

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
NV – NUOVA VIABILITA' INTERFERENZE VIARIE
NV51 – SFALSAMENTO IN CORSIA RACCORDO AUTOSTRADALE VERONA
EST/VIALE DEL LAVORO
GENERALE
ANALISI TRASPORTISTICA DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI
VERONA EST**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio			-
Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Novembre 2023	Iricav Due ing. Paolo Carmona Data: Novembre 2023			

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV. FOGLIO

I	N	1	7	1	2	E	I	2	S	D	N	V	5	1	0	0	0	0	1	A	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing. Alberto LEVORATO 	Novembre 2023

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	Di Bonaventura	Novembre 2023	Levorato	Novembre 2023	Malavenda	Novembre 2023	Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Novembre 2023

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2SDNV5100001A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
ANALISI TRASPORTISTICA DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 SD NV 51 0 0 001	Rev. A	Foglio 3 di 6	

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
ANALISI TRASPORTISTICA DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 SD NV 51 0 0 001	Rev. A	Foglio 4 di 6

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	ALLEGATI.....	6

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
ANALISI TRASPORTISTICA DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 SD NV 51 0 0 001	Rev. A	Foglio 5 di 6

1 PREMESSA

Lo studio trasportistico, allegato al presente documento, è stato predisposto da Righetti e Monte Ingegneri e Architetti Associati (R&M Associati) in data 25 luglio 2022.

L'oggetto delle valutazioni trasportistiche è rappresentato dal “Nodo stradale ed autostradale di Verona Est”, determinando le condizioni di deflusso veicolare del nodo di Verona Est e le condizioni di deflusso puntuali delle rotatorie del nodo di Verona Est, rispetto a sei scenari base di assetto domanda – offerta di mobilità.

L'analisi delle condizioni di deflusso veicolare relative allo svincolo oggetto del presente progetto definitivo per variante, è riportata a partire da pagina 84 del report tecnico allegato.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
ANALISI TRASPORTISTICA DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 SD NV 51 0 0 001	Rev. A	Foglio 6 di 6

2 ALLEGATI



REALIZZAZIONE DEI LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA LINEA AV/AC VERONA-PADOVA, PRIMO LOTTO FUNZIONALE VERONA- BIVIO VICENZA

**STUDIO DEL TRAFFICO A SUPPORTO DELLA PROPOSTA DI RISOLUZIONE
DELL'INTERFERENZA CON LA SEDE AUTOSTRADALE AL KM 6+220,00**

Relazione conclusiva

Bologna, 25 luglio 2022

Il presente report tecnico "REALIZZAZIONE DEI LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA LINEA AV/AC VERONA-PADOVA, PRIMO LOTTO FUNZIONALE VERONA- BIVIO VICENZA. STUDIO DEL TRAFFICO A SUPPORTO DELLA PROPOSTA DI RISOLUZIONE DELL'INTERFERENZA CON LA SEDE AUTOSTRADALE AL KM 6+220,00" è stato predisposto da Righetti & Monte Ingegneri e Architetti Associati per il Consorzio IRICAV DUE.

Le informazioni e i dati contenuti in questo report tecnico sono riservati. Ciascun destinatario di questo report condivide e accetta tale clausola di riservatezza, impegnandosi al più stretto riserbo, non divulgando all'esterno alcuna informazione.

Nessuna parte, dato o informazione di questo report può essere utilizzata per fini differenti da quelli concordati con il Consorzio IRICAV DUE senza esplicita autorizzazione di Righetti & Monte Ingegneri e Architetti Associati; chiunque lo facesse ne risponderà in termini di eventuale perdita o danno derivante.

Righetti & Monte Ingegneri e Architetti Associati hanno condotto le elaborazioni e analisi utilizzando tutte le informazioni e dati disponibili all'atto della redazione del report tecnico. La disponibilità di nuovi dati e informazioni potrebbe modificare la sostanza e validità dei risultati conseguiti e delle conseguenti conclusioni. Righetti & Monte Ingegneri e Architetti Associati non sono pertanto responsabili relativamente a variazioni nelle elaborazioni e conclusioni contenute in questo report tecnico connesse ad eventi e circostanze ad oggi non prevedibili.

GRUPPO DI LAVORO

coordinamento

Ingegnere **FRANCO RIGHETTI**



Architetto **MICHELE MONTE**



analisi ed elaborazioni statistiche e di traffico

Dottor **NICOLA BISTACCHI**, senior consultant dello studio associato

Ingegnere **PIETRO BRUNETTI**, senior consultant dello studio associato

Ingegnere **ANDREA POMPIGNA**, senior consultant dello studio associato

Ingegnere **BENEDETTA VARALDO**, senior consultant dello studio associato

Dottor **CHIARA GUAZZI**, junior consultant dello studio associato

Ingegnere **MATTIA MAGI**, junior consultant dello studio associato

Dottor **AGOSTINO NECCHI**, junior consultant dello studio associato

ABSTRACT

CONTESTUALIZZAZIONE, OGGETTO E FINALITÀ DELLE VALUTAZIONI

Righetti e Monte Ingegneri e Architetti Associati (di seguito R&M Associati) hanno ricevuto mandato dal Consorzio IRICAV DUE di predisporre una valutazione trasportistica a supporto della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 cioè del nodo stradale ed autostradale di Verona Est nell'ambito della realizzazione dei lavori di costruzione della linea AV/AC Verona - Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza, commissionato da Rete Ferroviaria Italiana – RFI (Gruppo FS Italiane).

L'oggetto delle valutazioni trasportistiche contenute in questo report è, pertanto, rappresentato dal Nodo stradale ed autostradale di Verona Est.

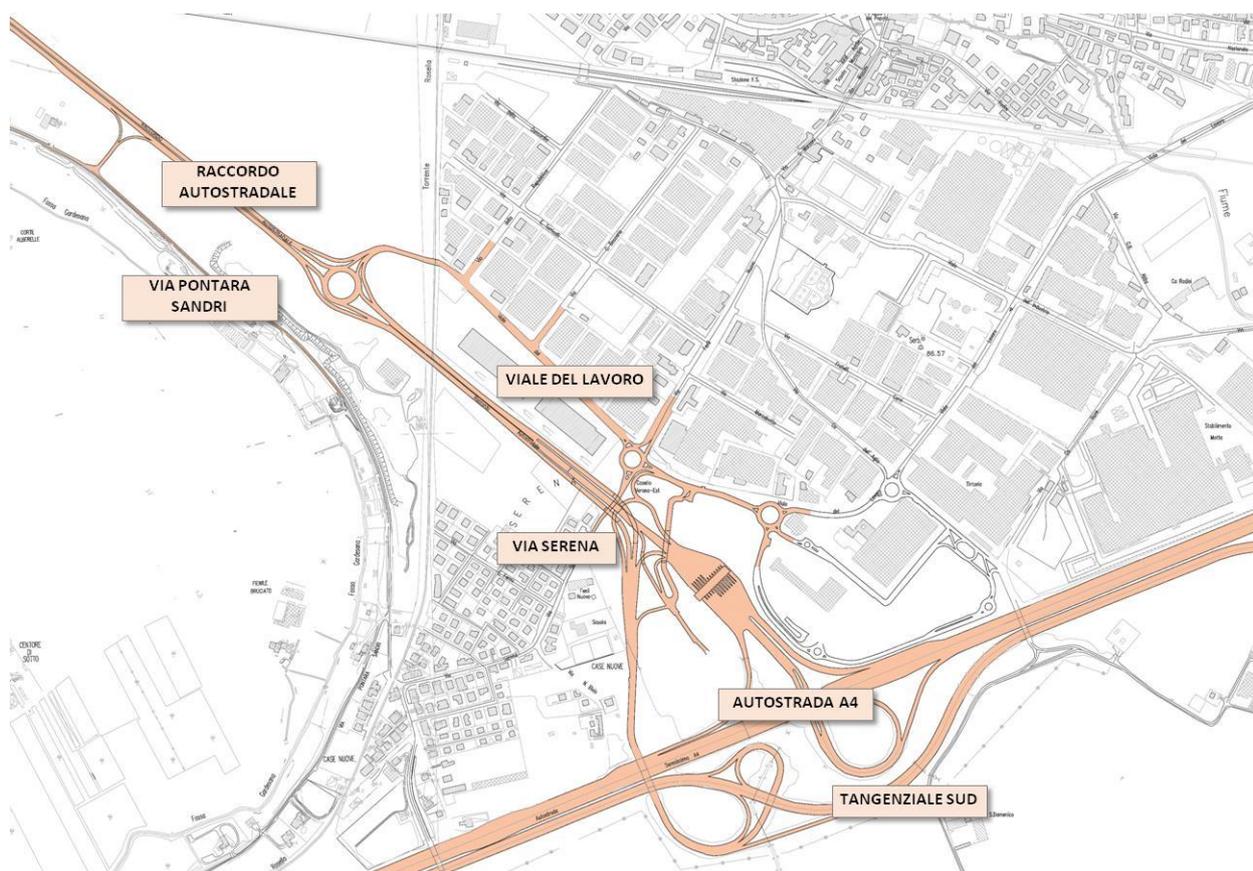


Figura A.1: Nodo stradale e autostradale di Verona Est

La finalità che sottendono a redazione di questo report tecnico sono date dallo sviluppo di elaborazioni ed analisi specialistiche mediante le quali poter dimostrare che la cantierizzazione, gli

interventi sulla viabilità in esercizio e la viabilità provvisoria proposta per la risoluzione dell'interferenza citata, siano tali da non produrre congestione del traffico rispetto alla situazione attuale.

STRUTTURAZIONE ED APPROCCIO ALLA VALUTAZIONE

Lo studio trasportistico predisposto da R&M Associati a supporto della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 si basa sull'applicazione di una consolidata metodologia di analisi che muovendo dalla ricostruzione della domanda di mobilità attuale che interessa l'area di studio e mediante l'impiego di modelli di simulazione dei flussi di traffico, giunge alla verifica della sostenibilità dell'intervento di progetto e cioè, in questo specifico caso, della capacità del sistema viario locale, esistente e transitorio, di gestire adeguatamente la domanda di mobilità che interessa l'intero Nodo stradale ed autostradale di Verona Est nel corso delle fasi di cantierizzazione dei lavori di costruzione della linea AV/AC Verona - Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza.

Più dettagliatamente le attività su cui R&M Associati hanno strutturato l'analisi trasportistica, e che di fatto rappresentano i Capitoli in cui è organizzato questo report tecnico, sono le seguenti:

- *contestualizzazione e inquadramento territoriale dell'area di studio*
- *definizione degli scenari o assetti del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est da analizzare mediante microsimulazioni modellistiche*
- *ricostruzione della domanda di mobilità attuale che interessa il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est quale assetto di riferimento per l'analisi comparativa delle condizioni di deflusso che caratterizzano ad oggi il sistema*
- *implementazione dei micro modelli di simulazione dinamica rappresentativi di tutti gli assetti presi in esame dall'analisi trasportistica (assetto Attuale, assetti transitori di cantierizzazione e assetto di Configurazione Finale)*
- *determinazione delle condizioni di deflusso che caratterizzano il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est per ciascuno degli assetti o scenari analizzati mediante la sintesi, elaborando direttamente gli output computazioni delle micro simulazioni implementate, di un panel di macro indicatori in grado di rappresentare le performance di rete del Nodo:*
 - *il Tempo medio, espresso in minuti, rappresentato dal tempo medio di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata*
 - *la Velocità media, espressa in Km/h, rappresentata dalla velocità media di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata*
 - *il Ritardo medio, espresso in minuti, costituito dal ritardo medio per utente nell'ora di analisi rispetto alle condizioni di deflusso libero e alla rete di micro simulazione modellata*
 - *il LOS, Livello di Servizio, dei principali elementi (rotatorie) di cui si compone il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est*

In ragione delle specifiche tecniche che dovranno essere date alle analisi e valutazioni sulla mobilità sia riferite agli elementi lineari sia agli elementi puntuali del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est, si è proceduto all'implementazione di modelli di simulazione dei flussi veicolari su scala micro o dinamica utilizzando la piattaforma CUBE DYNASIM 6.

SCENARI DI ANALISI TRASPORTISTICA

L'analisi trasportistica è stata impostata rispetto a 6 scenari base di assetto domanda-offerta di mobilità derivanti dalle fase di cantierizzazione definite:

- *SCENARIO ATTUALE: Configurazione attuale (anno base di riferimento 2019)*
- *Scenario 1: chiusura turbo corsia della rotatoria di Viale del Lavoro in direzione del Casello autostradale, previo allargamento della rampa di accesso alla rotatoria medesima*
- *Scenario 2: chiusura del piazzale P.M*
- *Scenario 3: chiusura dello svincolo tangenziale - autostrada A4BSPD, previo spostamento del traffico sulla bretella IN16B.*
- *Scenario 4: ripristino del collegamento tangenziale - autostrada A4 e demolizione del collegamento viario provvisorio IN16B. Permane la chiusura del piazzale P.M.*
- *Scenario di CONFIGURAZIONE FINALE: costruzione della nuova viabilità NV51 e demolizione della rampa di connessione Pontara Sandri. Si riapre il piazzale P.M.*



Figura A.2: Assetto di rete dello Scenario Attuale

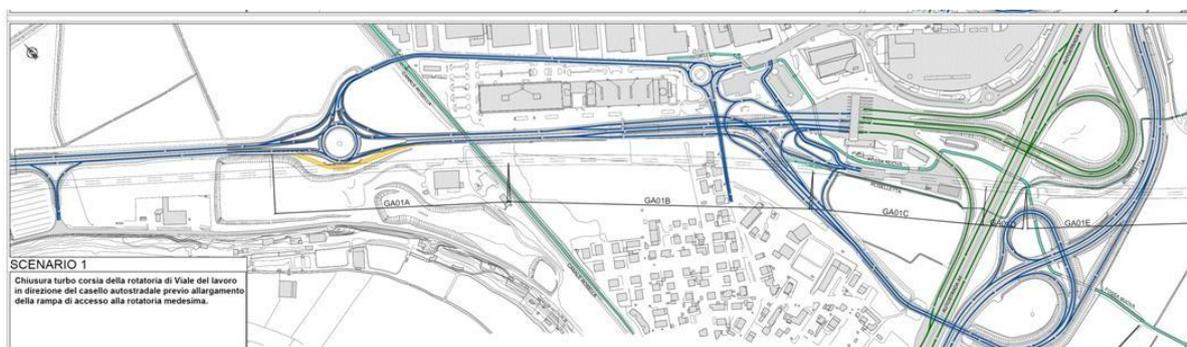


Figura A.3: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #1



Figura A.4: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #2



Figura A.5: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #3



Figura A.6: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #4



Figura A.7: Assetto di rete dello Scenario di Configurazione Finale

RICOSTRUZIONE DELLA MOBILITÀ ATTUALE DEL NODO DI VERONA EST

La ricostruzione della domanda di mobilità attuale che caratterizza il nodo stradale ed autostradale di Verona Est è stata impostata muovendo da due fonti dati principali:

- i *BIGDATA TomTom MOVE* da cui sono state estratte le matrici di spostamento Origine – Destinazione dei veicoli che interessano il nodo oggetto di studio
- alcuni conteggi e rilievi di traffico in possesso di R&M Associati derivanti da precedenti valutazioni ed analisi effettuate sul sistema stradale ed autostradale afferente l'area di studio



Figura A.8: BIGDATA TomTom MOVE

In accordo con il Consorzio IRICAV DUE l'estrazione delle matrici di spostamento dalla banca dati TomTom MOVE ha fatto riferimento all'anno base 2019. Tale scelta trova ragione in due ordini di considerazioni:

- la prima è rappresentata dal fatto che l'esercizio 2019 costituisce ultimo periodo non affetto dalle riduzioni di traffico determinate dalla pandemia da COVID19
- la seconda è connessa al fatto che dal dicembre 2020 è in atto la chiusura temporanea del tratto terminale della Tangenziale Sud di Verona, cioè del tratto compreso tra lo svincolo con la SP38 Porcilana e lo svincolo con la SR11 a Vago, necessaria alla realizzazione della corsia di emergenza al km 292+200 dell'autostrada A4 in corrispondenza del cavalcaferrovia della linea ferroviaria Milano – Venezia e raddoppio della sezione stradale della tangenziale sud di Verona.

R&M Associati hanno quindi proceduto all'estrazione delle matrici O/D di spostamento veicolare attuale che riguardano l'intera area del nodo stradale e autostradale di Verona Est. L'organizzazione delle matrici O/D estratte dalla banca dati TomTom MOVE è visualizzata nella successiva Figura.



Figura A.9: Localizzazione delle zone di traffico alla base della strutturazione delle matrici O/D estratte dalla banca dati TomTom MOVE

I dati estratti sono quindi organizzati rispetto a 15 sezioni stradali di origine o destinazione degli spostamenti veicolari:

- Zona 1: Raccordo Autostradale Verona Est
- Zona 2: Via Sandri Nord
- Zona 3: Via Sandri Sud
- Zona 4: Via Serena
- Zona 5: Autostrada A4 Ramo Ovest
- Zona 6: Tangenziale Ramo Ovest
- Zona 7: Tangenziale Ramo Est
- Zona 8: Autostrada A4 Ramo Est
- Zona 9: Viale del Lavoro
- Zona 10: Via dell'Informatica
- Zona 11: Viale del Commercio
- Zona 12: Via Fenil Novo
- Zona 13: Via Beccaria
- Zona 14: Via Repubblica
- Zona 15: Piazzale P.M.

Le matrici campione O/D Tom Tom estratte sono state elaborate e portate all'universo di riferimento sulla base delle informazioni derivanti da conteggi di traffico in possesso di R&M

Associati risalenti al 2019 e 2018 e derivanti da precedenti valutazioni trasportistiche effettuate sul nodo di Verona Est. Complessivamente i dati disponibili e utilizzati da R&M Associati per l'espansione delle matrici campione TomTom sono costituiti dalle distribuzioni di traffico orarie relative a giorni feriali del 2019 e del 2018 in corrispondenza delle seguenti 9 sezioni stradali bidirezionali per un totale di 18 sezioni di conteggio veicolare monodirezionale:

- *sezione 1 localizzata sulla tratta Verona Sud - Verona Est della Autostrada A4*
- *sezione 2 localizzata sulla tratta Verona Est - Soave San Bonifacio della Autostrada A4*
- *sezione 3 localizzata sul Casello Verona Est della Autostrada A4*
- *sezione 4 localizzata sul Raccordo Autostradale Verona Est*
- *sezione 5 localizzata sulla Tangenziale Verona Sud nella tratta compresa tra l'uscita "3 bis Campalto" e l'uscita "2 Verona Est"*
- *sezione 6 localizzata sulla Tangenziale Verona Sud nella tratta compresa tra l'uscita "2 Verona Est" e l'uscita "2 bis Porcilana"*
- *sezione 7 localizzata su Viale del Lavoro*
- *sezione 8 localizzata su Via Fenil Novo*
- *sezione 9 localizzata su Via Serena*



Figura A.10: Localizzazione delle sezioni di traffico utilizzate per l'espansione e calibrazione delle matrici O/D campione estratte dalla banca dati TomTom MOVE

L'elaborazione effettuata ha portato alla sintesi delle matrici O/D di mobilità del nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentative dello stato di fatto e relative alla fascia oraria di punta della mattina compresa tra le 8:00 e le 9:00 del Giorno Medio Feriale (GMF) del 2019.

La disaggregazione veicolare delle matrici O/D della fascia 8:00 – 9:00 del GMF del 2019 è strutturata nelle 2 classi veicolari di esazione autostradale:

- veicoli leggeri (classe di esazione A)
- veicoli pesanti (classi di esazione B, 3, 4 e 5)

Con la finalità di poter restituire un'analisi sintetica delle dinamiche e dei volumi di traffico che attualmente impegnano il nodo di Verona Est, nelle tabelle successive si è proceduto ad una rielaborazione dei dati complessivi riferiti alle 15 zone di traffico delle due matrici O/D dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti della fascia oraria 8:00 – 9:00 del GMF del 2019 in una sotto-matrice espressa in veicoli totali e organizzata rispetto a 4 macro zone:

- Macro zona 1: Raccordo Autostradale Verona Est
- Macro Zona 2: Autostrada A4
- Macro Zona 3: Tangenziale
- Macro Zona 4: Area Industriale – Commerciale Viale del Lavoro

ORIGINE/DESTINAZIONE	Raccordo VR EST	Autostrada A4	Tangenziale	Area Industr-Comm	TOTALE
Raccordo VR EST	-	1.138	840	222	2.200
Autostrada A4	773	-	354	105	1.232
Tangenziale	388	555	-	112	1.055
Area Industr-Comm	394	91	67	-	552
TOTALE	1.555	1.784	1.261	439	5.039

ORIGINE/DESTINAZIONE	Raccordo VR EST	Autostrada A4	Tangenziale	Area Industr-Comm	TOTALE
Raccordo VR EST	-	23%	17%	4%	44%
Autostrada A4	15%	-	7%	2%	24%
Tangenziale	8%	11%	-	2%	21%
Area Industr-Comm	8%	2%	1%	-	11%
TOTALE	31%	35%	25%	9%	100%

Figura A.11: Sotto-matrice dei movimenti veicolari che interessano il nodo stradale e autostradale di Verona Est Fascia oraria 8:00 – 9:00 del Giorno Medio Feriale del 2019 – Veicoli Totali (leggeri + pesanti)

Dalla disamina delle Tabelle presentate e riportanti, rispettivamente, l'entità dei movimenti in termini di veicoli totali tra ciascuna delle 4 macro zone e l'incidenza percentuale di ciascun movimento rispetto al totale dei movimenti di nodo, emergono le seguenti considerazioni:

- *nel suo complesso, il nodo stradale e autostradale di Verona Est risulta interessato nella fascia di punta 8:00 – 9:00 del Giorno Medio Feriale da circa 5'000 movimenti totali (veicoli leggeri + veicoli pesanti)*
- *la relazione prevalente che caratterizza il nodo è quella che dal Raccordo VR EST attraverso il Casello di Verona Est, entra in Autostrada A4: circa un quarto delle relazioni di mobilità complessiva che interessano il nodo, il 23%, avviene, infatti, tra il Raccordo VR EST come punto di origine e il casello dell'Autostrada A4 come punto di destinazione*
- *in termini di distribuzione complessiva degli spostamenti il Raccordo VR EST risulta la principale polarità con 3'755 movimenti come somma di origini e destinazioni seguita dall'Autostrada A4 con 3'016 movimenti*
- *il flusso di scambio con la Tangenziale è costituito da 2'316 movimenti come somma di origini e destinazioni; questo dato rappresenta il flusso di traffico che è necessario gestire mediante la realizzazione della bretella IN16B nel corso del transitorio di cantierizzazione Scenario 3 che prevede la chiusura dello svincolo tangenziale – autostrada A4 BS-PD e delle rampe di collegamento tangenziale - Raccordo Autostradale Verona Est.*

IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI DI MICRO SIMULAZIONE DINAMICA DEGLI SCENARI ANALIZZATI

R&M Associati per la valutazione dell'impatto delle fasi di cantierizzazione funzionali alla risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 hanno implementato un modello di micro simulazione dinamica dell'intero nodo stradale ed autostradale di Verona Est nell'ambito della piattaforma CUBE DYNASIM 6.

Il modello di offerta di trasporto, costituito dal grafo di rete rappresentativo della viabilità stradale interna al nodo stradale ed autostradale di Verona Est, è stato predisposto all'interno del software di micro simulazione sulla base delle caratteristiche geometriche delle infrastrutture.

L'ambito di micro modellazione dinamica è visualizzato nella Figura successiva.

La rete che è stata oggetto di modellazione dinamica risulta di ampiezza tale da consentire l'analisi completa delle relazioni di spostamento che impegnano il nodo nello stato di fatto, nelle fasi transitorie di cantierizzazione e nella configurazione di assetto finale a termine lavori.

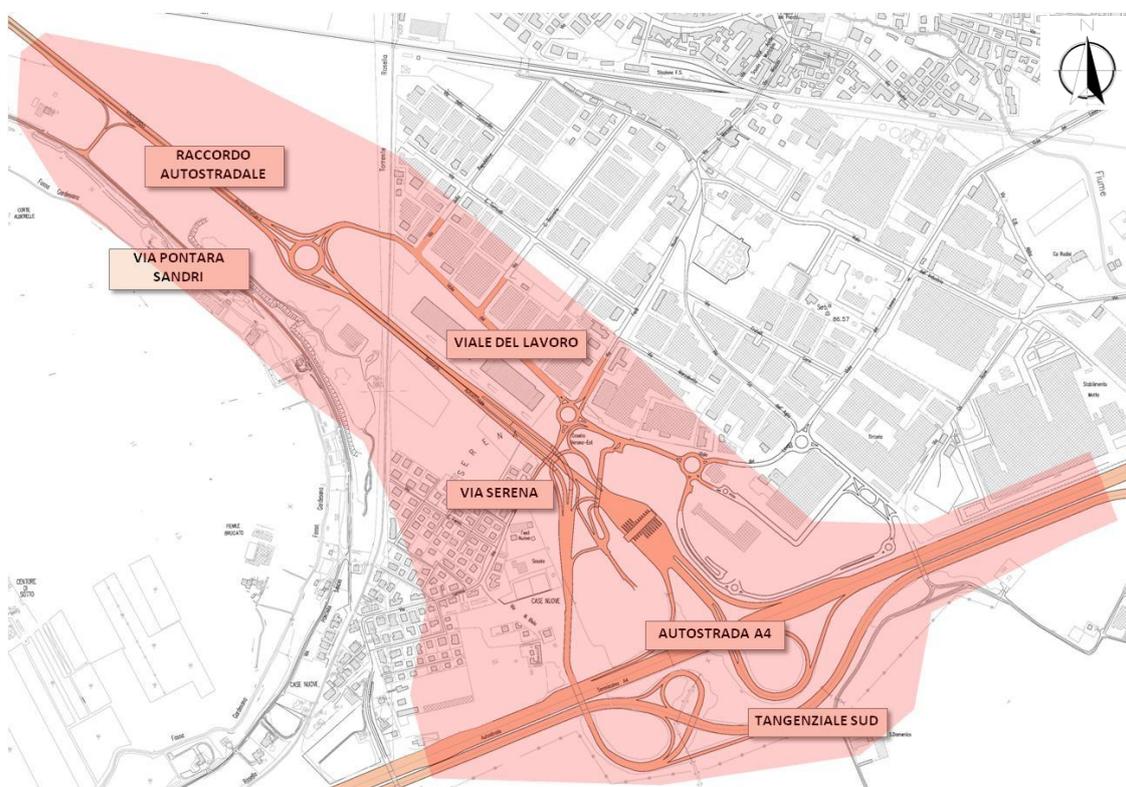


Figura A.12: Ambito di implementazione del modello di micro simulazione CUBE DINASYM 6 del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est

Complessivamente sono state implementate 6 reti di micro simulazione dinamica:

- *Scenario Attuale: configurazione attuale del sistema*
- *Scenario transitorio di cantierizzazione #1: chiusura turbo corsia della rotatoria del Raccordo Autostradale in direzione del Casello autostradale, previo allargamento della rampa di accesso alla rotatoria medesima*
- *Scenario transitorio di cantierizzazione #2: chiusura del piazzale P.M*
- *Scenario transitorio di cantierizzazione #3: chiusura dello svincolo tangenziale - autostrada A4BSPD, previo spostamento del traffico sulla bretella IN16B.*
- *Scenario transitorio di cantierizzazione #4: ripristino del collegamento tangenziale - autostrada A4 e demolizione del collegamento viario provvisorio IN16B. Permane la chiusura del piazzale P.M.*
- *Scenario di Configurazione Finale: costruzione della nuova viabilità NV51 e demolizione della rampa di connessione Pontara Sandri. Si riapre il piazzale P.M.*

Nelle Figure successive sono riportati, quali esempi, le reti di micro simulazione dello Scenario Attuale e dello Scenario di Cantierizzazione #3.

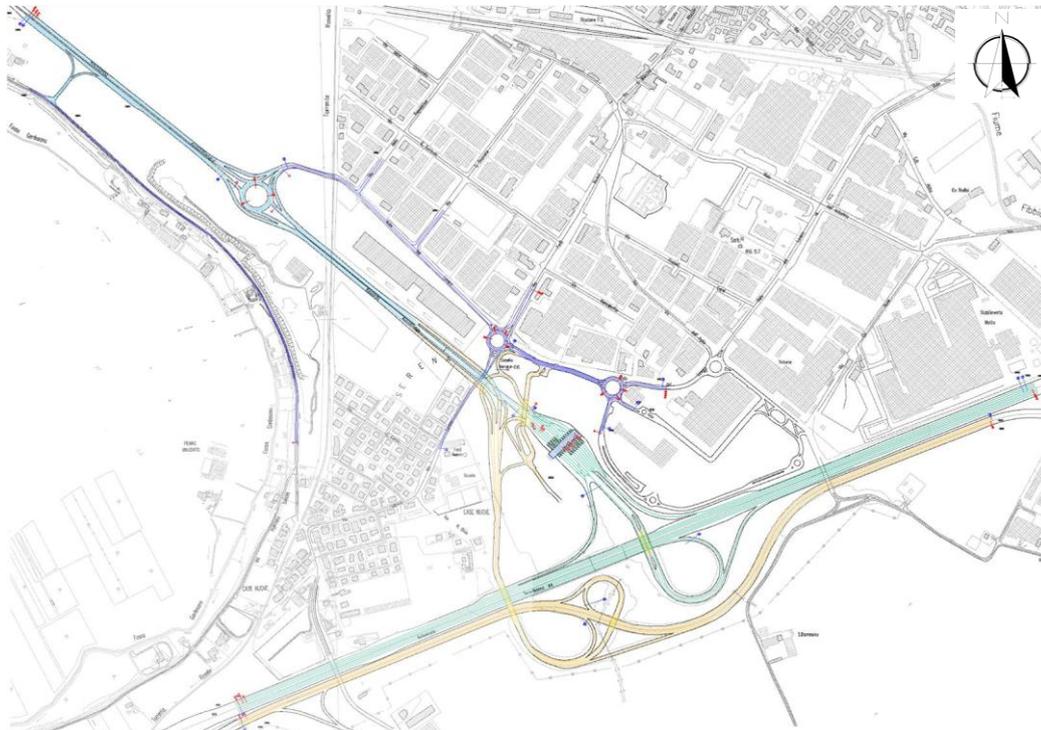


Figura A.13: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6. Esempio: SCENARIO ATTUALE

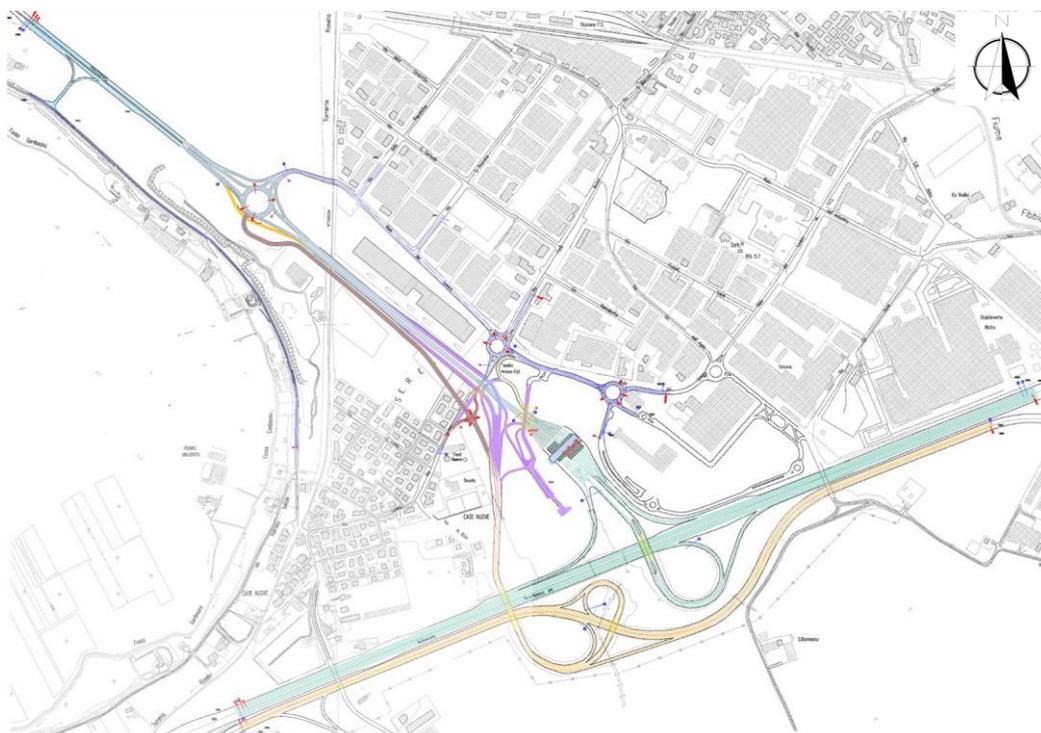


Figura A.14: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6. Esempio: SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE #3

A ciascuna rete di micro simulazione dinamica implementata, quindi per ciascuno dei 6 assetti di rete considerati, l'assetto Attuale e l'assetto di configurazione Finale e i 4 assetti transitori di cantierizzazione, sono state assegnate le due matrici O/D dei movimenti dei veicoli leggeri e pesanti della fascia di punta 8:00 – 9:00 del Giorno Medio Feriale del 2019.

In questo modo si sono ottenute le distribuzioni del traffico veicolare sul nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentative di ciascuno scenario considerato.

VERIFICA DI FUNZIONALITÀ DEL NODO DI VERONA EST

Muovendo direttamente dagli output computazionali di ciascuna micro simulazione dinamica condotta si è proceduto alla determinazione, per ciascuno assetto analizzato, quindi per ciascuno degli scenari di micro simulazione implementati, ad un panel di macro indicatori di sintesi delle performances trasportistiche complessive del sistema.

Tali indicatori sono costituiti:

- *dal Tempo medio, espresso in minuti, rappresentato dal tempo medio di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata*
- *dalla Velocità media, espressa in Km/h, rappresentata dalla velocità media di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata*
- *dal Ritardo medio, espresso in minuti, costituito dal ritardo medio per utente nell'ora di analisi rispetto alle condizioni di deflusso libero e alla rete di micro simulazione modellata*
- *dal LOS, Livello di Servizio, dei principali elementi (rotatorie) di cui si compone il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est*

Con riferimento ai macro indicatori descritti si specifica che:

- *i primi 3 indicatori, quindi la Velocità media, Il Tempo medio e il Ritardo medio, sono parametri indicativi delle condizioni generali di deflusso del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentano considerato nella sua interezza*
- *l'ultimo indicatore, quindi il Livello di Servizio delle rotatorie presenti nel sistema, è un parametro di valutazione delle condizioni di deflusso di tipo "puntuale"*

Il confronto tra i valori assunti dagli indicatori descritti per ciascuno scenario transitorio di cantierizzazione rispetto ai valori che caratterizzano la stato di fatto consente, in termini di analisi comparativa, di determinare l'impatto sulle condizioni di deflusso del nodo nel corso della presenza dei cantieri.

Analisi delle condizioni di deflusso veicolare del nodo di Verona Est

Le risultanze ottenute con riferimento ai primi 3 macro indicatori considerati sono riportate nella successiva tabella sinottica.

In particolare si sono riportati i valori assoluti per tutti gli scenari e, assumendo la logica dell'analisi comparativa, le differenze assolute e percentuali per tutti gli scenari rispetto allo Scenario Attuale che costituisce, come detto, il termine di riferimento dell'analisi comparativa.

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	5,55	32,06	1,82
SCENARIO CANT. 1	6,10	30,28	2,39
SCENARIO CANT.2	6,38	29,62	2,64
SCENARIO CANT.3	7,45	27,16	3,46
SCENARIO CANT.4	6,38	29,62	2,64
SCENARIO CONF. FINALE	3,88	40,02	0,32

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	-	-	-
SCENARIO CANT. 1	0,55	-1,78	0,57
SCENARIO CANT.2	0,83	-2,44	0,82
SCENARIO CANT.3	1,90	-4,90	1,64
SCENARIO CANT.4	0,83	-2,44	0,82
SCENARIO CONF. FINALE	-1,67	7,96	-1,50

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	-	-	-
SCENARIO CANT. 1	10%	-6%	31%
SCENARIO CANT.2	15%	-8%	45%
SCENARIO CANT.3	34%	-15%	90%
SCENARIO CANT.4	15%	-8%	45%
SCENARIO CONF. FINALE	-30%	25%	-82%

Tabella A.15: Condizioni di deflusso del Nodo di VERONA EST
Macro indicatori di performance trasportistica – Confronto tra Scenari
Valori Assoluti, Differenza assoluta rispetto allo Scenario Attuale e Differenza percentuale

Dalla disamina dei valori assunti dai macro indicatori riportati nella Tabella emerge la sostenibilità trasportistica dell'intera fase di cantierizzazione necessaria alla soluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 .

