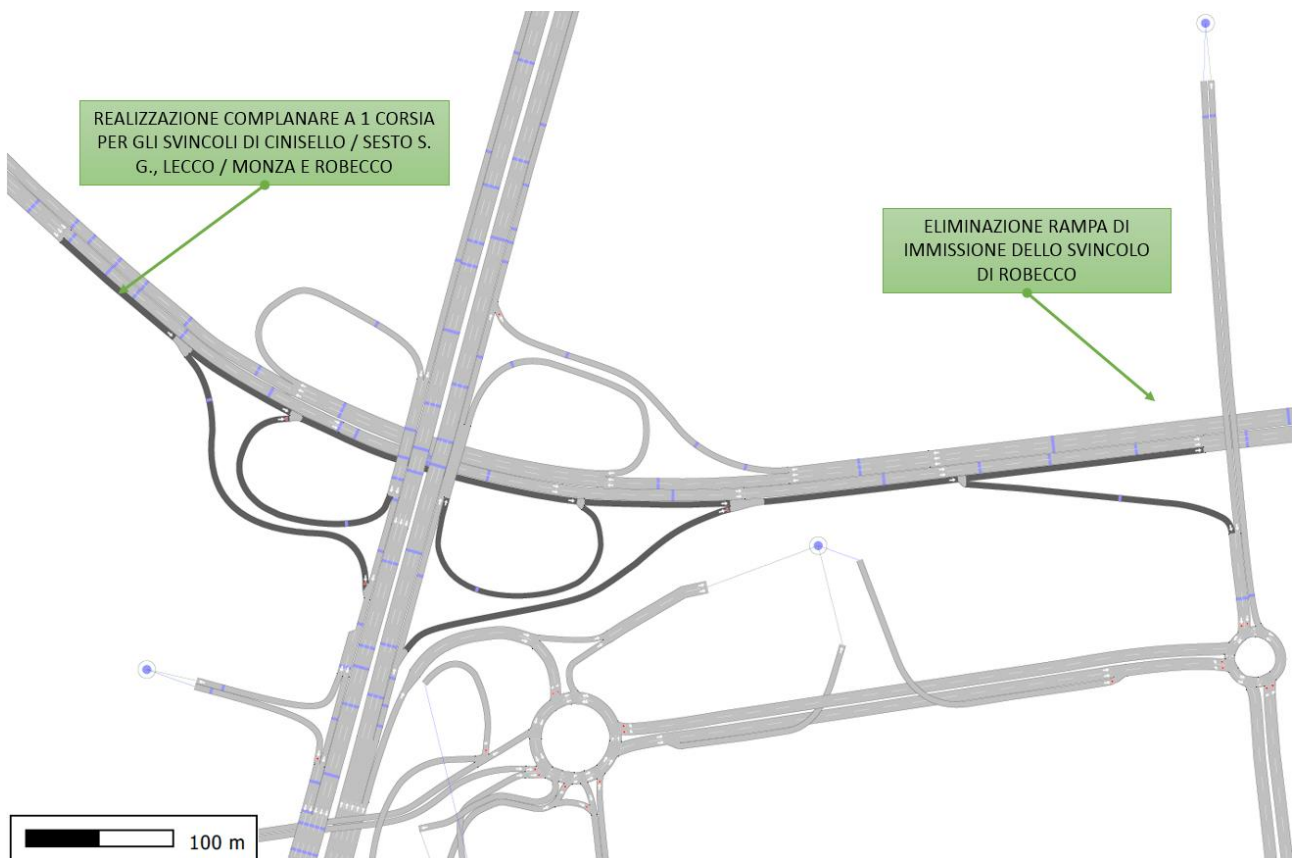
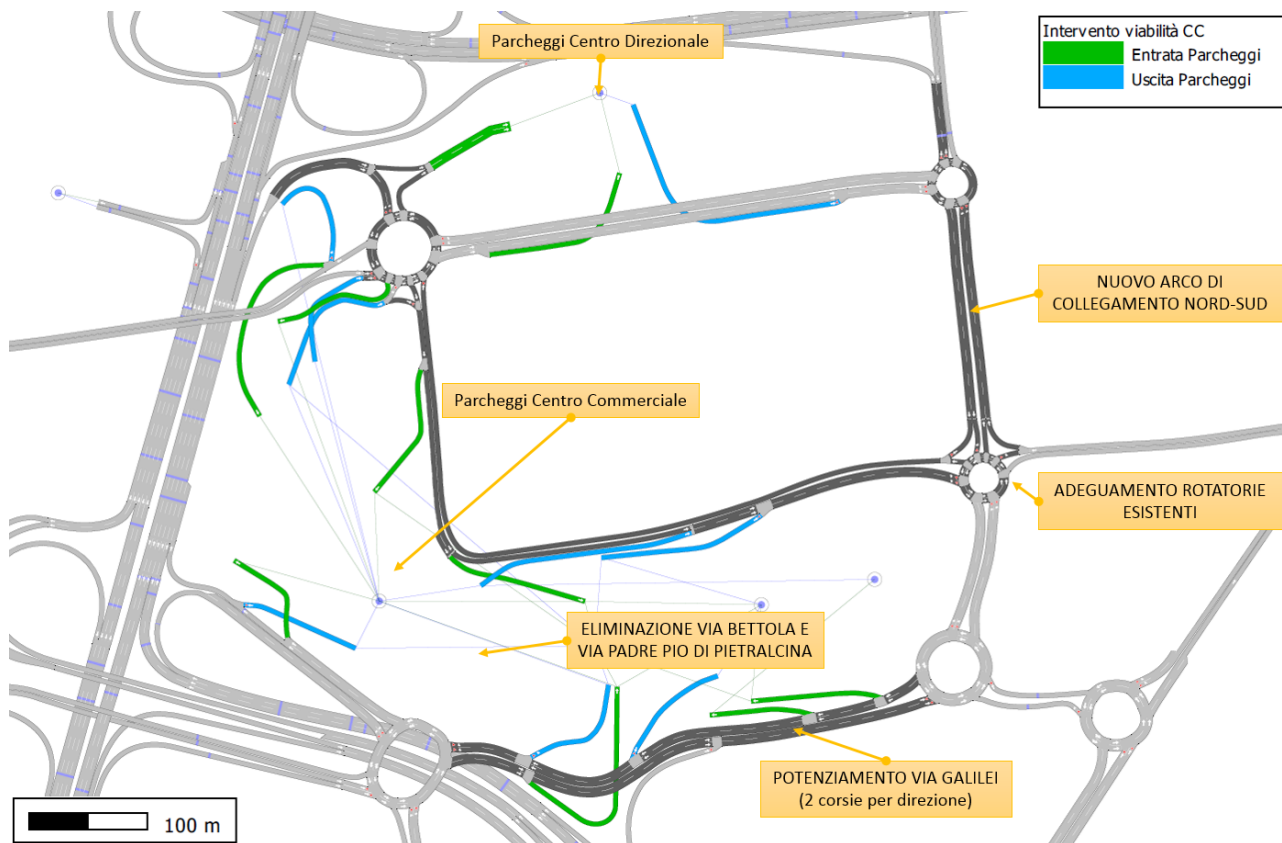


Figura 20. Grafo Aimsun – Intervento A52 direzione Est (complanare)



La viabilità ordinaria nello scenario progettuale subisce una riorganizzazione a causa dell'ampliamento del Centro Commerciale Auchan. A tal proposito l'immagine seguente mette in evidenza tali interventi (sezioni grigie) e in particolare vengono mostrate anche le sezioni di entrata (sezioni verdi) e uscita (sezioni blu) dai parcheggi del Centro Commerciale e del Centro Direzionale che rappresentano i nuovi poli attrattori e generatori di traffico.

Figura 21. Grafo Aimsun – Interventi rete locale



6.2 MODELLO DI DOMANDA

Il modello di domanda, in seguito all'implementazione degli interventi progettuali, viene ampliato tramite l'inserimento di nuovi centroidi che rappresentano i parcheggi del nuovo Centro Commerciale Auchan e del Centro Direzionale.

Pertanto alla matrice o/d dello scenario attuale si aggiungono gli spostamenti relativi a tali centroidi. L'entità di tale domanda aggiuntiva è notevole, trattandosi di circa **5000 spostamenti** di cui quasi la metà viene generata dai nuovi centroidi del Centro Commerciale e del Centro Direzionale, e la restante parte ne viene attratta.

La distribuzione della domanda indotta dal CC è stata distribuita rispetto al cordone dell'area di studio tenendo conto di tre aspetti: il peso dei vari centroidi sulla base dei flussi ad essi assegnati e la vicinanza dell'ingresso del parcheggio alla direttrice proveniente da ogni centroide.

Nel dettaglio i centroidi del CC vengono mostrati nelle immagini che seguono con i relativi archi connettori: in blu gli archi in generazione e in verde quelli in attrazione. Al di sotto del grafo costruito è stata riportata, per ragioni di maggior chiarezza, anche il progetto planimetrico del Centro Commerciale e del Centro Direzionale.

Per maggiori informazioni, si fa riferimento allo "Studio di impatto viabilistico di nuovo insediamento polifunzionale" redatto da TRM Engineering S.r.l. per Auchan S.p.A. in data Maggio 2017 consultabile presso gli Enti locali.

La domanda di progetto non è stata amplificata con tassi di crescita perché, stante l'elevatissimo carico veicolare gravitante nell'area di studio (probabilmente il più elevato su tutto il territorio nazionale) si è ritenuto

che non vi sia spazio per una ulteriore crescita del traffico (posizione condivisa durante le riunioni in Regione Lombardia con tutti gli Enti interessati).

Figura 22. Nuovi centroidi parcheggi Centro Commerciale Auchan

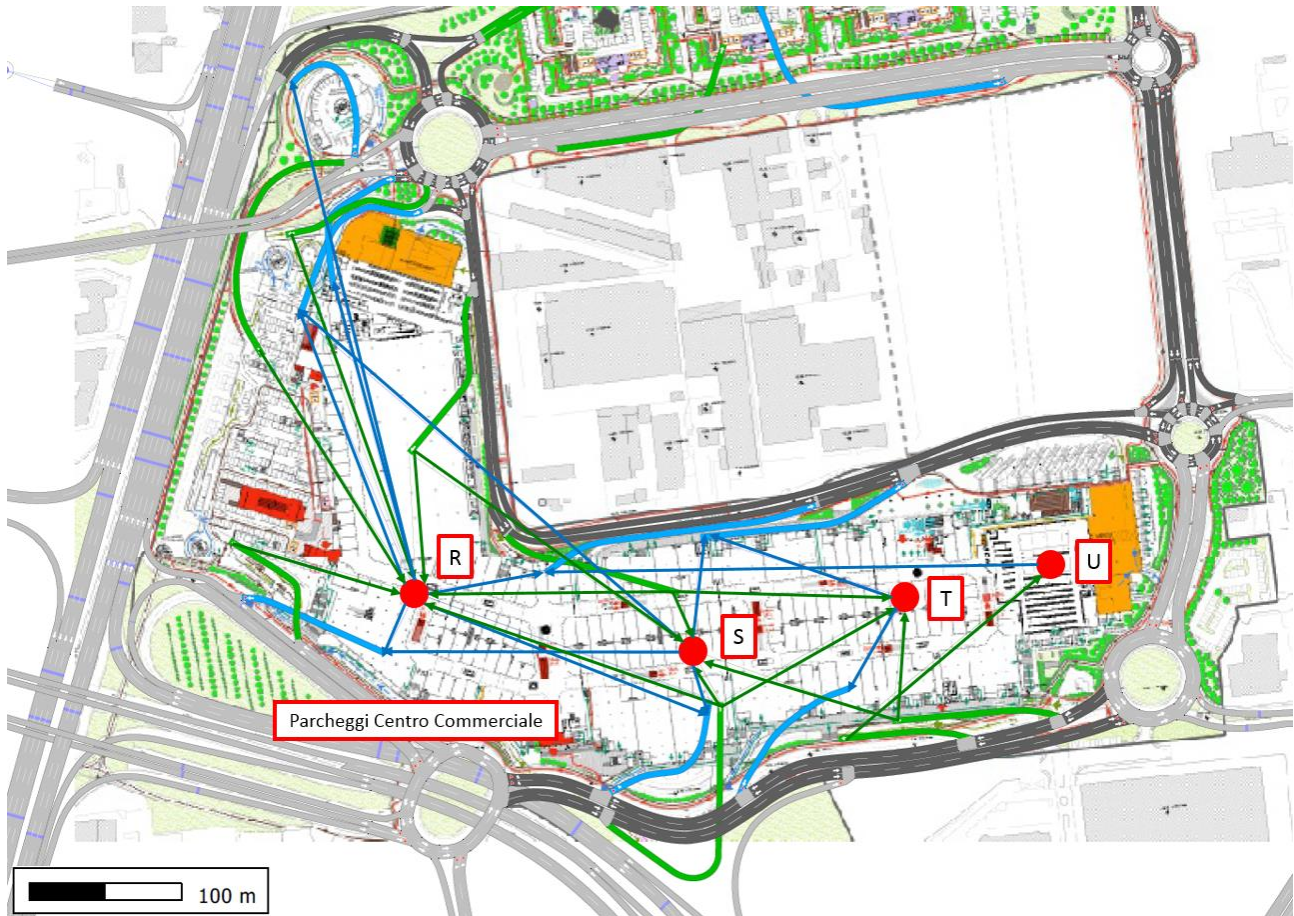
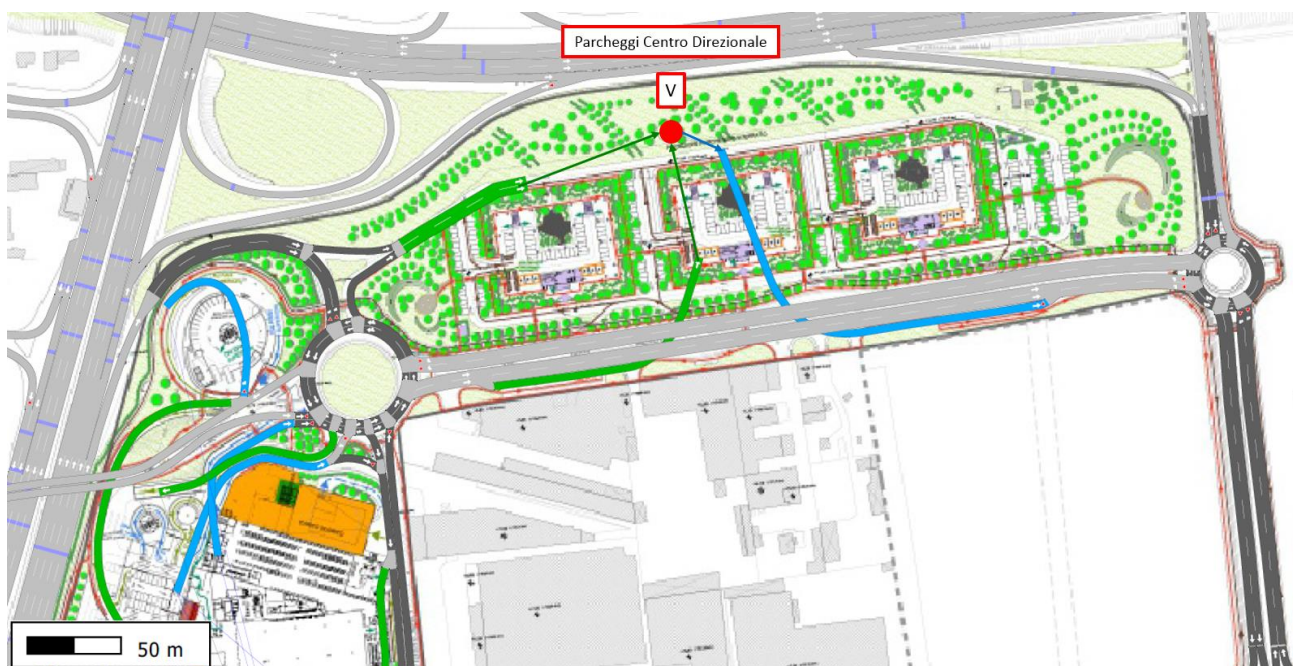