L'impatto generale connesso alle fasi di cantierizzazione per i lavori necessari ai lavori di costruzione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza risulta, grazie agli interventi previsti per la risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00, trasportisticamente sostenibile.

Ad eccezione dello Scenario di cantierizzazione # 3 che risulta quello di maggiore impatto, negli Scenari di cantierizzazione # 1, 2 e 4 i valori assunti dai macro indicatori delle performance di rete non evidenziano significativi scadimenti rispetto alla situazione ante operam cioè allo Scenario Attuale.

È infatti per lo Scenario di Cantierizzazione # 3 che si registrano i maggiori impatti per la collettività con valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete si attestano a 7,45 minuti e 27,16 km/h con variazioni rispetto allo Scenario Attuale pari a +1,90 minuti (+34%) e -4,90 km/h (-15%).

Tale risultanza può comunque essere considerata ancora accettabile soprattutto se contestualizzata nel funzionamento e ruolo del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est che risulta interessato nella fascia oraria 8:00 – 9:00 del Giorno Feriale Medio, complessivamente, da circa 5'000 movimenti veicolari totali di cui circa 2'300, quasi la metà, sono rappresentati dai flussi di traffico da/per la Tangenziale e considerando che si tratta di una situazione transitoria. E' evidente che la possibilità di mantenere attive le relazioni dirette di mobilità tra il Raccordo Autostradale e l'Autostrada A4 nelle due direzioni di percorrenza consente di contenere i disagi per la collettività che altrimenti sarebbero di ben altro livello di significatività.

Infine si ritiene fondamentale evidenziare come nell'assetto definitivo del Nodo stradale ed Autostradale di Verona Est, quindi considerando l'assetto post operam o Scenario di Configurazione Finale, i valori dei macro indicatori presentino significativi miglioramenti rispetto alla situazione attuale: i valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete si attestano a 3,88 minuti e 40,02 km/h con variazioni pari a -1,67 minuti (-30%) e +7,96 km/h (+25%) rispetto allo Scenario Attuale prefigurando, a lavori ultimati, un evidente miglioramento delle condizioni di deflusso per la collettività.

Tale risultanza va messa direttamente in connessione con la separazione delle correnti veicolari del Raccordo Verona Est da/per l'Autostrada A4 e la Tangenziale rispetto alle correnti veicolari del Raccordo Verona Est da/per l'area Industriale/Commerciale di Vale del Lavoro attraverso la riconfigurazione dell'attuale rotonda nel futuro sistema a livelli sfalsati come chiaramente evidenziato nella successiva Figura.

Anche senza l'implementazione di una vera e propria Analisi Costi – Benefici dell'intervento di realizzazione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona- Bivio Vicenza, risulta evidente, sulla base delle risultanze ottenute, che l'impatto temporaneo della soluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 risulterebbe ampiamente controbilanciato sull'arco temporale di vita dell'infrastruttura (40 anni) dai risparmi nei tempi di percorrenza della collettività (-30% nella sola ora di punta della mattina rispetto allo stato di fatto) dovuti alla configurazione finale del Nodo stradale e autostradale di Verona Est.

Analisi delle condizioni di deflusso puntuali delle rotatorie del nodo di Verona Est

Le risultanze ottenute dalle micro simulazioni dinamiche effettuate sono state utilizzate per la verifica di sostenibilità trasportistica puntuale delle rotatorie che caratterizzano la rete viaria complessiva del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est.

Con riferimento quindi a tutti gli scenari analizzati R&M Associati hanno proceduto, secondo la logica di analisi comparativa precedentemente citata, all'analisi puntuale delle condizioni di deflusso che caratterizzano ciascuna rotatoria presente negli assetti di sistema considerati.



Figura A.16: Rotatorie oggetto di verifica di funzionalità. Assetto Attuale, assetti di Cantierizzazione e Assetto di configurazione Finale

I parametri di output forniti dai modelli di micro simulazione implementati per ciascuno dei 6 scenari analizzati hanno permesso di eseguire una verifica funzionale con determinazione del Livello di Servizio (LOS) per ciascuna delle 6 rotatorie del sistema complessivo.

Il calcolo è stato effettuato sulla base delle indicazioni contenute nell'edizione 2010 dell'Highway Capacity Manual a proposito delle intersezioni, ossia considerando la definizione del LOS come funzione del ritardo medio di ogni veicolo rispetto alle condizioni di flusso libero.

Il Livello di Servizio è stato identificato a partire dal valore ottenuto per il ritardo medio, in considerazione dei range proposti dall'HCM per le intersezioni non semaforizzate a rotatoria:

- *LOS A: ritardo medio per veicolo minore di 10 sec*
- *LOS B: ritardo medio per veicolo compreso tra 10 e 15 sec*
- *LOS C: ritardo medio per veicolo compreso tra 15 e 25 sec*
- *LOS D: ritardo medio per veicolo compreso tra 25 e 35 sec*
- *LOS E: ritardo medio per veicolo compreso tra 35 e 50 sec*
- *LOS F: ritardo medio per veicolo maggiore di 50 sec*

Con riferimento alla classificazione indicata dall'HCM si precisa che:

- *i Livelli di Servizio A e B rappresentano condizioni di deflusso ottimale dell'intersezione in cui non si riscontrano condizioni di criticità né puntuali né diffuse*
- *il livello di Servizio C individua situazioni caratterizzate da condizioni di deflusso ancora accettabili, soprattutto se riferite alle fasce orarie di maggiore intensità del traffico, e caratterizzate dalla possibile presenza, per limitati archi temporali, di criticità puntuali*
- *il Livello di Servizio D rappresenta condizioni di deflusso al limite dell'accettabilità e caratterizzate dall'insorgere di fenomeni di accodamento veicolare in corrispondenza di alcuni rami di adduzione alle rotatorie; condizioni di funzionamento a LOS D potrebbero ancora essere accettate per situazioni peculiari di funzionamento dell'intersezione e temporalmente limitate*
- *i Livelli di Servizio E ed F rappresentano condizioni di deflusso non accettabili e caratterizzate, progressivamente, da rilevanti fenomeni di accodamento veicolare con l'insorgere di criticità sia puntuali sia, nei peggiori casi, diffuse.*

Volendo fornire una visualizzazione sintetica delle risultanze ottenute dall'analisi di funzionalità effettuata sulle rotatorie considerate, nella tabella successiva sono riportati i Livelli di Servizio che caratterizzano ciascuna rotatoria nella sua totalità, quindi come elemento complessivo e non con disaggregazione per singola rampa, in tutti gli scenari analizzati.

SCENARIO	ROTATORIE					
	Rotatoria A	Rotatoria B	Rotatoria C	Rotatoria D	Rotatoria E	Rotatoria F
SCENARIO ATTUALE	C	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 1	D	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 2	D	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 3	D	A	A	B	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 4	D	A	A	-	-	-
SCENARIO ASSETTO DEF.	-	A	A	-	A	A

Tabella A.17: Collocazione delle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est sistema all'interno degli scenari modellistici di analisi

In termini generale le risultanze derivanti dalle analisi di funzionalità puntuali effettuate sulle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est confermano un impatto del transitorio di cantierizzazione sostanzialmente abbastanza contenuto.

Dalla Tabella sinottica emerge evidente come tutte le rotatorie dalla B sino alla F presentino condizioni di deflusso ben più che adeguate testimoniate dal situazioni di funzionamento a LOS A o a LOS B nel caso della Rotatoria D su Via Serena.

Unicamente la Rotatoria A presenta una scadimento rispetto alle condizioni attuali di servizio passando in tutti gli scenari transitori di cantierizzazione dal LOS C dell'assetto Attuale al LOS D.

Si ribadisce che questa risultanza può ancora essere considerata accettabile dal momento che caratterizza una situazione transitoria di cantierizzazione, quindi comunque temporalmente limitata, e riferita alla fascia di punta della mattina cioè quella compresa tra le 8:00 e le 9:00 del Giorno Medio Feriale che insieme a quella del rientro serale, collocata intorno alle 18:00, rappresentano i due momenti di picco della mobilità.

Va inoltre considerato, ad ulteriore rafforzamento di quanto affermato, che i LOS D ottenuti per la Rotatoria A derivano da ritardi complessivi nell'ordine dei 25 – 27 secondi che di fatto identificano condizioni di servizio all'ingresso del Livello di Servizio D il cui limite inferiore, cioè il passaggio tra LOS C e LOS D, è definito dalle indicazioni dell'HCM 2016 proprio nei 25 secondi come ritardo medio e pertanto ben lontane dal limite di ingresso a LOS E che è definito da 35 secondi come ritardo medio.

Questo significa che l'ingresso a LOS D ottenuto per la Rotatoria A nelle fasi transitorie di cantierizzazione è ragionevolmente confinato alle due fasce orarie di punta della mobilità giornaliera e che nel resto della giornata le condizioni di deflusso della rotatoria permarranno a LOS C garantendo per la maggior parte dell'arco giornaliero dell'esercizio condizioni di servizio assolutamente accettabili.

Vanno inoltre considerate, in una lettura congiunta, le risultanze ottenute per la Rotatoria A nello Scenario Attuale e per le Rotatorie E ed F per lo Scenario di Configurazione Finale del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est: come già sottolineato la riorganizzazione dell'attuale intersezione in uno svincolo a livelli sfalsati consente di separare le correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e il sistema Autostradale e Tangenziale dalle correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e la zona Industriale/Commerciale di Viale del Lavoro con il definitivo superamento delle attuali "debolezze" della rotatoria esistente che, soprattutto nel corso di giornate peculiari di elevata affluenza agli insediamenti commerciali delle Corti Venete, determinano accodamenti veicolari e significativi ritardi nei tempi di percorrenza.

CONCLUSIONI

Le analisi e elaborazioni effettuate evidenziano la sostenibilità sotto il profilo trasportistico della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 cioè del nodo stradale ed autostradale di Verona Est nell'ambito della realizzazione dei lavori di costruzione della linea AV/AC Verona - Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza.

Bologna, 25 luglio 2022

Righetti e Monte Ingegneri e Architetti Associati

Il legale rappresentante

franco righetti



RIGHETTI & MONTE
INGEGNERI E ARCHITETTI ASSOCIATI
Il Legale Rappresentante

CONTENUTI

1	PREMESSA.....	23
2	FINALITÀ DELLE VALUTAZIONI.....	23
3	OGGETTO DELLE VALUTAZIONI.....	23
4	APPROCCIO ALLA VALUTAZIONE	24
5	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	26
5.1	ASSETTO INSEDIATIVO	26
5.2	PROFILO ECONOMICO-PRODUTTIVO	30
6	GLI SCENARI MODELLISTICI DI ANALISI	35
7	LA MOBILITÀ CHE CARATTERIZZA IL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST	37
8	L'AMBIENTE DI MICRO SIMULAZIONE CUBE DYNASIM 6	47
8.1	CARATTERISTICHE DELL'AMBIENTE DI SIMULAZIONE CUBE DYNASIM 6.....	47
8.2	IL MODELLO DI MICRO SIMULAZIONE DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST	58
8.3	IMPLEMENTAZIONE DEGLI SCENARI DI MICRO SIMULAZIONE DINAMICA PER GLI ASSETTI DOMANDA/OFFERTA DI MOBILITÀ ANALIZZATI.....	59
9	VERIFICA DI FUNZIONALITÀ DEL NODO DI VERONA EST.....	83
9.1	LE CONDIZIONI DI DEFLUSSO VEICOLARE DEL NODO DI VERONA EST	84
9.2	LE CONDIZIONI DI DEFLUSSO PUNTUALI DELLE ROTATORIE DEL NODO DI VERONA EST	88
10	CONSIDERAZIONI DI CARATTERE CONCLUSIVO	105
10.1	ANALISI DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO VEICOLARE DEL NODO DI VERONA EST.....	106
10.2	ANALISI DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO PUNTUALI DELLE ROTATORIE DEL NODO DI VERONA EST	109
11	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	113

1 PREMESSA

Questo report tecnico rappresenta lo studio trasportistico predisposto da Righetti e Monte Ingegneri e Architetti Associati (di seguito R&M Associati) su mandato del Consorzio IRICAV DUE a supporto della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 cioè del nodo stradale ed autostradale di Verona Est nell'ambito della realizzazione dei lavori di costruzione della linea AV/AC Verona - Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza, commissionato da Rete Ferroviaria Italiana – RFI (Gruppo FS Italiane).

2 FINALITÀ DELLE VALUTAZIONI

Riprendendo i contenuti del mandato ricevuto dal Consorzio IRICAV DUE, le finalità dello studio redatto consistono nello sviluppo di elaborazioni ed analisi di carattere trasportistico mediante le quali poter dimostrare che la cantierizzazione, gli interventi sulla viabilità in esercizio e la viabilità provvisoria proposti per la risoluzione dell'interferenza di cui in PREMESSA, siano tali da non produrre congestione del traffico rispetto alla situazione attuale.

Già da queste considerazioni introduttive emerge palmare come l'analisi trasportistica sia stata impostata da R&M Associati in termini di analisi comparativa tra lo status ante o scenario attuale, gli scenari transitori di cantierizzazione previsti e necessari alla risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 e lo status post o configurazione finale del sistema.

3 OGGETTO DELLE VALUTAZIONI

Muovendo dalle considerazioni introduttive deriva che l'oggetto specifico dello studio trasportistico redatto da R&M Associati è costituito dal nodo stradale ed autostradale di Verona Est.

Questo sistema, che costituisce l'unico punto nel territorio provinciale veronese in cui l'Autostrada A4 Torino – Trieste e la Tangenziale Sud di Verona presentano un punto di raccordo e scambio dei flussi di traffico, risulta costituito dalle seguenti infrastrutture:

- la rete autostradale con le due tratte elementari Verona Sud – Verona Est e Verona Est – Soave/San Bonifacio e la stazione autostradale di Verona Est
- la Tangenziale Sud
- il Raccordo Autostradale
- le rampe di collegamento
- il piazzale autostradale
- porzioni di rete ordinaria (via Serena, viale del Lavoro e Via Pontara Sandri)

La rete oggetto dello studio trasportistico proposto è visualizzata nella successiva figura.

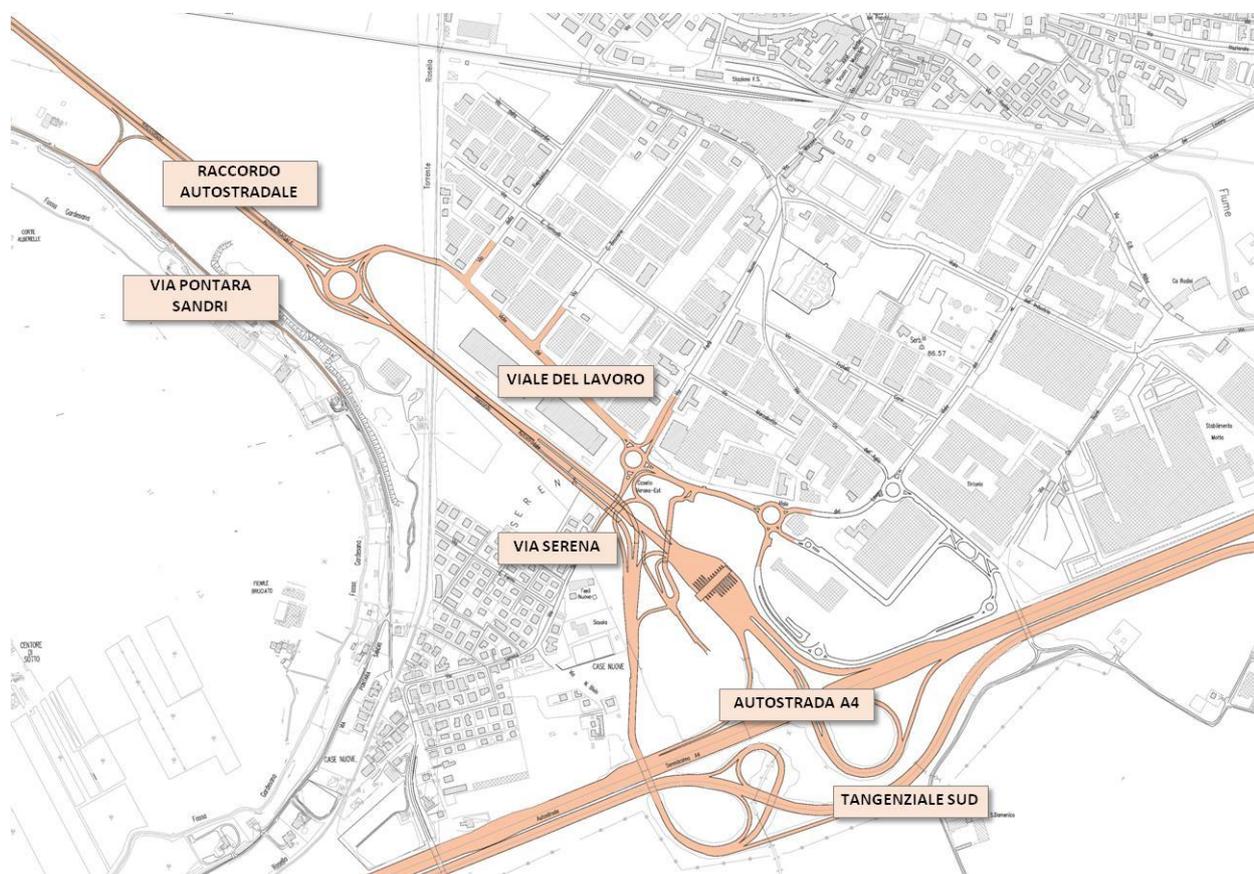


Figura 3.1: Nodo stradale e autostradale di Verona Est

4 APPROCCIO ALLA VALUTAZIONE

Le analisi trasportistiche a supporto della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 sono state condotte mediante l'ausilio di modelli di simulazione dei flussi di traffico.

In ragione delle specifiche tecniche che dovranno essere date alle analisi e valutazioni sulla mobilità sia riferite agli elementi lineari sia agli elementi puntuali del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est, si è proceduto all'implementazione di modelli di simulazione dei flussi veicolari su scala micro dinamica utilizzando la piattaforma CUBE DYNASIM 6.

L'ambito di micro modellazione dinamica ha riguardato l'intero nodo stradale ed autostradale di Verona Est visualizzata nella precedente Figura 3.1.

In termini generali lo studio trasportistico predisposto da R&M Associati a supporto della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 si basa sull'applicazione di una consolidata metodologia di analisi che muovendo dalla ricostruzione della domanda di mobilità attuale che interessa l'area di studio e mediante l'impiego di modelli di simulazione dei

flussi di traffico, giunge alla verifica della sostenibilità dell'intervento di progetto e cioè, in questo specifico caso, della capacità del sistema viario locale, esistente e transitorio, di gestire adeguatamente la domanda di mobilità che interessa l'intero Nodo stradale ed autostradale di Verona Est nel corso delle fasi di cantierizzazione dei lavori di costruzione della linea AV/AC Verona - Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza.

Più dettagliatamente le attività su cui R&M Associati hanno strutturato l'analisi trasportistica, e che di fatto rappresentano i Capitoli in cui è organizzato questo report tecnico, sono le seguenti:

- contestualizzazione e inquadramento territoriale dell'area di studio
- definizione degli scenari o assetti del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est da analizzare mediante microsimulazioni modellistiche
- ricostruzione della domanda di mobilità attuale che interessa il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est quale assetto di riferimento per l'analisi comparativa delle condizioni di deflusso che caratterizzano ad oggi il sistema
- implementazione dei micro modelli di simulazione dinamica rappresentativi di tutti gli assetti presi in esame dall'analisi trasportistica (assetto Attuale, assetti transitori di cantierizzazione e assetto di Configurazione Finale)
- determinazione delle condizioni di deflusso che caratterizzano il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est per ciascuno degli assetti o scenari analizzati mediante la sintesi, elaborando direttamente gli output computazioni delle micro simulazioni implementate, di un panel di macro indicatori in grado di rappresentare le performance di rete del Nodo:
 - il Tempo medio, espresso in minuti, rappresentato dal tempo medio di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata
 - la Velocità media, espressa in Km/h, rappresentata dalla velocità media di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata
 - il Ritardo medio, espresso in minuti, costituito dal ritardo medio per utente nell'ora di analisi rispetto alle condizioni di deflusso libero e alla rete di micro simulazione modellata
 - il LOS, Livello di Servizio, dei principali elementi (rotatorie) di cui si compone il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est

5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

In questo capitolo introduttivo dello studio trasportistico, con la finalità di caratterizzare il territorio entro cui ricade l'area di studio quindi il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est, se ne propone una trattazione sintetica circa le principali caratteristiche dal punto di vista degli elementi della struttura amministrativa, territoriale ed economico-produttiva.

5.1 ASSETTO INSEDIATIVO

L'analisi territoriale è stata condotta prendendo in esame l'area compresa tra gli svincoli di Verona Sud e Verona Est dell'autostrada A4 Torino – Trieste ricadente nei comuni di Verona, San Giovanni Lupatoto e San Martino Buon Albergo.

L'ambiente insediativo del territorio lungo cui si sviluppa il tracciato infrastrutturale risulta frammentato da una fitta rete stradale, su cui si attestano i principali nuclei insediativi.

La parte ovest è costituita da una vasta area, quasi interamente urbanizzata, posta a sud della città di Verona. Il tessuto urbanizzato è denso, di natura prevalentemente residenziale, produttiva e commerciale, alternato a residue porzioni rurali interstiziali o sfrangiate verso sud-est.

La parte est risulta invece contrassegnata dalla presenza del fiume Adige e caratterizzata da una vasta area di pianura a forte connotazione rurale con la presenza di corti rurali isolate e da un tessuto urbanizzato denso di natura prevalentemente produttiva e commerciale in prossimità dello svincolo di Verona Est, nel Comune di San Martino Buon Albergo.

Dal punto di vista della pianificazione delle aree in esame, si riscontra un forte dinamismo. In particolare, nel Piano di Assetto del Territorio (PAT) del Comune di Verona, in vigore dal 28.02.2008, viene confermata la potenzialità della zona a sud della città di Verona sia in termini di riqualificazione urbana che economica/funzionale, prevedendo la riqualificazione come boulevard monumentale dell'asse portante da Verona Sud a Porta Nuova (via del Lavoro-viale Piave) e la subordinazione delle aree dismesse da riqualificare a piani attuativi. Nel Piano di Assetto del Territorio del Comune di San Martino Buon Albergo (aggiornato al 23.09.2011), dove ricade il nodo di Verona Est, viene individuata lungo viale dell'Industria un'area di riqualificazione funzionale alla riconversione dei tessuti produttivi.

Il contesto infrastrutturale dell'area risulta complesso e gerarchizzato. Si evidenzia la presenza di:

- Viabilità primaria, costituita dall'Autostrada A4 Torino – Trieste
- Viabilità principale, costituita da:
 - Tangenziale Sud di Verona, che collega Vago di Lavagno alla Tangenziale ovest in prossimità del Quadrante Europa;
 - Raccorda Autostradale Verona Est che funge da circonvallazione del centro abitato di Verona, attraversando il settore orientale a partire dallo svincolo di Verona Est.

- Viabilità di secondaria, costituita dalle afferenze alla viabilità di primo livello, su cui si attestano i principali nuclei e aggregati urbani:
 - Viale delle Nazioni - Viale del Lavoro, che scorre in direzione nord-sud dal centro storico di Verona collegandosi alla A4 tramite lo svincolo di Verona Sud;
 - SS12 dell'Abetone e del Brennero , che dal centro storico di Verona si collega alla Tangenziale Sud tramite lo svincolo di Borgo Roma
 - SS434 Transpolesana, che dallo svincolo di Vicenza scorre verso sud attraversando interamente il Comune di San Giovanni Lupatoto
 - SR11 che si estende dal centro storico di Verona verso est attraversano gli abitati di San Michele Extra, San Martino Buon Albergo e Vago di Lavagno
- Viabilità locale, un sistema stradale di interesse comunale che comprende le strade provinciali e le strade locali, integrandosi al sistema delle arterie principali e rendendo possibili i collegamenti tra le diverse frazioni e i nuclei sparsi presenti sul territorio.

L'area è inoltre caratterizzata dalla presenza dell'infrastruttura ferroviaria posta ai limiti del centro storico di Verona. Si evidenzia la presenza della linea ferroviaria Milano – Venezia che si sviluppa in direzione est-ovest e dalla linea ferroviaria del Brennero che si estende in direzione nord-sud.

Considerando gli obiettivi del presente studio, al fine di individuare le principali polarità territoriali dal punto di vista dell'attrazione e della generazione di mobilità e traffico, sono stati presi in considerazione tre sistemi fondamentali:

- il sistema della logistica, che evidenzia le principali strutture e servizi logistici presenti sul territorio
- il sistema delle strutture di vendita che individua i principali esercizi commerciali di grande e media dimensione
- il sistema dei servizi, che individua le aree e attrezzature per l'istruzione, i principali edifici civici e collettivi, le aree e i complessi sportivi e le strutture ospedaliere diffuse sul territorio.

Per quanto riguarda il sistema della logistica, il suo sviluppo negli anni è stato fortemente legato alla posizione geografica dell'ambito territoriale di indagine che risulta favorevole grazie all'incrocio di grandi direttrici di traffico sia viabilistico che ferroviario.

Si evidenzia come la maggior parte delle strutture siano localizzate lungo il tracciato stradale dell'autostrada A4 Torino - Trieste, in particolare in prossimità dei nodi autostradali di Verona Sud, Vicenza e Verona Est e delle relative strade di secondo livello che si sviluppano in direzione nord-sud dal tracciato autostradale (Viale delle Nazioni – Viale del Lavoro, SS434 Transpolesana, Raccordo Autostradale Verona Est).

In particolare, lungo Viale del Lavoro sono localizzati una serie di servizi di trasporto su gomma (circa 10), un servizio di logistica ferroviaria (FS Logistica S.p.A.) in prossimità della stazione ferroviaria di Verona Porta Nuova e il polo fieristico di Verona.

A ovest dell'ambito di indagine si attesta inoltre l'Interporto Quadrante Europa, posto all'incrocio tra l'autostrada A22 del Brennero e l'autostrada A4 Torino-Trieste, delle linee ferroviarie del Brennero e Milano-Venezia e in prossimità dell'aeroporto di Verona-Villafranca. Data la posizione, l'interporto rappresenta il punto di incontro ottimale per il trasporto di merci per via stradale, ferroviaria ed aerea e vede insediate nell'area un numero consistente di aziende (circa 120).

Allo stesso modo, il sistema delle strutture di vendita risulta articolato lungo i principali assi viari che si sviluppano dalle centralità urbane, ricongiungendosi con la viabilità primaria. In particolar modo si individuano tre aree commerciali di rilevanza sovralocale attestate rispettivamente lungo:

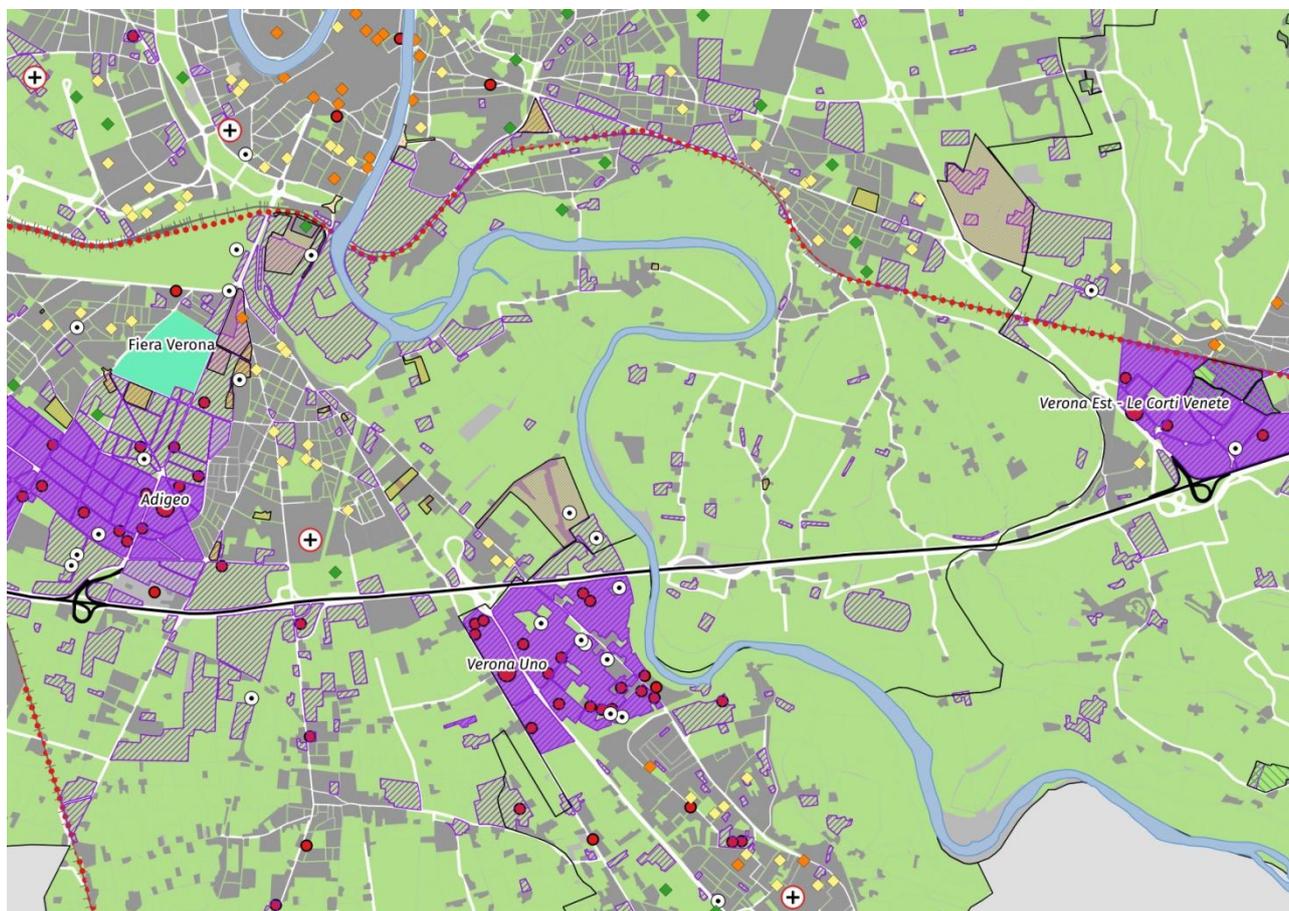
- Viale delle Nazioni – Viale del Lavoro, dove si individuano 21 strutture di vendita (di medie e grandi superfici) e una polarità commerciale costituita dal Centro Commerciale Adigeo Verona;
- SS434 Transpolesana, dove si individuano 20 strutture di vendita (tra medie e grandi superfici) e una polarità commerciale costituita dal Centro Commerciale Verona Uno;
- Raccordo Autostradale Verona Est, dove si individuano 3 strutture di vendita (di medie e grandi superfici) e una polarità commerciale costituita dal Centro Commerciale Le Corti Venete.

Si attestano inoltre quattro esercizi commerciali di importanza sovralocale lungo la SS12 dell'Abetone e del Brennero.

Per quanto riguarda il sistema dei servizi, e delle dotazioni urbane, vengono individuati una serie di servizi sovracomunali generatori di rilevanti flussi pendolari.

Le aree e attrezzature civiche e collettive e le strutture per l'istruzione sono localizzate in prevalenza all'interno del tessuto urbanizzato denso. Sono presenti quattro strutture ospedaliere localizzate entro 5 km di distanza dal tracciato autostradale della A4:

- Ospedale Borgo Roma, Ospedale di Guarnigione di Santo Spirito e Centro Medico Sociale "Claudio Santi" nel Comune di Verona
- Ospedale San Biagio di Bovolone, nel Comune di San Giovanni Lupatoto.



Uso del suolo

- Tessuto urbanizzato
- ▨ Aree a prevalente uso industriale e produttivo
- Aree produttive con tipologia prevalentemente commerciale
- Aree verdi e agricole
- Elemento idrografico

PUA vigenti (Comune di Verona)

- produttivo/terziario/commerciale
- residenziale
- ▨ Aree di riqualificazione e riconversione
- Comuni esterni all'ambito di indagine
- Limiti amministrativi comunali

Sistema della mobilità

- Mobilità su gomma**
- Rete stradale esistente
 - Tracciato autostrada A4
- Mobilità su ferro**
- Rete ferroviaria regionale
 - Ipotesi di connessione AV/AC

Sistema della logistica

- Strutture logistiche
- Polo Fieristico Verona

Sistema delle strutture di vendita

- Centri commerciali
- Medie e grandi strutture di vendita

Sistema dei servizi

- ◆ Aree e attrezzature per l'istruzione
- ◆ Aree e attrezzature civiche e collettive
- ◆ Aree e attrezzature sportive
- ⊕ Aree e attrezzature ospedaliere

Figura 5.1: Inquadramento dell'assetto insediativo

5.2 PROFILO ECONOMICO-PRODUTTIVO

Di seguito viene riportata una sintesi del profilo economico-produttivo dei comuni che interferiscono direttamente con il nodo di Verona Est. tra l'autostrada A22 del Brennero e l'autostrada A4 Torino-Trieste, delle linee ferroviarie del Brennero e Milano-Venezia. Per tali analisi si è preso in considerazione l'ambito territoriale ricadente nei comuni aventi interferenza diretta con il nodo autostradale di Verona Est, ovvero:

- Comune di San Martino Buon Albergo (VR)
- Comune di Verona (VR)
- Comune di San Giovanni Lupatoto (VR)
- Comune di Mezzane di Sotto (VR)
- Comune di Lavagno (VR)
- Comune di Caldiero (VR)
- Comune di Colognola ai Colli (VR)
- Comune di Belfiore (VR).



Figura 5.2: Comuni compresi nell'ambito territoriale interessato dal nodo autostradale Verona Est, evidenziato in rosso (elaborazione R&M Associati)

Si evidenzia come il Comune di Verona presenti il numero complessivo più elevato di unità locali delle imprese attive (circa 80.000), seguito dai Comuni di San Giovanni Lupatoto, con circa 2.200 unità locali e il Comune di San Martino Buon Albergo, con circa 1'700 unità locali. Il Comune di Belfiore presenta invece il numero più basso di unità locali (18).

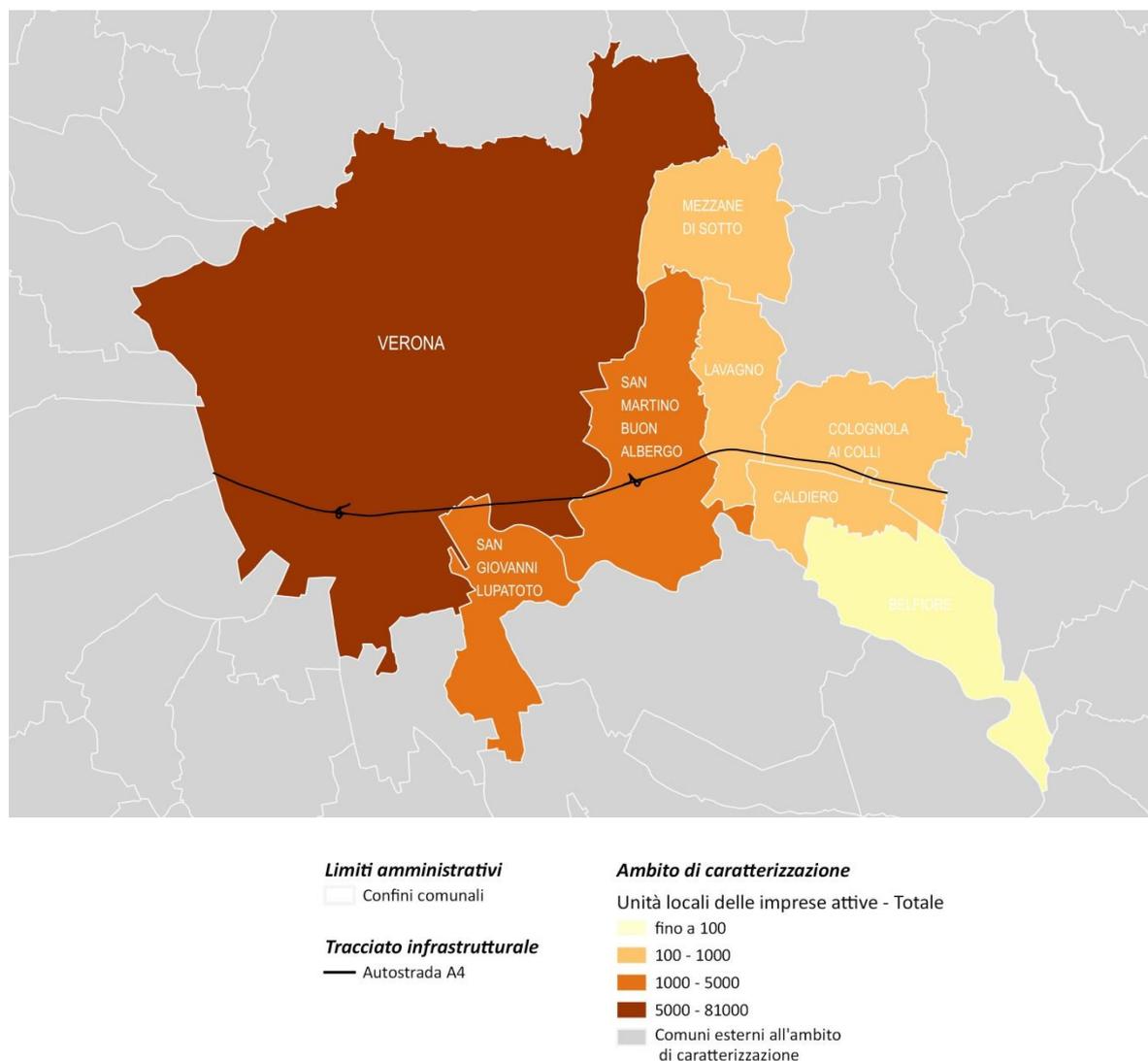


Figura 5.3: Numero complessivo di unità locali delle imprese attive dei comuni aventi interferenza diretta con il nodo autostradale Verona Est (fonte: dati ISTAT 2019; elaborazione R&M Associati)

Anche con riferimento alle attività manifatturiere, è il Comune di Verona a presentare il numero complessivo più elevato di unità locali delle imprese attive (circa 7'800), seguito dai Comuni di San

Giovanni Lupatoto (243) e San Martino Buon Albergo (209). I Comuni con numero complessivo più basso di unità locali delle imprese attive sono: Caldiero (58) e Mezzane di Sotto (14).