Figura 23. Nuovo centroide parcheggio Centro Direzionale



La matrice o/d progettuale, che rispetto a quella attuale vede solo l'inserimento della domanda indotta dal Centro Commerciale, in termini di **veicoli equivalenti** è la seguente.

Figura 24. Matrice OD Progettuale venerdì h 17:00 – 18:00

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Σ
A	0	145	0	45	0	115	12	494	1320	12	90	52	20	412	121	3	10	0	0	0	2851
B	120	0	1030	3	0	0	10	113	500	39	162	56	104	544	98	2	1	0	0	0	2782
C	4	901	0	1	0	0	0	1	5	0	3	0	0	0	110	9	10	0	0	0	1043
D	20	6	0	0	0	0	5	22	305	6	144	257	11	67	105	98	98	0	0	0	1144
E	0	1	0	0	0	0	0	15	48	0	16	0	0	0	0	43	4	0	0	0	128
F	9	26	0	41	0	0	2	160	3	5	10	0	0	0	0	2	2	0	0	0	261
G	72	16	0	86	0	0	0	65	9	3	114	0	0	0	118	25	2	0	0	0	509
H	687	233	0	62	23	0	12	0	0	57	2750	1	92	538	529	232	147	0	0	0	5363
I	130	476	0	38	0	0	1	386	0	3	352	507	1	0	518	72	20	0	0	0	2504
L	14	0	0	1	66	0	0	5	1	0	34	11	0	11	15	0	0	0	0	0	158
M	145	367	0	62	0	0	3	3046	511	22	0	58	0	423	265	38	83	400	0	0	5423
N	13	50	0	322	0	1	4	533	256	0	101	0	292	135	67	151	145	0	0	0	2068
O	8	6	0	45	0	0	2	37	15	20	3	435	0	0	0	271	234	0	0	0	1077
P	600	302	0	25	0	0	150	678	0	0	60	101	0	0	4576	173	70	0	0	0	6734
Q	0	163	0	14	0	0	158	516	249	0	531	4	0	3201	0	74	71	0	0	0	4981
R	29	12	0	43	0	18	8	162	75	0	121	212	178	82	57	0	0	0	0	0	997
S	18	9	0	42	0	18	69	117	72	0	65	143	28	37	46	0	0	0	0	0	665
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U	0	55	0	141	30	0	15	0	29	0	0	1	177	0	0	0	0	0	0	0	449
V	16	10	0	37	26	0	0	0	39	0	3	106	66	33	6	0	0	0	0	0	343
Σ	1884	2780	1030	1007	146	152	452	6350	3437	168	4559	1943	969	5481	6631	1196	897	400	0	0	39481

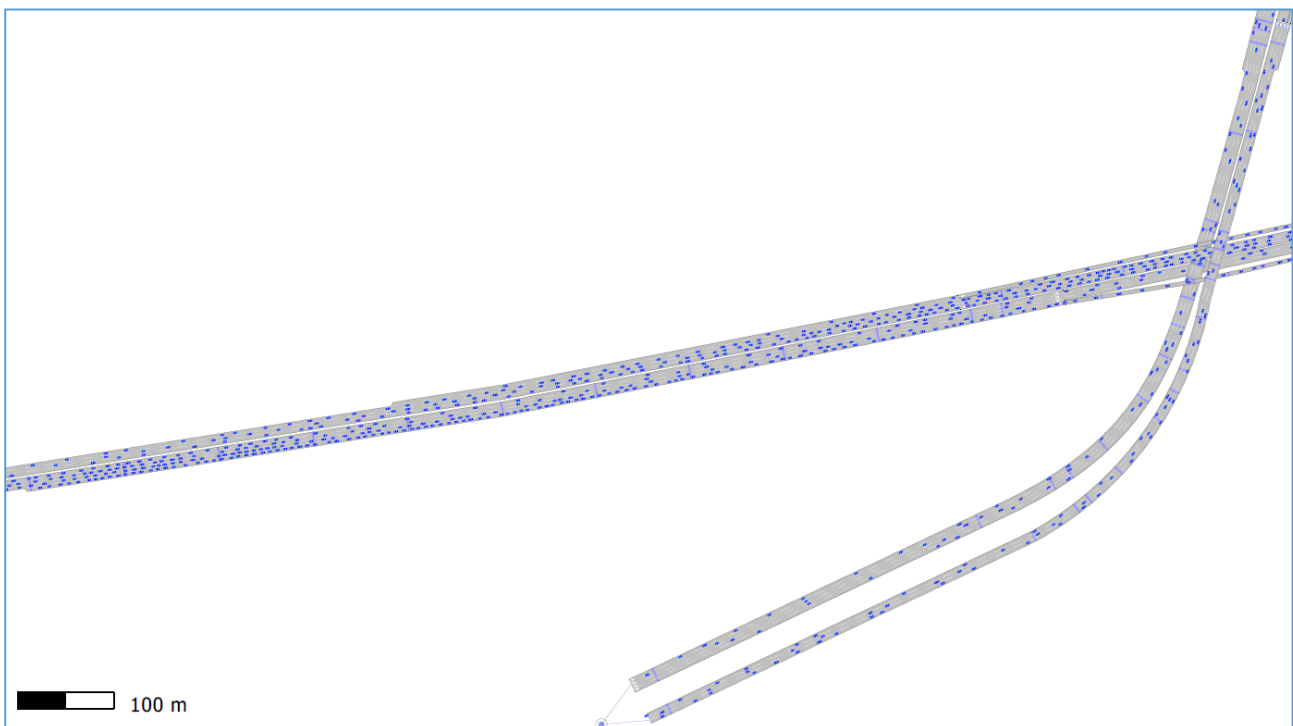
7. VERIFICA FUNZIONALE A4

7.1 CARREGGIATA EST

Per essere in grado di valutare l'efficienza dell'intervento progettuale che riguarda l'autostrada A4, in particolare la rampa di uscita dello svincolo di Cinisello B. / Sesto San Giovanni in direzione Est, è stata eseguita un'analisi delle prestazioni funzionali delle sezioni che la costituiscono.

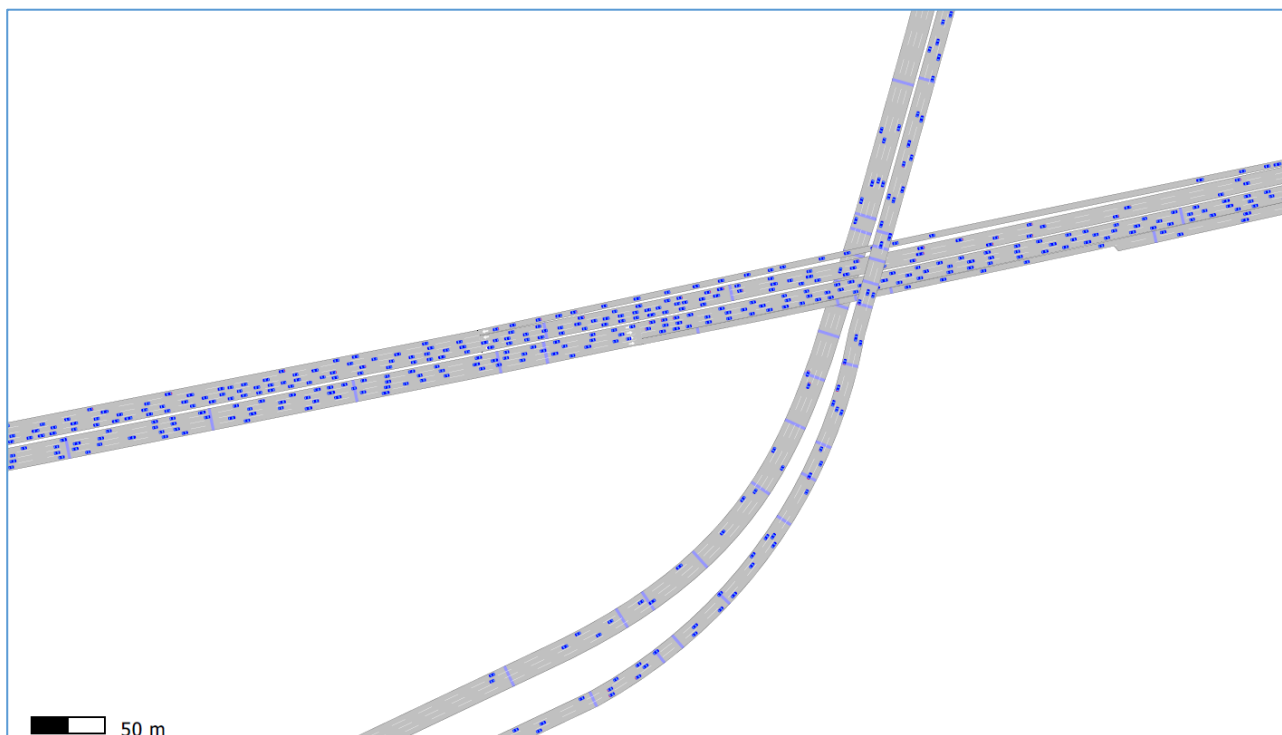
A tal proposito, a seguito della simulazione dello scenario attuale, si è notato in modo evidente la formazione di accodamenti in corrispondenza della rampa di uscita in direzione Est, come mostra la seguente immagine.

Figura 25. Accodamenti A4 – Scenario attuale



L'immagine seguente mostra, invece, quanto accade lungo la stessa rampa durante l'ora di simulazione dello scenario progettuale: si può notare che, a seguito dell'intervento, seppur vi sia un aumento del flusso in attraversamento, grazie anche all'introduzione della IV corsia, le condizioni di traffico sono nettamente migliori, sia lungo la rampa di svincolo che nella corsia di destra a monte (IV dinamica), rispetto a quanto rilevato nella simulazione dello scenario attuale.

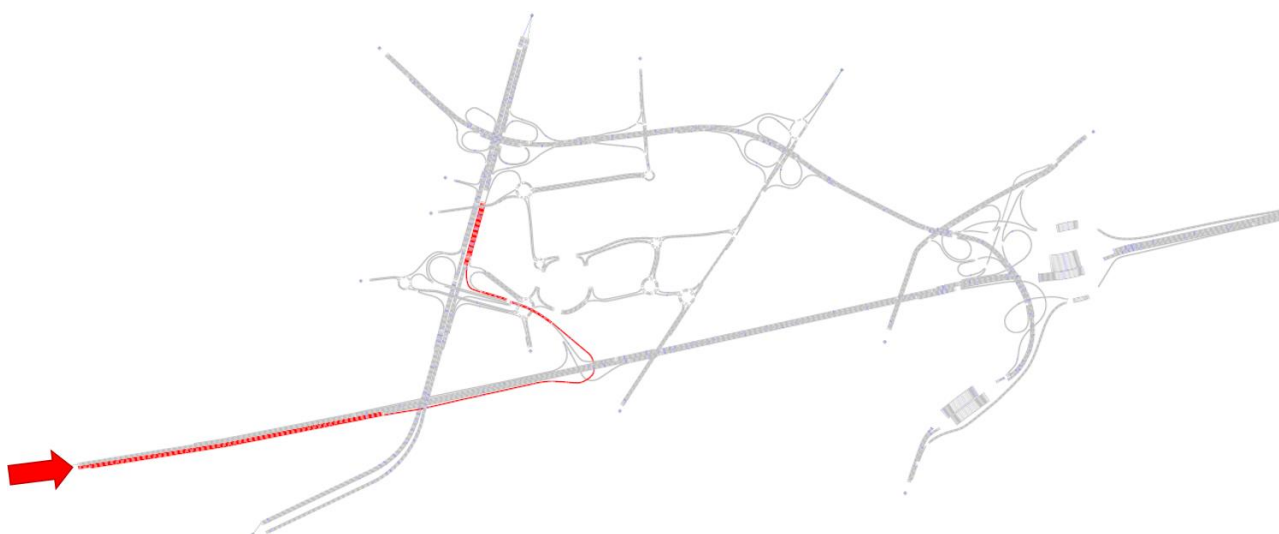
Figura 26. Accodamenti A4 – Scenario progettuale



Sono stati quindi estrapolati i valori di velocità simulata sull'itinerario così costituito:

- Autostrada A4 direzione Est;
- Rampa di uscita svincolo Cinisello / Sesto San Giovanni;
- Tratto della SS36 direzione Nord.

Figura 27. Itinerario rampa A4

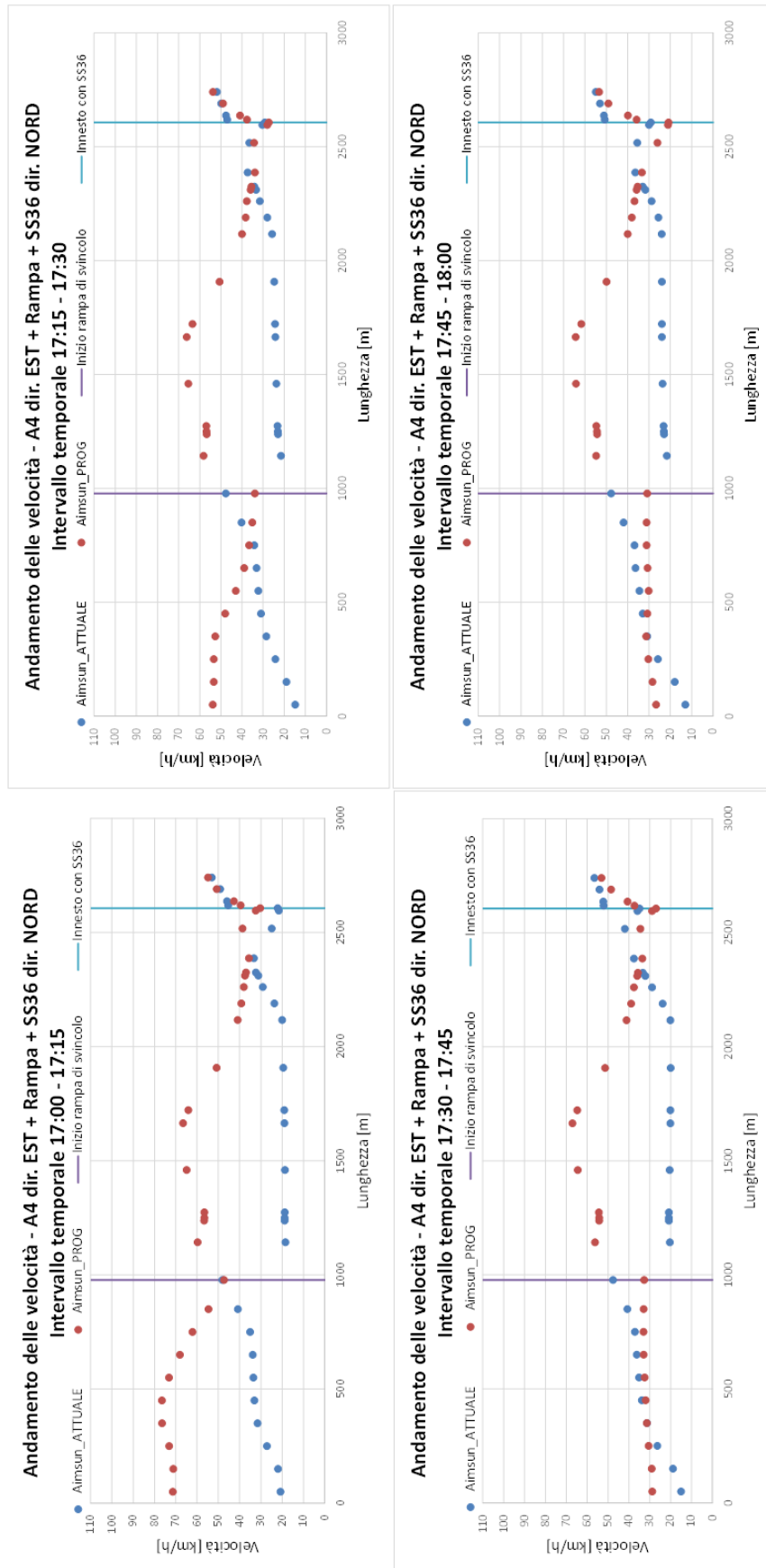


Si riportano quindi i grafici che mostrano l'andamento delle velocità medie risultanti dalla simulazione dello scenario attuale (punti blu) e di quello progettuale (punti rossi) lungo l'itinerario della rampa A4 in modo da poter effettuare un confronto visivo sui benefici che l'intervento progettuale è in grado di fornire a tale itinerario.

L'analisi è stata fatta in maniera discretizzata nel tempo, con intervalli di 15 minuti, e nello spazio, utilizzando la medesima divisione in tratte delle sezioni stradali impiegata nella fase di calibrazione del modello di simulazione.

A differenza di quest'ultima, per tale tipologia di analisi, sono stati inseriti lungo la tratta stradale della A4, antecedente la rampa, più detectors a distanza di 100.0 m l'uno dall'altro per avere una visione di maggior dettaglio. Tali detectors si riferiscono all'intera sezione trasversale della A4 pertanto il valore di velocità riportato nei grafici è un valor medio tra la velocità ridotta dei veicoli inseriti nella corsia di decelerazione che sono in fase di accodamento e la velocità maggiore dei veicoli in attraversamento che sono in fase di accelerazione.

Grafico 10. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – Itinerario rampa A4



Da questi grafici emerge come, nello scenario attuale, si abbia un decadimento della velocità all'inizio della rampa di svincolo già nel primo intervallo temporale e questo perdura nel tempo e nello spazio andando a generare un accodamento anche nella corsia più a destra della A4 (diversione) durante l'ora di simulazione.

Specificatamente alla rampa di uscita, l'intervento di potenziamento porta ad un notevole incremento della velocità che si mantiene nel tempo, per tutta l'ora di simulazione, e nello spazio fino all'innesto con la SS36 dove si ha l'immissione nella corrente principale e la commistione con i flussi in attraversamento e le velocità tendono a ricalcare l'andamento rilevato nello scenario attuale. Inoltre, si sottolinea che la diminuzione della velocità che si riscontra nella tratta a monte della rampa negli ultimi intervalli temporali è dovuta alla maggior entità di flusso in attraversamento (circa 1500 veicoli in più rispetto allo scenario attuale) che si ha grazie alla presenza della IV corsia dinamica.

Oltre a tali grafici, si riportano nel seguito anche due immagini che mostrano il grafo dell'itinerario della rampa A4 le cui sezioni sono contraddistinte da un determinato colore cui corrisponde l'intervallo di densità veicolare e il relativo livello di servizio secondo opportune scale cromatiche riportate in legenda: tali indicatori, relativi sia allo scenario attuale che a quello progettuale, si riferiscono alle condizioni di traffico simulate nell'intera ora di simulazione.

Figura 28. Densità veicolare itinerario rampa A4 – Scenario attuale



Figura 29. Densità veicolare itinerario rampa A4 – Scenario progettuale

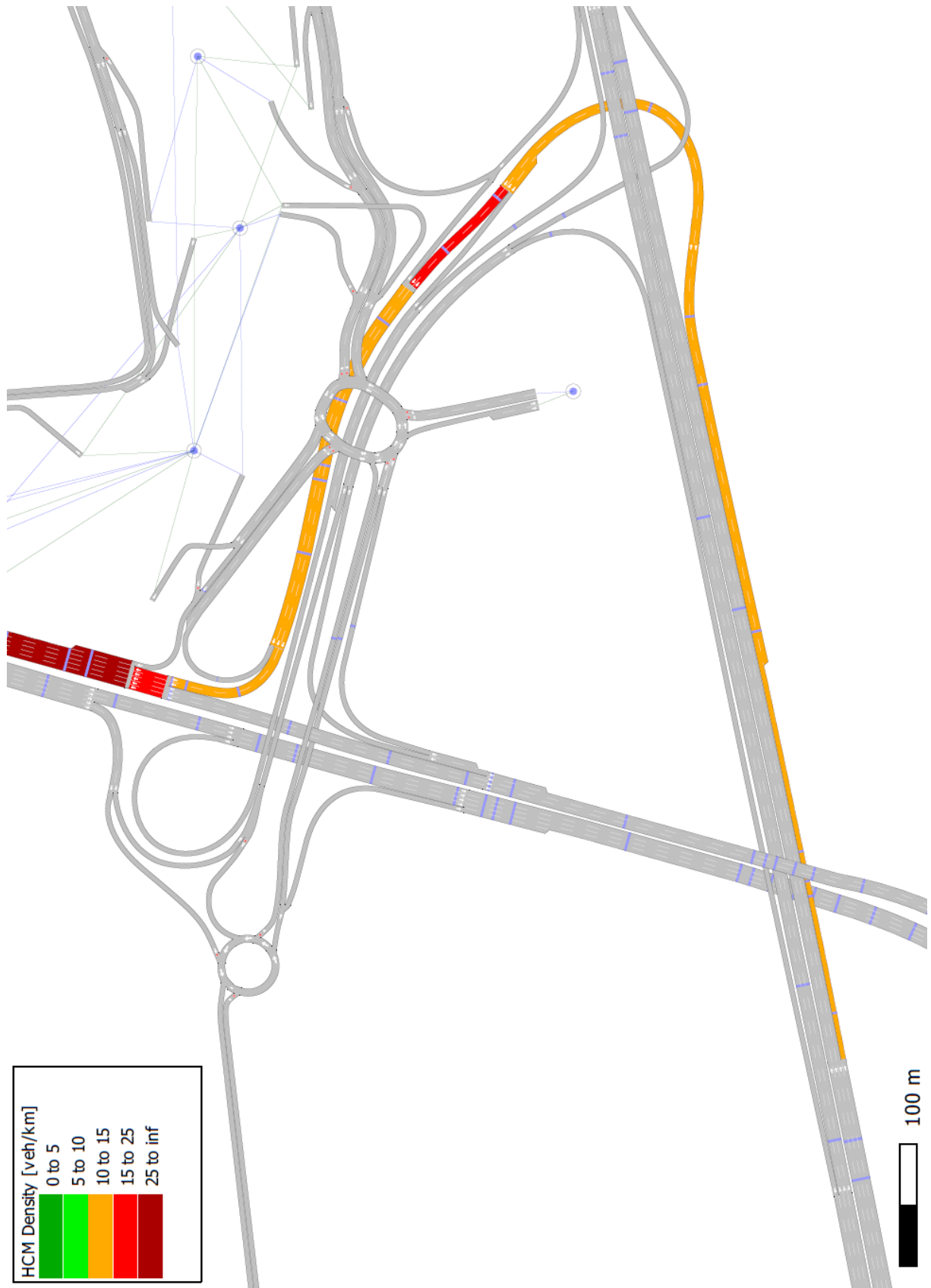


Figura 30. Livello di servizio itinerario rampa A4 – Scenario attuale



Figura 31. Livello di servizio itinerario rampa A4 – Scenario progettuale



Le osservazioni fin qui fatte sulla verificata efficienza dell'intervento infrastrutturale sulla A4 (IV dinamica + potenziamento rampa + riordino svincolo) si riscontrano in maniera immediata confrontando le immagini della densità veicolare e del livello di servizio relative allo scenario attuale con le rispettive dello scenario progettuale. Si nota un netto miglioramento nelle condizioni di deflusso passando da valori di densità elevati, maggiori di 25 veh/km, a valori più contenuti.

Di conseguenza, se nello scenario attuale si è rilevato un livello di servizio molto basso, pari ad **F** ed **E** in una tratta, nel progettuale si ha un livello di servizio pari a **C** lungo tutta la rampa e la nuova galleria Gracchi (in una tratta a monte della nuova galleria il livello di servizio diventa **D**) mentre è pari ad **E** in corrispondenza dell'immissione in SS36 e nella sezione a valle: tale permanenza di un livello di servizio basso in queste sezioni trova giustificazione nell'incremento di flusso indotto dal nuovo centro commerciale (circa 400 veicoli in più) che, uscendo dal parcheggio, si riversa sulla viabilità principale.

Si può quindi affermare che l'intervento progettuale previsto per la rampa risponde in modo efficiente alle esigenze di mobilità anche in presenza di carichi elevati di traffico.

Al fine di valutare il livello di disturbo che si propaga nel deflusso veicolare a monte della rampa di uscita della A4, sono stati analizzati degli indicatori specifici relativi alla lunghezza degli accodamenti e all'entità della perturbazione che si propaga a monte dell'ago di diversione. Questi indicatori sono forniti come output di simulazione da Aimsun con il nome di "HCM – Mean Back of Queue" e "HCM – Max Back of Queue" rispettivamente.

I due parametri sono assunti pari al valore medio (Mean back of queue) e al valore massimo (Max back of queue) della distanza tra l'inizio della sezione stradale e la parte posteriore dell'ultimo veicolo che si trova in "situazione di coda" ("queuing state"), valutati per ogni intervallo temporale di simulazione.

A tal proposito, un veicolo è in "situazione di coda" quando si verificano contemporaneamente le seguenti condizioni:

- Il gap spaziale tra questo e il suo leader è minore o uguale a 20 piedi (circa 6.0 m);
- La sua velocità è maggiore o uguale a quella del suo leader;
- La sua velocità è minore o uguale ad 1/3 della sua velocità desiderata.