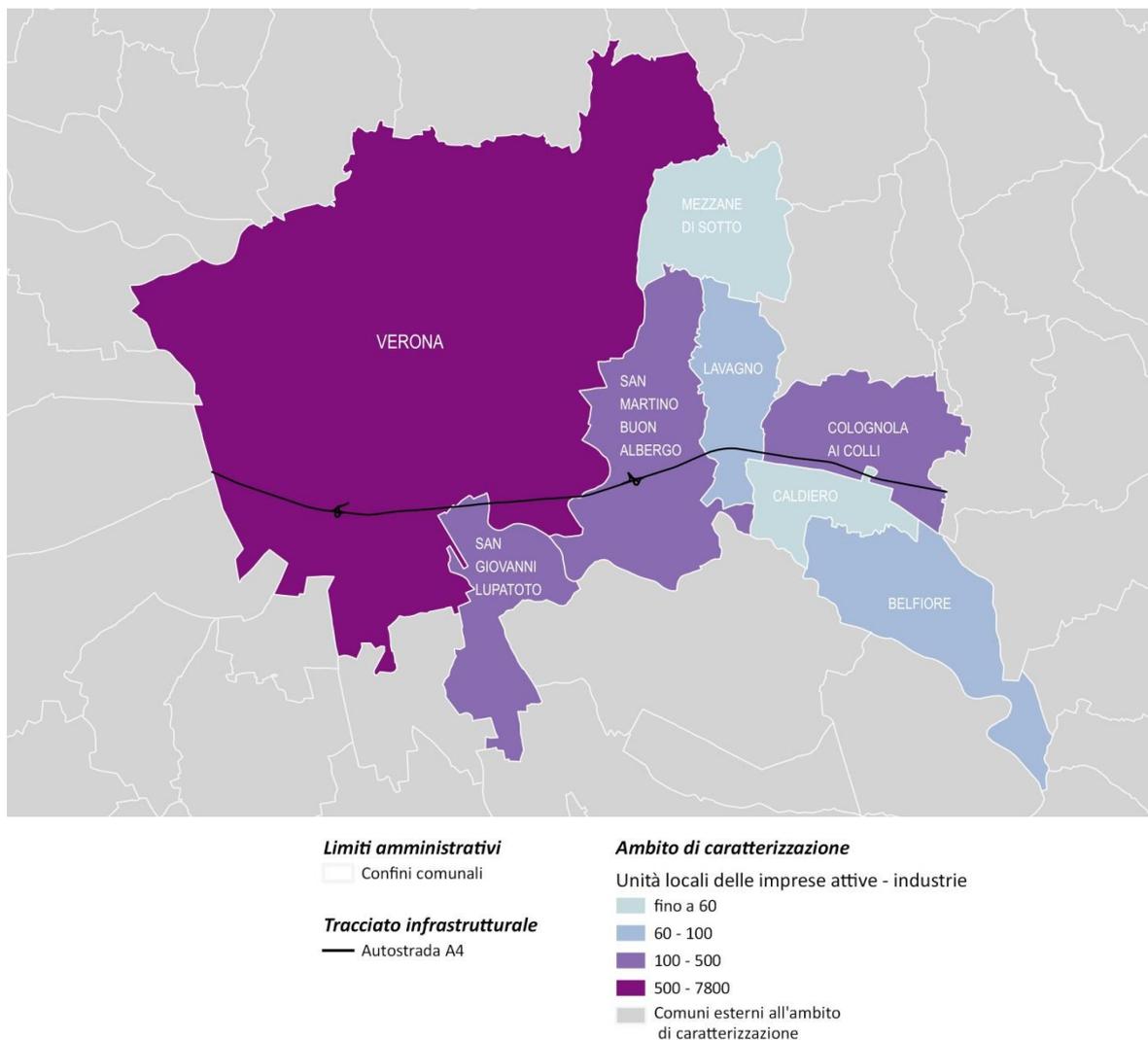


Figura 5.4: Numero di unità locali per attività manifatturiere dei comuni aventi interferenza diretta con il nodo autostradale Verona Est (fonte: dati ISTAT 2019; elaborazione R&M Associati)

Per quanto riguarda attività di servizi, sono state prese in considerazione le seguenti classificazione delle attività economiche Ateco:

- I: attività di servizi di alloggio e di ristorazione
- J: servizi di informazione e comunicazione
- K: attività finanziarie e assicurative

- L: attività immobiliari
- M: attività professionali, scientifiche e tecniche
- N: noleggio, agenzie di viaggio, servizi di supporto alle imprese
- P: istruzione
- Q: sanità
- R: attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento
- S: altre attività di servizi.

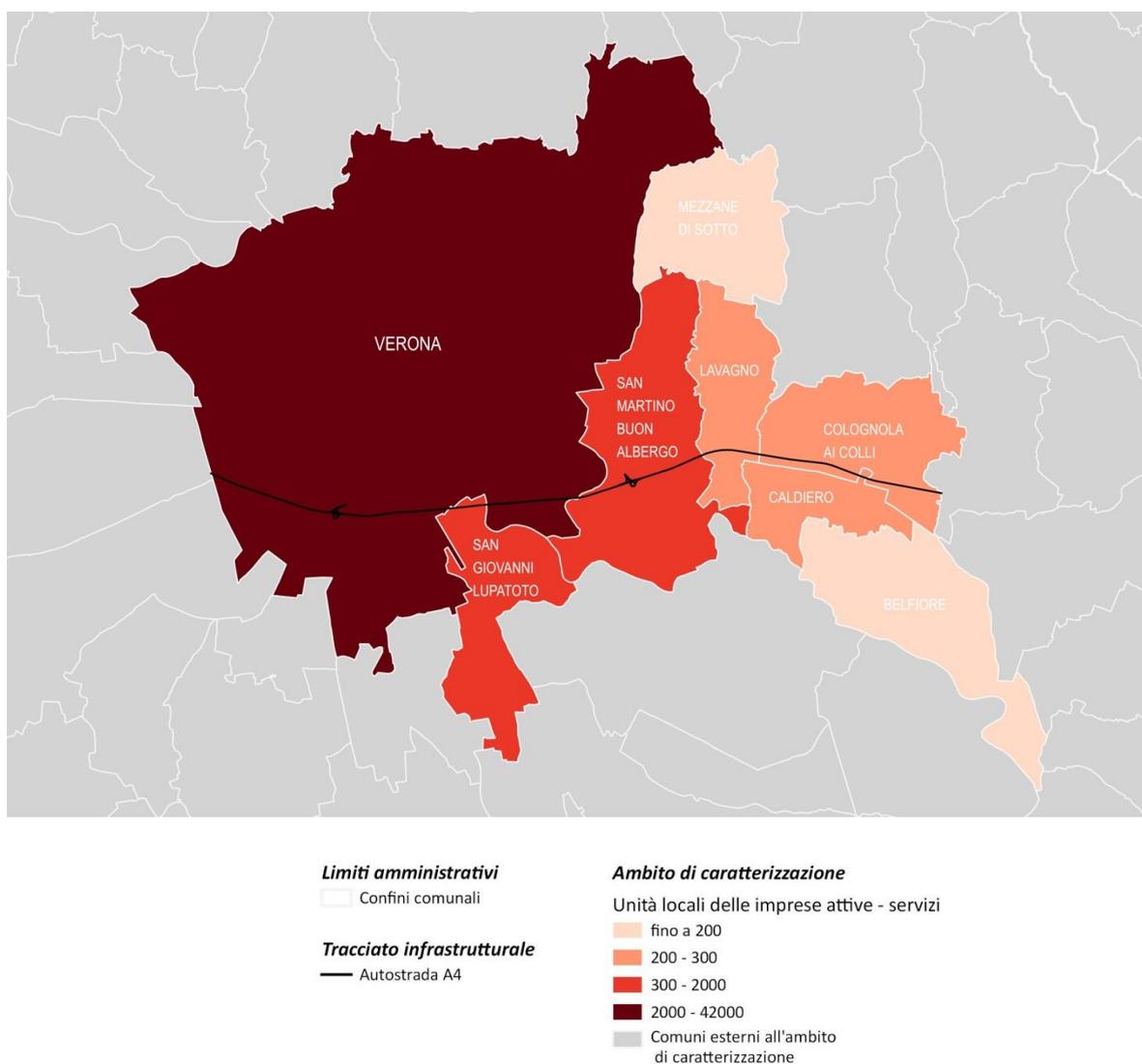


Figura 5.5: Numero di unità locali per attività economica di servizi dei comuni aventi interferenza diretta con il nodo autostradale Verona Est (fonte: dati ISTAT 2019; elaborazione R&M Associati)

Il numero complessivo più elevato di unità locali delle imprese attive per attività economica di servizi (circa 41'610) si registra nel Comune di Verona, seguito dai Comuni di San Giovanni Lupatoto (1'50) e San Martino Buon Albergo (738). Il Comune con numero complessivo più basso di unità locali delle imprese attive è Mezzane di Sotto (60), mentre gli altri comuni presentano numeri di imprese per attività di servizi che si attestano tra i 200 e i 300.

Anche per quanto riguarda, infine, le attività commerciali, è il Comune di Verona a presentare il numero complessivo più elevato di unità locali delle imprese attive (circa 5'600), seguito dai Comuni di San Giovanni Lupatoto (539) e San Martino Buon Albergo (441). I Comuni con numero complessivo più basso di unità locali delle imprese attive sono: Belfiore (47) e Mezzane di Sotto (20).

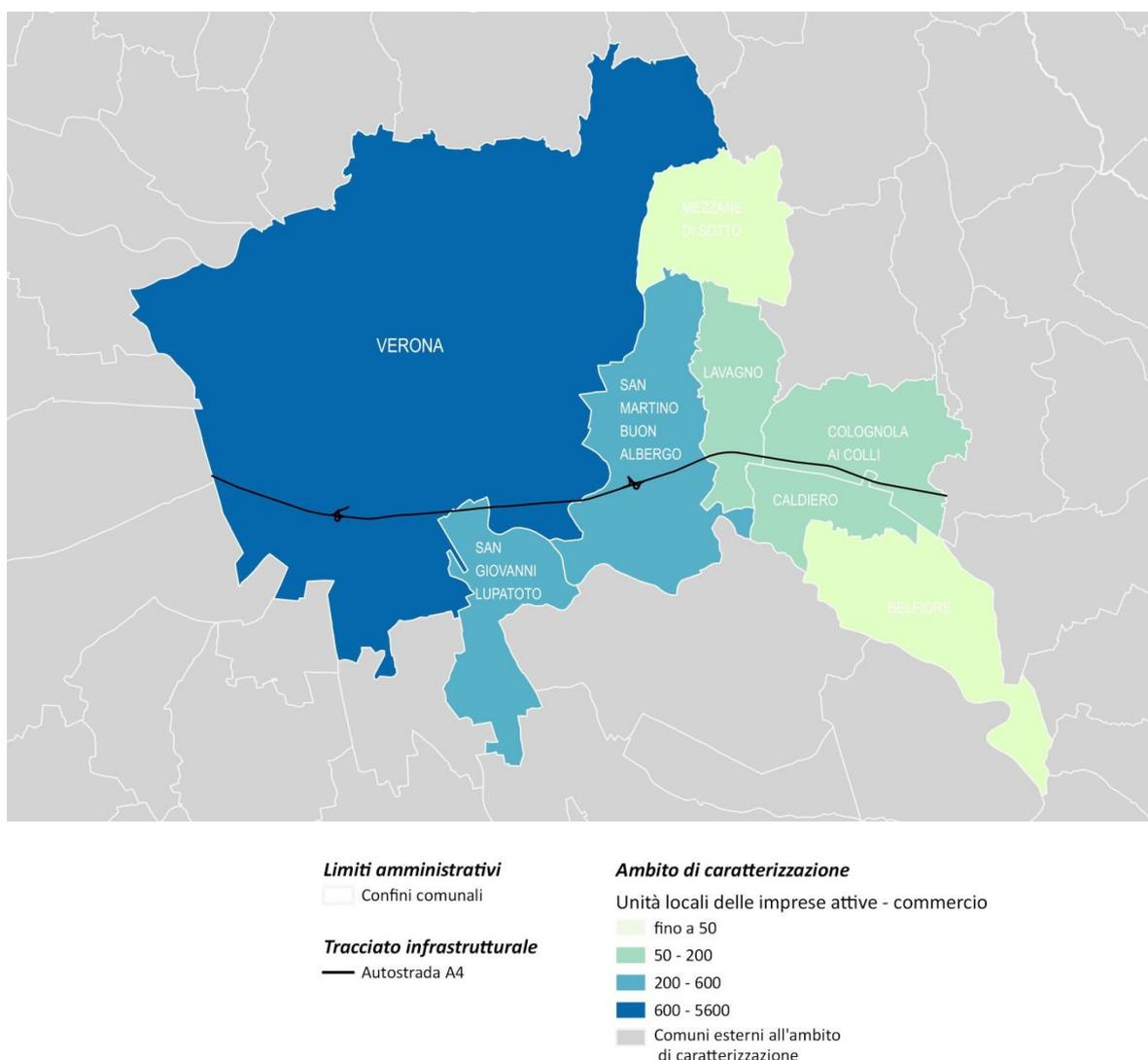


Figura 5.6: Numero di unità locali per attività commerciali dei comuni aventi interferenza diretta con il nodo autostradale Verona Est (fonte: dati ISTAT 2019; elaborazione R&M)

6 GLI SCENARI MODELLISTICI DI ANALISI

L'analisi trasportistica è stata impostata rispetto a 6 scenari base di assetto domanda-offerta di mobilità derivanti dalle fase di cantierizzazione definite:

- Scenario Attuale: Configurazione attuale (anno base di riferimento 2019)
- Scenario 1: chiusura turbo corsia della rotonda del Raccordo Autostradale in direzione del Casello autostradale, previo allargamento della rampa di accesso alla rotonda medesima
- Scenario 2: chiusura del piazzale P.M
- Scenario 3: chiusura dello svincolo tangenziale - autostrada A4BSPD, previo spostamento del traffico sulla bretella IN16B.
- Scenario 4: ripristino del collegamento tangenziale - autostrada A4 e demolizione del collegamento viario provvisorio IN16B. Permane la chiusura del piazzale P.M.
- Scenario di Configurazione Finale: costruzione della nuova viabilità NV51 e demolizione della rampa di connessione Pontara Sandri. Si riapre il piazzale P.M.

Gli scenari di assetto di rete descritti sono visualizzati nelle Figure successive.

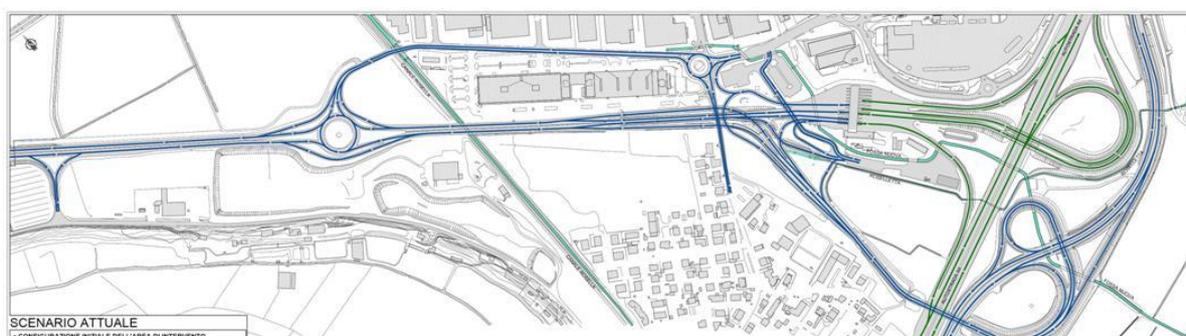


Figura 6.1: Assetto di rete dello Scenario Attuale

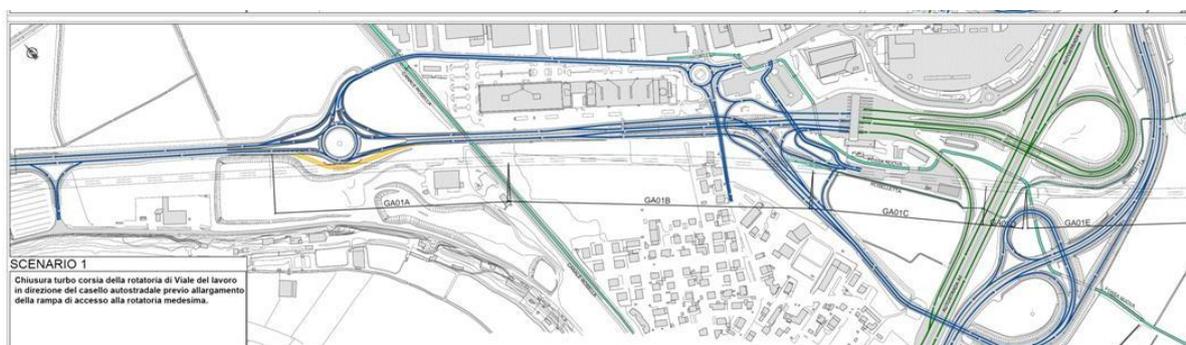


Figura 6.2: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #1



Figura 6.3: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #2



Figura 6.4: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #3

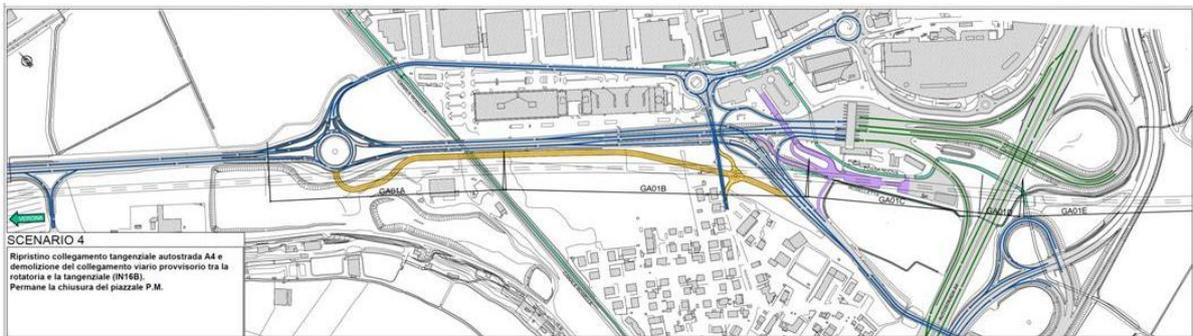


Figura 6.5: Assetto di rete dello Scenario di cantierizzazione #4



Figura 6.6: Assetto di rete dello Scenario di Configurazione Finale

7 LA MOBILITÀ CHE CARATTERIZZA IL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST

La ricostruzione della domanda di mobilità attuale che caratterizza il nodo stradale ed autostradale di Verona Est è stata impostata muovendo da due fonti dati principali:

- i BIGDATA TomTom MOVE da cui sono state estratte le matrici di spostamento Origine – Destinazione dei veicoli che interessano il nodo oggetto di studio
- alcuni conteggi e rilievi di traffico in possesso di R&M Associati derivanti da precedente valutazioni ed analisi effettuate sul sistema stradale ed autostradale afferente l'area di studio

Dal 2008 TomTom raccoglie misurazioni anonime basate su dati raccolti via GPS dai suoi utenti a livello mondiale. TomTom ha creato un database, TOMTOM MOVE, dei dati storici del traffico, dal 2008 ad oggi, completamente unico nel settore, basato su trilioni di misurazioni.

I dati raccolti derivano dall'utilizzo di algoritmi complessi che analizzano enormi quantità di Floating Car Data (FCD) e identificano le dinamiche di viaggio consentendo all'utente di effettuare, in tempi decisamente contenuti, analisi complesse riferite sia al deflusso veicolare sulla rete (Traffic Stat Analysis) sia alla dislocazione degli spostamenti che avvengono tra zone della rete (O/D Analysis) sia a rilievi da remoto di flussi veicolari e le relative percentuali di svolta alle intersezioni (Junction Analytics).



Figura 7.1: BIGDATA TomTom MOVE

In accordo con il Committente l'estrazione delle matrici di spostamento dalla banca dati TomTom MOVE ha fatto riferimento all'anno base 2019. Tale scelta trova ragione in due ordini di considerazioni:

- la prima è rappresentata dal fatto che l'esercizio 2019 costituisce ultimo periodo non affetto dalle riduzioni di traffico determinate dalla pandemia da COVID19
- la seconda è connessa al fatto che dal dicembre 2020 è in atto la chiusura temporanea del tratto terminale della Tangenziale Sud di Verona, cioè del tratto compreso tra lo svincolo con la SP38 Porcilana e lo svincolo con la SR11 a Vago, necessaria alla realizzazione della corsia di emergenza al km 292+200 dell'autostrada A4 in corrispondenza del cavalcaferrovia della linea ferroviaria Milano – Venezia e raddoppio della sezione stradale della tangenziale sud di Verona

R&M Associati hanno quindi proceduto all'estrazione delle matrici O/D di spostamento veicolare attuale che riguardano l'intera area del nodo stradale e autostradale di Verona Est. L'organizzazione delle matrici O/D estratte dalla banca dati TomTom MOVE è visualizzata nella successiva Figura.



Figura 7.2: Localizzazione delle zone di traffico alla base della strutturazione delle matrici O/D estratte dalla banca dati TomTom MOVE

I dati estratti sono quindi organizzati rispetto a 15 sezioni stradali di origine o destinazione degli spostamenti veicolari:

- Zona 1: Raccordo Autostradale Verona Est
- Zona 2: Via Sandri Nord
- Zona 3: Via Sandri Sud
- Zona 4: Via Serena
- Zona 5: Autostrada A4 Ramo Ovest
- Zona 6: Tangenziale Ramo Ovest
- Zona 7: Tangenziale Ramo Est
- Zona 8: Autostrada A4 Ramo Est
- Zona 9: Viale del Lavoro
- Zona 10: Via dell'Informatica
- Zona 11: Viale del Commercio
- Zona 12: Via Fenil Novo
- Zona 13: Via Beccaria
- Zona 14: Via Repubblica
- Zona 15: Piazzale P.M.

Le matrici campione O/D Tom Tom estratte sono state elaborate e portate all'universo di riferimento sulla base delle informazioni derivanti da conteggi di traffico in possesso di R&M Associati risalenti al 2019 e 2018 e derivanti da precedenti valutazioni trasportistiche effettuate sul nodo di Verona Est. Complessivamente i dati disponibili e utilizzati da R&M Associati per l'espansione delle matrici campione TomTom sono costituiti dalle distribuzioni di traffico orarie relative a giorni feriali del 2019 e del 2018 in corrispondenza delle seguenti 9 sezioni stradali:

- sezione 1 localizzata sulla tratta Verona Sud - Verona Est della Autostrada A4
- sezione 2 localizzata sulla tratta Verona Est - Soave San Bonifacio della Autostrada A4
- sezione 3 localizzata sul Casello Verona Est della Autostrada A4
- sezione 4 localizzata sul Raccordo Autostradale Verona Est
- sezione 5 localizzata sulla Tangenziale Verona Sud nella tratta compresa tra l'uscita "3 bis Campalto" e l'uscita "2 Verona Est"
- sezione 6 localizzata sulla Tangenziale Verona Sud nella tratta compresa tra l'uscita "2 Verona Est" e l'uscita "2 bis Porcilana"
- sezione 7 localizzata su Viale del Lavoro
- sezione 8 localizzata su Via Fenil Novo
- sezione 9 localizzata su Via Serena

Poiché i dati di traffico per ciascuna sezione sono bidirezionali, l'espansione e calibrazione delle matrici O/D TomTom è stata effettuata rispetto a 18 sezioni di conteggio veicolare monodirezionale.

La localizzazione delle sezioni è visualizzata nella successiva Figura.



Figura 7.3: Localizzazione delle sezioni di traffico utilizzate per l'espansione e calibrazione delle matrici O/D campione estratte dalla banca dati TomTom MOVE

L'elaborazione effettuata ha portato alla sintesi delle matrici O/D di mobilità del nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentative dello stato di fatto e relative alla fascia oraria di punta della mattina compresa tra le 8:00 e le 9:00 del Giorno Medio Feriale (GMF) del 2019.

La disaggregazione veicolare delle matrici O/D della fascia 8:00 – 9:00 del GMF del 2019 è strutturata nelle 2 classi veicolari di esazione autostradale:

- veicoli leggeri (classe di esazione A)
- veicoli pesanti (classi di esazione B, 3, 4 e 5)

Queste matrici O/D, che considerano 13'178 spostamenti complessivi come somma di veicoli leggeri e veicoli pesanti, solo le matrici utilizzate per tutte le simulazioni dinamiche implementate nell'ambito dello studio trasportistico e introdotte nei capitoli successivi.

Con la finalità di poter restituire un’analisi sintetica delle dinamiche e dei volumi di traffico che attualmente impegnano il nodo di Verona Est, nelle tabelle successive si è proceduto ad una rielaborazione dei dati complessivi riferiti alle 15 zone di traffico delle due matrici O/D dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti della fascia oraria 8:00 – 9:00 del GMF del 2019 in una sotto matrice sinottica espressa in veicoli totali e organizzata rispetto a 4 macro zone:

- Macro zona 1: Raccordo Autostradale Verona Est
- Macro Zona 2: Autostrada A4
- Macro Zona 3: Tangenziale
- Macro Zona 4: Area Industriale – Commerciale Viale del Lavoro

ORIGINE/DESTINAZIONE	Raccordo VR EST	Autostrada A4	Tangenziale	Area Industr-Comm	TOTALE
Raccordo VR EST	-	1.138	840	222	2.200
Autostrada A4	773	-	354	105	1.232
Tangenziale	388	555	-	112	1.055
Area Industr-Comm	394	91	67	-	552
TOTALE	1.555	1.784	1.261	439	5.039

ORIGINE/DESTINAZIONE	Raccordo VR EST	Autostrada A4	Tangenziale	Area Industr-Comm	TOTALE
Raccordo VR EST	-	23%	17%	4%	44%
Autostrada A4	15%	-	7%	2%	24%
Tangenziale	8%	11%	-	2%	21%
Area Industr-Comm	8%	2%	1%	-	11%
TOTALE	31%	35%	25%	9%	100%

**Figura 7.4: Sotto matrice dei movimenti veicolari che interessano il nodo stradale e autostradale di Verona Est
Fascia oraria 8:00 – 9:00 del Giorno Medio Feriale del 2019 – Veicoli Totali (leggeri + pesanti)**

La matrice O/D presentata nella Tabella precedente costituisce pertanto una “sottomatrice” delle matrici O/D utilizzate per le assegnazioni modellistiche e relative alla fascia di punta 8:00 – 9:00 del Giorno Feriale Medio del 2019.

Si evidenzia infatti come i dati presentati nella Tabella 7.4 non contemplino tutti i movimenti distribuiti sulle direttrici dell’Autostrada A4 e della Tangenziale che non “scambiano” con il Nodo

di Verona Est cioè rappresentano traffico “passante”: tali spostamenti ovviamente rientrano nelle matrici O/D dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti utilizzate per le assegnazioni nel modello CUBE DYNASIM 6 in micro simulazione implementati.

Dalla disamina delle Tabelle presentate e riportanti, rispettivamente, l'entità dei movimenti in termini di veicoli totali tra ciascuna delle 4 macro zone e l'incidenza percentuale di ciascun movimento rispetto al totale dei movimenti di nodo, emergono le seguenti considerazioni:

- nel suo complesso, il nodo stradale e autostradale di Verona Est risulta interessato nella fascia di punta 8:00 – 9:00 del Giorno Medio Feriale da circa 5'000 movimenti totali (veicoli leggeri + veicoli pesanti)
- la relazione prevalente che caratterizza il nodo è quella che dal Raccordo VR EST attraverso il Casello di Verona Est, entra in Autostrada A4: circa un quarto delle relazioni di mobilità complessiva che interessano il nodo, il 23%, avviene, infatti, tra il Raccordo VR EST come punto di origine e il casello dell'Autostrada A4 come punto di destinazione
- in termini di distribuzione complessiva degli spostamenti il Raccordo VR EST risulta la principale polarità con 3'755 movimenti come somma di origini e destinazioni seguita dall'Autostrada A4 con 3'016 movimenti
- il flusso di scambio con la Tangenziale è costituito da 2'316 movimenti come somma di origini e destinazioni; questo dato rappresenta il flusso di traffico che è necessario gestire mediante la realizzazione della bretella IN16B nel corso del transitorio di cantierizzazione Scenario 3 che prevede la chiusura dello svincolo tangenziale – autostrada A4 BS-PD e delle rampe di collegamento tangenziale - Raccordo Autostradale Verona Est.

Nelle Figure successive sono visualizzate graficamente le relazioni di mobilità tra le 4 macro zone del nodo stradale e autostradale di Verona Est.



Figura 7.5: Movimento da/per il RACCORDO VERONA EST

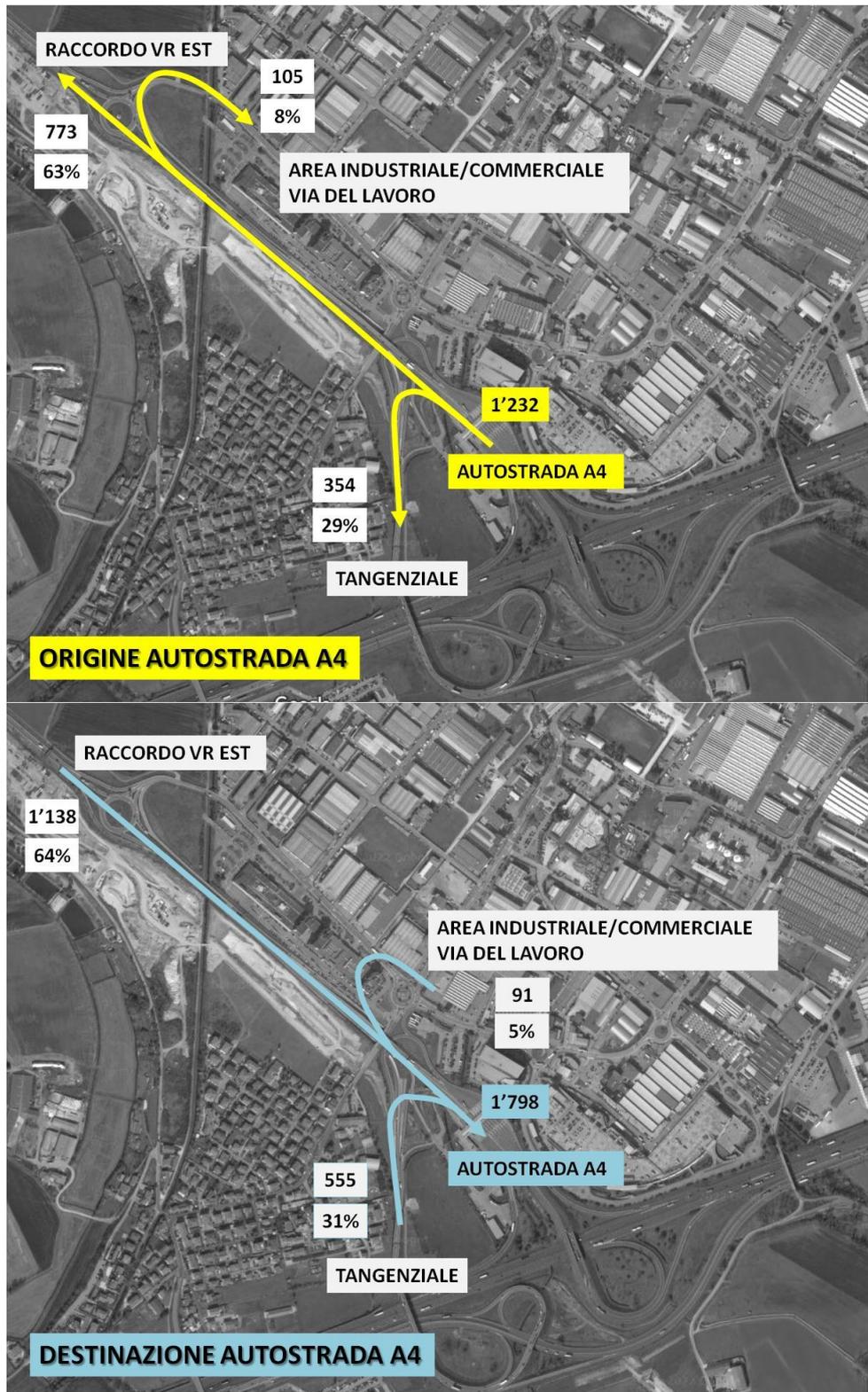


Figura 7.6: Movimento da/per l'AUTOSTRADA A4

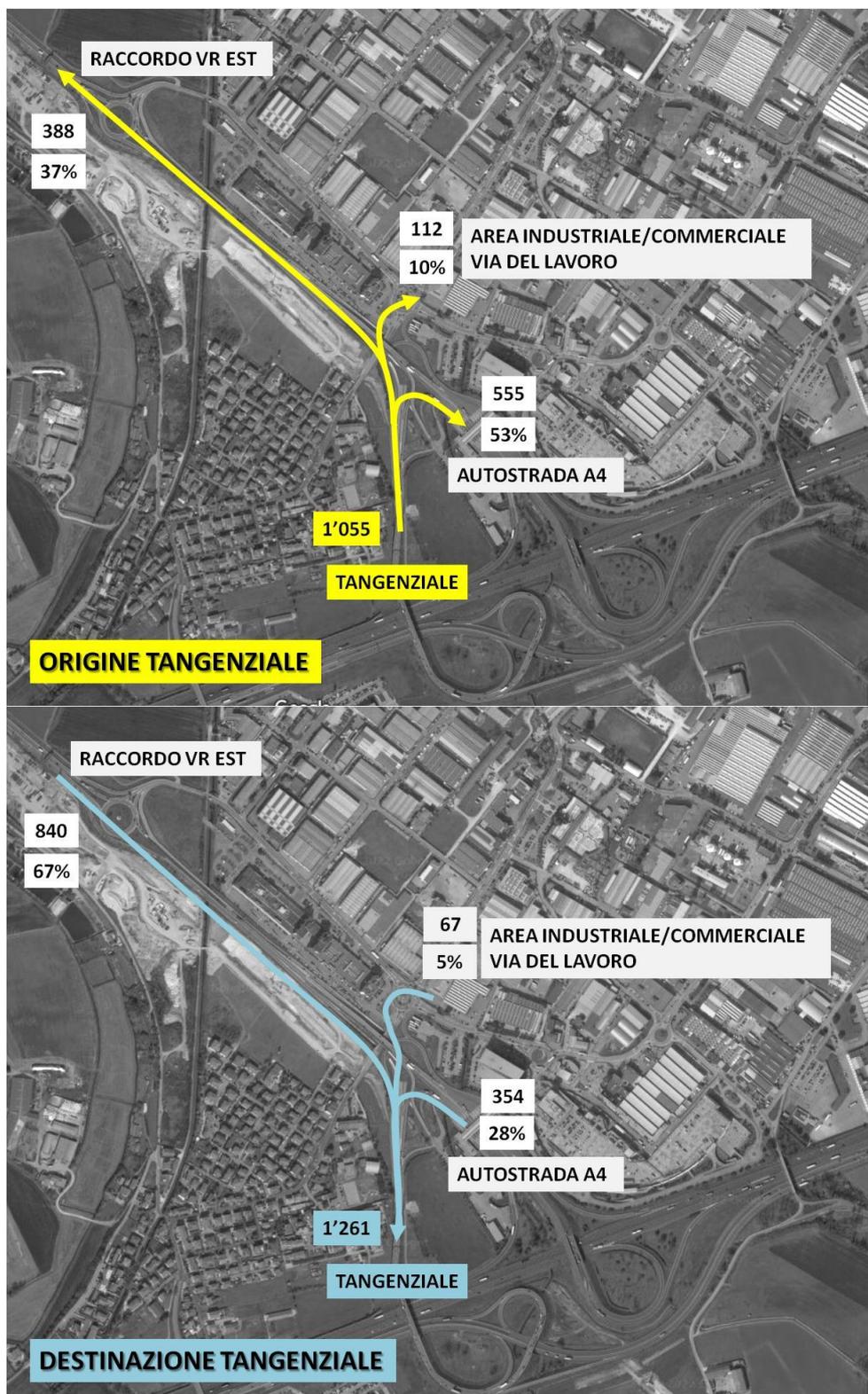


Figura 7.7: Movimento da/per la TANGENZIALE



Figura 7.8: Movimento da/per l'AREA INDUSTRIALE – COMMERCIALE di VIA DEL LAVORO

8 L'AMBIENTE DI MICRO SIMULAZIONE CUBE DYNASIM 6

Le analisi trasportistiche a supporto della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 sono state condotte da R&M Associati mediante l'ausilio di modelli di simulazione dei flussi di traffico.