Quando il veicolo in questione è il primo in una sezione stradale, per cui non ha un leader, le condizioni di "situazione di coda" che devono verificarsi sono le seguenti:

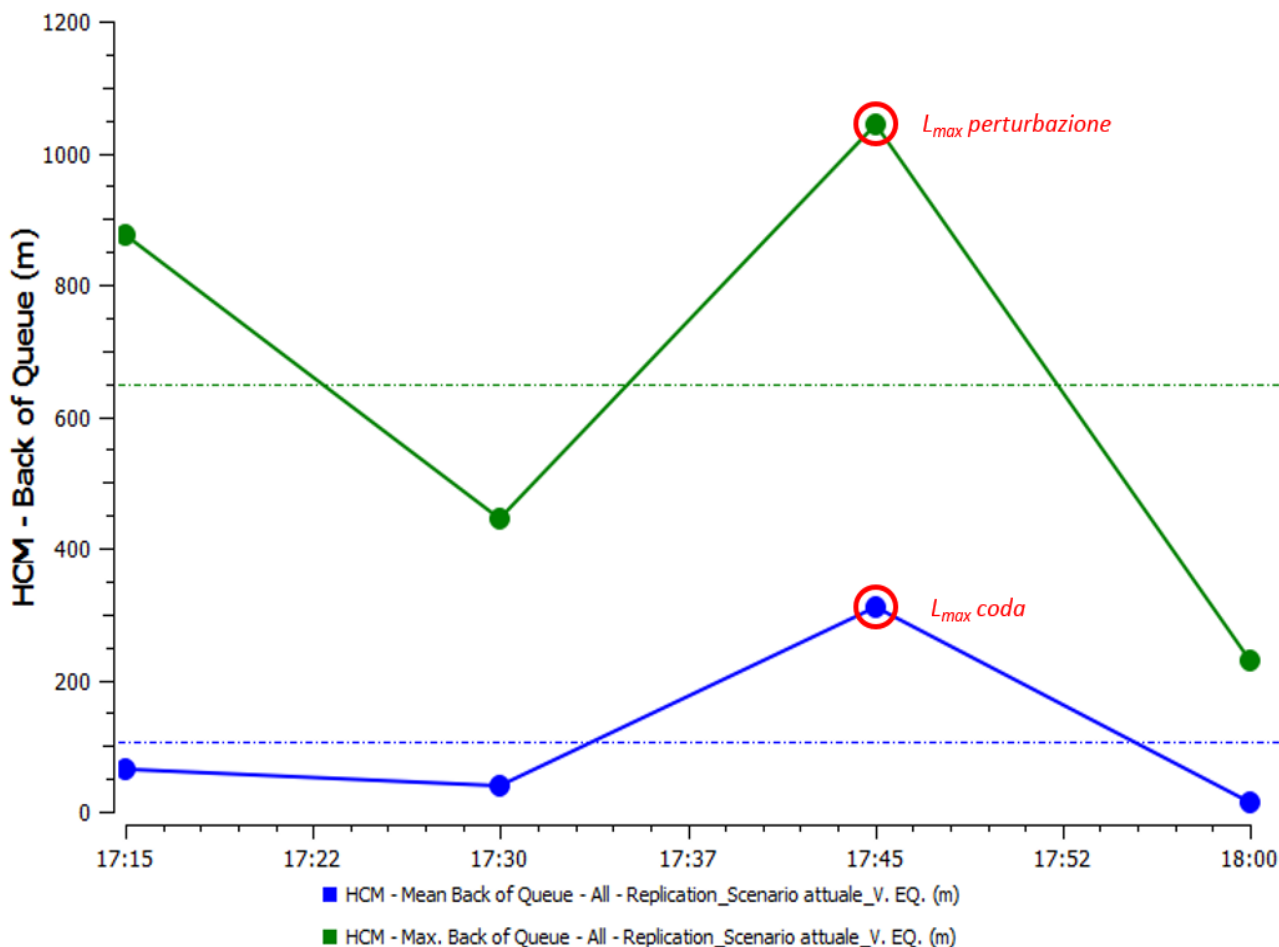
- La sua distanza dalla linea di stop è minore o uguale a 50 piedi (circa 15.0 m);
- Sta decelerando o è fermo.

Inoltre, il veicolo lascia la "situazione di coda" quando accade contemporaneamente che:

- La sua velocità è maggiore o uguale a 2/3 della sua velocità desiderata;
- La sua velocità è minore o uguale a quella del suo leader oppure non ha un leader;
- Lascia la sezione nel caso in cui è il primo veicolo in coda.

I due indicatori vengono rappresentati nel grafico che segue secondo una discretizzazione temporale di 15 minuti: esso si riferisce alla sezione che rappresenta la rampa di uscita della A4 direzione Est.

Grafico 11. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Est – Scenario attuale

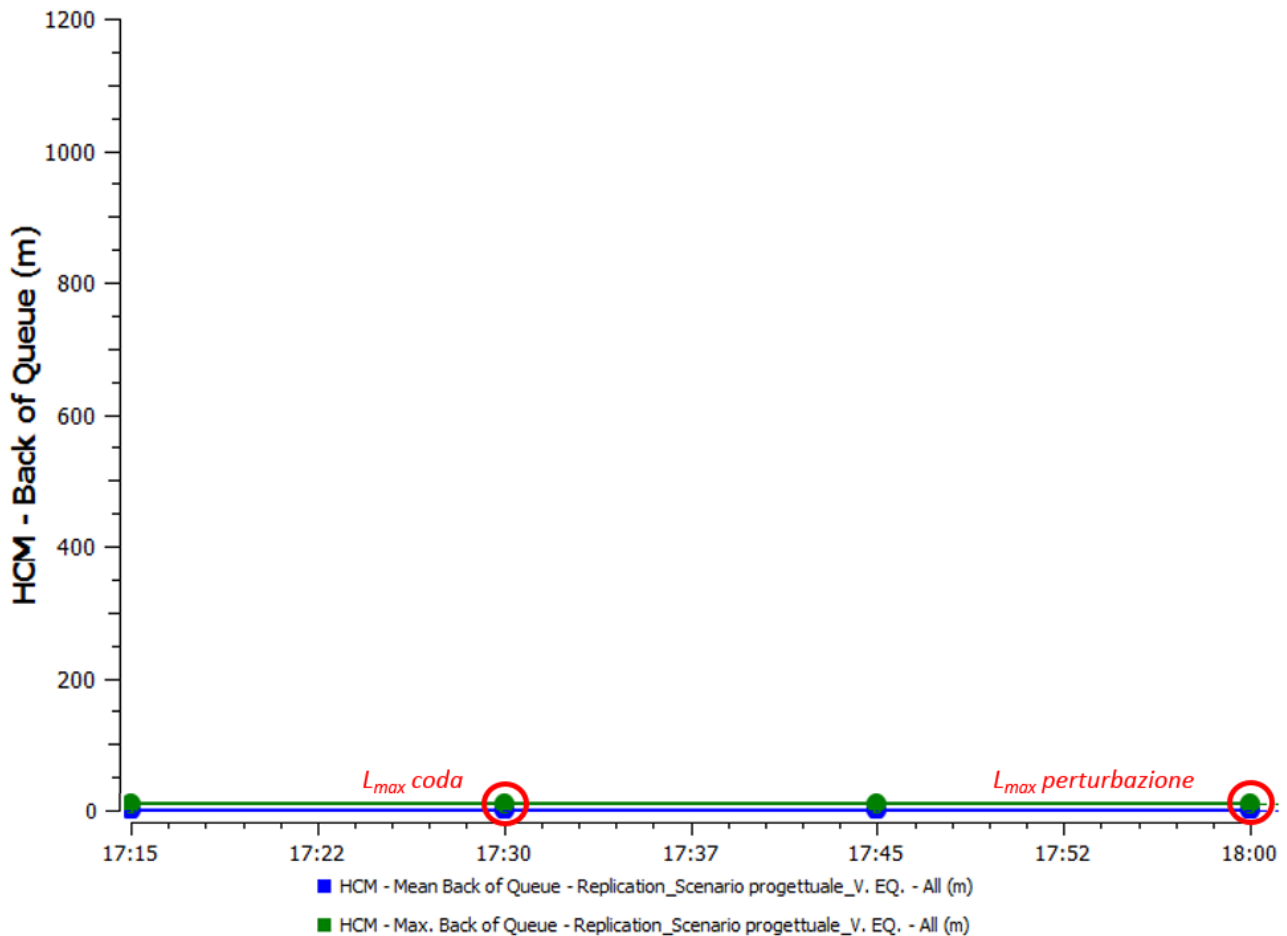


Analizzando tale grafico si rilevano degli accodamenti lungo la rampa che si propagano anche nella sezione di monte. In particolare si ha $L_{max\ coda} = 310.24$ m, valore ampiamente contenuto nella corsia di decelerazione la quale ha un'estensione notevole di circa 1.0 km, e $L_{max\ perturbazione} = 1042.03$ m, cioè gli accodamenti, essendo rilevanti, si estendono anche a monte della rampa.

Come per lo scenario attuale, anche per quello progettuale sono stati analizzati gli indicatori descrittivi della lunghezza degli accodamenti e dell'entità della perturbazione lungo la rampa di uscita dell'A4, ovvero "HCM – Mean Back of Queue" e "HCM – Max Back of Queue" rispettivamente.

Tali grandezze sono rappresentate nel grafico seguente con una discretizzazione temporale di 15 minuti. Si può notare che, in questo caso, i valori sono nettamente inferiori ($L_{max\ coda} = 1.0$ m e $L_{max\ perturbazione} = 15.23$ m) a indicare la totale assenza di fenomeni di congestione.

Grafico 12. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Est – Scenario progettuale



7.2 CARREGGIATA OVEST

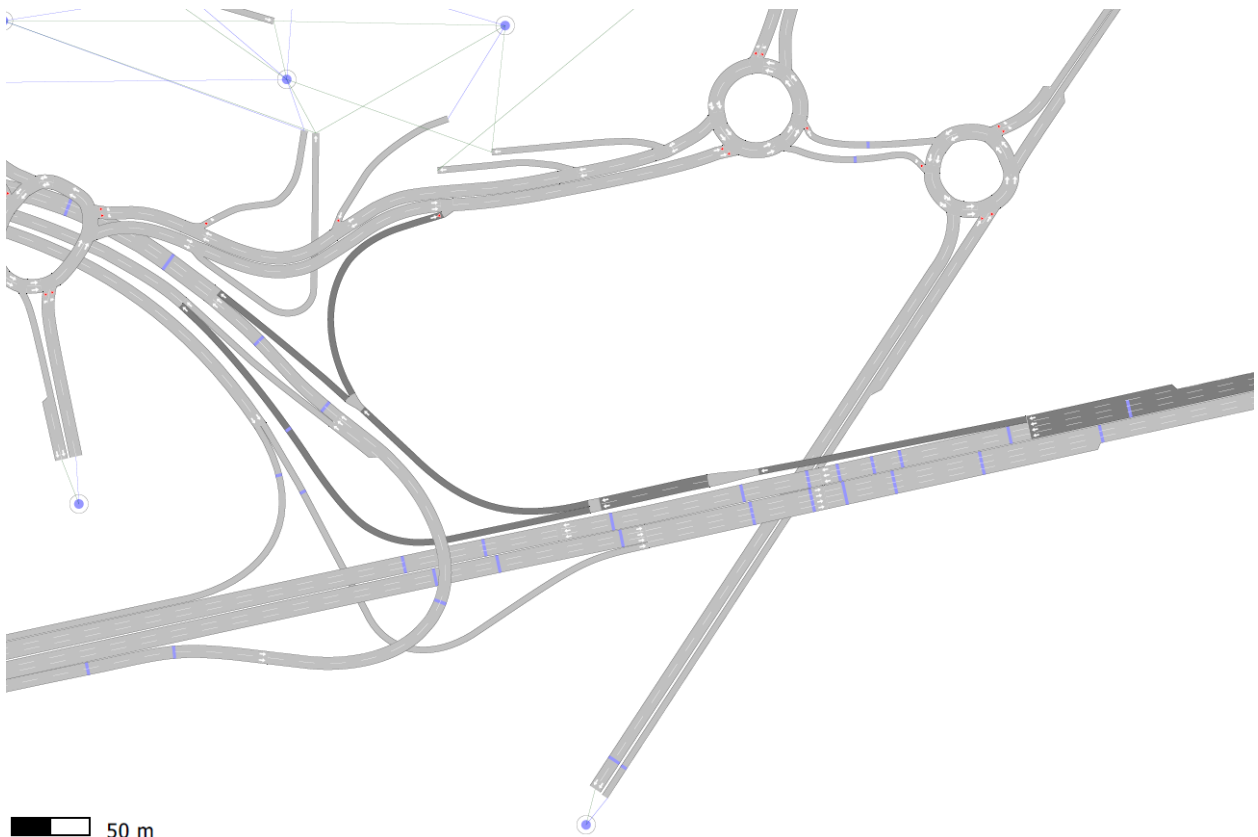
L'intervento progettuale relativo alla A4 interessa anche la carreggiata Ovest con la realizzazione di una complanare in uscita da Venezia con rampa diretta verso la viabilità ordinaria. Nello scenario futuro, infatti, è previsto un arretramento della corsia di diversione della A4 rispetto alla sua posizione attuale in modo da poter prolungare la rampa di uscita: questa, che è inizialmente ad una corsia, si apre successivamente a due corsie di cui quella di sinistra, mantenendo l'attuale giacitura, si collega alla galleria Gracchi esistente per poi immettersi nella SS36 in direzione Milano; la corsia di destra, invece, sfiora in due rampe di cui una va a costituire la terza corsia della nuova galleria Gracchi mentre l'altra si innesta sulla viabilità ordinaria di via G. Galilei.

Le immagini seguenti mostrano le tratte, illustrate in grigio scuro per maggior visibilità, dello scenario attuale e di quello progettuale interessate dall'intervento.

Figura 32. Grafo Aimsun – Rampa A4 carr. Ovest: scenario attuale



Figura 33. Grafo Aimsun – Rampa A4 carr. Ovest: scenario progettuale



Pertanto è stata effettuata un'analisi funzionale della corsia di diversione in A4 e in particolare sono stati estrapolati i grafici indicativi della lunghezza della coda e della perturbazione lungo l'asse principale (HCM – Mean Back of Queue e HCM – Max Back of Queue, come descritto nel paragrafo 7.1).

Da tali grafici si nota che:

- Nello scenario attuale → $L_{\max \text{ coda}} = 28.44 \text{ m}$ e $L_{\max \text{ perturbazione}} = 173.87 \text{ m}$;
- Nello scenario progettuale → $L_{\max \text{ coda}} = 4.05 \text{ m}$ e $L_{\max \text{ perturbazione}} = 29.34 \text{ m}$

I valori di queste grandezze indicano l'assenza di fenomeni di accodamento rilevanti lungo la rampa nello scenario attuale tanto che la lunghezza massima della perturbazione risulta essere di pochi metri superiore alla lunghezza della corsia di diversione (150.0 m); nello scenario progettuale, poi, i due indicatori, nettamente inferiori ai precedenti, denotano accodamenti praticamente inesistenti.

Grafico 13. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Ovest – Scenario attuale

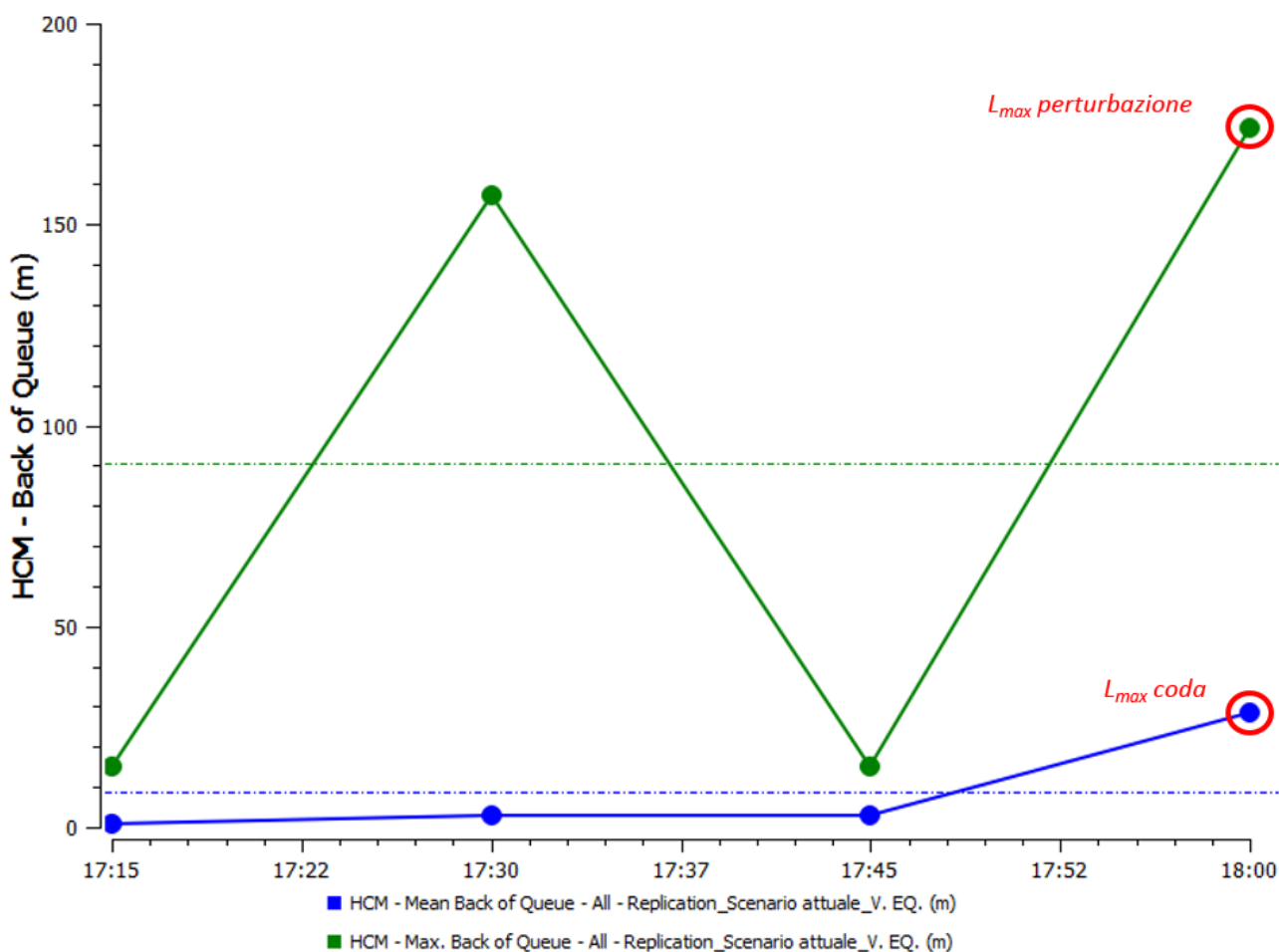
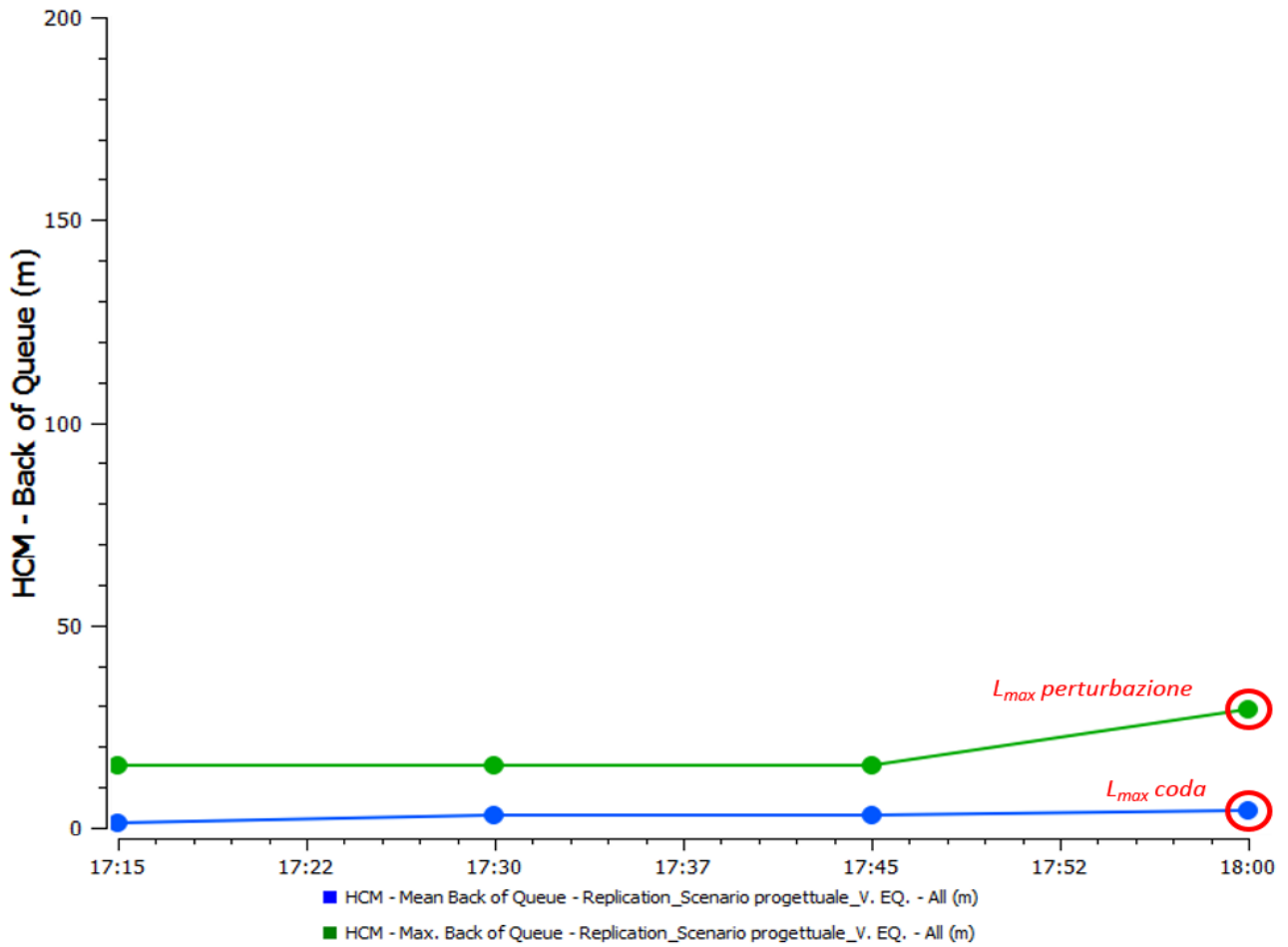


Grafico 14. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Ovest – Scenario progettuale



8. VERIFICA FUNZIONALE A52

La stessa analisi funzionale effettuata per l'itinerario della rampa A4 è stata eseguita per l'autostrada A52, interessata anch'essa da importanti interventi progettuali: la realizzazione di una complanare per la direzione Est.

Pertanto, si riportano i grafici che mostrano l'andamento delle velocità medie risultanti dalla simulazione e relativi allo scenario attuale (punti blu) e a quello progettuale (punti rossi).

Da un'analisi visiva, si evincono immediatamente gli effetti degli interventi progettuali: in direzione Est è netto e significativo l'incremento della velocità dalla sezione della A52 da cui si diparte la complanare e tale beneficio si mantiene per tutta la sua estensione fino al loro punto di convergenza dove l'andamento della velocità nello scenario progettuale tende a seguire nuovamente quello dello scenario attuale.

Si può quindi affermare che gli interventi progettuali previsti per la A52 rispondono in modo efficiente alle esigenze di mobilità anche in presenza di carichi di traffico elevati.

Grafico 15. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – A52 direzione Est

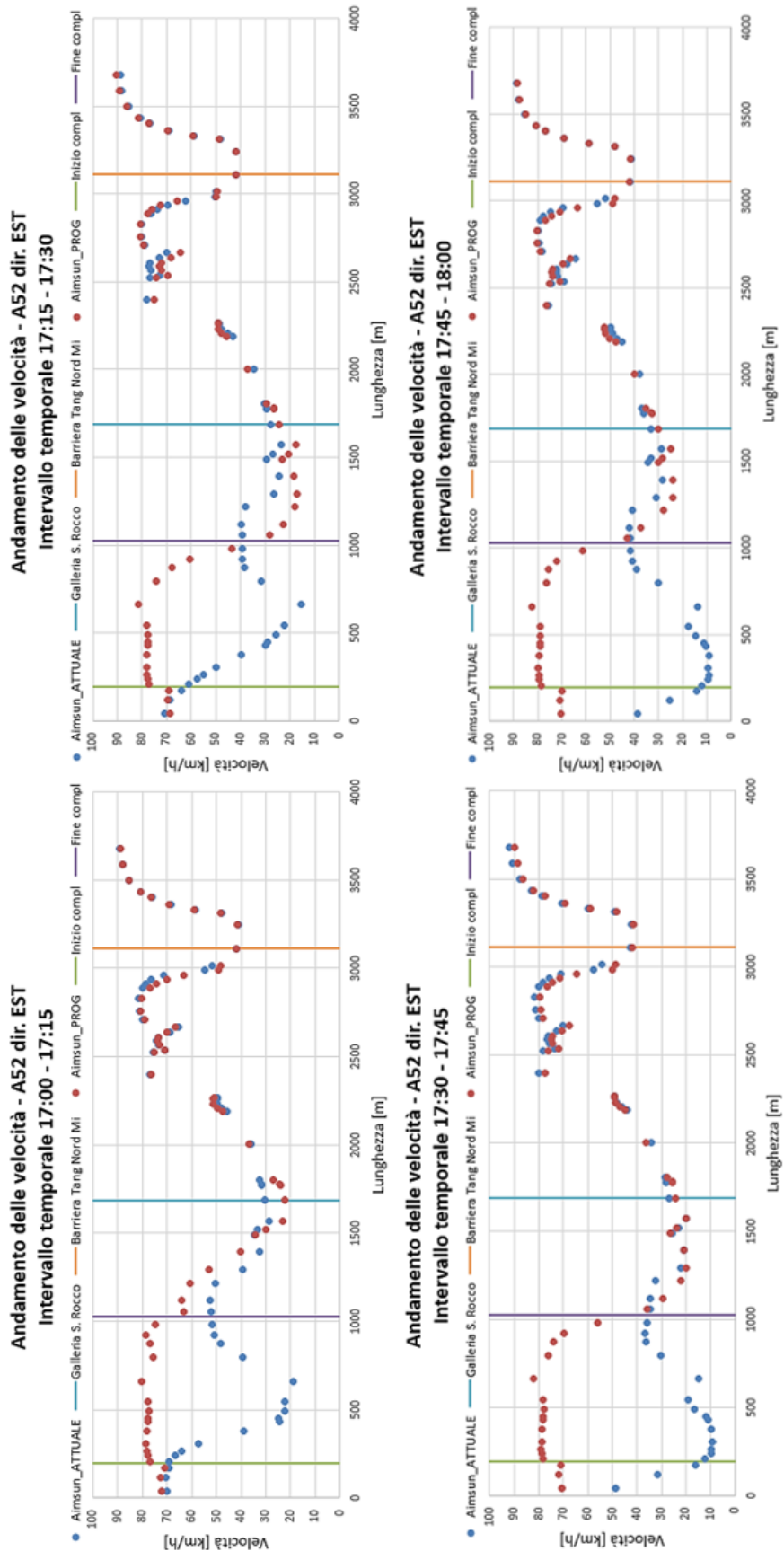
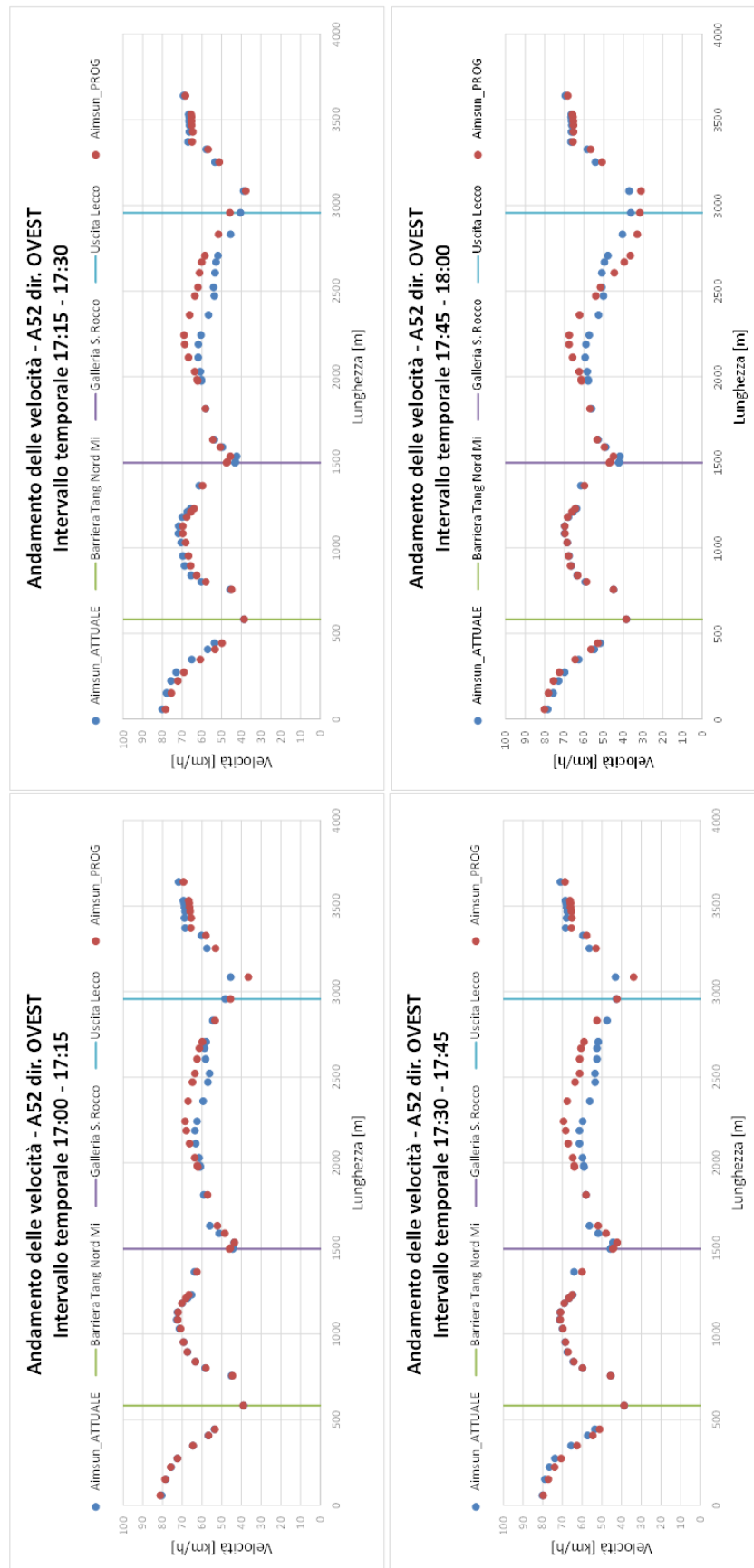