In ragione delle specifiche tecniche proprie delle analisi e valutazioni sulla mobilità sia riferite agli elementi lineari sia agli elementi puntuali del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est, R&M Associati hanno predisposto modelli di simulazione dei flussi veicolari su scala micro o dinamica utilizzando la piattaforma CUBE DYNASIM 6.

8.1 CARATTERISTICHE DELL'AMBIENTE DI SIMULAZIONE CUBE DYNASIM 6

CUBE DYNASIM 6 è un diffuso software per la micro simulazione dinamica di qualsiasi sistema di trasporto che consente di sviluppare scenari di domanda e offerta di mobilità differenti e di confrontarne le relative performances trasportistiche in corrispondenza di diverse alternative progettuali e strategie di controllo.



Figura 8.1 Ambiente micro simulativo strategico CUBE DYNASIM 6

CUBE DYNASIM 6 permette di modellare sistemi di qualsiasi dimensione, riproducendo le dinamiche dei fenomeni di traffico dipendenti dal tempo mediante l'impiego di un sofisticato modello microscopico, dinamico e basato sugli eventi. Il software è strutturato in tre componenti principali:

- editor grafico della rete, che permette di visualizzare e modificare tutti gli elementi degli scenari di simulazione;
- motore di simulazione, che consente di eseguire simulazioni off-line;
- elaboratore dei risultati, che consente di visualizzare gli output sia in forma numerica sia come animazioni in formato bidimensionale e tridimensionale.

Parte essenziale dello strumento è il motore di simulazione, che calcola il movimento di ogni veicolo simulato comprensivo della posizione, della velocità, dell'accelerazione e dell'interazione con altri veicoli, con gli strumenti di controllo del traffico e con tutti gli altri elementi della rete.

Le simulazioni effettuate da Dynasim sono, in particolare:

- microscopiche: il movimento di ogni veicolo e delle relative interazioni con altri veicoli e con gli elementi della rete sono simulati secondo le capacità cinematiche del veicolo e dei vincoli della strada definiti dall'utente;
- ad eventi: Dynasim non calcola necessariamente il movimento dei veicoli ad ogni passo della simulazione. Gli eventi quale il cambio di luce di un semaforo o le interazioni con altri veicoli sono considerati immediatamente ed il movimento del veicolo è ricalcolato per tenere conto dell'evento stesso;
- stocastiche: tutti i valori dei parametri richiesti durante la creazione del modello, sono poi assegnati nel corso di una simulazione da distribuzioni statistiche che dipendono da numeri casuali.

Il funzionamento del motore di simulazione di Dynasim può essere descritto facendo riferimento agli otto blocchi seguenti:

- i. Rete di simulazione;
- ii. Sequenza di Eventi;
- iii. Generazione dei Veicoli;
- iv. Car Following;
- v. Gap Acceptance;
- vi. Cambiamento di Corsia;
- vii. Scenario dei flussi;
- viii. Risultati della Simulazione.

i. Rete di simulazione

La rete di simulazione è caratterizzata dai punti di entrata, dai punti di uscita e dalle traiettorie usate dai veicoli.

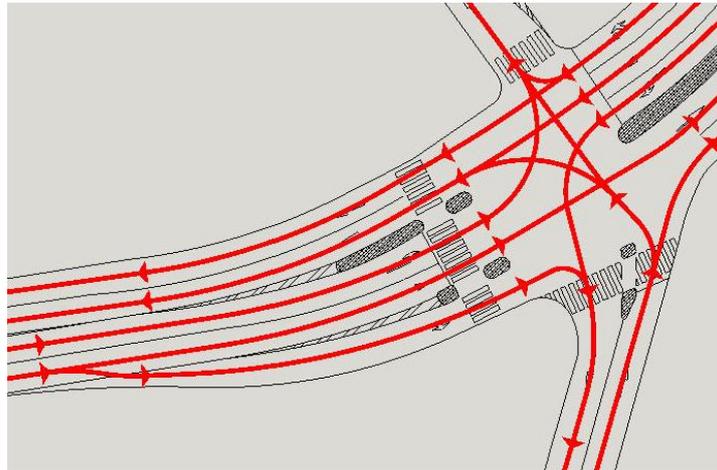


Figura 8.2 Dettaglio di una rete di simulazione

Un veicolo è generato all'entrata della rete ed in tale istante sono assegnati i parametri cinematici necessari e la relativa destinazione. Il veicolo viaggia verso la sua destinazione lungo una successione di traiettorie, che viene limitata dalla destinazione stessa così come dagli 'eventi' che si presentano durante la simulazione.

Le traiettorie sono classificate in "oggetti" a singola corsia o a multi corsia, quest'ultima costituita da un gruppo di traiettorie a singola corsia. Nel caso di traiettorie multicorsia, ai veicoli è permesso passare da una traiettoria (corsia) all'altra, o per sorpassare un veicolo più lento o per posizionarsi su una traiettoria che permetterà al veicolo di continuare per la relativa destinazione.

Nel caso in cui il risultato del calcolo del tragitto proponga differenti possibilità, e cioè nel caso in cui un veicolo entri in un oggetto della simulazione tale che esso sia successivamente connesso a più di un oggetto o che esso sia una fila di una multifila, la scelta di uno dei possibili percorsi avviene in base ai seguenti criteri, elencati in ordine di priorità:

- ridurre il numero e la prossimità dei cambiamenti di fila;
- minimizzare la distanza percorsa;
- privilegiare il primo percorso calcolato.

Per controllare i conflitti di traiettoria, vengono stabilite delle regole di priorità che permettono ai veicoli su un "oggetto" di essere informate dei veicoli su un altro "oggetto" in modo che, se richiesto dalla regola, un veicolo su una traiettoria ceda il passo ad un veicolo che ne sta percorrendo un'altra.

ii. Sequenza di Eventi

Durante la simulazione, il movimento di un veicolo non è calcolato secondo una scansione di tempo fissa, ma tiene conto della occorrenza di un preciso evento, quale può essere ad esempio il cambio di segnale di un semaforo, e della sequenza di eventi successivi.

Gli eventi, pertanto, sono considerati dal motore di simulazione al momento del loro accadimento e non sono limitati da una scansione di tempo fissa. La gestione dell'evento è una delle funzioni uniche del motore di simulazione di Dynasim ed è basata sull'implementazione di un programmatore di eventi.

Il programmatore di eventi definisce una struttura di simulazione contenente il dettaglio delle operazioni da effettuare durante il corso della simulazione. Il compito del simulatore è semplicemente quello di caricare le operazioni all'interno del programma.

Queste operazioni possono essere di due tipi: quelle che sono generate dagli eventi e quelle che sono generate sulla base di temporizzatori che permettono di effettuare regolarmente un insieme di istruzioni senza tener conto degli eventi che accadono all'interno della simulazione.

Per esempio, il veicolo che cambia traiettoria è un evento nella simulazione e genererà un'operazione del programmatore di eventi, mentre un'operazione per cambiare la condizione di un semaforo è generata da un temporizzatore.

iii. Generazione dei Veicoli

La generazione dei veicoli viene eseguita dagli oggetti di simulazione denominati generatori che fanno parte delle origini definite all'interno della rete. Essi devono generare i veicoli nella rete secondo la appropriata distribuzione di frequenza.

Il generatore crea un veicolo definendone il tipo, la destinazione e le capacità cinematiche appropriate per il tipo di veicolo. Le capacità cinematiche consistono in una serie di parametri caratteristici del veicolo, come la decelerazione media o la massima accelerazione. Le capacità del veicolo sono assegnate agli stessi in base a una distribuzione "normale".

L'accelerazione, la decelerazione media e la decelerazione di emergenza sono definiti come una funzione della velocità istantanea del veicolo. Il "profilo medio", il massimo ed il minimo di ognuna di queste accelerazioni possono essere definiti per ogni categoria simulata di veicolo.

La distribuzione della frequenza dei veicoli all'entrata della rete è derivante dalla combinazione di due distribuzioni che rappresentano le due condizioni possibili che un veicolo può avere quando entra nella rete:

- Flusso Libero: che è indipendente dal veicolo che precede, in questo caso la distribuzione corrisponde ad una distribuzione esponenziale, perché il valore assegnato non dipende da un precedente valore.
- Car Following: in questo caso, la distribuzione è "log-normale".

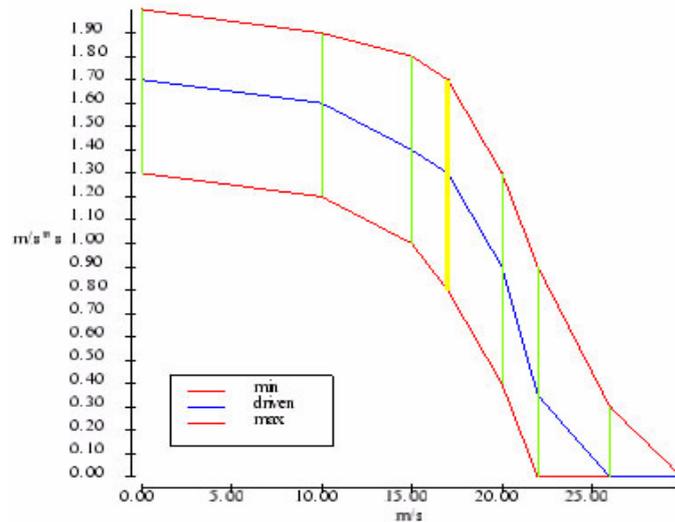


Figura 8.3 Esempio di andamento della distribuzione dell'accelerazione rispetto alla velocità istantanea

La probabilità di cadere in uno di questi due casi dipende dall'intensità di traffico definita per il generatore. L'utente, definendo la classe della strada, può influenzare i parametri delle distribuzioni.

iv. "Car Following"

Un veicolo viaggia lungo una traiettoria secondo uno dei seguenti tre stati di flusso: libero, car following, o interrotto. È possibile distinguere dei sottostati, o delle condizioni che derivano dalla combinazione dei tre stati principali. Il caso più comune nella simulazione è tuttavia il car following, in cui un veicolo follower è preceduto da un altro veicolo leader.

Per la simulazione di veicoli che viaggiano sulla medesima corsia, Cube Dynasim utilizza un modello per cui l'accelerazione del veicolo follower 2 che segue il veicolo leader 1 è determinata da:

$$A_2(t + 0,25) = \alpha \times [V_1(t) - V_2(t)] + \beta \times [X_1(t) - X_2(t) - \tau \times V_2(t) - L]$$

dove all'istante t i parametri del veicolo i -esimo sono: $X_i(t)$ la relativa posizione, $V_i(t)$ la relativa velocità e $A_i(t)$ la relativa accelerazione e i tre parametri α , β e τ classificati in tre categorie a seconda del valore dell'accelerazione del veicolo 1:

- se $A_1(t) < -0,6 \text{ m/s}^2$, $\alpha = 0,7$; $\beta = 0,03$; $\tau = 1,82$;
- se $A_1(t) \in [-0,6 \text{ m/s}^2; 0,6 \text{ m/s}^2]$, $\alpha = 1,1$; $\beta = 0,2$; $\tau = 0,52$;
- se $A_1(t) > 0,6 \text{ m/s}^2$, $\alpha = 0,36$; $\beta = 0,03$; $\tau = 1,82$.

L'accelerazione del veicolo leader è aggiornata ogni 0,25 secondi in funzione dell'accelerazione massima del veicolo stesso, così come l'accelerazione del veicolo follower (veicolo 2), in rapporto all'equazione sopra indicata.

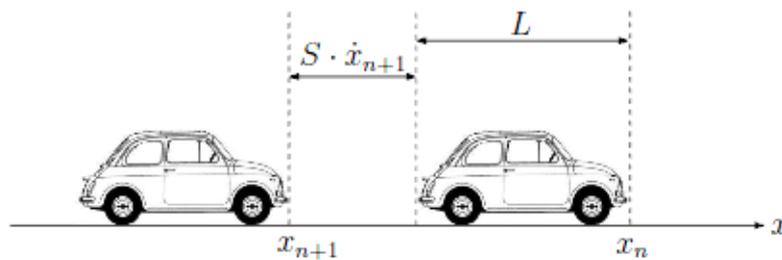


Figura 8.4 Car Following

v. Gap Acceptance

Per controllare i conflitti di traiettoria, vengono stabilite opportune regole di priorità, che permettono ai veicoli su un "oggetto" di essere informati della presenza di veicoli su un altro "oggetto" della rete di simulazione.

CUBE DYNASIM utilizza specifiche regole di precedenza per gestire i movimenti dei veicoli che si trovano su traiettorie conflittuali. Tali regole si basano sulla teoria del "Gap-Acceptance", secondo la quale in un punto di conflitto un veicolo senza diritto di precedenza prima di eseguire la manovra deve verificare che il gap tra i veicoli sulla corrente conflittuale sia sufficiente. CUBE DYNASIM attribuisce ai veicoli i tempi di gap in modo stocastico, scegliendo tra i tempi di gap disponibili per ciascuna classe veicolare, secondo quanto definito nelle rispettive distribuzioni.

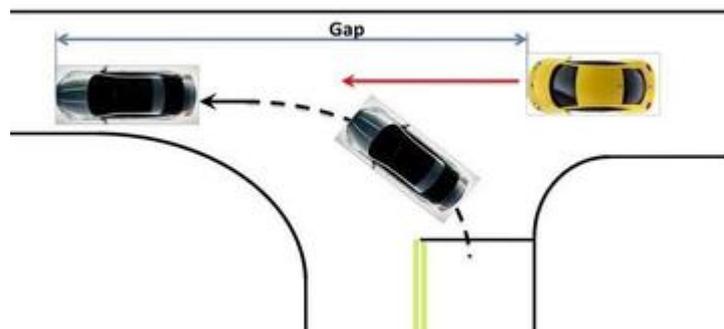


Figura 8.5 Gap Acceptance

vi. Cambiamento di Corsia

Sulle traiettorie a più corsie i veicoli possono scegliere la corsia su cui viaggiare. In particolare, quando un veicolo viaggia su una traiettoria a più corsie, esso può trovarsi in due condizioni:

- Discretionary Lane Changing (Cambio di Corsia a Discrezione) – Questa è la condizione normale in cui i veicoli si trovano quando viaggiano su traiettorie multicorsia. In questa

condizione non ci sono restrizioni al comportamento dei veicoli, i quali si muovono sulla traiettoria cercando di viaggiare alla velocità desiderata di libero deflusso. Se incontrano veicoli più lenti, essi valutano l'ipotesi di eseguire un Cambio di Corsia a Discrezione (Discretionary Lane Changing) per superarli.

- **Mandatory Lane Changing (Cambio di Corsia Obbligato)** – Questa è la condizione in cui si trova un veicolo quando è costretto a cambiare corsia in funzione del percorso che deve seguire per dirigersi verso la propria destinazione. Per simulare il comportamento dei veicoli durante un Cambio di Corsia Obbligatorio (Mandatory Lane Changing), Cube Dynasim utilizza le "Distribuzioni di Cambio Corsia", le quali forniscono una serie di profili di comportamento dei guidatori.

Quando un veicolo si trova nello stato di Cambio di Corsia a Discrezione (Discretionary Lane Changing), esso valuta continuamente la propria condizione attuale per determinare il livello di servizio di quella corsia.

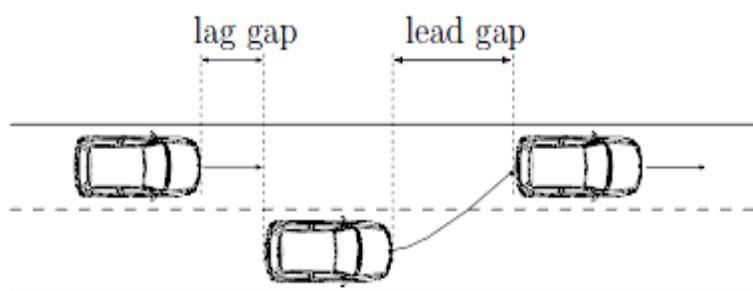


Figura 8.6 Lane Change

Qualora non fosse soddisfatto delle condizioni della sua corsia attuale, può valutare l'ipotesi di spostarsi su una delle corsie adiacenti. Per determinare l'utilità di una corsia, ossia il grado di soddisfazione delle condizioni di viaggio sulla corsia stessa percepito dal guidatore, Cube Dynasim utilizza due diverse equazioni: una per la corsia corrente (quella su cui si trova il veicolo) e l'altra per le corsie adiacenti. Per valutare il grado di utilità della corsia corrente, Cube Dynasim utilizza la seguente equazione:

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{[C_1 + C_2(V(t) - V_d(t)) + C_3\delta_{HV} + C_4\delta_{TG}]}}$$

con:

- $P(t)$ Probabilità che un veicolo non sia soddisfatto della corsia su cui sta viaggiando.
- $V(t)$ Velocità istantanea del veicolo.
- $V_d(t)$ Velocità desiderata, ossia la velocità istantanea che il veicolo vuole raggiungere.
- δ_{HV} Variabile che indica se il veicolo è un veicolo pesante oppure no. Se la lunghezza del veicolo è maggiore del valore limite dei veicoli pesanti (parametro opportunamente

specificato), la variabile assume valore 1 (veicolo pesante), altrimenti ha valore pari a 0 (veicolo leggero).

- δTG Variabile che indica la presenza di un veicolo che segue quello in esame. Se il veicolo seguente sulla corsia corrente è a una distanza inferiore a 10 metri, la variabile assume valore 1, altrimenti ha valore pari a 0.
- C1, C2, C3, C4 Coefficienti.

Se un veicolo ritiene che la condizione di deflusso sulla corsia corrente non sia soddisfacente, esso valuta l'ipotesi di cambiare corsia, analizzando le relative condizioni sulle corsie adiacenti. In particolare, per valutare l'utilità delle corsie adiacenti, Cube Dynasim utilizza la seguente equazione:

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{[C_1 + C_2(V_p(t) - V_d(t)) + C_3(V_{ap}(t) - V_d(t)) + C_4(V_{as}(t) - V(t))]}}$$

con:

- P(t) Probabilità che un veicolo, dopo aver valutato non soddisfacente la corsia su cui viaggia, decida di spostarsi sulla corsia adiacente;
- $V_p(t)$ Velocità istantanea del veicolo precedente sulla corsia corrente;
- $V_d(t)$ Velocità desiderata, ossia la velocità istantanea che il veicolo vuole raggiungere;
- $V_{ap}(t)$ Velocità istantanea del veicolo precedente sulla corsia adiacente;
- $V_{as}(t)$ Velocità istantanea del veicolo seguente sulla corsia adiacente;
- V(t) Velocità istantanea del veicolo;
- C1, C2, C3, C4 Coefficienti.

Dopo che un veicolo ha deciso di cambiare corsia e ha trovato la corsia verso cui dirigersi, deve valutare se è possibile eseguire la manovra di cambio corsia. In altre parole deve determinare se esiste un gap sufficiente per spostarsi sulla corsia adiacente, che dipende dalla velocità istantanea del veicolo sulla corsia corrente (V) e dalla differenza tra la velocità istantanea del veicolo sulla corsia corrente e quella dei veicoli sulla corsia adiacente verso cui deve spostarsi (DV).

Dopo che un veicolo ha deciso di cambiare corsia, ha individuato la corsia verso cui dirigersi e ha trovato un Gap accettabile, deve compiere la manovra di cambio corsia vera e propria.

A tal proposito in Cube Dynasim devono essere definiti parametri propri del cambio corsia, i quali specificano il tempo necessario per effettuare la manovra e lo spazio percorso.

Nei cambi di corsia obbligatori (Mandatory Lane Changing), dettati ad esempio dalla necessità di spostarsi sulla corsia relativa alla traiettoria che permette ai veicoli di seguire l'itinerario verso le

proprie destinazioni Cube Dynasim utilizza delle distribuzioni di cambio corsia (“Lane Change Distributions”) per definire il comportamento del guidatore.

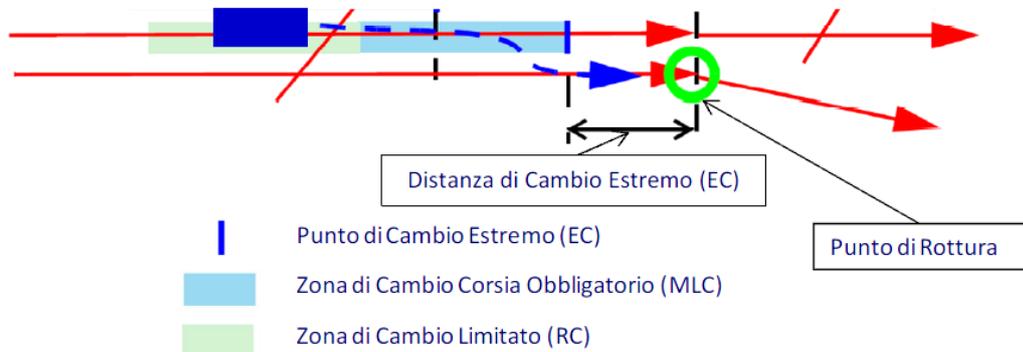


Figura 8.7 Mandatory Lane Change

Tali distribuzioni sono predisposte dall’utente e definiscono dove e come i guidatori devono obbligatoriamente cambiare corsia specificando i profili di comportamento degli utenti.

Ciascuna distribuzione di cambio corsia definisce un set di profili di “comportamento del guidatore”, che indicano come il guidatore si comporta quando si avvicina a un “punto di rottura”, ossia un punto in cui il percorso diverge dalla traiettoria in cui si trova il veicolo, e devono eseguire un cambio di corsia obbligatorio. Ogni profilo si riferisce a un cambio corsia; quindi occorre definire un profilo per ogni cambio di corsia possibile, dove il numero di cambi di corsia possibili è pari al numero di corsie di una traiettoria meno uno. I profili di cambio corsia sono definiti da tre valori:

- Distanza di Cambio Limitato (Restricted-Change (RC) Distance) – Definiscono lo spazio in cui i guidatori sono consapevoli della necessità di eseguire un cambio di corsia obbligatorio e quindi non eseguono cambi di corsia “a discrezione” che li possano allontanare dalla loro corsia “obiettivo”.
- Distanza di Cambio Corsia Obbligatorio (Mandatory Lane-Change (MLC) Distance) - Definisce lo spazio in cui i veicoli devono eseguire il cambio di corsia obbligatorio.
- Distanza di Cambio Estremo (Extreme-Change (EC) Distance) – Definisce la distanza minima dal punto di rottura entro la quale i veicoli devono eseguire il cambio di corsia. A tale distanza dal punto di rottura i veicoli eventualmente si fermano nell’attesa di trovare il gap necessario per effettuare la manovra (qualora non fossero stati in grado di eseguirla in precedenza).

Ogni profilo di comportamento del guidatore è definito da una terna di numeri (RC, MLC, EC). Il valore di EC rappresenta la distanza tra il punto di rottura e il punto di Cambio Estremo. I valori di RC e MLC esprimono la lunghezza delle zone rispettivamente di Cambio Limitato e di Cambio Corsia Obbligatorio.

vii. Scenario dei flussi

CUBE DYNASIM 6 raggruppa tutti i dati relativi alla domanda di traffico negli scenari dei flussi. Uno scenario dei flussi permette di:

- Specificare il periodo di simulazione, definendo la fascia oraria cui si riferisce;
- Definire le matrici O-D, quantificando i volumi di traffico per ciascuna coppia Origine-Destinazione rispetto alle diverse categorie veicolari;
- Quantificare le eventuali variazioni della domanda durante il periodo di simulazione.

viii. I risultati della simulazione

In generale, il modello di micro simulazione dinamica è alimentato dei seguenti dati di input:

- la matrice O/D dei veicoli, distinta nelle componenti leggera e pesante, che caratterizzano la domanda di traffico nel periodo di simulazione;
- la geometria ed organizzazione della sede stradale e degli attestamenti alle entrate ed uscite di ciascuno degli archi della rete modellata;
- la velocità di progetto su ciascun arco della rete modellata;
- la definizione delle caratteristiche cinematiche dei veicoli e delle caratteristiche comportamentali dei guidatori;
- la disciplina della circolazione, con regole di transito e di precedenza, cambi di corsia e sistemi di segnalazione semaforica.

I risultati della simulazione sono forniti in forma numerica, e corrispondono alle misure di indicatori applicati ad una parte della rete modellata. L'utente può anche osservare l'animazione mediante una visualizzazione in 2D o in 3D dello spostamento dei veicoli all'interno della rete. Le parti della rete su cui si desidera misurare gli indicatori quali i flussi, i tempi di viaggio, le code, etc., sono definiti direttamente nell'interfaccia utente.

CUBE DYNASIM 6 crea modelli di micro simulazione stocastica, pertanto, ogni volta che si esegue una simulazione assegna casualmente valori differenti ai parametri caratteristici dei veicoli. Questo processo stocastico produce risultati diversi ad ogni simulazione; tali differenze cercano di riprodurre le variazioni giornaliere nel traffico in una situazione reale. Tuttavia, data la varianza dei risultati prodotti, è necessario eseguire una serie di simulazioni per ottenere risultati statisticamente validi, mediando i valori ottenuti a ogni iterazione.

In particolare, i risultati numerici che possono essere raccolti da Cube Dynasim riguardano:

- Flusso;
- Tempo di percorrenza;
- Numero di veicoli presenti nella rete;
- Ritardo;
- Velocità;
- Lunghezza delle code;

- Tempo speso in stato di Stop.

Inoltre, per ogni dato raccolto, è possibile ottenere le relative statistiche, quali:

- Valore misurato in un intervallo di tempo;
- Valore cumulato;
- Media;
- Deviazione standard;
- Intervallo di confidenza;
- Valore massimo;
- Valore minimo;
- Percentili.

La Figura successiva riassume l'intera procedura di valutazione delle performances di un nodo o intersezione mediante approccio con micro simulazione dinamica.



Figura 8.8 Struttura, input ed output del modello

8.2 IL MODELLO DI MICRO SIMULAZIONE DEL NODO STRADALE ED AUTOSTRADALE DI VERONA EST

Come anticipato nelle considerazioni introduttive del capitolo, R&M Associati per la valutazione dell'impatto delle fasi di cantierizzazione funzionali alla risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 hanno implementato un modello di micro simulazione dinamica dell'intero nodo stradale ed autostradale di Verona Est nell'ambito della piattaforma CUBE DYNASIM 6.

Il modello di offerta di trasporto, costituito dal grafo di rete rappresentativo della viabilità stradale interna al nodo stradale ed autostradale di Verona Est, è stato predisposto all'interno del software di micro simulazione sulla base delle caratteristiche geometriche delle infrastrutture.

L'ambito di micro modellazione dinamica è visualizzato nella Figura successiva.

La rete che è stata oggetto di modellazione dinamica risulta di ampiezza tale da consentire l'analisi completa delle relazioni di spostamento che impegnano il nodo nello stato di fatto, nelle fasi transitorie di cantierizzazione e nella configurazione di assetto finale a termine lavori.

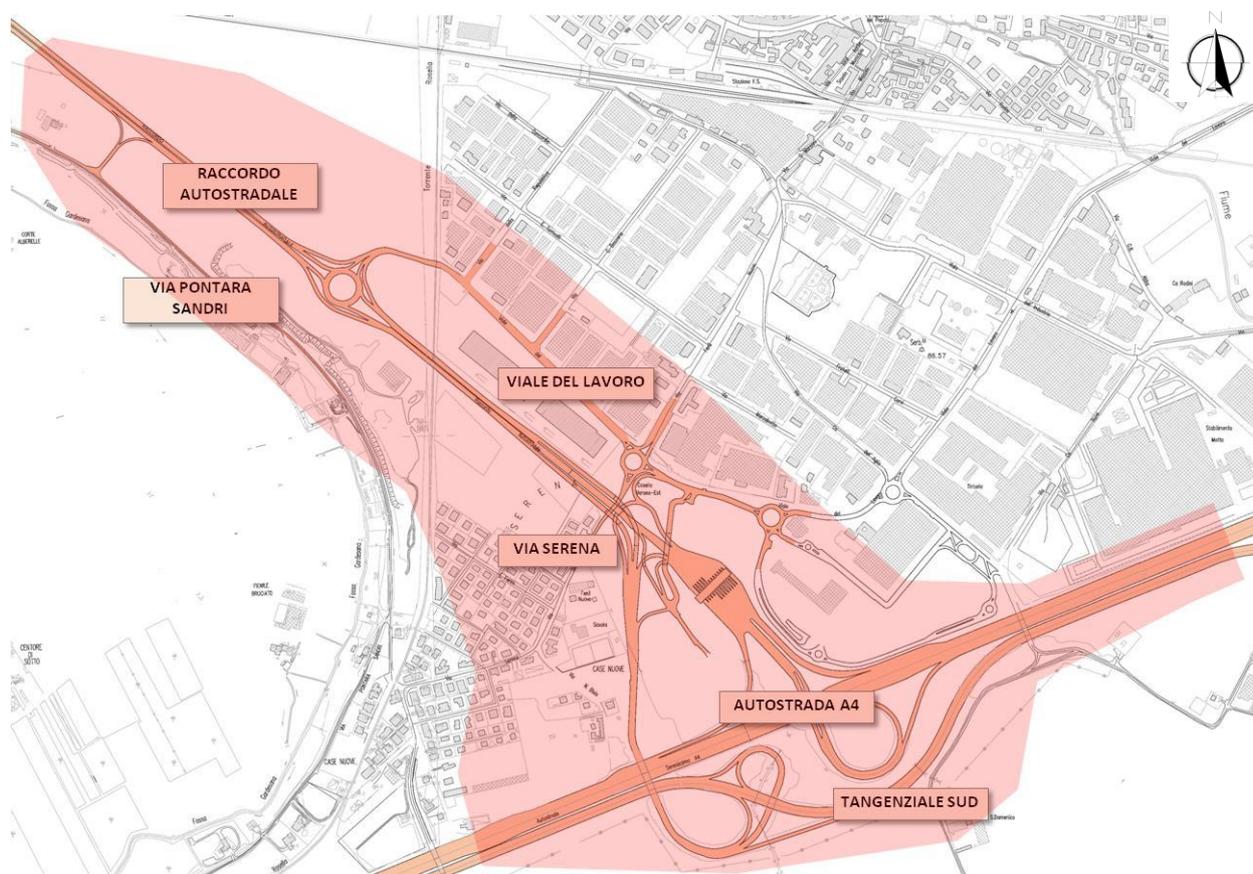


Figura 8.9: Ambito di implementazione del modello di micro simulazione CUBE DINASYM 6 del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est

8.3 IMPLEMENTAZIONE DEGLI SCENARI DI MICRO SIMULAZIONE DINAMICA PER GLI ASSETTI DOMANDA/OFFERTA DI MOBILITÀ ANALIZZATI

Coerentemente alle considerazioni introduttive poste in incipit di trattazione, R&M Associati hanno proceduto all'implementazione di un modello di micro simulazione dinamica per ciascuno degli scenari di assetto domanda/offerta oggetto dell'analisi trasportistica.

Pertanto si è proceduto all'implementazione delle seguenti reti di micro simulazione dinamica:

- Scenario Attuale: configurazione attuale del sistema
- Scenario transitorio di cantierizzazione #1: chiusura turbo corsia della rotatoria del Raccordo Autostradale in direzione del Casello autostradale, previo allargamento della rampa di accesso alla rotatoria medesima
- Scenario transitorio di cantierizzazione #2: chiusura del piazzale P.M
- Scenario transitorio di cantierizzazione #3: chiusura dello svincolo tangenziale - autostrada A4BSPD, previo spostamento del traffico sulla bretella IN16B.
- Scenario transitorio di cantierizzazione #4: ripristino del collegamento tangenziale - autostrada A4 e demolizione del collegamento viario provvisorio IN16B. Permane la chiusura del piazzale P.M.
- Scenario di Configurazione Finale: costruzione della nuova viabilità NV51 e demolizione della rampa di connessione Pontara Sandri. Si riapre il piazzale P.M.

L'implementazione del modello di micro simulazione dinamica rappresentativo di ciascuno scenario descritto ha richiesto le seguenti attività principali:

- implementazione della rete di offerta di mobilità veicolare
- ricostruzione della domanda di mobilità veicolare
- assegnazione della domanda di mobilità alla rete di offerta
- visualizzazione delle risultanze ottenute

Per quanto riguarda l'implementazione della rete di offerta di mobilità veicolare si è quindi proceduto:

- al disegno delle traiettorie di circolazione veicolare
- all'inserimento dei vincoli e delle regole di circolazione veicolare dettate dalla segnaletica presente
- all'inserimento dei parametri dinamici di modellazione del comportamento dei conducenti di veicoli leggeri e pesanti

Nelle figure successive sono visualizzate le reti dei modelli di micro simulazione implementati.