Grafico 16. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – A52 direzione Ovest



9. VERIFICA FUNZIONALE SS36

La stessa analisi funzionale effettuata per lungo la A52 è stata eseguita per la Strada Statale SS36.

Pertanto, si riportano i grafici che mostrano l'andamento delle velocità medie risultanti dalla simulazione e relativi allo scenario attuale (punti blu) e a quello progettuale (punti rossi).

Dall'analisi visiva dei grafici si possono fare le seguenti osservazioni:

- in direzione Nord, nonostante la maggior domanda entrante nella SS36 dalla via Bettola, a causa della domanda aggiuntiva del Centro Commerciale, lo scenario progettuale mantiene una sostanziale invarianza rispetto all'attualità. Il Livello di Servizio resta in LOS E come nell'attualità, come si può vedere confrontando la Figura 30 con la Figura 31.
- In direzione Sud si presenta una significativa diminuzione di velocità dovuta agli intrecci veicolari generati dalla complanare allo svincolo con la A52 e dalla rampa di uscita verso la A4. L'aumento di domanda dovuto al Centro Commerciale è l'elemento che dà origine a questa criticità.

Grafico 17. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – SS36 direzione Nord

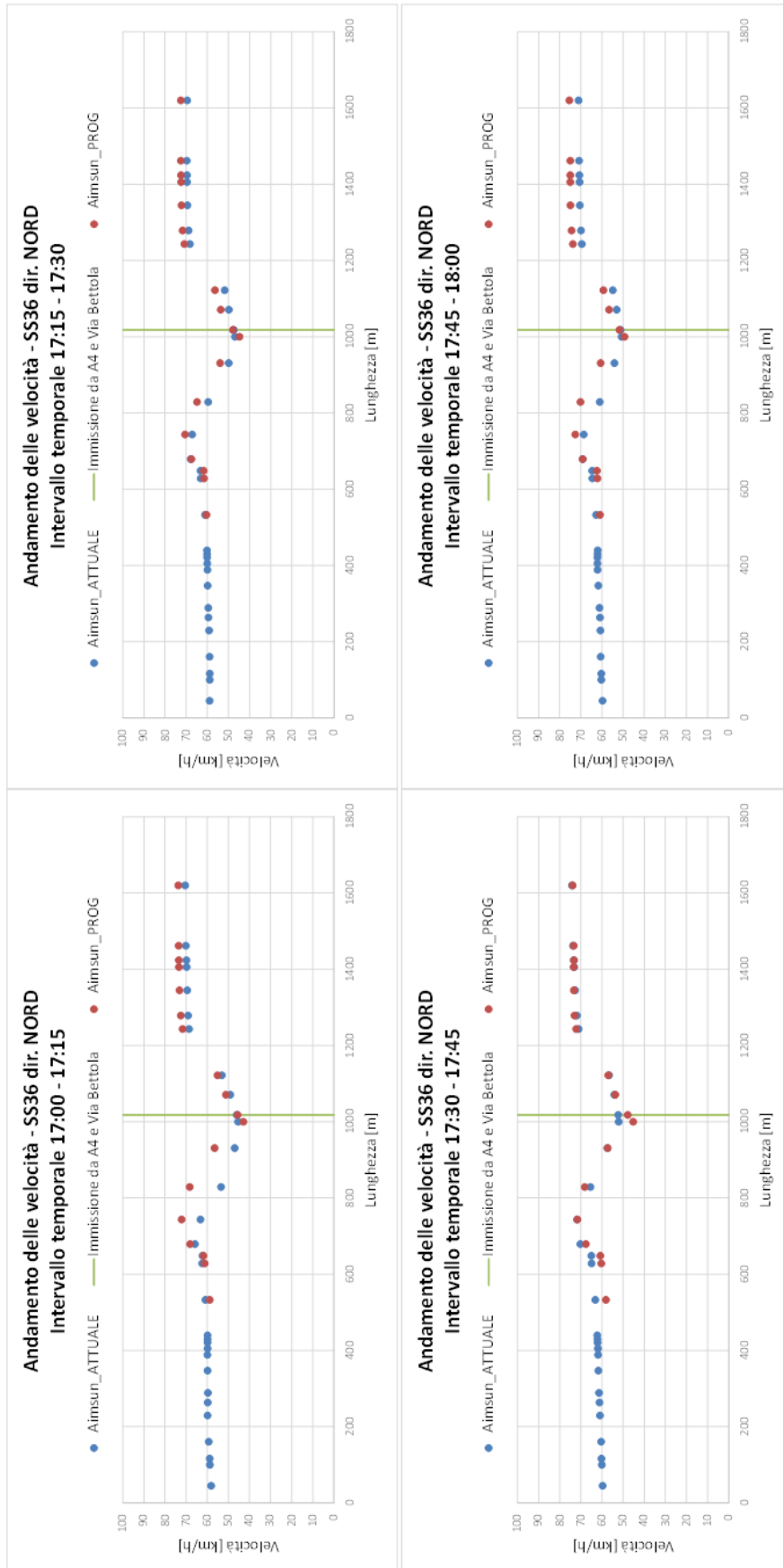
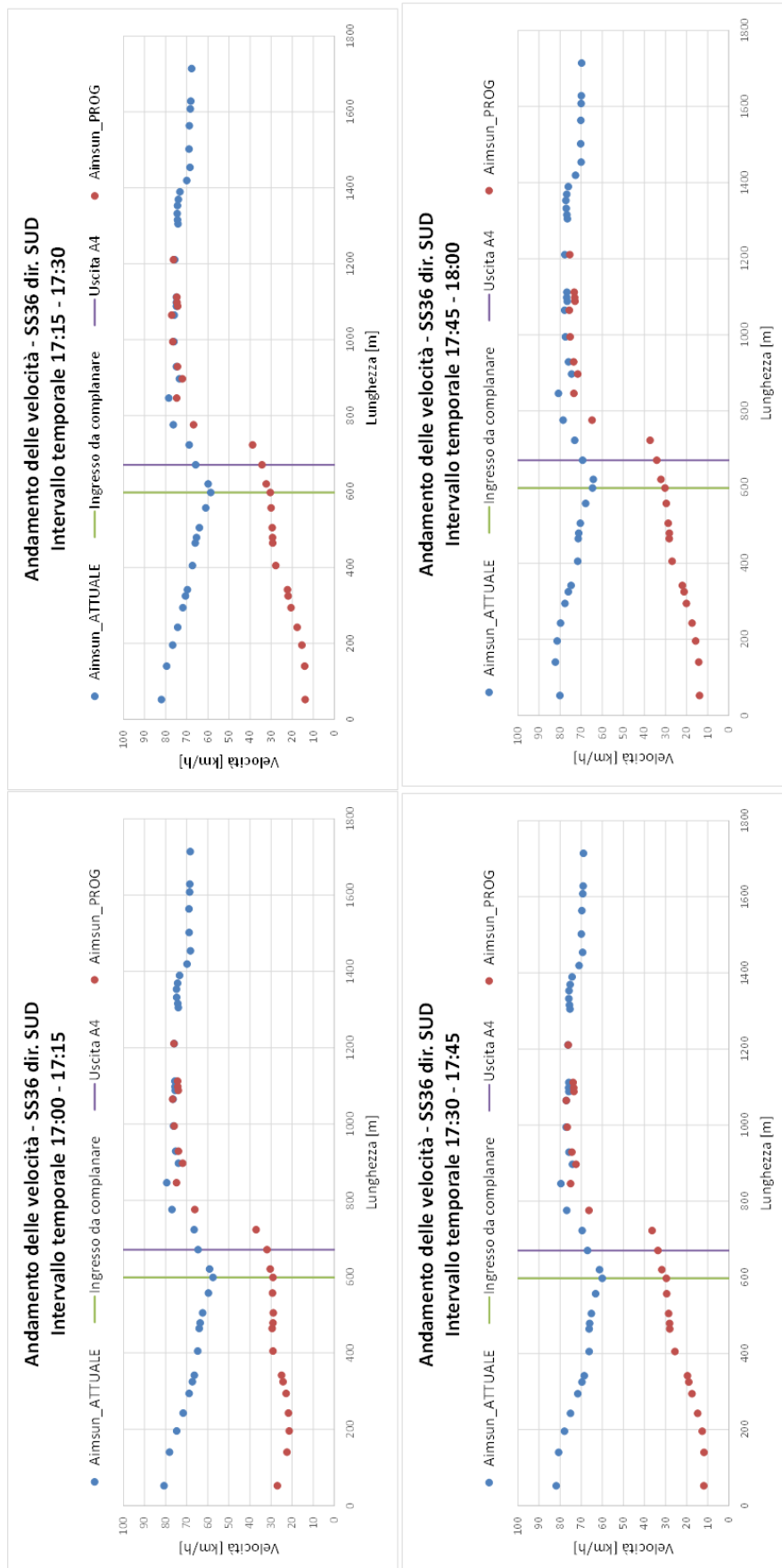


Grafico 18. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – SS36 direzione Sud



10. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente studio sono state ricostruite le condizioni attuali di circolazione nell'area servita dal sistema autostradale e stradale costituito dall'A4 Milano-Venezia, dall'A52 Tangenziale Nord di Milano e dalla SS36 del lago di Como e dello Spluga, nonché della viabilità in esso ricompresa.

Tale studio ha avuto come finalità la valutazione degli effetti derivanti dalla realizzazione di una serie di interventi progettuali:

1. **Potenziamento dell'uscita di Cinisello Balsamo dalla A4 in direzione Est:** si tratta di un set di interventi che, in presenza della IV corsia dinamica tra Certosa e Cinisello, rappresentano potenziamento infrastrutturale delle rampe di uscita tramite il passaggio da 1 a 2 corsie e che comportano una riorganizzazione dello svincolo tramite l'inversione delle due rampe di uscita nel loro punto di confluenza, tramite la realizzazione di una nuova canna della galleria Gracchi con conseguente riordino delle rampe e tramite l'aggiunta di una corsia sulla rampa che dalla A4 consente l'immissione sulla SS36 in direzione Lecco a valle della galleria Gracchi.
2. **Realizzazione di una complanare in uscita dalla A4 da Venezia** con aggiunta di una rampa diretta verso la viabilità ordinaria.
3. **Realizzazione lungo la A52 in carreggiata Est di una strada complanare di servizio** che raccoglie le rampe degli svincoli Cinisello B. Sud/Milano v.le F. Testi, SS36 Lecco e Cinisello B. Robecco.

Lo studio è stato supportato da un modello di traffico macroscopico (ad assegnazione statica DUE) realizzato dalla società consulente del CC Auchan e che ha fornito la matrice o/d necessaria all'implementazione di un modello microscopico realizzato nel presente studio.

Il micro modello di traffico realizzato è stato costruito in modo da analizzare la domanda in termini di veicoli equivalenti con riferimento all'ora di punta del pomeriggio (17:00 – 18:00) di venerdì 4 maggio 2018 (giorno di effettuazione delle indagini di traffico): tale modello è stato sottoposto a procedura di calibrazione impiegando dati di velocità media rilevata tramite dispositivi Tom Tom presenti a bordo di un campione di veicoli.

L'analisi ha consentito di valutare la funzionalità degli interventi previsti/ipotizzati nello scenario progettuale.