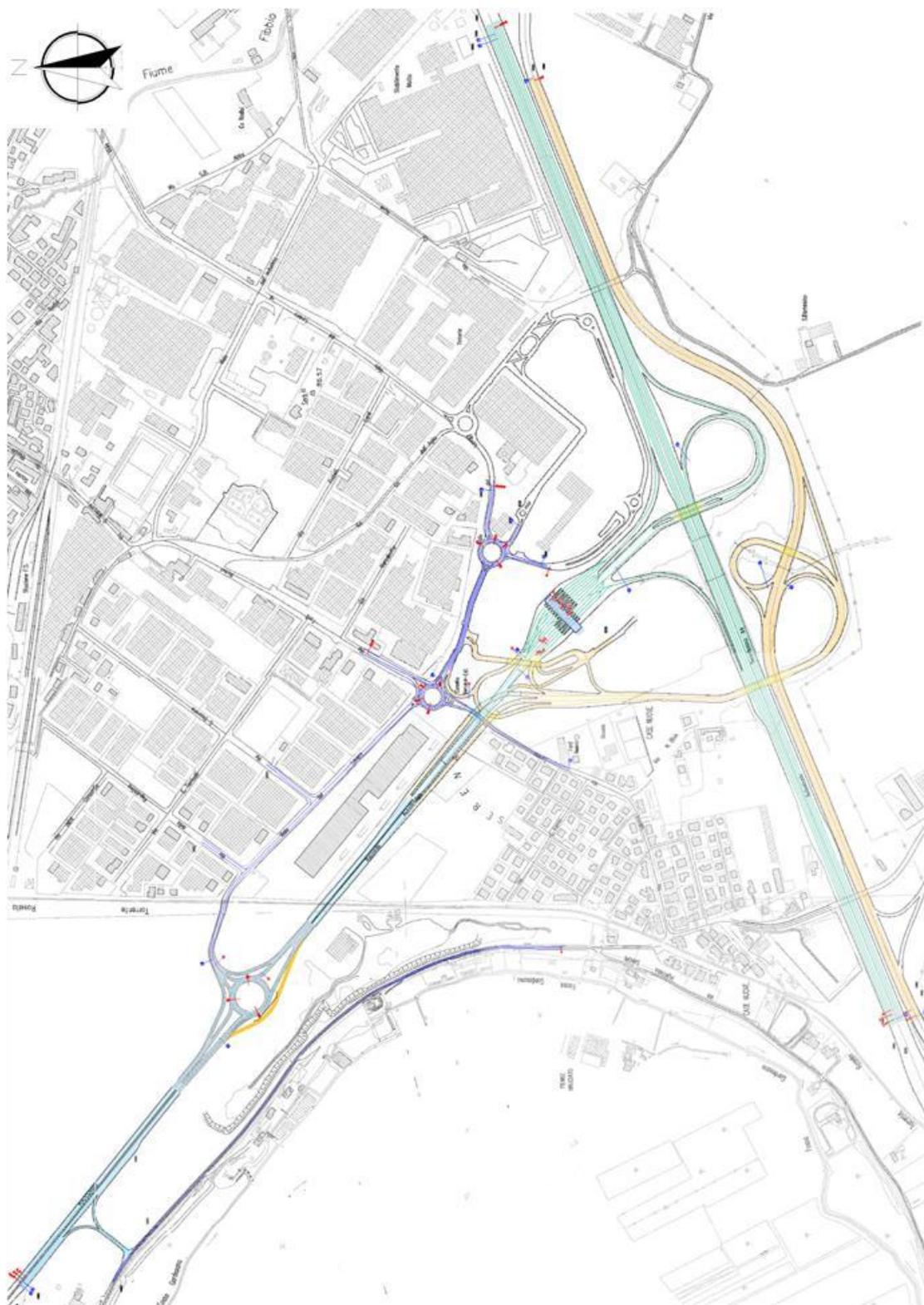


Figura 8.11: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6 dello SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE #1



Figura 8.12: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6 dello SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE #2



Figura 8.13: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6 dello SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE #3

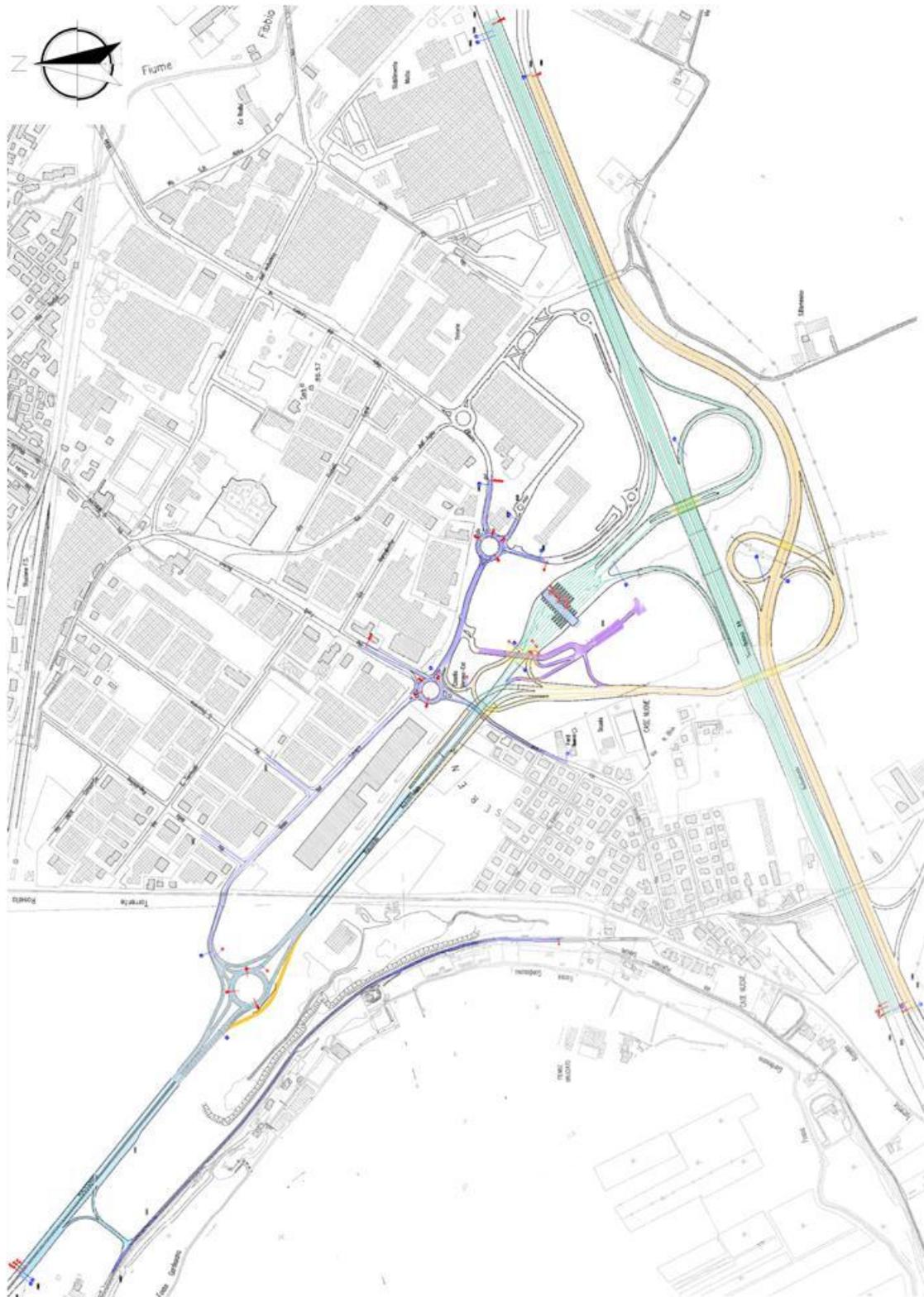


Figura 8.14: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6 dello SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE #4

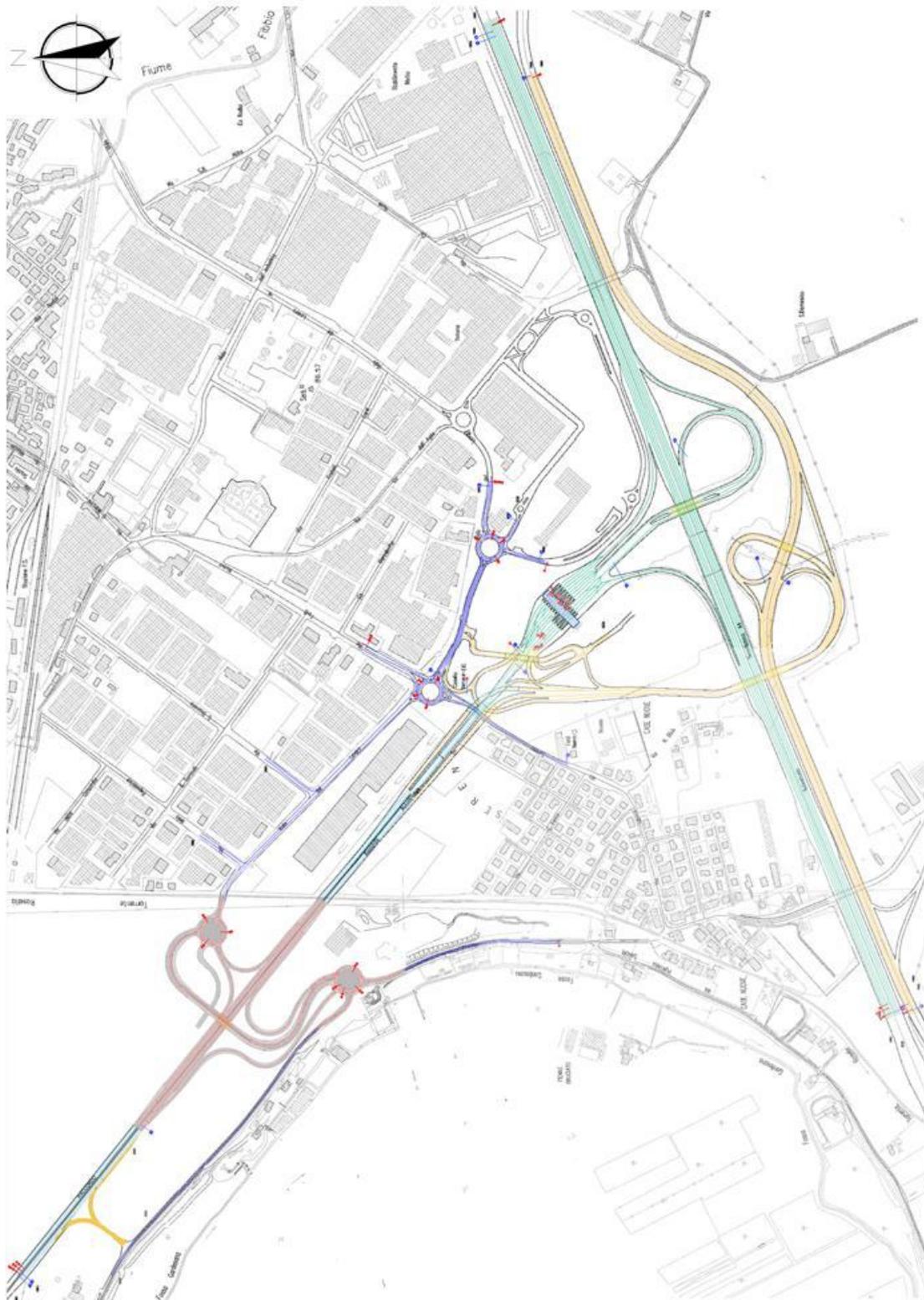


Figura 8.15: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6 dello SCENARIO DI ASSETTO FINALE

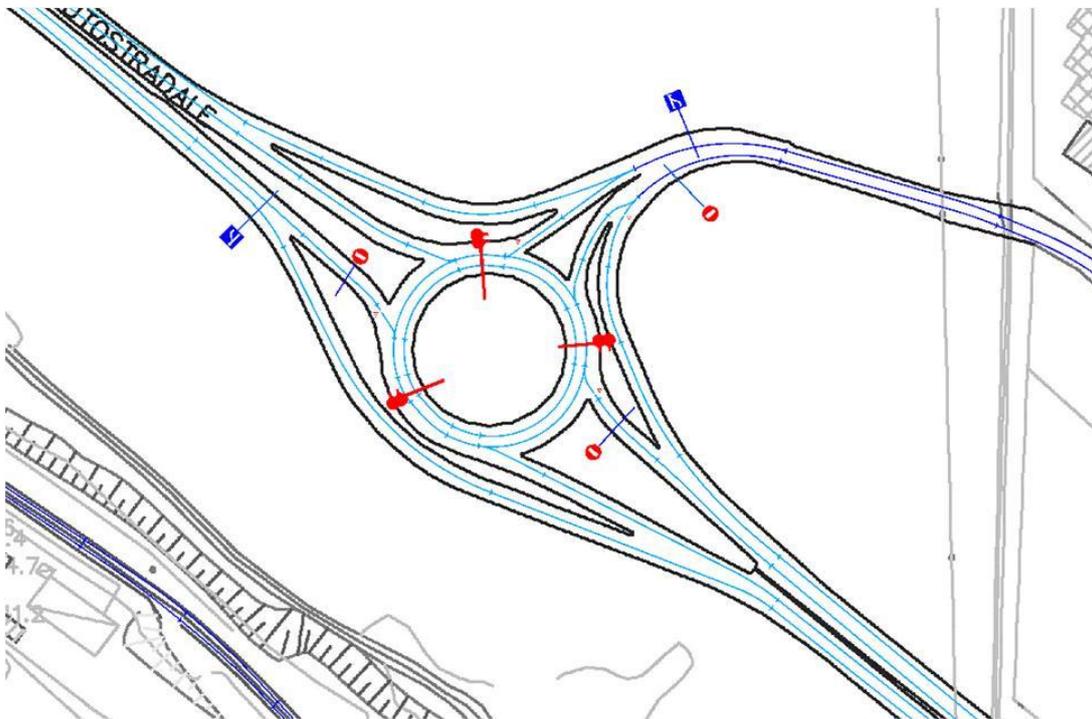
Ad integrazione delle Figure precedenti che visualizzano le rete dei micro modelli di simulazione implementati per ciascuno scenario di analisi, di seguito si riportano alcuni zoom degli elementi peculiari delle reti modellate in cui risultano visibili le traiettorie veicolari, le sezioni di scambio di corsia e i segnali di gestione della circolazione che costituiscono la caratterizzazione funzionale delle rete di micro simulazione stesse. In particolare sono presentate le seguenti immagini di dettaglio.

Zoom della Rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro:

- nella conformazione Attuale
- nell’assetto degli Scenari di cantierizzazione # 1, 2 e 4
- nell’assetto dello Scenario di cantierizzazione # 3
- nell’assetto di Configurazione Finale con nuovo svincolo a livelli sfalsati

Zoom del sistema di rampe di raccordo con Tangenziale:

- nella conformazione Attuale e nell’assetto di Configurazione Finale
- nell’assetto degli Scenari di cantierizzazione # 2 e 4
- nell’assetto dello Scenario di cantierizzazione # 3



**Figura 8.16: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6
Vista di ZOOM della Rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro. SCENARIO ATTUALE**

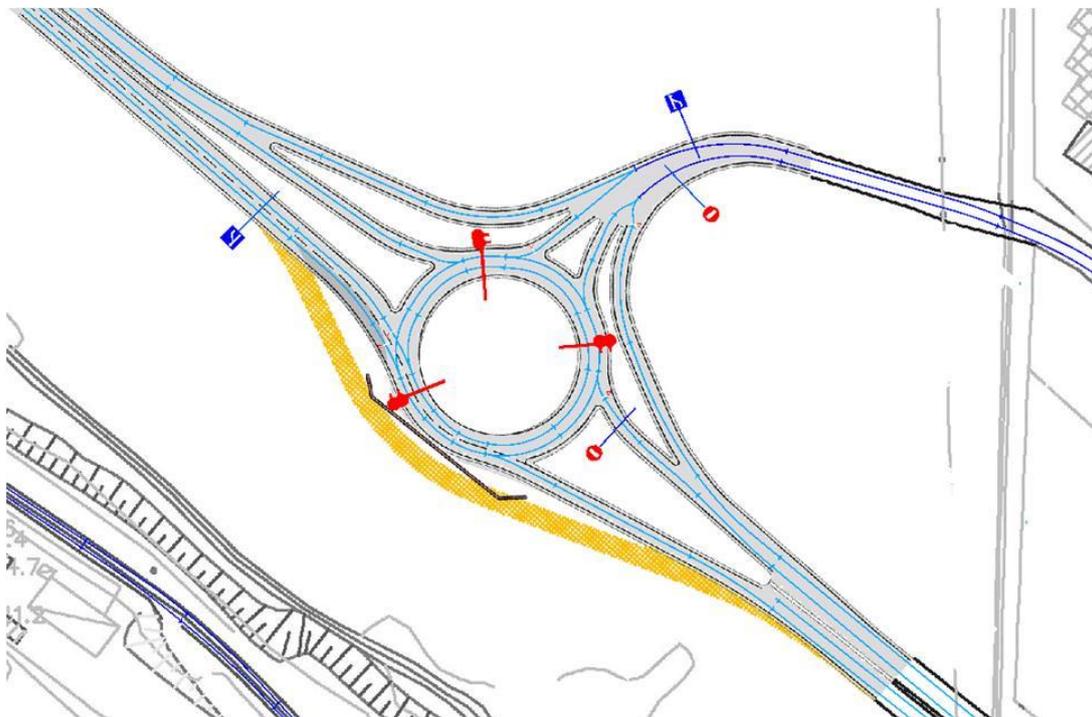


Figura 8.17: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6

Vista di ZOOM della Rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro. SCENARI DI CANTIERIZZAZIONE #° 1, 2 e 4

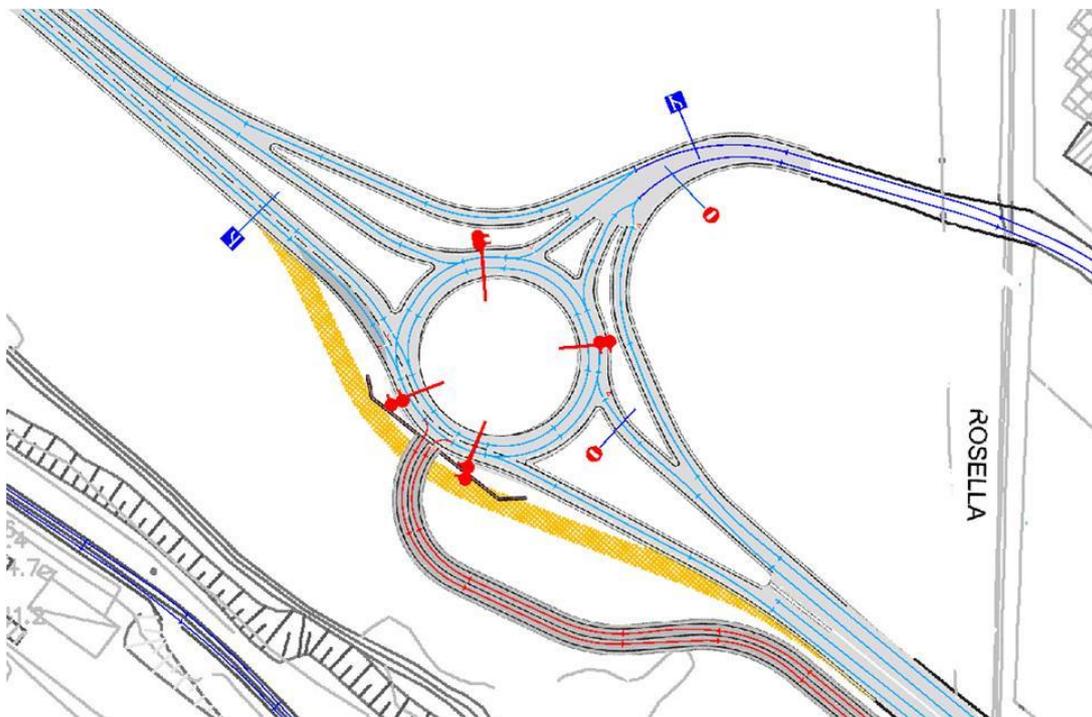
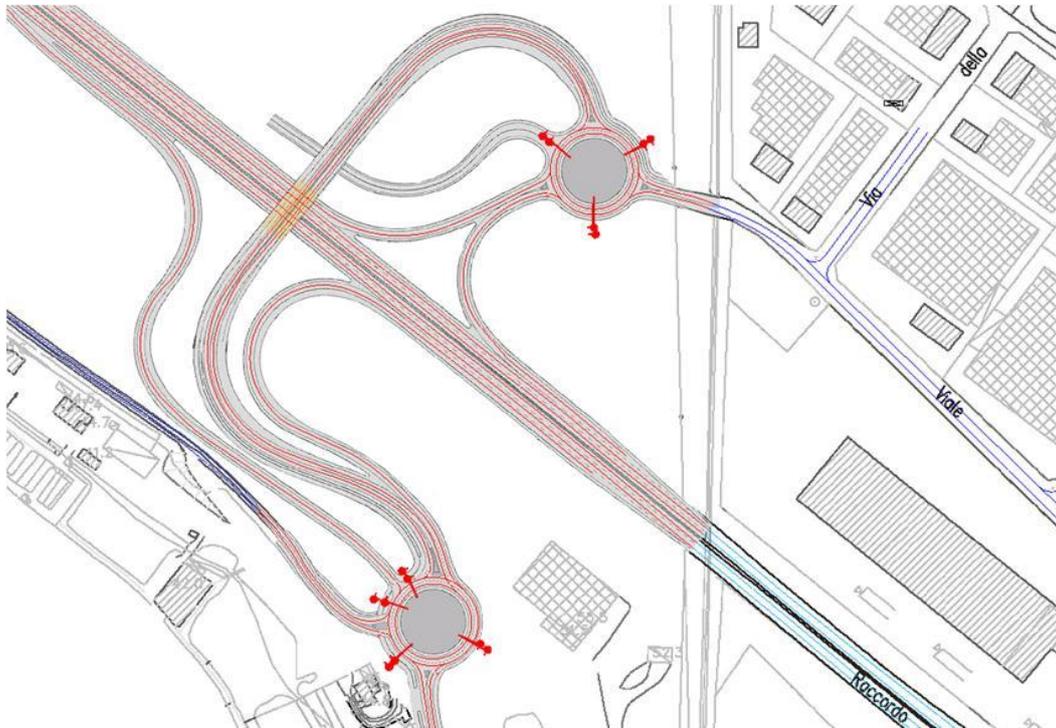
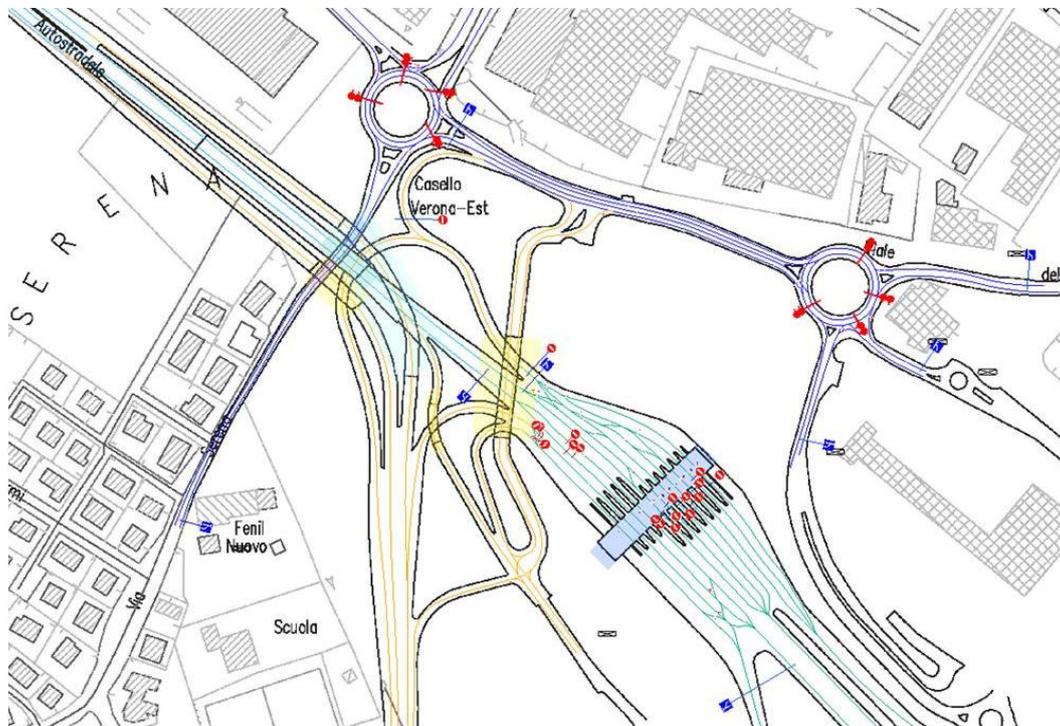


Figura 8.18: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6

Vista di ZOOM della Rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro. SCENARI DI CANTIERIZZAZIONE #° 3



**Figura 8.19: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6
Vista di ZOOM dello svincolo di progetto a livelli sfalsati. SCENARIO DI CONFIGURAZIONE FINALE**



**Figura 8.20: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6
Vista di ZOOM del sistema di rampe di raccordo con Tangenziale. SCENARIO ATTUALE e FINALE**

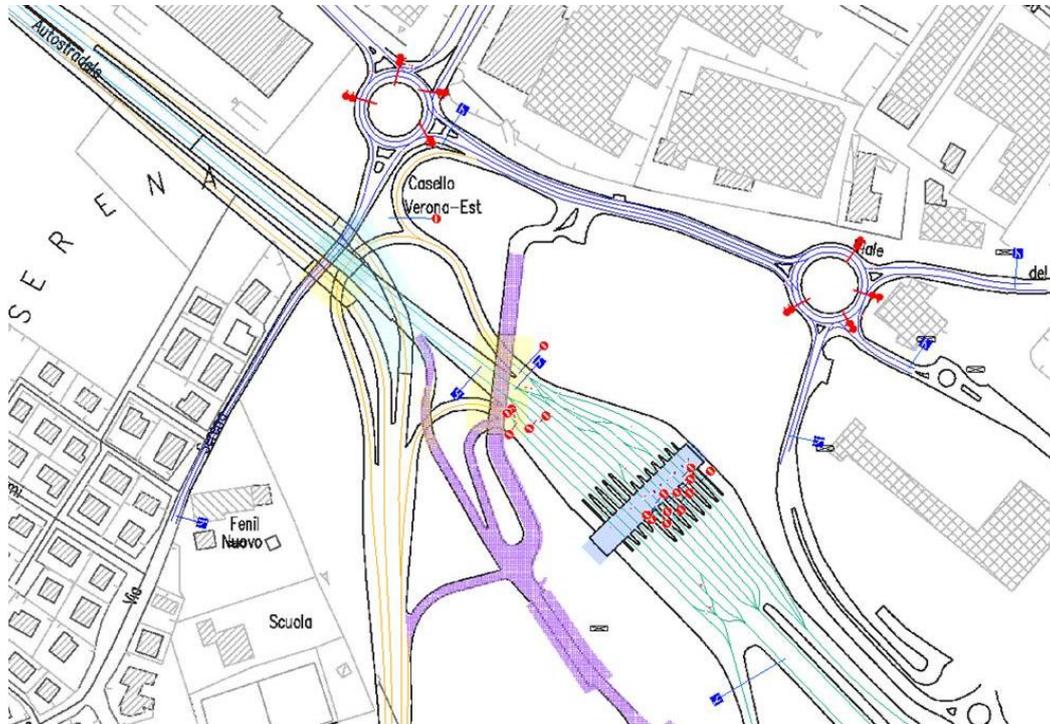


Figura 8.21: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6
Vista di ZOOM del sistema di rampe di raccordo con Tangenziale. SCENARI DI CANTIERIZZAZIONE #° 2 e 4

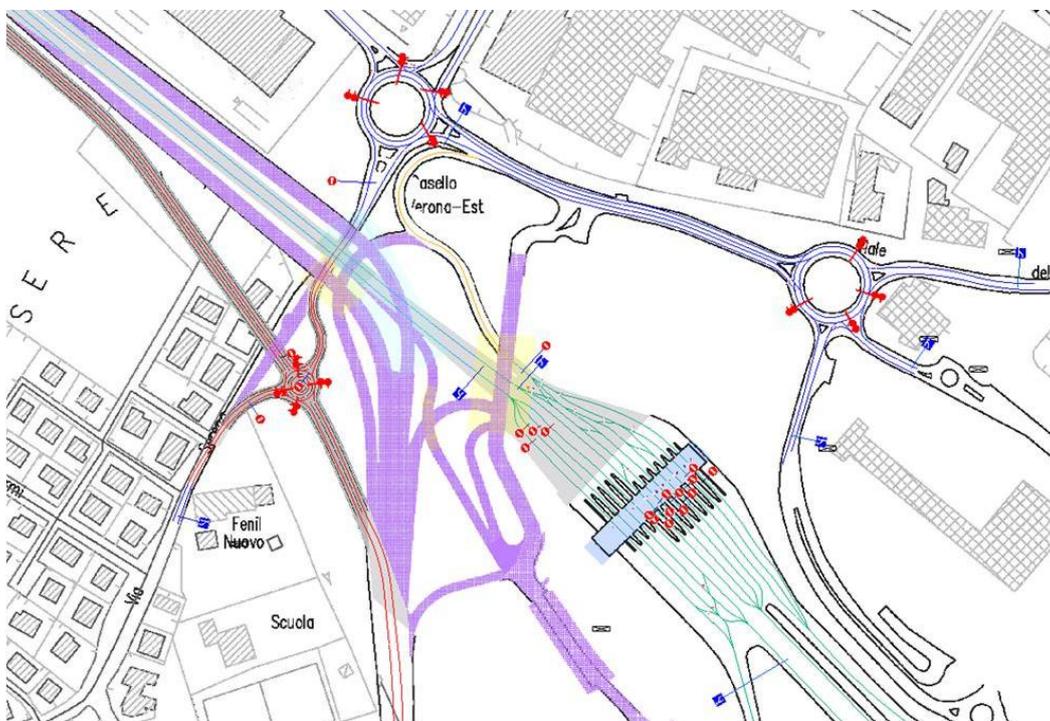


Figura 8.22: Rete di micro simulazione dinamica CUBE DYNASIM 6
Vista di ZOOM del sistema di rampe di raccordo con Tangenziale. SCENARI DI CANTIERIZZAZIONE #° 3

In termini operativi a ciascuna rete di micro simulazione dinamica implementata, quindi per ciascuno dei 6 assetti di rete considerati, l'assetto Attuale, l'assetto di configurazione Finale e i 4 assetti transitori di cantierizzazione, sono state assegnate le due matrici O/D dei movimenti dei veicoli leggeri e pesanti della fascia di punta 8:00 – 9:00 del Giorno Medio Feriale del 2019.

In questo modo si sono ottenute le distribuzioni del traffico veicolare sul nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentative di ciascuno scenario considerato.

Tecnicamente, si evidenzia che sono state effettuate assegnazioni di tipo multirun con 10 iterazioni, utilizzando in ciascuna un valore diverso delle variabili stocastiche in modo da ottenere dei risultati che possano considerarsi statisticamente validi, cioè rappresentativi di un comportamento medio dei veicoli e non di situazioni peculiari.

Nelle figure successive, una per ciascuno scenario analizzato, sono riportate alcune immagini costituite dall'animazione mediante una visualizzazione in 2D dello spostamento dei veicoli all'interno della rete di micro simulazione.

In particolare per ciascuno degli scenari modellati sono presentate:

- una immagine degli spostamenti veicolari sulla rete complessiva di micro simulazione dinamica
- una prima immagine di zoom locale degli spostamenti veicolari nell'intorno della rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro
- una seconda immagine di zoom locale degli spostamenti veicolari nell'intorno delle rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est della A4

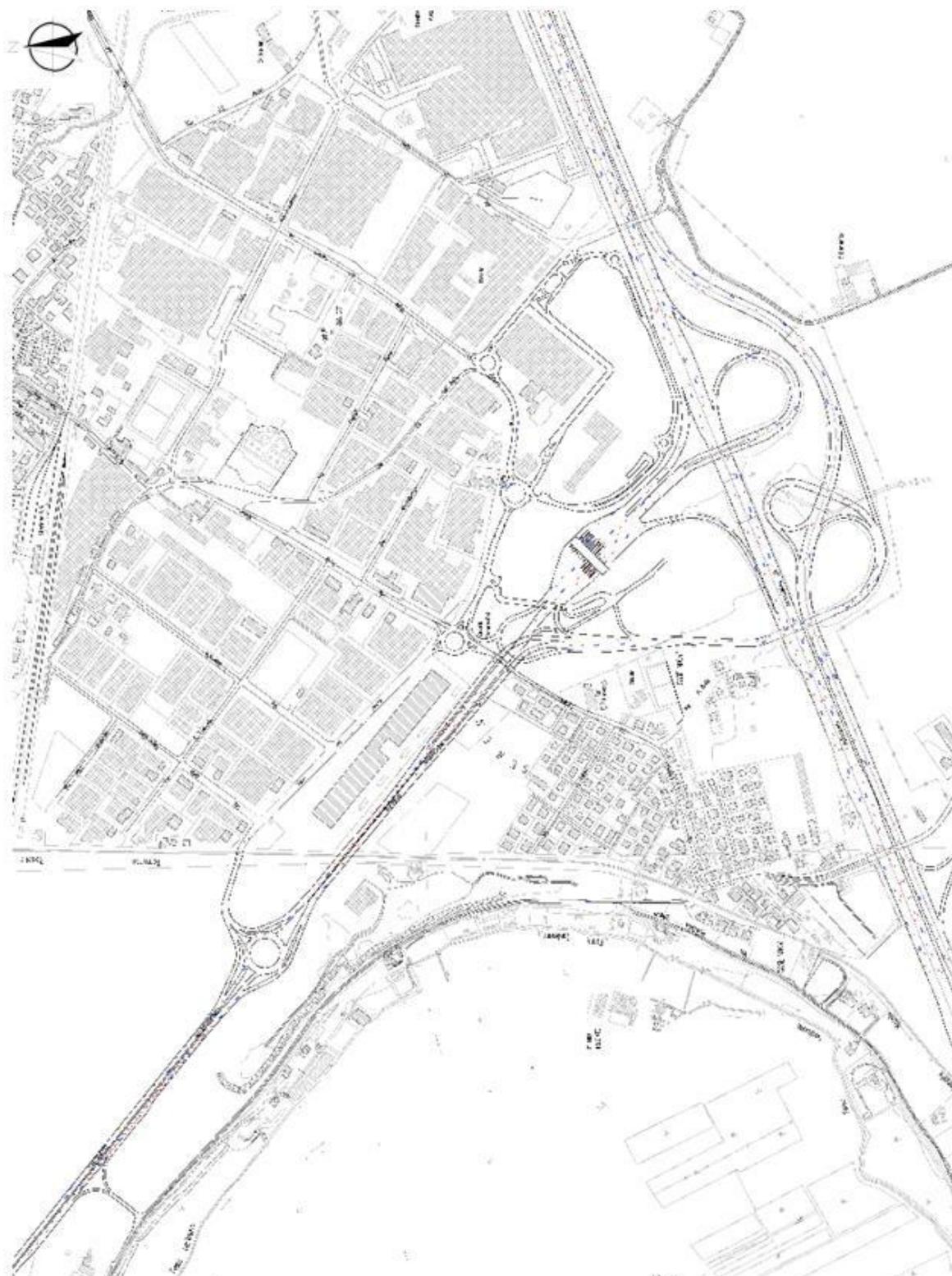


Figura 8.23: SCENARIO ATTUALE – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Vista complessiva

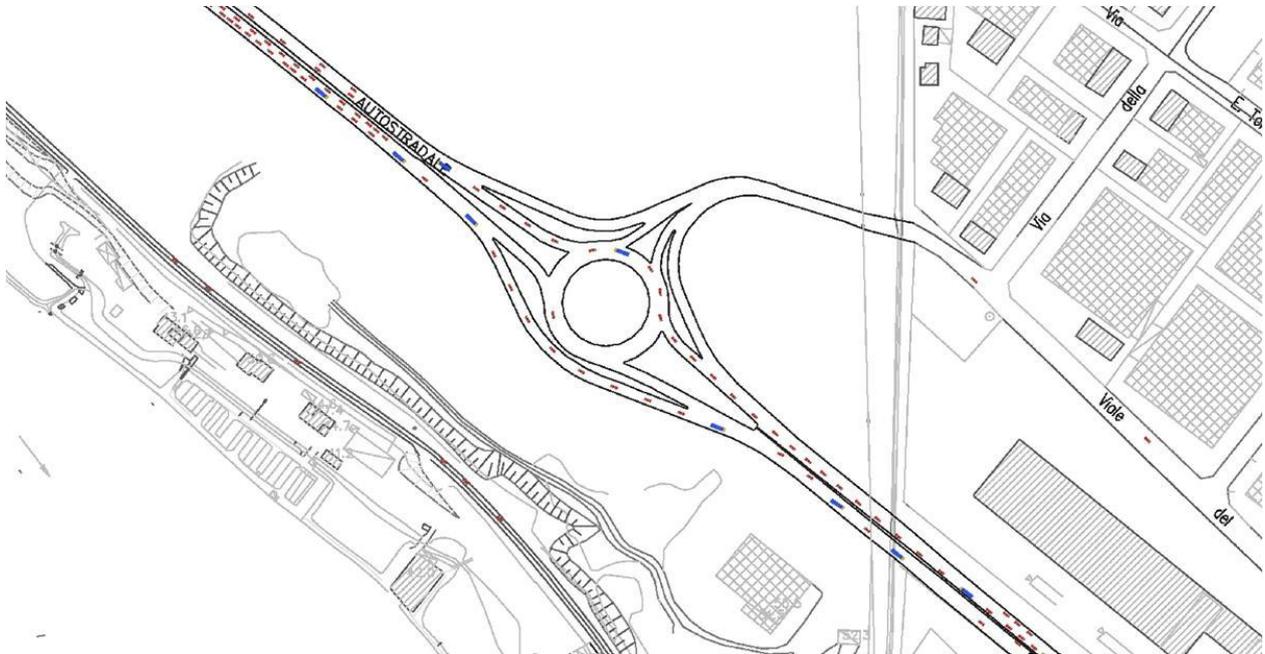


Figura 8.24: SCENARIO ATTUALE – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rotondina Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro

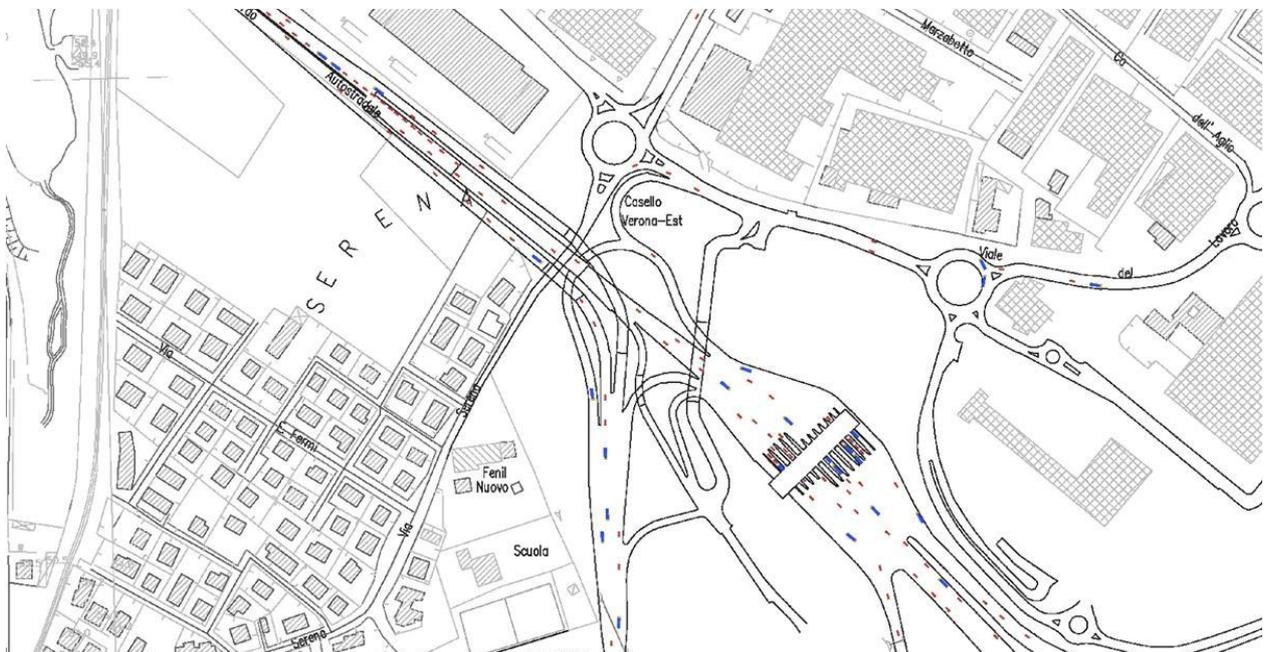


Figura 8.25: SCENARIO ATTUALE – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est

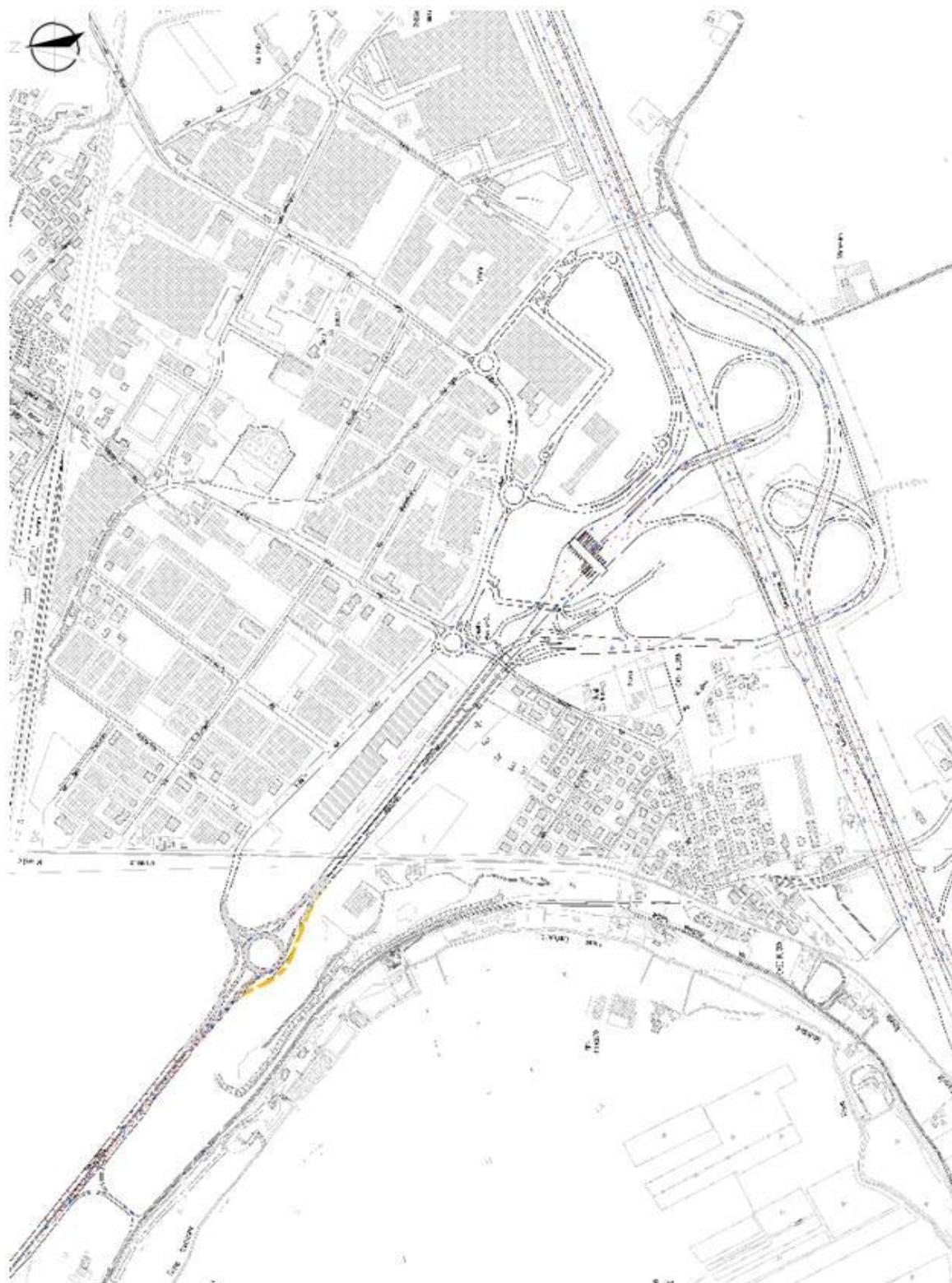


Figura 8.26: SC. CANTIERIZZ. #1 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Vista complessiva



Figura 8.27: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #1 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro

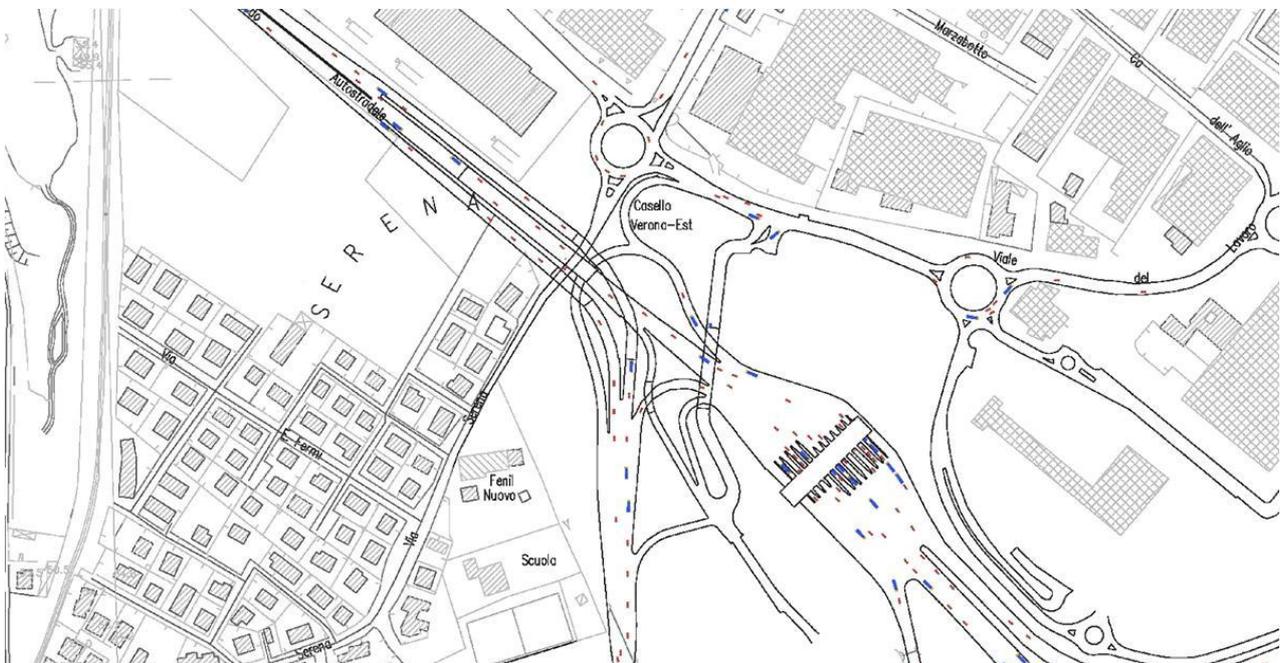


Figura 8.28: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #1 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est

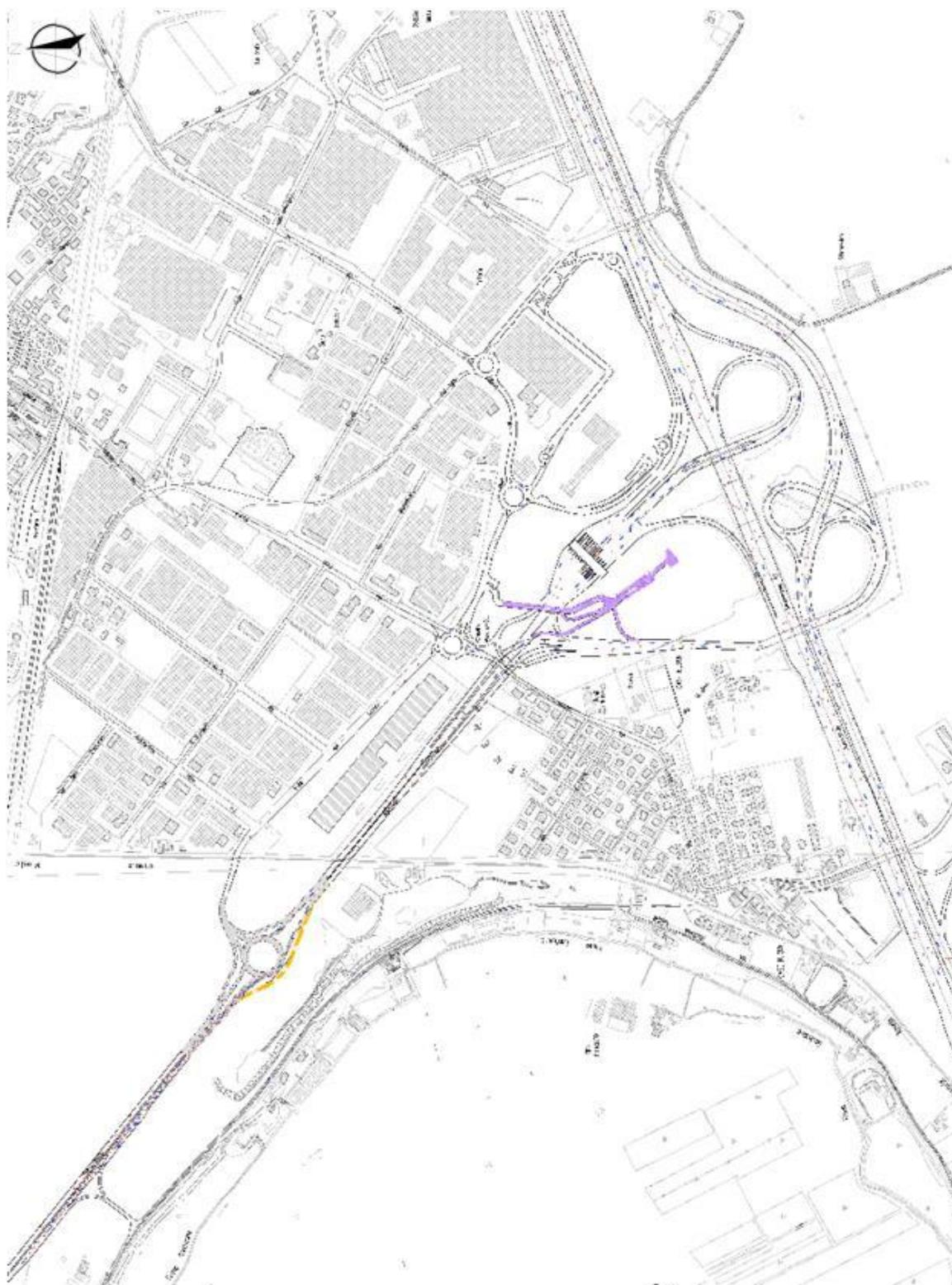


Figura 8.29: SC. CANTIERIZZ. #2 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Vista complessiva



Figura 8.30: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #2 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro

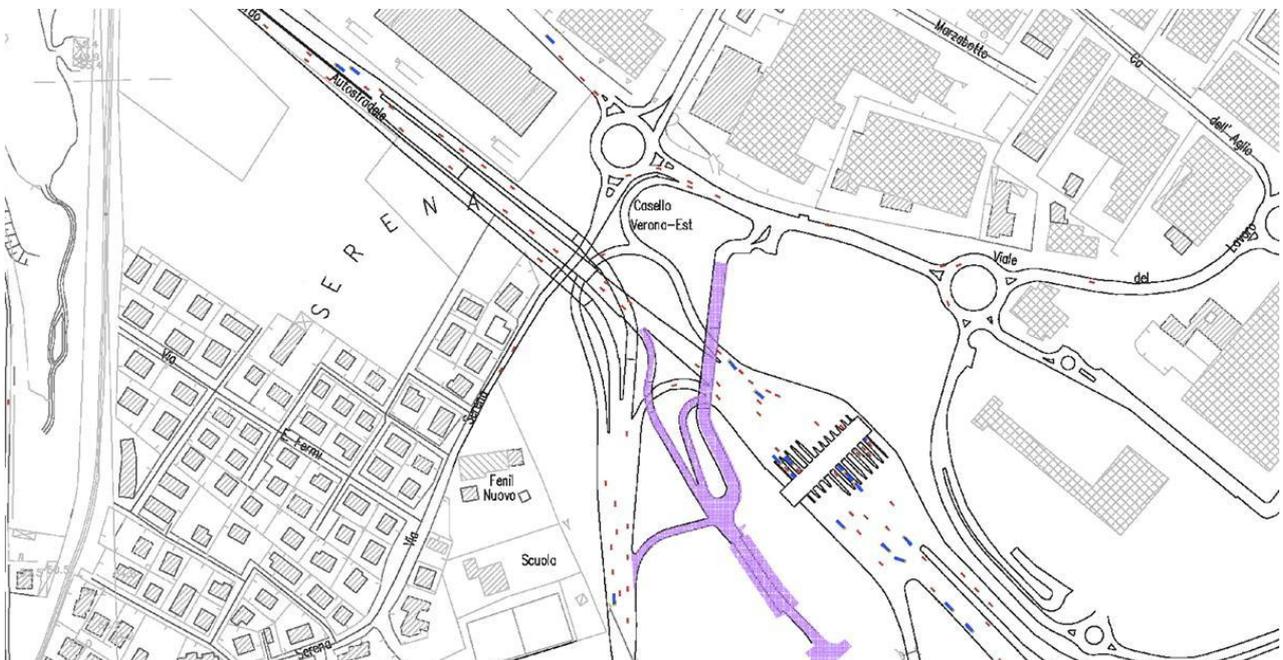


Figura 8.31: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #2 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est

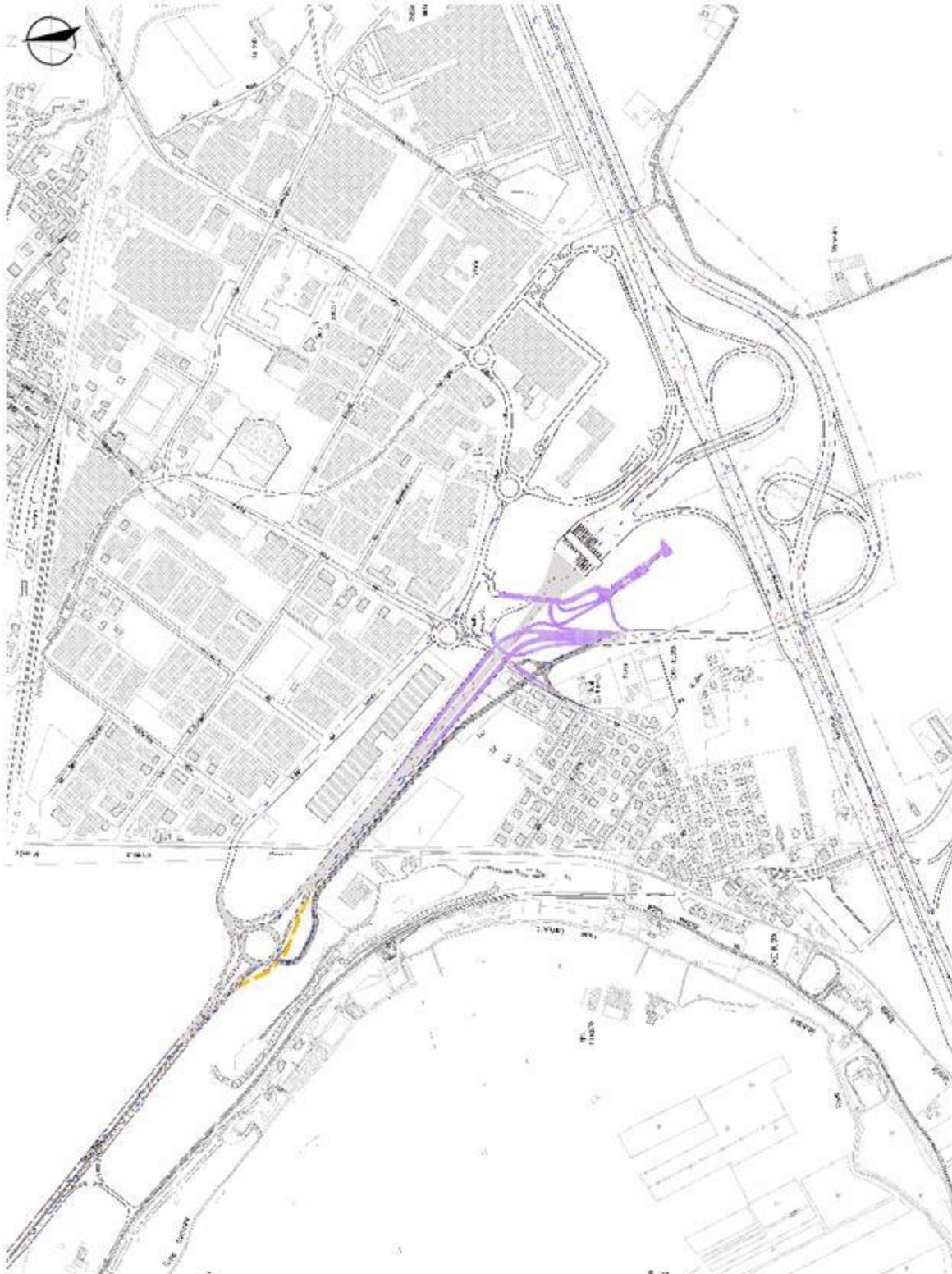


Figura 8.32: SC. CANTIERIZZ. #3 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Vista complessiva



Figura 8.33: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #3 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro

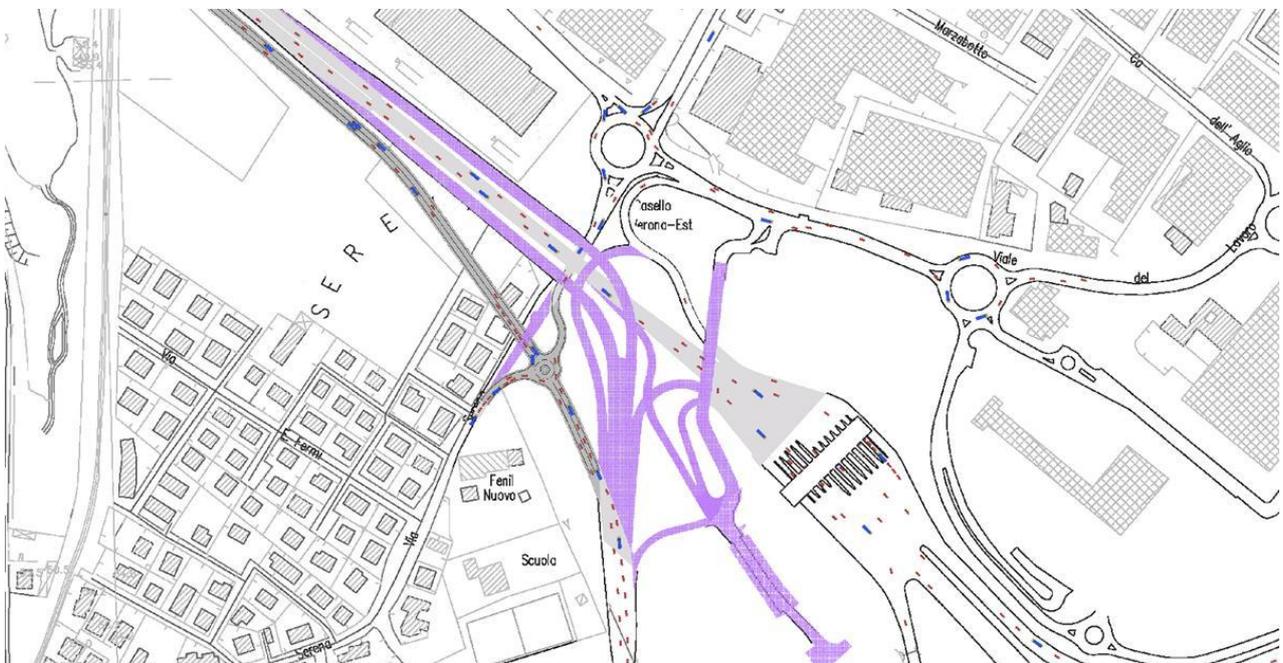


Figura 8.34: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #3 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est

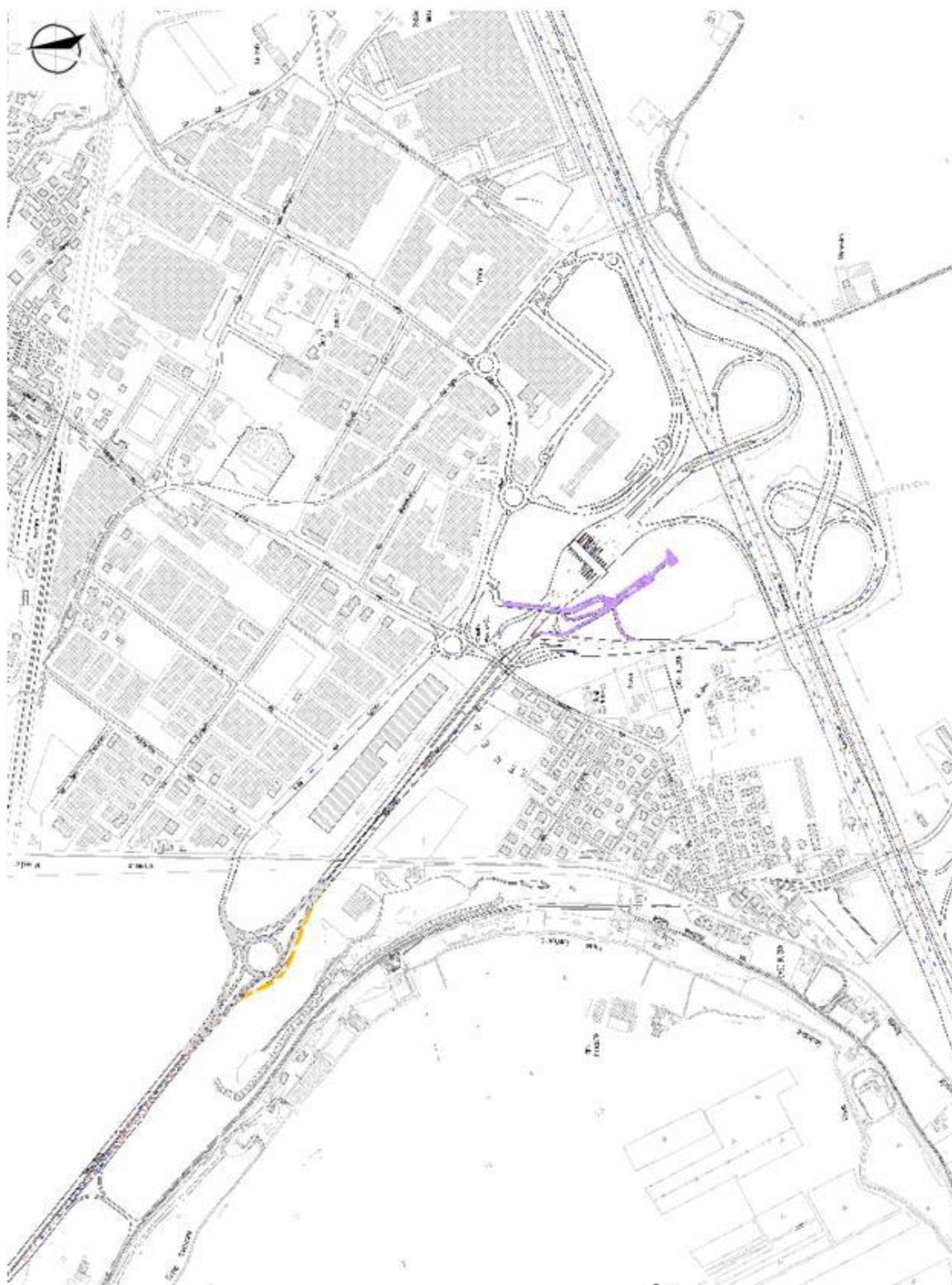


Figura 8.35: SC. CANTIERIZZ. #4 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Vista complessiva



Figura 8.36: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #4 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rotatoria Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro

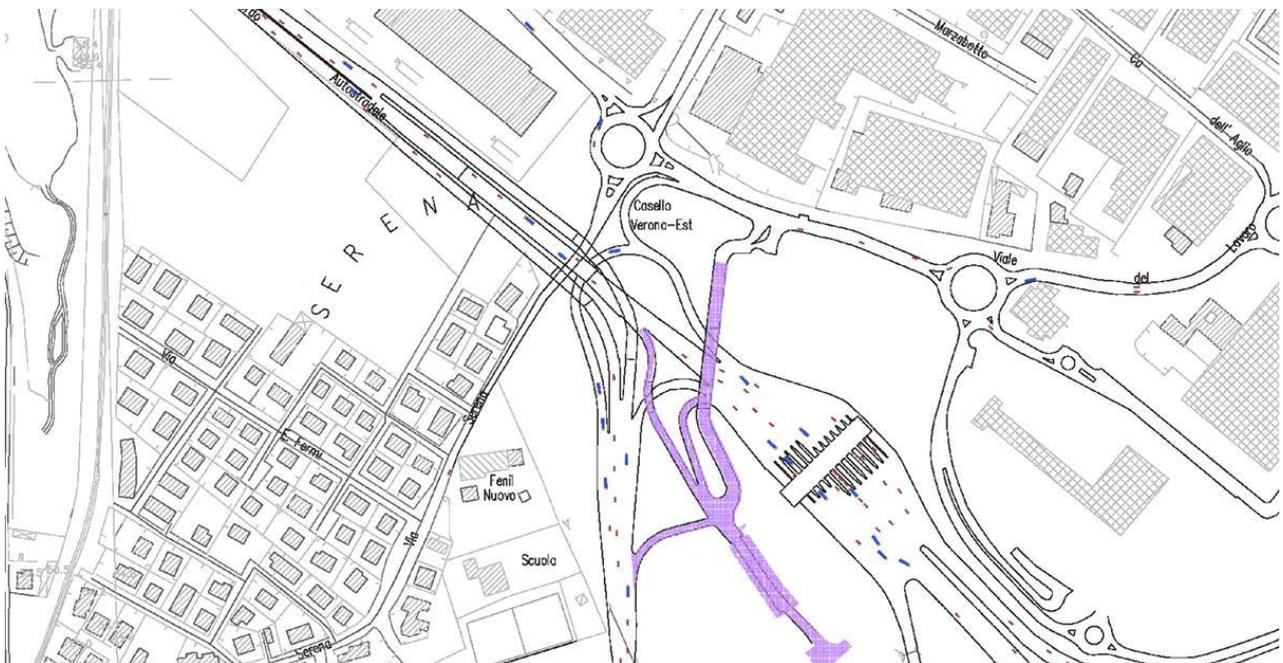


Figura 8.37: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #4 – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est

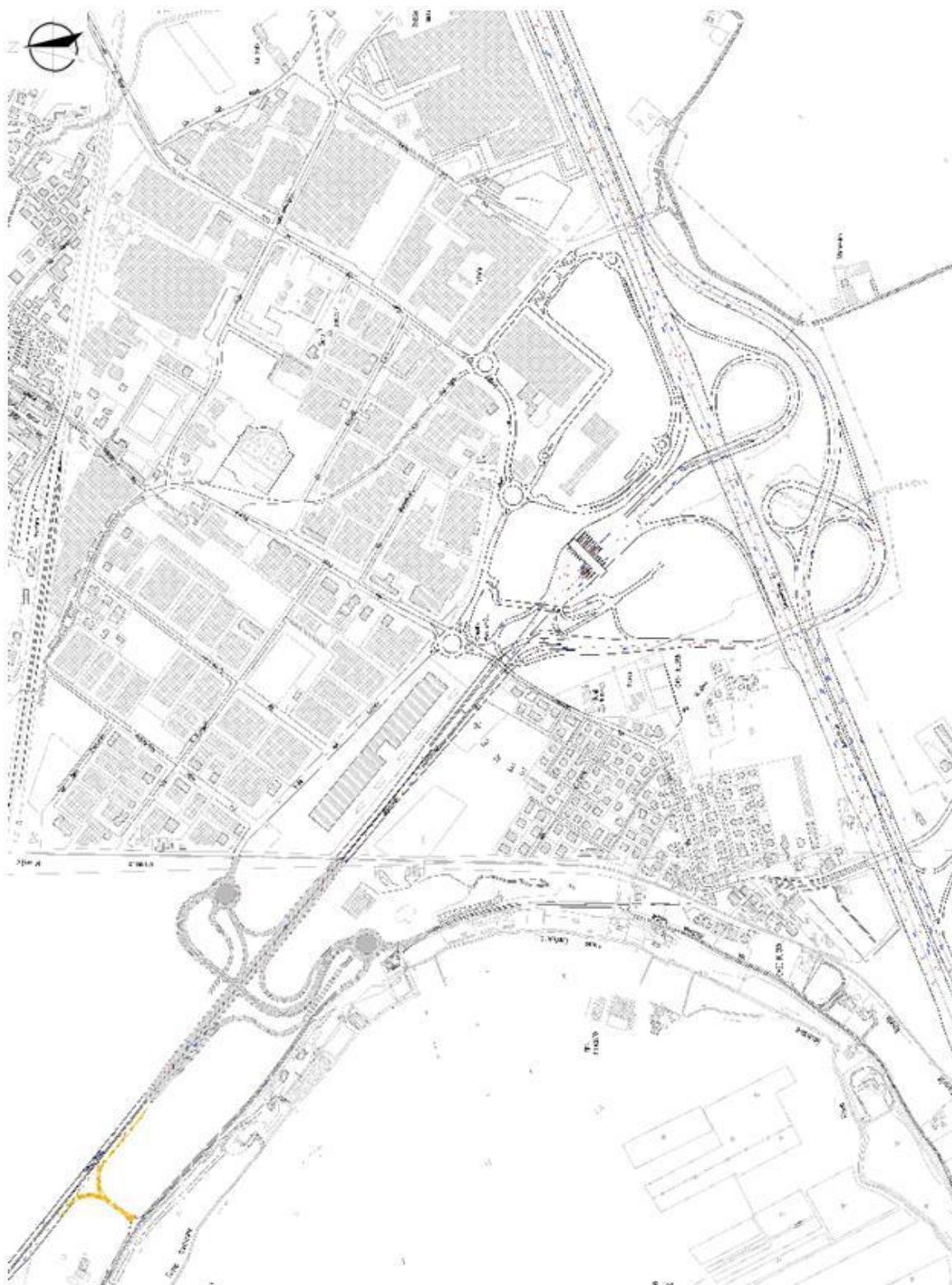


Figura 8.38: SC. CONF. FINALE – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Vista complessiva

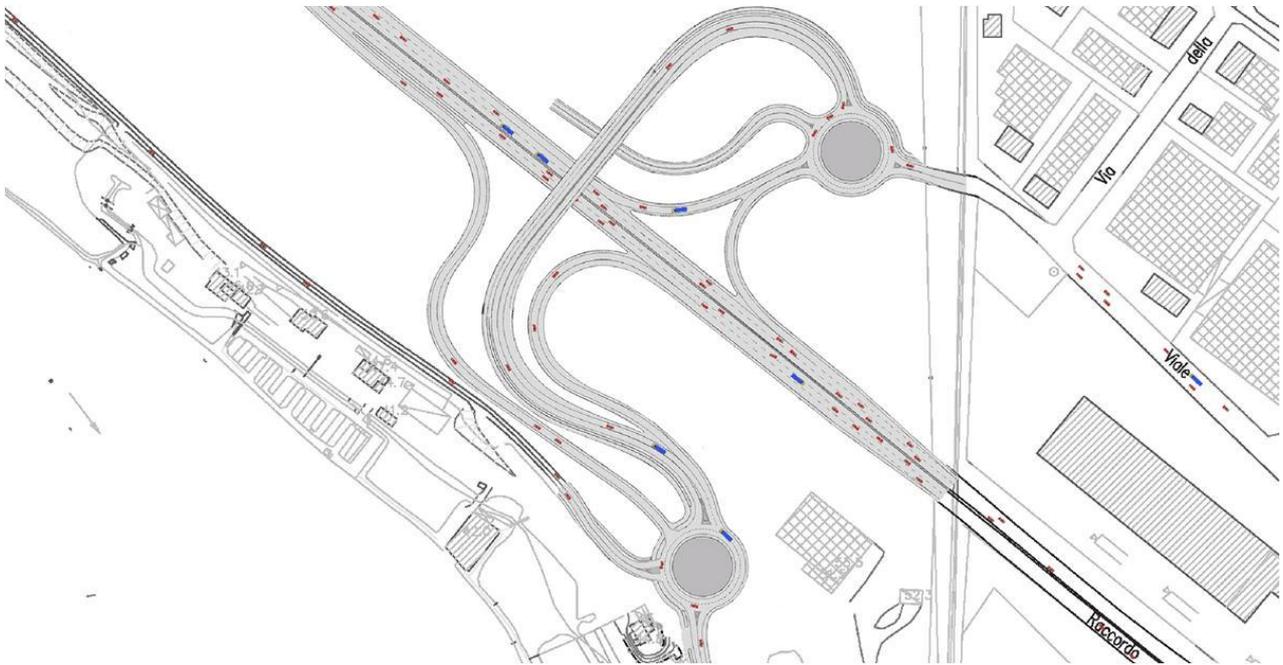


Figura 8.39: SCENARIO CONFIGURAZIONE FINALE – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom svincolo di progetto su due livelli Raccordo Autostradale – Viale del Lavoro

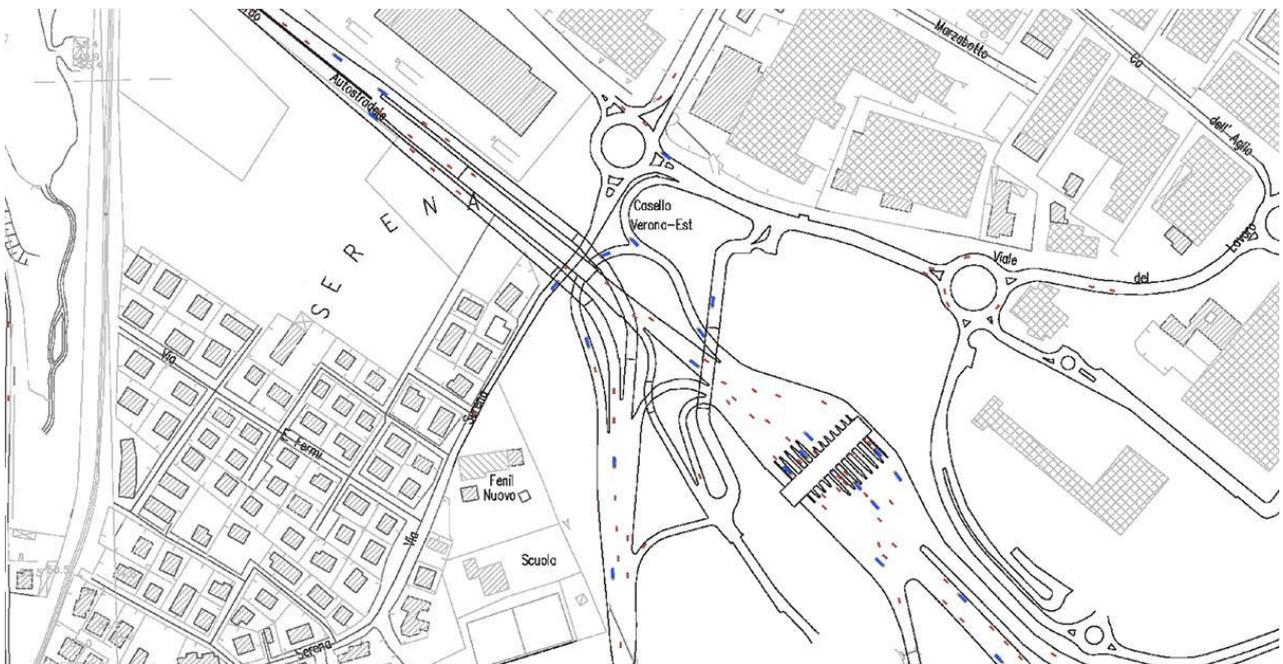


Figura 8.40: CONFIGURAZIONE FINALE – Animazione dinamica micro dinamica CUBE DYNASIM 6 – Zoom rampe di connessione della Tangenziale e del piazzale del casello autostradale di Verona Est

9 VERIFICA DI FUNZIONALITÀ DEL NODO DI VERONA EST

A valle dell'implementazione e running dello scenario modellistico dello stato di fatto, degli scenari transitori rappresentativi delle fasi di cantierizzazione e dello scenario di assetto finale del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est, R&M Associati hanno preceduto, con approccio di analisi comparativa, alla determinazione delle condizioni di deflusso del nodo stesso connesse a ciascun assetto o configurazione di rete presa in esame.

Muovendo direttamente dagli output computazionali di ciascuna micro simulazione dinamica condotta si è proceduto alla determinazione, per ciascuno assetto analizzato, quindi per ciascuno degli scenari di micro simulazione implementati, ad un panel di macro indicatori di sintesi delle performances trasportistiche complessive del sistema.

Tali indicatori sono costituiti:

- dal Tempo medio, espresso in minuti, rappresentato dal tempo medio di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata
- dalla Velocità media, espressa in Km/h, rappresentata dalla velocità media di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata
- dal Ritardo medio, espresso in minuti, costituito dal ritardo medio per utente nell'ora di analisi rispetto alle condizioni di deflusso libero e alla rete di micro simulazione modellata
- dal LOS, Livello di Servizio, dei principali elementi (rotatorie) di cui si compone il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est

Con riferimento ai macro indicatori descritti si specifica che:

- i primi 3 indicatori, quindi la Velocità media, Il Tempo medio e il Ritardo medio, sono parametri indicativi delle condizioni generali di deflusso del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentano considerato nella sua interezza
- l'ultimo indicatore, quindi il Livello di Servizio delle rotatorie presenti nel sistema, è un parametro di valutazione delle condizioni di deflusso di tipo "puntuale"

Il confronto tra i valori assunti dagli indicatori descritti per ciascuno scenario transitorio di cantierizzazione rispetto ai valori che caratterizzano lo stato di fatto consente, come detto in termini di analisi comparativa, di determinare l'impatto sulle condizioni di deflusso del nodo nel corso della presenza dei cantieri.

9.1 LE CONDIZIONI DI DEFLUSSO VEICOLARE DEL NODO DI VERONA EST

Le risultanze ottenute con riferimento ai primi 3 macro indicatori considerati, quindi quelli rappresentativi delle condizioni generali di deflusso del nodo, sono riportate nella successiva tabella sinottica.

In particolare si sono riportati i valori assoluti per tutti gli scenari e, assumendo la logica dell'analisi comparativa, le differenze assolute e percentuali per tutti gli scenari rispetto allo Scenario Attuale che costituisce, come detto, il termine di riferimento dell'analisi comparativa.

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	5,55	32,06	1,82
SCENARIO CANT. 1	6,10	30,28	2,39
SCENARIO CANT.2	6,38	29,62	2,64
SCENARIO CANT.3	7,45	27,16	3,46
SCENARIO CANT.4	6,38	29,62	2,64
SCENARIO CONF. FINALE	3,88	40,02	0,32

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	-	-	-
SCENARIO CANT. 1	0,55	-1,78	0,57
SCENARIO CANT.2	0,83	-2,44	0,82
SCENARIO CANT.3	1,90	-4,90	1,64
SCENARIO CANT.4	0,83	-2,44	0,82
SCENARIO CONF. FINALE	-1,67	7,96	-1,50

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	-	-	-
SCENARIO CANT. 1	10%	-6%	31%
SCENARIO CANT.2	15%	-8%	45%
SCENARIO CANT.3	34%	-15%	90%
SCENARIO CANT.4	15%	-8%	45%
SCENARIO CONF. FINALE	-30%	25%	-82%

Tabella 9.1: Condizioni di deflusso del Nodo di VERONA EST
Macro indicatori di performance trasportistica – Confronto tra Scenari
Valori Assoluti, Differenza assoluta rispetto allo Scenario Attuale e Differenza percentuale

La disamina dei valori assunti dai macro indicatori riportati nella Tabella 9.1 consente di effettuare le seguenti considerazioni di sintesi.

Risultanze generali

L'impatto generale connesso alle fasi di cantierizzazione per i lavori necessari alla costruzione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza risulta, grazie agli interventi previsti per la risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00, trasportisticamente sostenibile; ad eccezione dello Scenario di cantierizzazione # 3 che risulta quello di maggiore impatto, negli Scenari di cantierizzazione # 1, 2 e 4 i valori assunti dai macro indicatori delle performance di rete non evidenziano significativi scadimenti rispetto alla situazione ante operam cioè allo Scenario Attuale.

Con specifico riferimento alle variazioni del macro indicatore Ritardo medio si evidenzia come i valori percentuali calcolati, superiori a quelli che caratterizzano sia il Tempo medio che la Velocità media di rete, siano da mettersi in relazione con il valore stesso assunto dal Ritardo medio nello scenario Attuale che è decisamente contenuto: muovendo da questa situazione di partenza è evidente che anche scostamenti numericamente piccoli del Ritardo medio negli scenari di cantierizzazione danno luogo a variazioni percentuali elevate.

Scenari di cantierizzazione #1, 2 e 4

Per questi scenari transitori i valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete passano da valori pari a 5,55 minuti e 32,06 km/h dello Scenario Attuale a valori, rispettivamente per gli Scenari di cantierizzazione # 1, 2 e 4, pari a 6,10 minuti e 30,28 km/h (scenario #1) e pari a 6,38 minuti e 29,62 km/h (scenari #2 e 4). In termini percentuali le variazioni rispetto allo Scenario Attuale si attestano su valori del +10% e -6% come Tempo Medio e Velocità Media di rete per lo Scenario di cantierizzazione #° 1 e +15% e -8% come Tempo Medio e Velocità Media di rete per gli Scenari di cantierizzazione #° 2 e 4.

Scenario di cantierizzazione #3

Lo Scenario di Cantierizzazione # 3 è quello caratterizzato dal maggiore impatto per la collettività; è durante questa fase transitoria in cui viene interrotta la circolazione sulle rampe di connessione della Tangenziale e nel P.M. che si registrano i maggiori scostamenti dei macro indicatori di nodo rispetto ai valori che caratterizzano lo stato di fatto: i valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete si attestano a 7,45 minuti e 27,16 km/h con variazioni pari a +1,90 minuti (+34%) e -4,90 km/h (-15%).

Tale risultanza può comunque essere considerata ancora accettabile soprattutto se contestualizzata nel funzionamento e ruolo del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est che,

come evidenziato nel Capitolo 7, risulta interessato nella fascia oraria 8:00 – 9:00 del Giorno Feriale Medio, complessivamente, da circa 5'000 movimenti veicolari totali di cui circa 2'300, quasi la metà, sono rappresentati dai flussi di traffico da/per la Tangenziale e considerando che si tratta di una situazione transitoria. E' evidente che la possibilità di mantenere attive le relazioni dirette di mobilità tra il Raccordo Autostradale e l'Autostrada A4 nelle due direzioni di percorrenza consente di contenere i disagi per la collettività che altrimenti sarebbero di ben altro livello di significatività.

Scenario di Configurazione Finale

Infine si ritiene fondamentale evidenziare come nell'assetto definitivo del Nodo stradale ed Autostradale di Verona Est, quindi considerando l'assetto post operam o Scenario di Configurazione Finale, i valori dei macro indicatori presentino significativi miglioramenti rispetto alla situazione attuale: i valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete si attestano a 3,88 minuti e 40,02 km/h con variazioni pari a -1,67 minuti (-30%) e +7,96 km/h (+25%) rispetto allo Scenario Attuale prefigurando, a lavori ultimati, un evidente miglioramento delle condizioni di deflusso per la collettività.

Tale risultanza va messa direttamente in connessione con la separazione delle correnti veicolari del Raccordo Verona Est da/per l'Autostrada A4 e la Tangenziale rispetto alle correnti veicolari del Raccordo Verona Est da/per l'area Industriale/Commerciale di Vale del Lavoro attraverso la riconfigurazione dell'attuale rotonda nel futuro sistema a livelli sfalsati come chiaramente evidenziato nella successiva Figura.

Anche senza l'implementazione di una vera e propria Analisi Costi – Benefici dell'intervento di realizzazione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona- Bivio Vicenza, risulta evidente, sulla base delle risultanze ottenute, che l'impatto temporaneo della soluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 risulterebbe ampiamente controbilanciato sull'arco temporale di vita dell'infrastruttura (40 anni) dai risparmi nei tempi di percorrenza della collettività (-30% nella sola ora di punta della mattina rispetto allo stato di fatto) dovuti alla configurazione finale del Nodo stradale e autostradale di Verona Est.

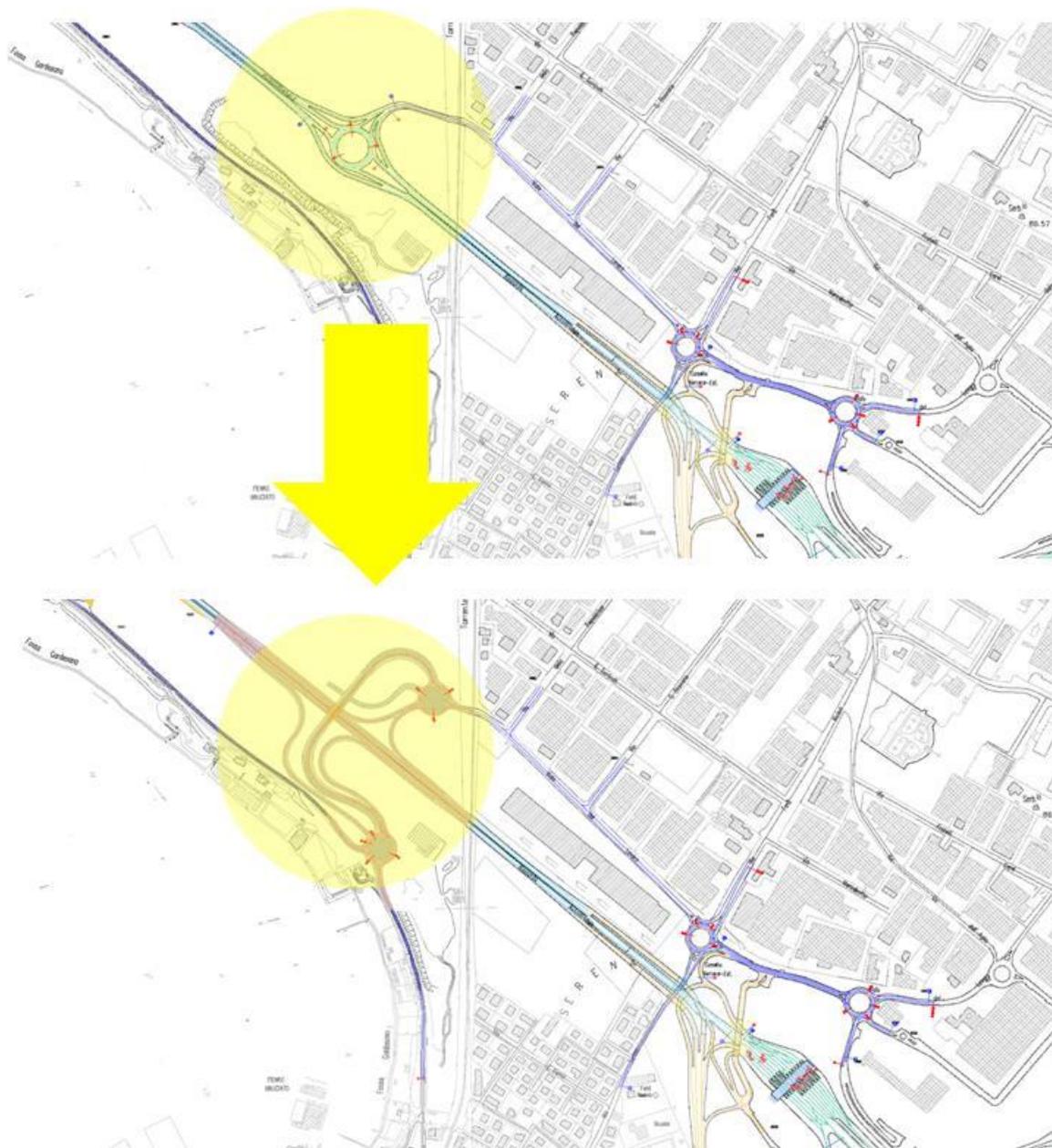


Figura 9.2: Confronto assetto attuale e configurazione finale dell'intersezione sul Raccordo Verona Est la gestione delle relazioni di scambio con Autostrada A4, Tangenziale e zona Industriale/Commerciale di Viale del Lavoro

9.2 LE CONDIZIONI DI DEFLUSSO PUNTUALI DELLE ROTATORIE DEL NODO DI VERONA EST

Le risultanze ottenute dalle micro simulazioni dinamiche effettuate sono state utilizzate per la verifica di sostenibilità trasportistica puntuale delle rotatorie che caratterizzano la rete viaria complessiva del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est.

Con riferimento quindi a tutti gli scenari analizzati R&M Associati hanno proceduto, secondo la logica di analisi comparativa precedentemente citata, all'analisi puntuale delle condizioni di deflusso che caratterizzano ciascuna rotatoria presente negli assetti di sistema considerati.

Le due Figure successive evidenziano tutte le rotatorie analizzate in termini di funzionalità trasportistica.



Figura 9.3: Rotatorie oggetto di verifica di funzionalità. Assetto Attuale, assetti di Cantierizzazione e Assetto di configurazione Finale

Sono state quindi prese in esame complessivamente 6 intersezioni a rotatoria:

- la rotatoria “A” lungo il Raccordo Autostradale/Viale del Lavoro che risulta presente in tutti gli scenari analizzati a meno della configurazione finale
- la rotatoria “B” lungo Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo che risulta presente in tutti gli scenari analizzati
- la rotatoria “C” lungo Viale del Lavoro/Via dell’Informatica/Via del Commercio che risulta presente in tutti gli scenari analizzati
- la rotatoria “D” lungo Via Serena che risulta presente unicamente nello scenario transitorio di cantierizzazione #°3
- le rotatorie di progetto “E” e “F” che risultano presenti solamente nello scenario di Configurazione Finale

La Tabella successiva visualizza per ciascuna rotatoria la collocazione all’interno degli scenari modellistici di analisi.

SCENARIO	ROTATORIE					
	Rotatoria A	Rotatoria B	Rotatoria C	Rotatoria D	Rotatoria E	Rotatoria F
SCENARIO ATTUALE	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 1	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 2	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ.3	✓	✓	✓	✓	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 4	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO ASSETTO DEF.	-	✓	✓	-	✓	✓

Tabella 9.4: Collocazione delle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est sistema all’interno degli scenari modellistici di analisi

In termini operativi, i parametri di output forniti dai modelli di micro simulazione implementati per ciascuno dei 6 scenari analizzati hanno permesso di eseguire una verifica funzionale con determinazione del Livello di Servizio (LOS) per ciascuna delle 6 rotatorie del sistema complessivo.

Il calcolo è stato effettuato sulla base delle indicazioni contenute nell’edizione 2016 dell’Highway Capacity Manual a proposito delle intersezioni, ossia considerando la definizione del LOS come funzione del ritardo medio di ogni veicolo rispetto alle condizioni di flusso libero.

Il Livello di Servizio è stato identificato a partire dal valore ottenuto per il ritardo medio, in considerazione dei range proposti dall'HCM per le intersezioni non semaforizzate a rotatoria:

- LOS A: ritardo medio per veicolo minore di 10 sec
- LOS B: ritardo medio per veicolo compreso tra 10 e 15 sec
- LOS C: ritardo medio per veicolo compreso tra 15 e 25 sec
- LOS D: ritardo medio per veicolo compreso tra 25 e 35 sec
- LOS E: ritardo medio per veicolo compreso tra 35 e 50 sec
- LOS F: ritardo medio per veicolo maggiore di 50 sec

Con riferimento alla classificazione indicata dall'HCM si precisa che:

- i Livelli di Servizio A e B rappresentano condizioni di deflusso ottimale dell'intersezione in cui non si riscontrano condizioni di criticità né puntuali né diffuse
- il livello di Servizio C individua situazioni caratterizzate da condizioni di deflusso ancora accettabili, soprattutto se riferite alle fasce orarie di maggiore intensità del traffico, e caratterizzate dalla possibile presenza, per limitati archi temporali, di criticità puntuali
- il Livello di Servizio D rappresenta condizioni di deflusso al limite dell'accettabilità e caratterizzate dall'insorgere di fenomeni di accodamento veicolare in corrispondenza di alcuni rami di adduzione alle rotatorie; condizioni di funzionamento a LOS D potrebbero ancora essere accettate per situazioni peculiari di funzionamento dell'intersezione e temporalmente limitate
- i Livelli di Servizio E ed F rappresentano condizioni di deflusso non accettabili e caratterizzate, progressivamente, da rilevanti fenomeni di accodamento veicolare con l'insorgere di criticità sia puntuali sia, nei peggiori casi, diffuse.

Mutuando le indicazioni dell'HCM, si precisa che il ritardo medio, e quindi il Livello di Servizio, è stato calcolato per ciascuna rotatoria analizzata sulle le rampe in cui il deflusso veicolare potrebbe incontrare rallentamenti in ragione della presenza di una componente "di disturbo" cioè di un flusso veicolare cui dare precedenza prima di impegnare l'anello circolatorio.

Nelle Figure successive sono visualizzate le rampe, quindi le correnti veicolari, considerate per la determinazione del ritardo medio e del relativo Livello di Servizio.

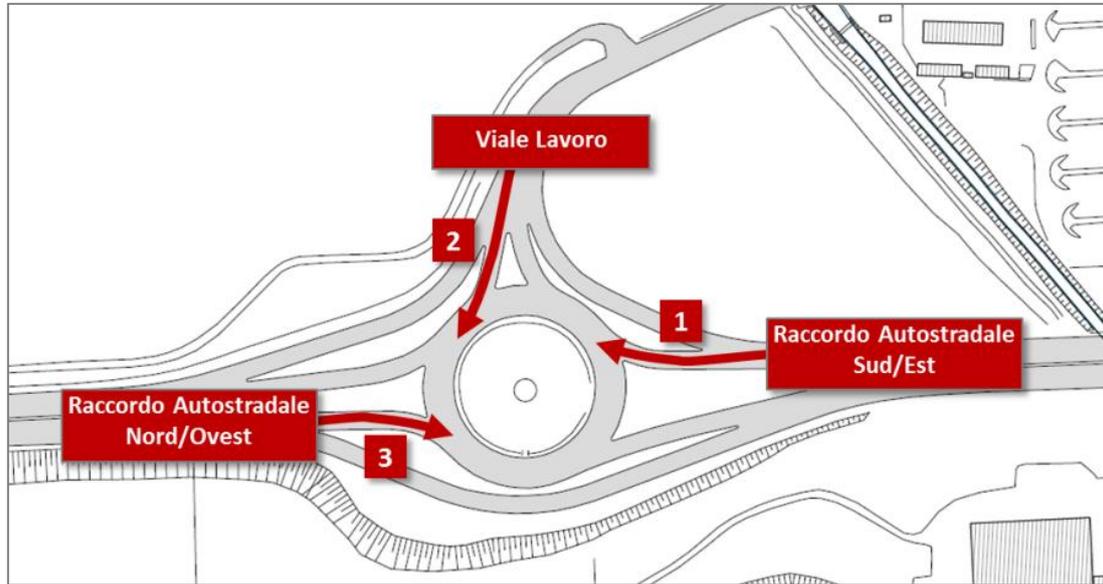


Figura 9.5: Rotatoria A – rampe/correnti veicolari oggetto di calcolo del ritardo medio/LOS



Figura 9.6: Rotatoria B – rampe/correnti veicolari oggetto di calcolo del ritardo medio/LOS

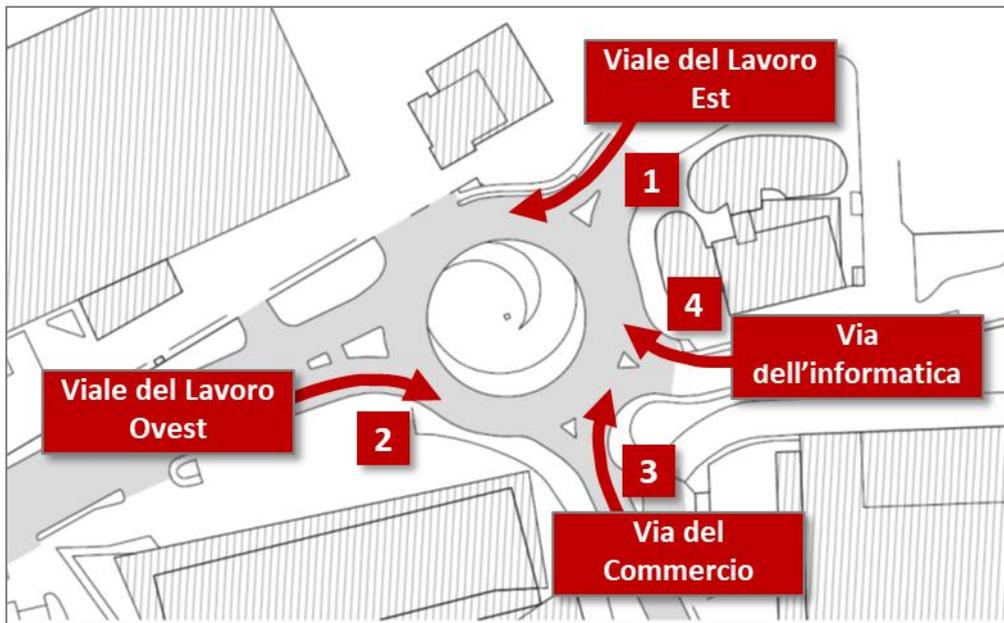


Figura 9.7: Rotatoria C – rampe/correnti veicolari oggetto di calcolo del ritardo medio/LOS

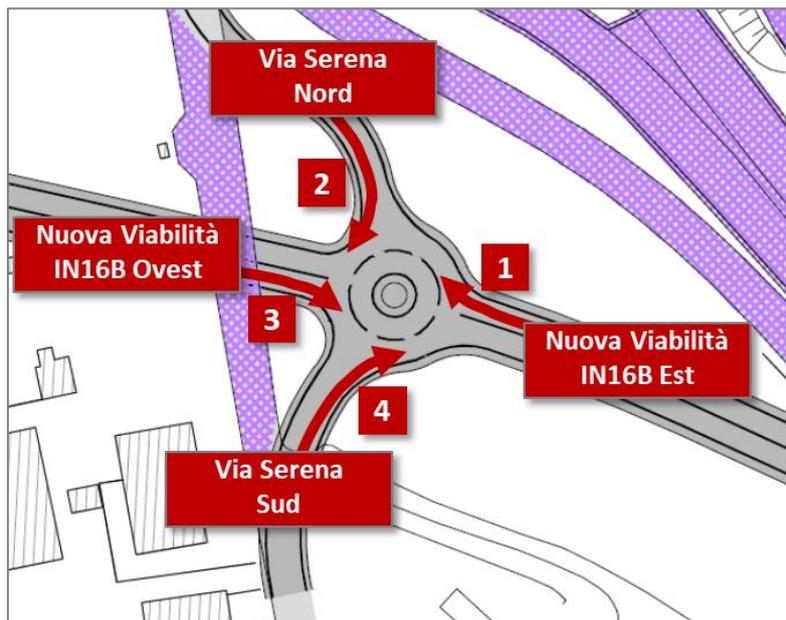


Figura 9.8: Rotatoria D – rampe/correnti veicolari oggetto di calcolo del ritardo medio/LOS

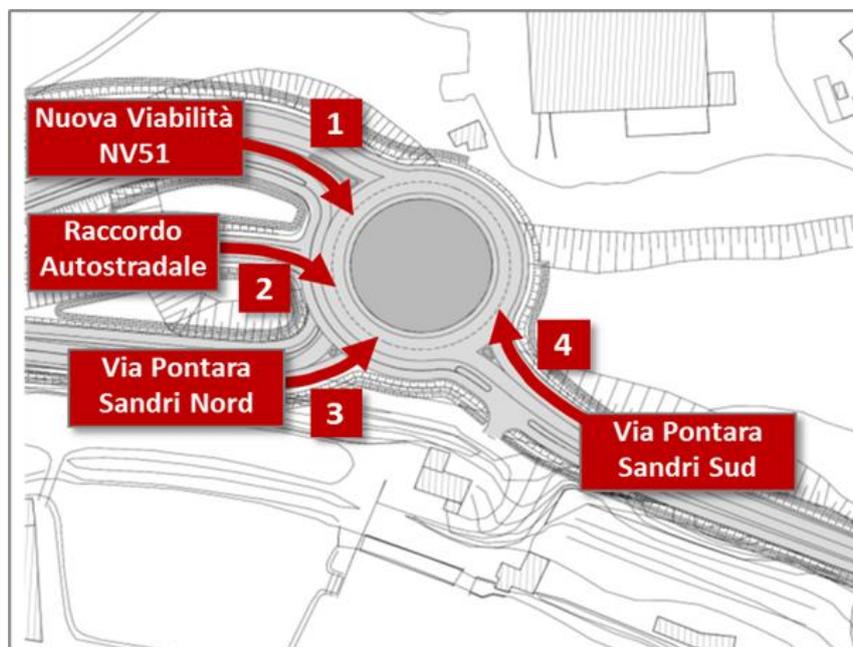


Figura 9.9: Rotatoria E – rampe/correnti veicolari oggetto di calcolo del ritardo medio/LOS

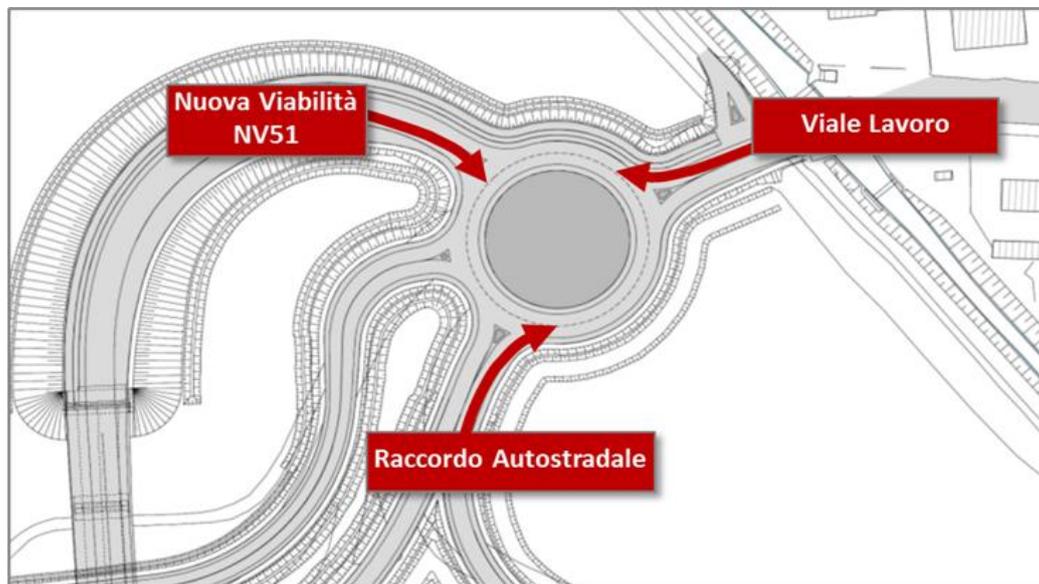
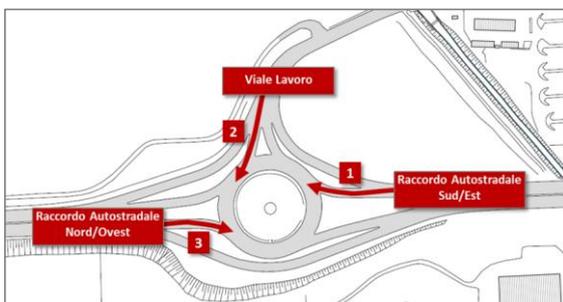


Figura 9.10: Rotatoria F – rampe/correnti veicolari oggetto di calcolo del ritardo medio/LOS

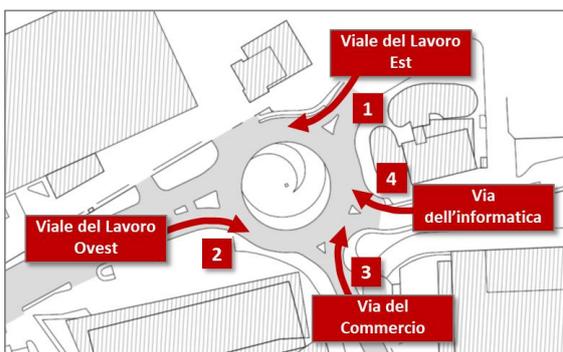
Nelle successive Tabelle sinottiche sono riportate le risultanze ottenute dal calcolo dei Livelli di Servizio per le rotatorie che risultano in esercizio per ciascuno dei 6 scenari o assetti di domanda/offerta analizzati mediante micro simulazione modellistica.