Questi sono in estrema sintesi i risultati ottenuti:

1. Il set di interventi all'uscita di Cinisello dalla A4 in direzione est consente un netto miglioramento dei LOS su tutta la lunghezza della rampa fino a raggiungere la SS36. La perturbazione sull'asse della A4 a monte della cuspide di uscita che nello scenario attuale raggiungeva anche lunghezze di 1000 – 1050 m viene ad essere annullata nello scenario progettuale.
2. La realizzazione della complanare in uscita dalla A4 da Venezia con rampa diretta verso la viabilità ordinaria comporta l'annullamento dei fenomeni di accodamento nello scenario progettuale rispetto alle condizioni già comunque favorevoli dello scenario attuale nel quale la lunghezza della coda e quella della perturbazione sull'asse della A4 erano poco rilevanti.
3. La realizzazione lungo la A52 in carreggiata Est della strada complanare di servizio che raccoglie le rampe degli svincoli Cinisello B. Sud/Milano v.le F. Testi, SS36 Lecco e Cinisello B. Robecco, che comunque non è parte del progetto di adeguamento dello svincolo di Sesto San Giovanni allegato al presente studio, comporta un netto e significativo incremento della velocità dalla sezione della A52 da cui si diparte la complanare e tale beneficio si mantiene per tutta la sua estensione fino al loro punto di convergenza dove l'andamento della velocità nello scenario progettuale tende a seguire nuovamente quello dello scenario attuale.

11. APPENDICE: A52 GALLERIA S. ROCCO

Nella presente Appendice viene analizzato l'impatto che la realizzazione in A52 in direzione Ovest di una complanare in galleria per l'immissione dello svincolo di Monza Sant'Alessandro potrebbe avere sul potenziamento dello svincolo A4 di Cinisello e sulla A52.

Si tratterebbe di creare una complanare (in parte già esistente) alla galleria San Rocco.

Se la domanda di spostamento rimane quella esplicitata nel corpo dello Studio, il grafo di offerta viene integrato con la suddetta complanare in A52 carreggiata Ovest.

Figura 34. Grafo Aimsun – Intervento A52 direzione Ovest (galleria)



11.1 VERIFICA FUNZIONALE A4 CARREGGIATA EST

La presenza della complanare in galleria in A52 in carreggiata Ovest **non impatta** sulla domanda e quindi sulle prestazioni funzionali trasportistiche del potenziato svincolo A4 di Cinisello Balsamo.

Si riporta l'analisi dell'itinerario Est come fatto nel corpo della relazione. Le micro variazioni rispetto all'assenza della succitata galleria in A52 sono dovute solo alla dinamicità ed aleatorietà dei parametri comportamentali tra una simulazione e l'altra.

Itinerario carreggiata Est:

- Autostrada A4 direzione Est;
- Rampa di uscita svincolo Cinisello / Sesto San Giovanni;
- Tratto della SS36 direzione Nord.

Figura 35. Itinerario Est rampa A4

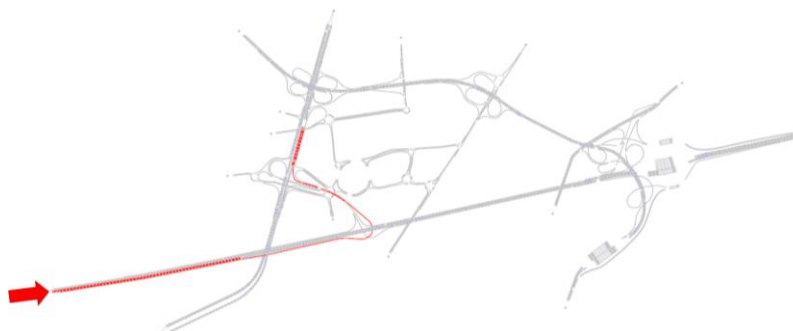


Grafico 19. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – Itinerario Est rampa A4

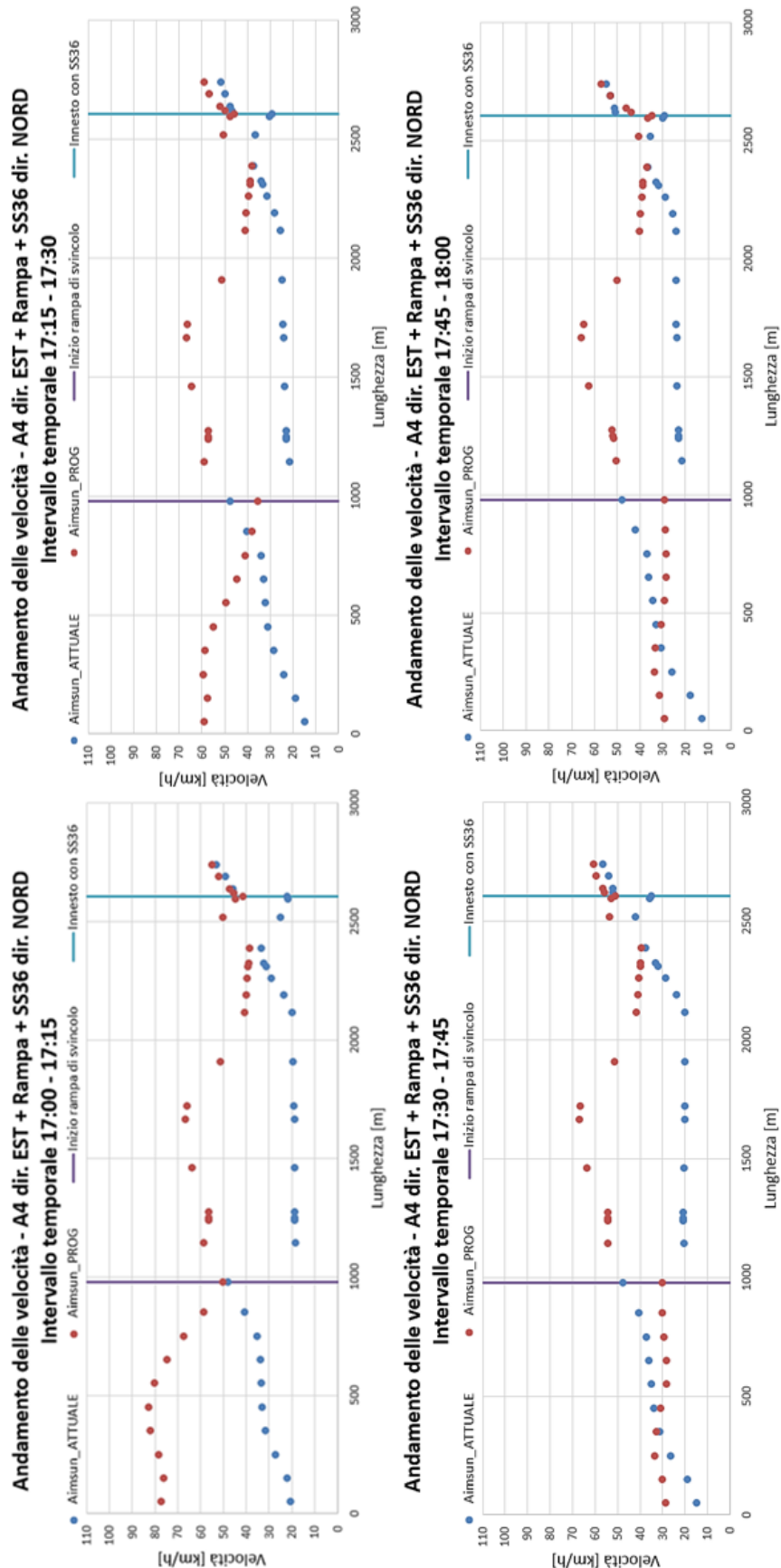


Figura 36. Densità veicolare itinerario Est rampa A4 – Scenario attuale



Figura 37. Densità veicolare itinerario Est rampa A4 – Scenario progettuale

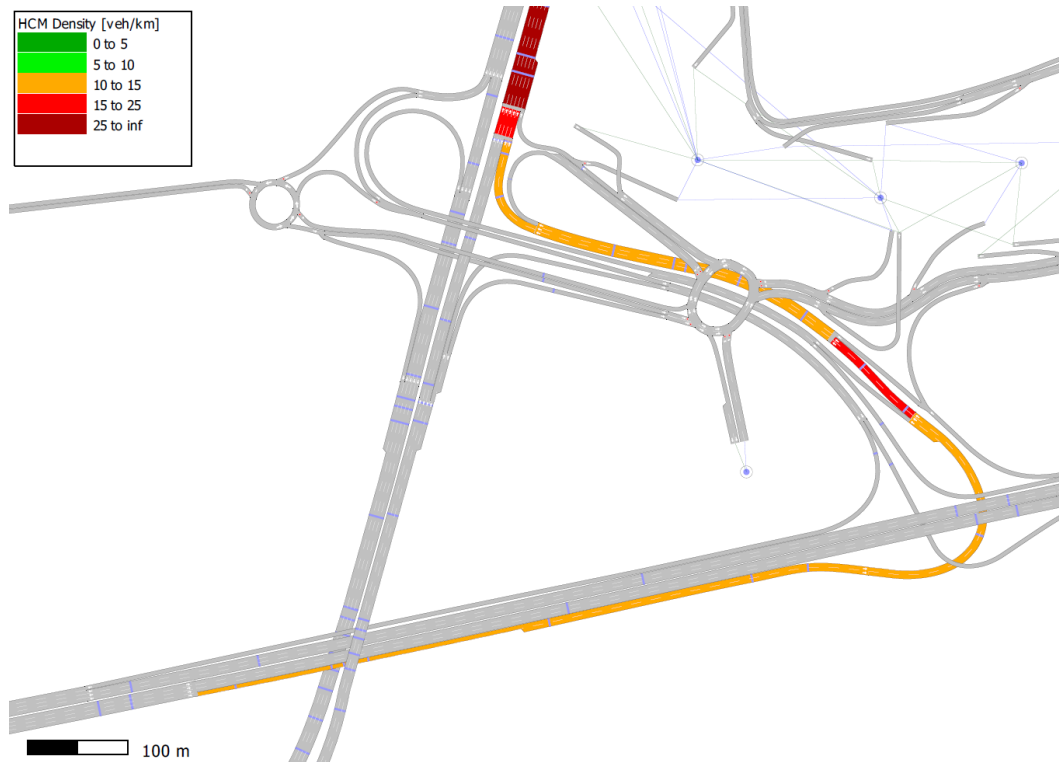


Figura 38. Livello di servizio itinerario Est rampa A4 – Scenario attuale



Figura 39. Livello di servizio itinerario Est rampa A4 – Scenario progettuale

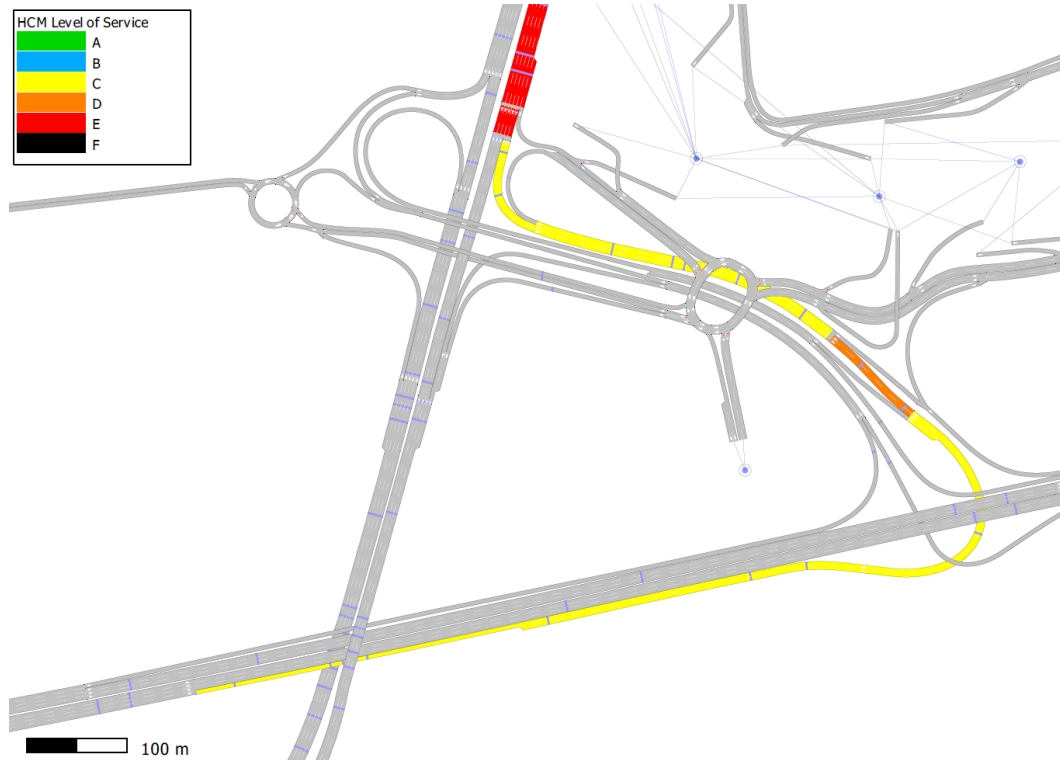


Grafico 20. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Est – Scenario attuale

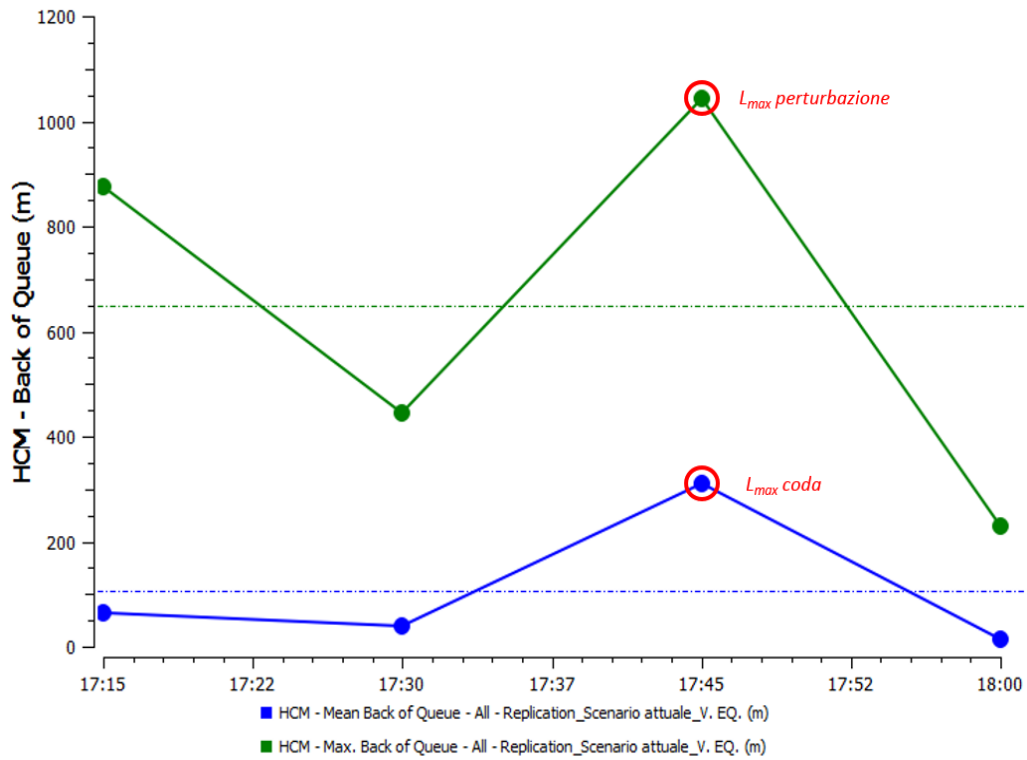
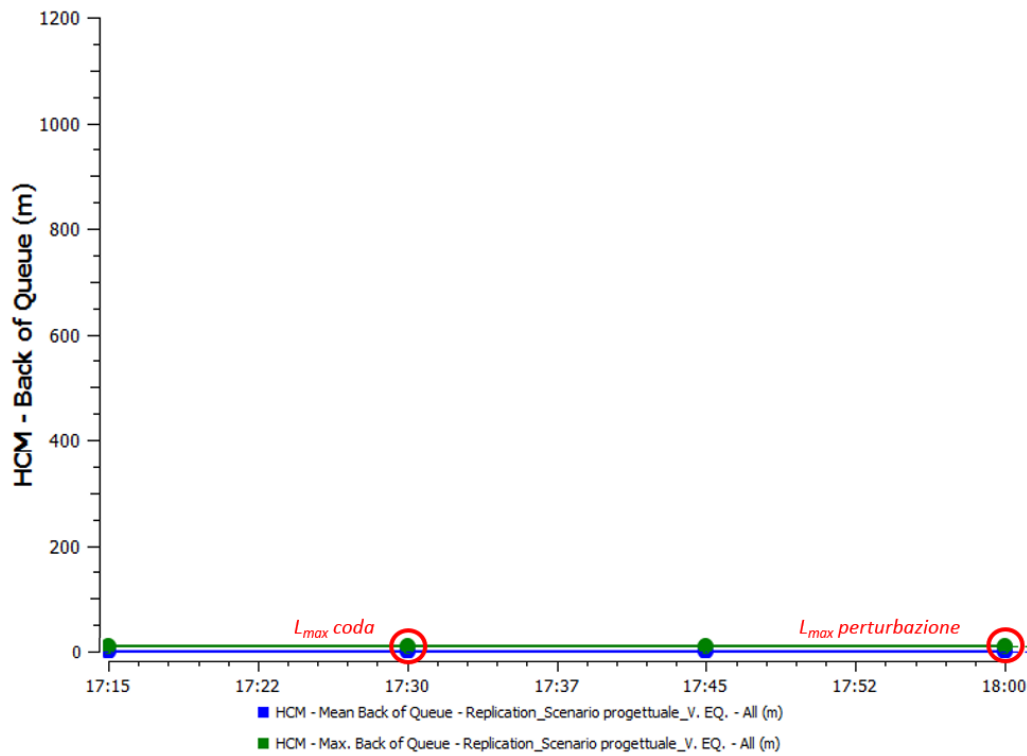


Grafico 21. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Est – Scenario progettuale



11.2 VERIFICA FUNZIONALE A4 CARREGGIATA OVEST

La presenza della complanare in galleria in A52 in carreggiata Ovest **non impatta** sulla domanda e quindi sulle prestazioni funzionali trasportistiche del potenziato svincolo A4 di Cinisello Balsamo.

A testimonianza di ciò, come fatto nel corpo della relazione si riportano i grafici per la A4 carreggiata Ovest. Le micro variazioni rispetto all'assenza della succitata galleria in A52 sono dovute solo alla dinamicità ed aleatorietà dei parametri comportamentali tra una simulazione e l'altra.

Grafico 22. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Ovest – Scenario attuale

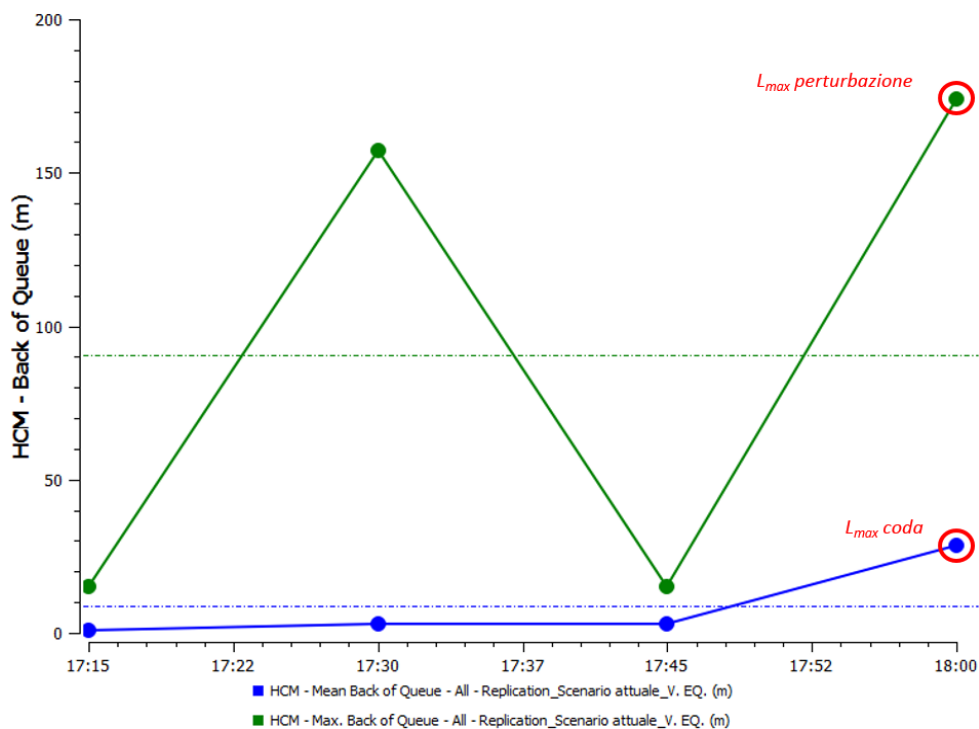
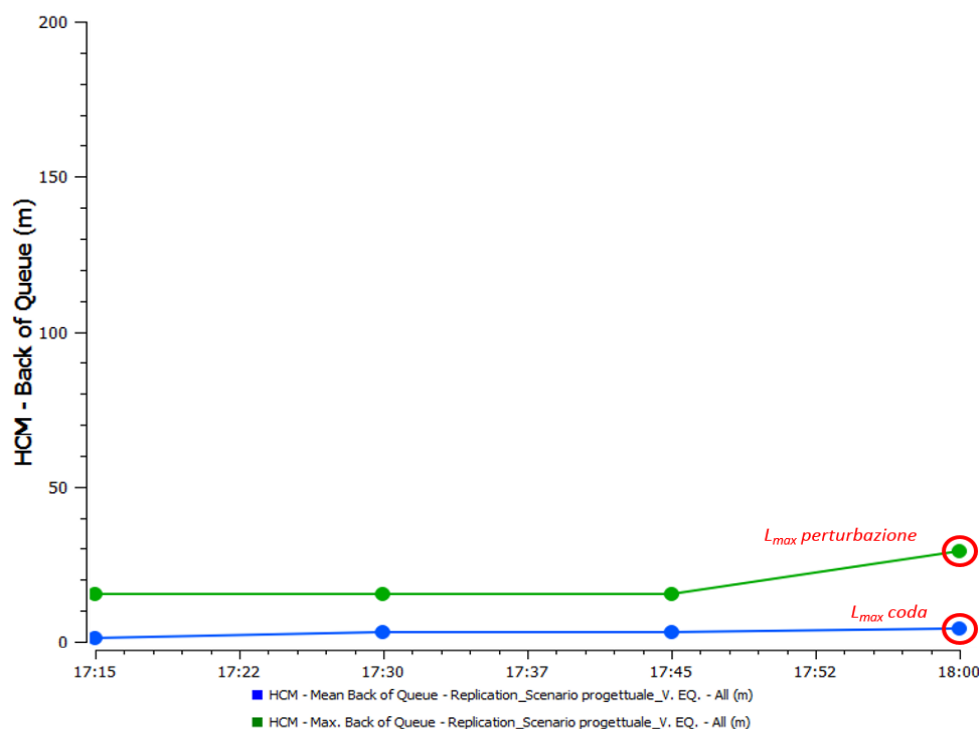


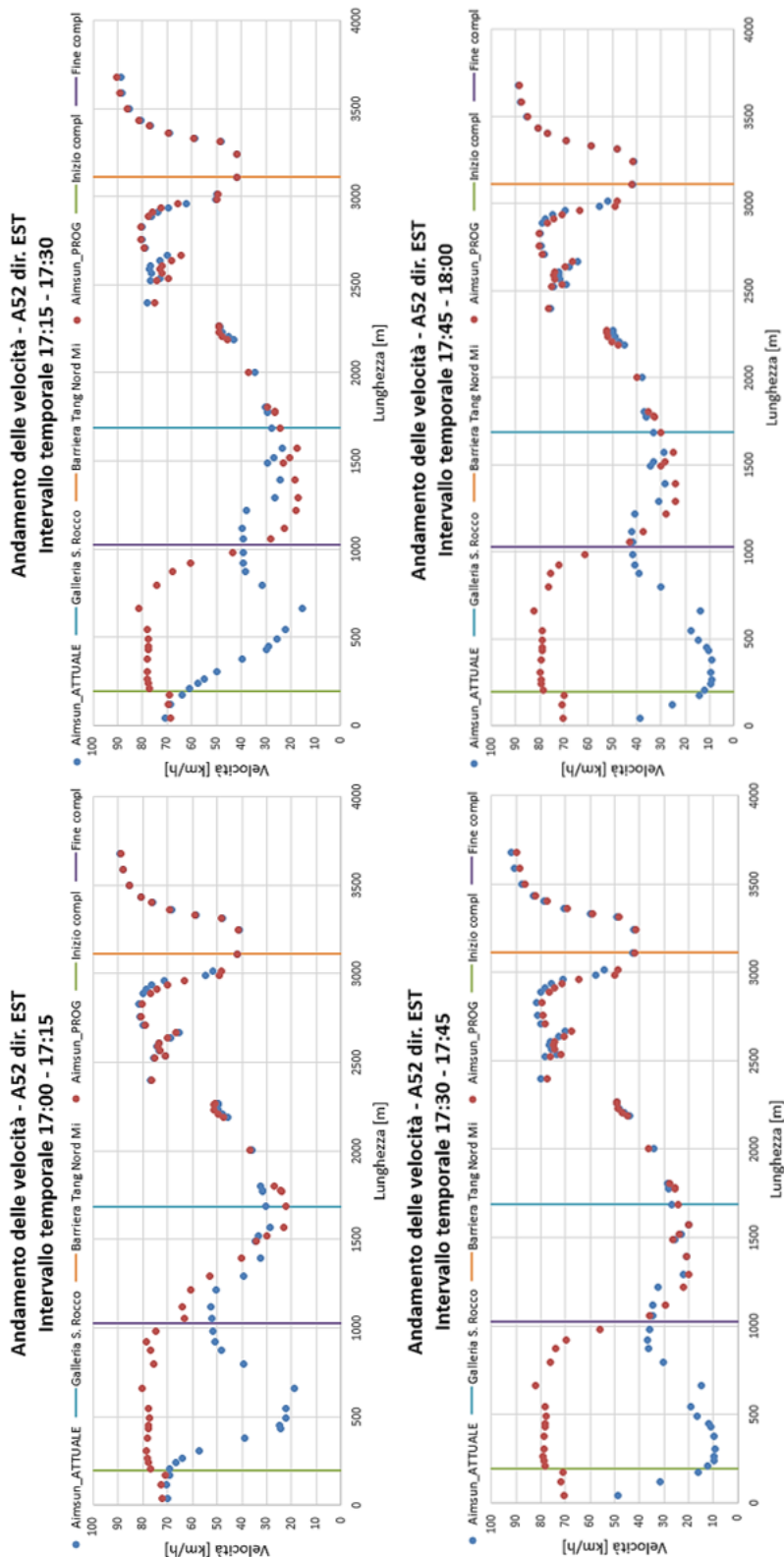
Grafico 23. Lunghezza della coda rampa A4 carr. Ovest – Scenario progettuale



11.3 VERIFICA FUNZIONALE A52 CARREGGIATA EST

La presenza della complanare in galleria in A52 in carreggiata Ovest non impatta sulla domanda e quindi sulle prestazioni funzionali trasportistiche della A52 in carreggiata Est come mostrato dal seguente grafico (da confrontare con il Grafico 15).

Grafico 24. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – A52 direzione Est



11.4 VERIFICA FUNZIONALE A52 CARREGGIATA OVEST

La presenza della complanare in galleria in A52 in carreggiata Ovest ovviamente impatta sulle prestazioni funzionali trasportistiche della A52 in carreggiata Ovest.

Si nota infatti un aumento della velocità in corrispondenza dell'attuale galleria S. Rocco in cui, nello scenario progettuale, non avviene più l'immissione dei flussi provenienti dalla A4 direzione Ovest e da Via G. Marconi, ma questi entrano in A52 al termine di tale galleria. In tale punto di confluenza dei flussi l'andamento delle velocità viene ripristinato nelle condizioni attuali.

Gráficoo 25. Confronto velocità simulate scenari attuale e progettuale – A52 direzione Ovest