ROTATORIA A: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIALE LAVORO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	1.161	238	19,12	C
2	71	1.177	13,99	B
3	238	71	1,00	A
TOTALE	1.470		15,94	C



ROTATORIA B: VIALE LAVORO/FENIL NOVO/SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	317	243	1,34	A
2	178	386	1,86	A
3	222	131	1,51	A
4	255	306	1,85	A
TOTALE	972		1,61	A



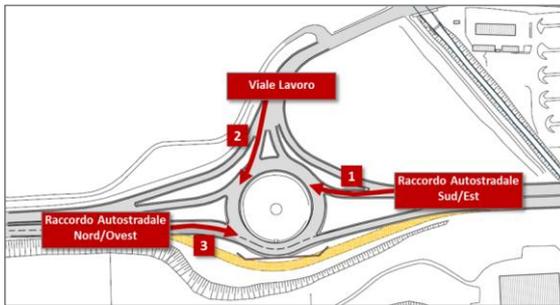
ROTATORIA C: VIALE LAVORO/INFORMATICA/COMMERCIO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	282	65	1,07	A
2	448	30	0,69	A
3	4	390	2,55	A
4	11	367	1,97	A
TOTALE	745		0,86	A

LOS, Level of Service

Range di LOS per ritardo (espresso in secondi) – intersezioni a rotatoria



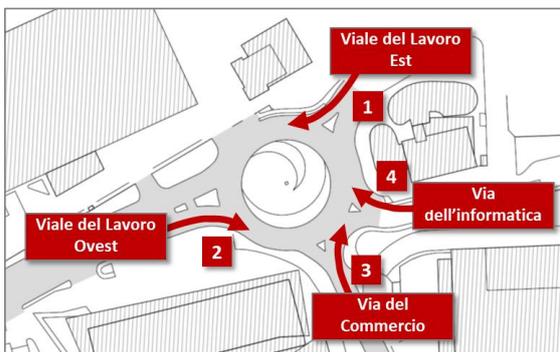
Tabella 9.11: SCENARIO ATTUALE – LOS delle rotatorie presenti nel Nodo di Verona Est



ROTATORIA A: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIALE LAVORO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	1.161	238	19,45	C
2	71	1.177	14,74	B
3	2.219	71	29,54	D
TOTALE	3.451		25,84	D



ROTATORIA B: VIALE LAVORO/FENIL NOVO/SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	317	243	1,50	A
2	178	386	1,88	A
3	222	131	1,43	A
4	255	306	1,62	A
TOTALE	972		1,58	A



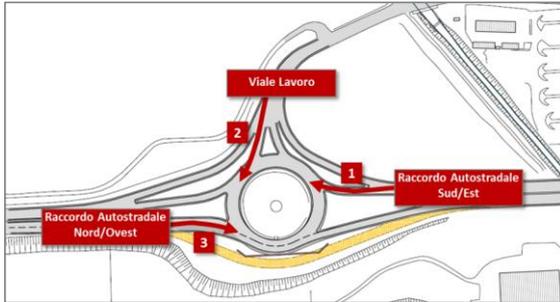
ROTATORIA C: VIALE LAVORO/INFORMATICA/COMMERCIO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	282	65	1,01	A
2	448	30	0,71	A
3	4	390	1,85	A
4	11	367	1,18	A
TOTALE	745		0,84	A

LOS, Level of Service

Range di LOS per ritardo (espresso in secondi) – intersezioni a rotatoria



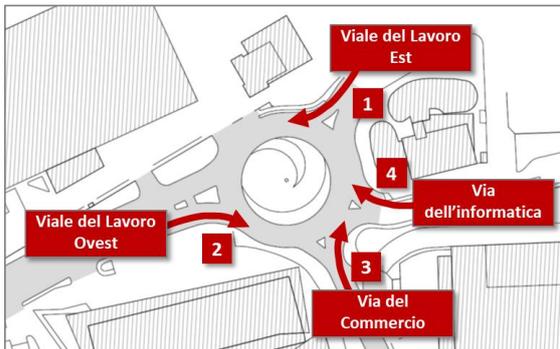
Tabella 9.12: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #1 – LOS delle rotatorie presenti nel Nodo di Verona Est



ROTATORIA A: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIALE LAVORO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	1.161	238	19,60	C
2	158	1.177	19,44	C
3	2.219	158	32,32	D
TOTALE	3.538		27,57	D



ROTATORIA B: VIALE LAVORO/FENIL NOVO/SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	290	280	1,72	A
2	178	396	1,79	A
3	334	54	1,40	A
4	255	341	2,06	A
TOTALE	1.057		1,71	A



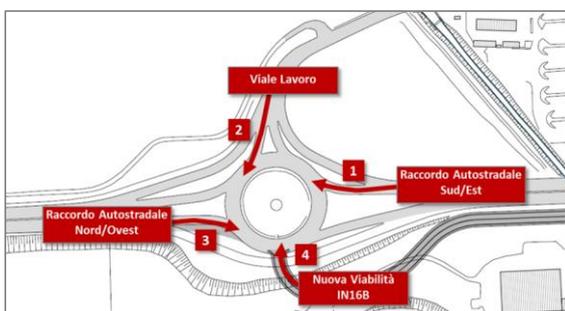
ROTATORIA C: VIALE LAVORO/INFORMATICA/COMMERCIO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	282	38	0,52	A
2	421	30	0,52	A
3	4	363	1,10	A
4	11	340	1,29	A
TOTALE	718		0,54	A

LOS, Level of Service

Range di LOS per ritardo (espresso in secondi) – intersezioni a rotatoria



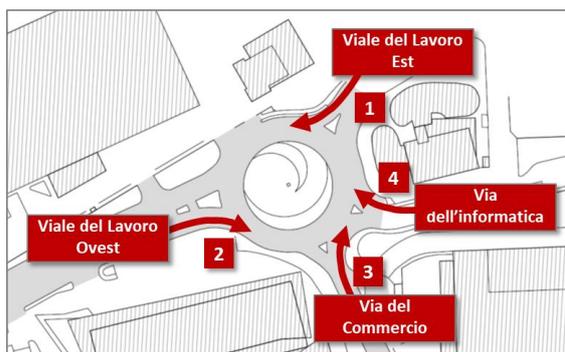
Tabella 9.13: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #2 – LOS delle rotatorie presenti nel Nodo di Verona Est



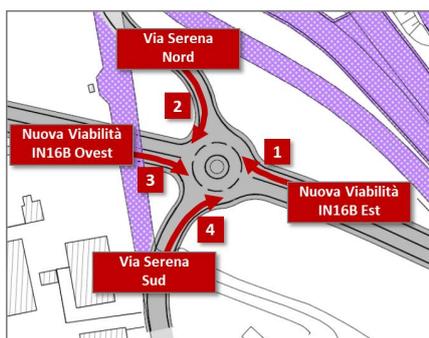
ROTATORIA A: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIALE LAVORO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	773	238	6,65	A
2	195	789	6,05	A
3	2.219	195	32,73	D
4	468	1.537	34,41	D
TOTALE	3.655		26,01	D



ROTATORIA B: VIALE LAVORO/FENIL NOVO/SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	644	750	14,10	B
2	178	1.220	10,98	B
3	216	453	4,06	A
4	835	231	2,32	A
TOTALE	1.873		7,39	A



ROTATORIA C: VIALE LAVORO/INFORMATICA/COMMERCIO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	282	392	2,17	A
2	775	30	0,75	A
3	4	717	2,81	A
4	11	694	2,21	A
TOTALE	1.072		1,14	A



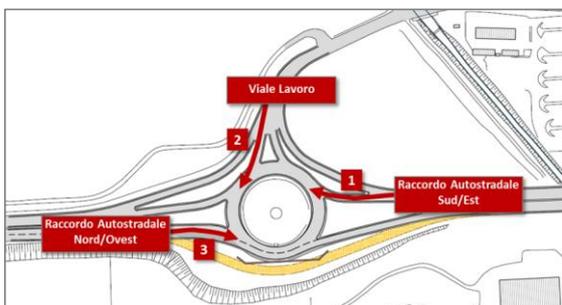
ROTATORIA D: VIA SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	1.055	249	8,68	A
2	438	470	4,21	A
3	862	440	11,15	B
4	255	1.255	33,94	D
TOTALE	2.610		11,22	B

LOS, Level of Service

Range di LOS per ritardo (espresso in secondi) – intersezioni a rotatoria



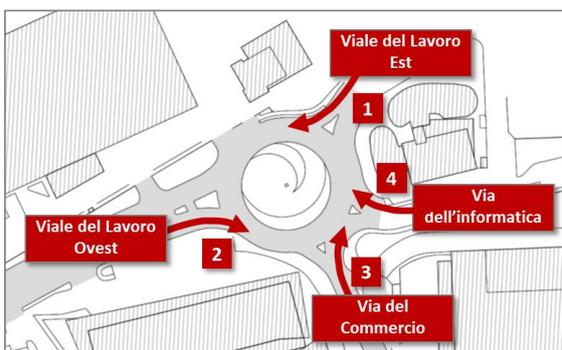
Tabella 9.14: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #3 – LOS delle rotatorie presenti nel Nodo di Verona Est



ROTATORIA A: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIALE LAVORO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	1.161	238	19,60	C
2	158	1.177	19,44	C
3	2.219	158	32,32	D
TOTALE	3.538		27,57	D



ROTATORIA B: VIALE LAVORO/FENIL NOVO/SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	290	280	1,72	A
2	178	396	1,79	A
3	334	54	1,40	A
4	255	341	2,06	A
TOTALE	1.057		1,71	A



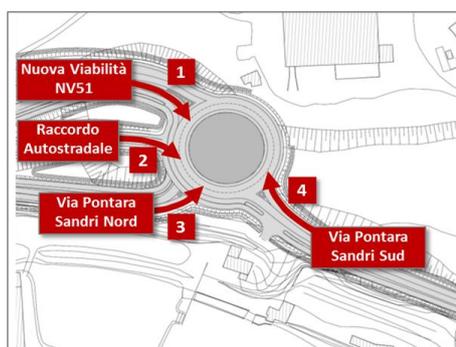
ROTATORIA C: VIALE LAVORO/INFORMATICA/COMMERCIO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	282	38	0,52	A
2	421	30	0,52	A
3	4	363	1,10	A
4	11	340	1,29	A
TOTALE	718		0,54	A

LOS, Level of Service

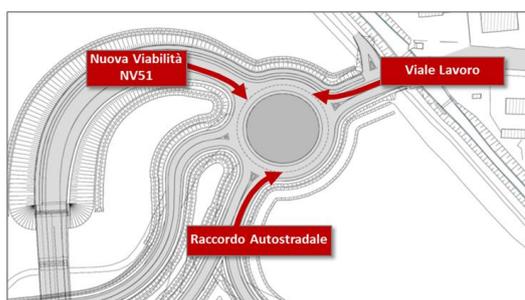
Range di LOS per ritardo (espresso in secondi) – intersezioni a rotatoria



Tabella 9.15: SCENARIO CANTIERIZZAZIONE #4 – LOS delle rotatorie presenti nel Nodo di Verona Est



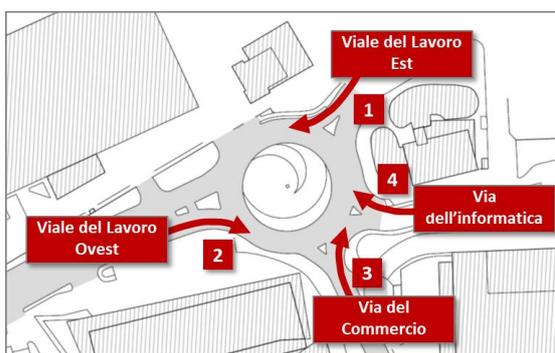
ROTATORIA E: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIA PONTARA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	67	163	0,32	A
2	283	230	0,77	A
3	241	341	1,04	A
4	196	462	0,96	A
TOTALE	787		0,86	A



ROTATORIA F: RACCORDO AUTOSTRADALE/VIALE LAVORO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	241	394	1,59	A
2	27	225	0,98	A
3	461	0	0,43	A
TOTALE	729		0,83	A



ROTATORIA B: VIALE LAVORO/FENIL NOVO/SERENA				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	290	268	1,43	A
2	178	384	0,88	A
3	249	129	1,94	A
4	255	331	1,97	A
TOTALE	972		1,60	A



ROTATORIA C: VIALE LAVORO/INFORMATICA/COMMERCIO				
RAMO	FLUSSO [veic/h]		RITARDO MEDIO [s]	LOS
	INGRESSO	CONFLITTO		
1	282	38	0,55	A
2	421	30	0,49	A
3	4	363	1,84	A
4	11	340	1,92	A
TOTALE	718		0,55	A

LOS, Level of Service

Range di LOS per ritardo (espresso in secondi) – intersezioni a rotatoria



Tabella 9.16: SCENARIO DI CONFIGURAZIONE FINALE – LOS delle rotatorie presenti nel Nodo di Verona Est

Le risultanze analitiche presentate nelle tabelle precedenti per ciascuno degli assetti o scenari di mobilità analizzati per il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est pongono in luce le seguenti considerazioni.

SCENARIO ATTUALE

Gli elementi puntuali che compongono la rete viaria dell'assetto Attuale non presentano criticità: la Rotatoria B Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo e la Rotatoria C Viale del Lavoro/Via dell'Informatica/Via del Commercio presentano un Livello di Servizio entrambe a LOS A quindi ottimale.

La Rotatoria A Raccordo Autostradale/Viale del Lavoro presenta condizioni di deflusso ancora accettabili e caratterizzate dall'ingresso a LOS C con un ritardo complessivo del nodo che si attesta su rispetto al valore di 15,94 secondi che individua la soglia di passaggio tra LOS B e LOS C.

SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE # 1: chiusura turbo corsia della rotatoria di Viale del Lavoro in direzione del Casello autostradale, previo allargamento della rampa di accesso alla rotatoria medesima

Anche con riferimento al primo transitorio di cantierizzazione, quindi lo Scenario di cantierizzazione # 1, la Rotatoria B Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo e la Rotatoria C Viale del Lavoro/Via dell'Informatica/Via del Commercio non presentano scadimenti rispetto allo stato di fatto o assetto ante operam mantenendo, infatti, un Livello di Servizio entrambe a LOS A.

La Rotatoria A Raccordo Autostradale/Viale del Lavoro evidenzia il passaggio da condizioni di servizio attuali a LOS C a condizioni di servizio a LOS D in ragione dell'inibizione al traffico del bypass all'anello circolatorio per le relazioni che dal Raccordo Verona Est sono dirette in Autostrada A4 o in Tangenziale.

L'intervento di raddoppio della corsia di ingresso alla rotatoria si rivela essere una soluzione fondamentale per il mantenimento di condizioni di funzionalità del nodo comunque accettabili anche nella fascia oraria mattutina della mobilità: il ritardo del nodo nel suo complesso risulta infatti pari a 25,84 secondi pertanto di poco superiore a 25 secondi che rappresenta la soglia di passaggio tra LOS C e LOS D.

SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE # 2: chiusura del piazzale P.M

Con riferimento al secondo transitorio di cantierizzazione, quindi lo Scenario di cantierizzazione # 2, restano sostanzialmente valide le considerazioni effettuate per lo scenario precedente anche in ragione del fatto che l'unica variante di rete consiste nella chiusura del piazzale P.M., e quindi del collegamento diretto tangenziale - Viale del Lavoro e Viale del Lavoro - A4, il cui impatto è minimale.

Le Rotatorie B e C, rispettivamente, tra Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo e tra Viale del Lavoro/Via dell'Informatica/Via del Commercio continuano a presentare condizioni di servizio ottimali e invariante rispetto allo Scenario Attuale con condizioni di deflusso entrambe a LOS A.

Per la Rotatoria A Raccordo Autostradale/Viale del Lavoro permangono condizioni di funzionamento a LOS D anche se con valori del ritardo medio leggermente superiori a quelle dello scenario precedente: 27,57 secondi per lo Scenario di cantierizzazione #2 a fronte ai 25,84 secondi dello Scenario di cantierizzazione # 1.

SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE # 3: chiusura dello svincolo tangenziale - autostrada A4BSPD, previo spostamento del traffico sulla bretella IN16B

Questa fase di cantierizzazione rappresenta il transitorio di maggiore impatto per la collettività rispetto all'intero periodo dei lavori per la costruzione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona- Bivio Vicenza in corrispondenza dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00.

Ciò premesso, comunque, anche considerando la chiusura dello svincolo della Tangenziale, le condizioni di deflusso sulla Rotatoria A permangono a LOS D come per lo scenario precedente: in termini di ritardo medio complessivo del nodo si registra un lieve miglioramento passando da 27,57 secondi dello scenario precedente a 26,01 secondi per lo Scenario di Cantierizzazione # 3.

In realtà, analizzando nel dettaglio le condizioni di deflusso dei singoli rami che costituiscono la Rotatoria A si evince come per questo assetto di cantierizzazione presentino LOS D i rami 3 e 4 cioè i rami Raccordo Autostradale Nord-Ovest e nuova viabilità IN16B mentre nello scenario precedente il LOS D riguardava unicamente il ramo 3 - Raccordo Autostradale Nord-Ovest.

La chiusura dello svincolo della Tangenziale determina, di fatto, una significativa "migrazione" dei flussi entranti in rotatoria dal ramo 1 cioè dal Raccordo Autostradale Sud-Est verso il ramo 4 cioè la nuova viabilità IN16B con il passaggio del ramo 1 dal LOS C dello scenario precedente a LOS A per lo Scenario di cantierizzazione #3. Anche il ramo 2 cioè Viale del Lavoro passa da LOS C a LOS A. Questa ripolarizzazione dei flussi veicolari determina quindi un incremento dei tempi di percorrenza sui rami 3 e 4 della Rotatoria A ma una riduzione dei tempi di percorrenza sui rami 1 e 2 che come effetto generale ha il mantenimento delle generali condizioni di deflusso della Rotatoria A a LOS D.

Le Rotatorie B e C, rispettivamente, tra Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo e tra Viale del Lavoro/Via dell'Informatica/Via del Commercio continuano a presentare condizioni di servizio ottimali e invariante rispetto agli scenari precedenti anche se a livello puntuale la Rotatoria B presenta i rami 1 e 2, quindi, rispettivamente, i rami Via del Lavoro Est e Via Fenil Novo a LOS B anziché a LOS A.

La Rotatoria D lungo Via Serena presenta complessivamente un buon Livello di Servizio con funzionamento a LOS B; tuttavia, a livello puntuale il ramo 4 Via Serena Sud evidenzia un LOS D

determinato dal fatto che il flusso veicolare entrante, comunque di entità contenuta, “vede” una componente di disturbo elevata e pari a 1'255 veicoli diretti in Tangenziale.

SCENARIO DI CANTIERIZZAZIONE # 4: ripristino del collegamento tangenziale - autostrada A4 e demolizione del collegamento viario provvisorio IN16B. Permane la chiusura del piazzale P.M.

Le condizioni di deflusso che caratterizzano questa fase transitoria di cantierizzazione sono analoghe a quelle proprie dello Scenario di Cantierizzazione #2.

Le Rotatorie B e C, rispettivamente, tra Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo e tra Viale del Lavoro/Via dell'Informatica/Via del Commercio presentano condizioni di servizio ottimali con deflusso entrambe a LOS A.

La Rotatoria A Raccordo Autostradale/Viale del Lavoro evidenzia condizioni di funzionamento a LOS D con valori del ritardo medio pari a 27,57 secondi.

SCENARIO DI CONFIGURAZIONE FINALE: costruzione della nuova viabilità NV51 e demolizione della rampa di connessione Pontara Sandri. Si riapre il piazzale P.M.

Lo Scenario di Configurazione Finale del Nodo stradale ed Autostradale di Verona Est evidenzia un netto e significativo miglioramento tanto rispetto alle fasi precedente di cantierizzazione quanto, soprattutto, alla situazione attuale evidenziando in questo modo il superamento delle attuali debolezze e criticità puntuali che caratterizzano attualmente la Rotatoria A.

Come detto la riorganizzazione dell'attuale intersezione in uno svincolo a livelli sfalsati consente di separare le correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e il sistema Autostradale e Tangenziale dalle correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e la zona Industriale/Commerciale di Viale del Lavoro. Gli effetti positivi di questo disegno progettuale sono evidenziati dalle condizioni ottimali di deflusso che caratterizzano tutte le rotatorie presenti in questo assetto definitivo del Nodo.

Si riscontrano infatti condizioni di deflusso a LOS A per la Rotatoria B Viale del Lavoro/Via Serena/Via Fenil Novo, per la Rotatoria C Viale del Lavoro/Via dell'Informatica/Via del Commercio e per le due nuove rotatorie di progetto E e F.

Volendo fornire una visualizzazione sintetica delle risultanze ottenute dall'analisi di funzionalità effettuata sulle rotatorie considerate, nella tabella successiva sono riportati i Livelli di Servizio che caratterizzano ciascuna rotatoria nella sua totalità, quindi come elemento complessivo e non con disaggregazione per singola rampa, in tutti gli scenari analizzati.

SCENARIO	ROTATORIE					
	Rotatoria A	Rotatoria B	Rotatoria C	Rotatoria D	Rotatoria E	Rotatoria F
SCENARIO ATTUALE	C	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 1	D	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 2	D	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ.3	D	A	A	B	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 4	D	A	A	-	-	-
SCENARIO ASSETTO DEF.	-	A	A	-	A	A

Tabella 9.17: Collocazione delle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est sistema all'interno degli scenari modellistici di analisi

In termini generale le risultanze derivanti dalle analisi di funzionalità puntuali effettuate sulle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est confermano un impatto del transitorio di cantierizzazione sostanzialmente abbastanza contenuto.

Dalla Tabella sinottica emerge evidente come tutte le rotatorie dalla B sino alla F presentino condizioni di deflusso ben più che adeguate testimoniate dal situazioni di funzionamento a LOS A o a LOS B nel caso della Rotatoria D su Via Serena.

Unicamente la Rotatoria A presenta una scadimento rispetto alle condizioni attuali di servizio passando in tutti gli scenari transitori di cantierizzazione dal LOS C dell'assetto Attuale al LOS D.

Si ribadisce che questa risultanza può ancora essere considerata accettabile dal momento che caratterizza una situazione transitoria di cantierizzazione, quindi comunque temporalmente limitata, e riferita alla fascia di punta della mattina cioè quella compresa tra le 8:00 e le 9:00 del Giorno Medio Feriale che insieme a quella del rientro serale, collocata intorno alle 18:00, rappresentano i due momenti di picco della mobilità.

Va inoltre considerato, ad ulteriore rafforzamento di quanto affermato, che i LOS D ottenuti per la Rotatoria A derivano da ritardi complessivi nell'ordine dei 25 – 27 secondi che di fatto identificano condizioni di servizio all'ingresso del Livello di Servizio D il cui limite inferiore, cioè il passaggio tra LOS C e LOS D, è definito dalle indicazioni dell'HCM 2016 proprio nei 25 secondi come ritardo

medio e pertanto ben lontane dal limite di ingresso a LOD E che è definito da 35 secondi come ritardo medio.

Questo significa che l'ingresso a LOS D ottenuto per la Rotatoria A nelle fasi transitorie di cantierizzazione è ragionevolmente confinato alle due fasce orarie di punta della mobilità giornaliera e che nel resto della giornata le condizioni di deflusso della rotatoria permarranno a LOS C garantendo per la maggior parte dell'arco giornaliero dell'esercizio condizioni di servizio assolutamente accettabili.

Vanno inoltre considerate, in una lettura congiunta, le risultanze ottenute per la Rotatoria A nello Scenario Attuale e per le Rotatorie E ed F per lo Scenario di Configurazione Finale del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est: come già sottolineato la riorganizzazione dell'attuale intersezione in uno svincolo a livelli sfalsati consente di separare le correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e il sistema Autostradale e Tangenziale dalle correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e la zona Industriale/Commerciale di Viale del Lavoro con il definitivo superamento delle attuali "debolezze" della rotatoria esistente che, soprattutto nel corso di giornate peculiari di elevata affluenza agli insediamenti commerciali delle Corti Venete, determinano accodamenti veicolari e significativi ritardi nei tempi di percorrenza.

10 CONSIDERAZIONI DI CARATTERE CONCLUSIVO

Le analisi e elaborazioni effettuate evidenziano la sostenibilità sotto il profilo trasportistico della proposta di risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 cioè del nodo stradale ed autostradale di Verona Est nell'ambito della realizzazione dei lavori di costruzione della linea AV/AC Verona - Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza.

A tale risultanza R&M Associati sono pervenuti attraverso l'implementazione di modelli di simulazione dinamica dei flussi di traffico in grado di descrivere e valutare le condizioni di deflusso veicolare del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est in tutti gli scenari di assetto domanda/offerta di mobilità analizzati:

- lo Scenario Attuale: configurazione attuale del sistema
- lo Scenario transitorio di cantierizzazione #1 che prevede la chiusura turbo corsia della rotatoria del Raccordo Autostradale in direzione del Casello autostradale, previo allargamento della rampa di accesso alla rotatoria medesima
- lo Scenario transitorio di cantierizzazione #2 che prevede la chiusura del piazzale P.M
- lo Scenario transitorio di cantierizzazione #3 che prevede la chiusura dello svincolo tangenziale - autostrada A4BSPD, previo spostamento del traffico sulla bretella IN16B.
- lo Scenario transitorio di cantierizzazione #4 che prevede il ripristino del collegamento tangenziale - autostrada A4 e demolizione del collegamento viario provvisorio IN16B con la permanenza della chiusura del piazzale P.M.
- lo Scenario di Configurazione Finale che prevede la costruzione della nuova viabilità NV51 e demolizione della rampa di connessione Pontara Sandri e la riapertura del piazzale P.M.

Le valutazioni sono state condotte con riferimento alla fascia di punta della mattina, 8:00 – 9:00, del Giorno Feriale Medio del 2019.

Tale impostazione deriva, in accordo con la Committenza, da due ordini di considerazioni:

- la prima è rappresentata dal fatto che l'esercizio 2019 costituisce ultimo periodo non affetto dalle riduzioni di traffico determinate dalla pandemia da COVID19
- la seconda è connessa al fatto che dal dicembre 2020 è in atto la chiusura temporanea del tratto terminale della Tangenziale Sud di Verona, cioè del tratto compreso tra lo svincolo con la SP38 Porcilana e lo svincolo con la SR11 a Vago, necessaria alla realizzazione della corsia di emergenza al km 292+200 dell'autostrada A4 in corrispondenza del cavalcaferrovia della linea ferroviaria Milano – Venezia e raddoppio della sezione stradale della tangenziale sud di Verona

Muovendo direttamente dagli output computazionali di ciascuna micro simulazione dinamica condotta si è proceduto alla determinazione, per ciascuno assetto analizzato, quindi per ciascuno degli scenari di micro simulazione implementati, ad un panel di macro indicatori di sintesi delle performances trasportistiche complessive del sistema.

Tali indicatori sono costituiti:

- dal Tempo medio, espresso in minuti, rappresentato dal tempo medio di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata
- dalla Velocità media, espressa in Km/h, rappresentata dalla velocità media di rete per utente nell'ora di analisi rispetto alla rete di micro simulazione modellata
- dal Ritardo medio, espresso in minuti, costituito dal ritardo medio per utente nell'ora di analisi rispetto alle condizioni di deflusso libero e alla rete di micro simulazione modellata
- dal LOS, Livello di Servizio, dei principali elementi (rotatorie) di cui si compone il Nodo stradale ed autostradale di Verona Est

Con riferimento ai macro indicatori descritti si evidenzia come:

- i primi 3 indicatori, quindi la Velocità media, Il Tempo medio e il Ritardo medio, siano parametri indicativi delle condizioni generali di deflusso del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est rappresentano considerato nella sua interezza
- l'ultimo indicatore, quindi il Livello di Servizio delle rotatorie presenti nel sistema, sia un parametro di valutazione delle condizioni di deflusso di tipo "puntuale"

Il confronto tra i valori assunti dagli indicatori descritti per ciascuno scenario transitorio di cantierizzazione rispetto ai valori che caratterizzano la stato di fatto ha consentito, in termini di analisi comparativa, di determinare l'impatto sulle condizioni di deflusso del nodo nel corso della presenza dei cantieri.

10.1 ANALISI DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO VEICOLARE DEL NODO DI VERONA EST

Le risultanze ottenute con riferimento ai primi 3 macro indicatori considerati sono riportate nella successiva tabella sinottica.

In particolare si sono riportati i valori assoluti per tutti gli scenari e, assumendo la logica dell'analisi comparativa, le differenze assolute e percentuali per tutti gli scenari rispetto allo Scenario Attuale che costituisce, come detto, il termine di riferimento dell'analisi comparativa.

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	5,55	32,06	1,82
SCENARIO CANT. 1	6,10	30,28	2,39
SCENARIO CANT.2	6,38	29,62	2,64
SCENARIO CANT.3	7,45	27,16	3,46
SCENARIO CANT.4	6,38	29,62	2,64
SCENARIO CONF. FINALE	3,88	40,02	0,32

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	-	-	-
SCENARIO CANT. 1	0,55	-1,78	0,57
SCENARIO CANT.2	0,83	-2,44	0,82
SCENARIO CANT.3	1,90	-4,90	1,64
SCENARIO CANT.4	0,83	-2,44	0,82
SCENARIO CONF. FINALE	-1,67	7,96	-1,50

SCENARIO	TEMPO MEDIO [min]	VELOCITÀ MEDIA [km/h]	RITARDO MEDIO [min]
SCENARIO ATTUALE	-	-	-
SCENARIO CANT. 1	10%	-6%	31%
SCENARIO CANT.2	15%	-8%	45%
SCENARIO CANT.3	34%	-15%	90%
SCENARIO CANT.4	15%	-8%	45%
SCENARIO CONF. FINALE	-30%	25%	-82%

Tabella 10.1: Condizioni di deflusso del Nodo di VERONA EST
Macro indicatori di performance trasportistica – Confronto tra Scenari
Valori Assoluti, Differenza assoluta rispetto allo Scenario Attuale e Differenza percentuale

Dalla disamina dei valori assunti dai macro indicatori riportati nella Tabella emerge la sostenibilità trasportistica dell'intera fase di cantierizzazione necessaria alla soluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 .

L'impatto generale connesso alle fasi di cantierizzazione per i lavori necessari alla costruzione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza risulta, grazie agli interventi previsti per la risoluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00, trasportisticamente sostenibile.

Ad eccezione dello Scenario di cantierizzazione #3 che risulta quello di maggiore impatto, negli Scenari di cantierizzazione #° 1, 2 e 4 i valori assunti dai macro indicatori delle performance di rete non evidenziano significativi scadimenti rispetto alla situazione ante operam cioè allo Scenario Attuale.

È infatti per lo Scenario di Cantierizzazione # 3 che si registrano i maggiori impatti per la collettività con valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete si attestano a 7,45 minuti e 27,16 km/h con variazioni rispetto allo Scenario Attuale pari a +1,90 minuti (+34%) e -4,90 km/h (-15%).

Tale risultanza può comunque essere considerata ancora accettabile soprattutto se contestualizzata nel funzionamento e ruolo del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est che risulta interessato nella fascia oraria 8:00 – 9:00 del Giorno Feriale Medio, complessivamente, da circa 5'000 movimenti veicolari totali di cui circa 2'300, quasi la metà, sono rappresentati dai flussi di traffico da/per la Tangenziale e considerando che si tratta di una situazione transitoria. È evidente che la possibilità di mantenere attive le relazioni dirette di mobilità tra il Raccordo Autostradale e l'Autostrada A4 nelle due direzioni di percorrenza consente di contenere i disagi per la collettività che altrimenti sarebbero di ben altro livello di significatività.

Infine si ritiene fondamentale evidenziare come nell'assetto definitivo del Nodo stradale ed Autostradale di Verona Est, quindi considerando l'assetto post operam o Scenario di Configurazione Finale, i valori dei macro indicatori presentino significativi miglioramenti rispetto alla situazione attuale: i valori del Tempo Medio e della Velocità Media di rete si attestano a 3,88 minuti e 40,02 km/h con variazioni pari a -1,67 minuti (-30%) e +7,96 km/h (+25%) rispetto allo Scenario Attuale prefigurando, a lavori ultimati, un evidente miglioramento delle condizioni di deflusso per la collettività.

Tale risultanza va messa direttamente in connessione con la separazione delle correnti veicolari del Raccordo Verona Est da/per l'Autostrada A4 e la Tangenziale rispetto alle correnti veicolari del Raccordo Verona Est da/per l'area Industriale/Commerciale di Vale del Lavoro attraverso la riconfigurazione dell'attuale rotonda nel futuro sistema a livelli sfalsati come chiaramente evidenziato nella successiva Figura.

Anche senza l'implementazione di una vera e propria Analisi Costi – Benefici dell'intervento di realizzazione della linea AV/AC Verona-Padova, Primo Lotto Funzionale Verona- Bivio Vicenza, risulta evidente, sulla base delle risultanze ottenute, che l'impatto temporaneo della soluzione dell'interferenza con la sede autostradale al km 6+220,00 risulterebbe ampiamente controbilanciato sull'arco temporale di vita dell'infrastruttura (40 anni) dai risparmi nei tempi di percorrenza della collettività (-30% nella sola ora di punta della mattina rispetto allo stato di fatto) dovuti alla configurazione finale del Nodo stradale e autostradale di Verona Est.

10.2 ANALISI DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO PUNTUALI DELLE ROTATORIE DEL NODO DI VERONA EST

Le risultanze ottenute dalle micro simulazioni dinamiche effettuate sono state utilizzate per la verifica di sostenibilità trasportistica puntuale delle rotatorie che caratterizzano la rete viaria complessiva del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est.

Con riferimento quindi a tutti gli scenari analizzati R&M Associati hanno proceduto, secondo la logica di analisi comparativa precedentemente citata, all'analisi puntuale delle condizioni di deflusso che caratterizzano ciascuna rotatoria presente negli assetti di sistema considerati.



Figura 10.2: Rotatorie oggetto di verifica di funzionalità. Assetto Attuale, assetti di Cantierizzazione e Assetto di configurazione Finale

La Tabella successiva visualizza per ciascuna rotatoria la collocazione all'interno degli scenari modellistici di analisi.

SCENARIO	ROTATORIE					
	Rotatoria A	Rotatoria B	Rotatoria C	Rotatoria D	Rotatoria E	Rotatoria F
SCENARIO ATTUALE	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 1	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 2	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ.3	✓	✓	✓	✓	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 4	✓	✓	✓	-	-	-
SCENARIO ASSETTO DEF.	-	✓	✓	-	✓	✓

Tabella 10.3: Collocazione delle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est sistema all'interno degli scenari modellistici di analisi

In termini operativi, i parametri di output forniti dai modelli di micro simulazione implementati per ciascuno dei 6 scenari analizzati hanno permesso di eseguire una verifica funzionale con determinazione del Livello di Servizio (LOS) per ciascuna delle 6 rotatorie del sistema complessivo.

Il calcolo è stato effettuato sulla base delle indicazioni contenute nell'edizione 2010 dell'Highway Capacity Manual a proposito delle intersezioni, ossia considerando la definizione del LOS come funzione del ritardo medio di ogni veicolo rispetto alle condizioni di flusso libero.

Il Livello di Servizio è stato identificato a partire dal valore ottenuto per il ritardo medio, in considerazione dei range proposti dall'HCM per le intersezioni non semaforizzate a rotatoria:

- LOS A: ritardo medio per veicolo minore di 10 sec
- LOS B: ritardo medio per veicolo compreso tra 10 e 15 sec
- LOS C: ritardo medio per veicolo compreso tra 15 e 25 sec
- LOS D: ritardo medio per veicolo compreso tra 25 e 35 sec
- LOS E: ritardo medio per veicolo compreso tra 35 e 50 sec
- LOS F: ritardo medio per veicolo maggiore di 50 sec

Con riferimento alla classificazione indicata dall'HCM si precisa che:

- i Livelli di Servizio A e B rappresentano condizioni di deflusso ottimale dell'intersezione in cui non si riscontrano condizioni di criticità né puntuali né diffuse

- il livello di Servizio C individua situazioni caratterizzate da condizioni di deflusso ancora accettabili, soprattutto se riferite alle fasce orarie di maggiore intensità del traffico, e caratterizzate dalla possibile presenza, per limitati archi temporali, di criticità puntuali
- il Livello di Servizio D rappresenta condizioni di deflusso al limite dell'accettabilità e caratterizzate dall'insorgere di fenomeni di accodamento veicolare in corrispondenza di alcuni rami di adduzione alle rotatorie; condizioni di funzionamento a LOS D potrebbero ancora essere accettate per situazioni peculiari di funzionamento dell'intersezione e temporalmente limitate
- i Livelli di Servizio E ed F rappresentano condizioni di deflusso non accettabili e caratterizzate, progressivamente, da rilevanti fenomeni di accodamento veicolare con l'insorgere di criticità sia puntuali sia, nei peggiori casi, diffuse.

Volendo fornire una visualizzazione sintetica delle risultanze ottenute dall'analisi di funzionalità effettuata sulle rotatorie considerate, nella tabella successiva sono riportati i Livelli di Servizio che caratterizzano ciascuna rotatoria nella sua totalità, quindi come elemento complessivo e non con disaggregazione per singola rampa, in tutti gli scenari analizzati.

SCENARIO	ROTATORIE					
	Rotatoria A	Rotatoria B	Rotatoria C	Rotatoria D	Rotatoria E	Rotatoria F
SCENARIO ATTUALE	C	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 1	D	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 2	D	A	A	-	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ.3	D	A	A	B	-	-
SCENARIO CANTIERIZZ. 4	D	A	A	-	-	-
SCENARIO ASSETTO DEF.	-	A	A	-	A	A

Tabella 10.4: Collocazione delle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est sistema all'interno degli scenari modellistici di analisi

In termini generale le risultanze derivanti dalle analisi di funzionalità puntuali effettuate sulle rotatorie del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est confermano un impatto del transitorio di cantierizzazione sostanzialmente abbastanza contenuto.

Dalla Tabella sinottica emerge evidente come tutte le rotatorie dalla B sino alla F presentino condizioni di deflusso ben più che adeguate testimoniate dal situazioni di funzionamento a LOS A o a LOS B nel caso della Rotatoria D su Via Serena.

Unicamente la Rotatoria A presenta una scadimento rispetto alle condizioni attuali di servizio passando in tutti gli scenari transitori di cantierizzazione dal LOS C dell'assetto Attuale al LOS D.

Si ribadisce che questa risultanza può ancora essere considerata accettabile dal momento che caratterizza una situazione transitoria di cantierizzazione, quindi comunque temporalmente limitata, e riferita alla fascia di punta della mattina cioè quella compresa tra le 8:00 e le 9:00 del Giorno Medio Feriale che insieme a quella del rientro serale, collocata intorno alle 18:00, rappresentano i due momenti di picco della mobilità.

Va inoltre considerato, ad ulteriore rafforzamento di quanto affermato, che i LOS D ottenuti per la Rotatoria A derivano da ritardi complessivi nell'ordine dei 25 – 27 secondi che di fatto identificano condizioni di servizio all'ingresso del Livello di Servizio D il cui limite inferiore, cioè il passaggio tra LOS C e LOS D, è definito dalle indicazioni dell'HCM 2016 proprio nei 25 secondi come ritardo medio e pertanto ben lontane dal limite di ingresso a LOS E che è definito da 35 secondi come ritardo medio.

Questo significa che l'ingresso a LOS D ottenuto per la Rotatoria A nelle fasi transitorie di cantierizzazione è ragionevolmente confinato alle due fasce orarie di punta della mobilità giornaliera e che nel resto della giornata le condizioni di deflusso della rotatoria permarranno a LOS C garantendo per la maggior parte dell'arco giornaliero dell'esercizio condizioni di servizio assolutamente accettabili.

Vanno inoltre considerate, in una lettura congiunta, le risultanze ottenute per la Rotatoria A nello Scenario Attuale e per le Rotatorie E ed F per lo Scenario di Configurazione Finale del Nodo stradale ed autostradale di Verona Est: come già sottolineato la riorganizzazione dell'attuale intersezione in uno svincolo a livelli sfalsati consente di separare le correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e il sistema Autostradale e Tangenziale dalle correnti veicolari tra il Raccordo Verona Est e la zona Industriale/Commerciale di Viale del Lavoro con il definitivo superamento delle attuali "debolezze" della rotatoria esistente che, soprattutto nel corso di giornate peculiari di elevata affluenza agli insediamenti commerciali delle Corti Venete, determinano accodamenti veicolari e significativi ritardi nei tempi di percorrenza.

Bologna, 25 luglio 2022

Righetti e Monte Ingegneri e Architetti Associati

Il legale rappresentante

franco righetti

RIGHETTI & MONTE
INGEGNERI E ARCHITETTI ASSOCIATI
Il Legale Rappresentante

11 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Cascetta, E. (2006). Modelli per i sistemi di trasporto: teoria e applicazioni. UTET università.
- Delibera CIPE 39, del 15 Giugno 2007: DIRETTIVA IN MATERIA DI REGOLAZIONE ECONOMICA DEL SETTORE AUTOSTRADALE, Pubblicata in Gazzetta Ufficiale in data 25 Agosto 2007, Numero: 197.
- De Luca, M. (2000). Manuale di pianificazione dei trasporti. Franco Angeli.
- Highway Capacity Manual. (2010). 5th edn., Transportation Research Board, Washington DC
- Maerivoet, S., & De Moor, B. (2005). Transportation planning and traffic flow models. Katholieke Universiteit Leuven, 05-155.
- Ortuzar, J., & Willumsen, L. (2004). Pianificazione dei sistemi di trasporto. Hoepli, Milano, Italy.
- Pompigna, A., Righetti, F., Brunetti, P. (2015). Domanda potenziale e rischio traffico/introiti nel Project Financing di un'infrastruttura viaria a pedaggio, Rivista di Economia e Politica dei Trasporti, n. 1.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2005). Introduzione all'econometria. Pearson Italia S.p.A..
- UK Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges, Volume 12, Section 2
- Wooldridge, J. M. (2015). Introductory econometrics: A modern approach. Cengage Learning.