Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

CUP F2602000340001 CIG 652449686B

Cagliaritana

GARA CA 08/15 - NUOVA SS 554 CAGLIARITANA

ADEGUAMENTO DELL'ASSE ATTREZZATO URBANO ED ELIMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI A RASO DAL KM 1+500 AL KM 11+850

b Pregio tecnico

c Caratteristiche ambientali

d Cantierizzazione e fasi di lavoro

OFFERTA TECNICA

ASSE STRADALE PRINICIPALE

PROGETTO STRADALE

ELABORATI GENERALI

STUDIO DEL TRAFFICO

CODICE PROGETTO			CODICE ELABORATO					SCALA	DATA	CODICE ELABORATO DI OFFERTA
progetto	liv.	numero	campo 1	campo 2	campo 3	campo 4	rev			
D P C A 0 6	D	1 5 0 1	T 0 0	P S 0 0	T R A	R E 0 4	A	-	21/04/16	**6.4**

CONCORRENTE:

ASTALDI

PROGETTISTA INDICATO COSTITUENDO R.T.P.

Capogruppo Mandataria R.T.P.

SWS™

Mandante

ASTALDI

Mandante

ING. FRANCESCA LEO

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Paolo Cucino

RESPONSABILE ELABORATO

Ing. Paolo Cucino

INDICE

1 Introduzione 3
2 I software utilizzati 6
2.1 Premessa 6
2.2 CUBE - Macrosimulazione di area vasta 6
2.3 Paramics - Microsimulazione dinamica 7
2.3.1 Analisi delle risultanze modellistiche 8
3 Lo scenario attuale 9
3.1 Simulazione a scala territoriale 9
3.1.1 Calibrazione dello stato di fatto 2016 10
4 Lo scenario di esercizio 13
4.1 Introduzione 13
4.2 Scenario a base gara 13
4.2.1 Confronto con lo stato di fatto 15
4.3 Scenario di proposta progettuale 17
4.3.1 Confronto con lo stato attuale 18
4.3.1 Confronto con lo scenario a base gara 20
4.4 Simulazioni di dettaglio 21
4.4.1 Quadrifoglio 131dir 21
4.4.1 Svincolo tipo 25
4.4.1 Svincolo SS 125 28
5 Lo scenario di cantiere 29
5.1 Introduzione 29
5.2 Scenario a base gara, Cantiere Lotto 1 30
5.3 Scenario di proposta progettuale, Cantiere Lotto 1 33
5.3.1 Confronto con lo scenario a base gara 36
5.4 Scenario a base gara, Cantiere Lotto 2 36
5.5 Scenario di proposta progettuale, Cantiere Lotto 2 38
5.6 Simulazioni di dettaglio 40
5.6.1 Quadrifoglio 131dir 40

5.6.1 Svincolo tipo 44
5.6.2 Svincolo SS 125 48

1 Introduzione

La qualità dell'aria e dell'ambiente, congiuntamente alla fluidità del traffico e alla riduzione della probabilità di incidenti stradali, costituiscono temi da affrontare con profonda attenzione durante le **fasi realizzative di infrastrutture viarie** strategiche, soprattutto quando ricadono in ambiti urbani complessi.

Al fine di garantire il rispetto di questi assunti durante l'esecuzione dei lavori di adeguamento della Nuova SS554 "Cagliaritana" alla sezione stradale Cat. B *"Extraurbana Principale"*, occorre assicurare sostenibilità a tutti gli **elementi di interferenza** fra le opere di cantierizzazione e l'infrastruttura stradale esistente; in tal senso, le configurazioni di cantiere sono chiamate a garantire un **adeguato livello di efficienza trasportistica** in termini di impatto veicolare e livello prestazionale della rete.

Solo un approfondito **approccio scientifico**, rappresentato da opportune analisi modellistiche, permette di analizzare le condizioni di accessibilità e i livelli di servizio dell'impianto viario così da poter valutare, con **evidenza numerabile**, il reale beneficio garantito da eventuali elementi di miglioria quali interventi di mitigazione e correttivi infrastrutturali.

L'**impatto dei cantieri** sul sistema della viabilità esistente dipende, ovviamente, dalla tipologia e dalla localizzazione di ciascuno di essi; le differenti tipologie di cantiere (cantieri base, operativi e di supporto), infatti, determinano diverse occupazioni dei suoli, diversi quantitativi di materiale trasportato e, conseguentemente, di traffico pesante indotto.

Inoltre le ricadute sul territorio in termini trasportistici sono strettamente legate alle normali condizioni di circolazione presenti nell'area di intervento; per questo motivo, cantieri di dimensioni e attività più limitate possono a volte determinare condizioni di circolazione più gravose rispetto a cantieri di dimensioni maggiori, se localizzati in posizioni più critiche della rete viabilistica.

Le modifiche indotte dai cantieri sulla rete viaria e la potenziale domanda di traffico aggiuntiva costituita dai mezzi operativi movimentati potrebbero determinare, infatti, vere e proprie restrizioni funzionali dell'impianto viario, condizioni di congestione puntuale, produzione di inquinamento e inefficienza trasportistica (rallentamenti, congestione, aumento dei tempi di percorrenza).

Figura 1 Svincolo SS554 – Via S. Fulgenzio

Il presente report tecnico illustra dunque l'**approfondimento analitico**, adeguatamente supportato da verifiche modellistiche dell'intero intervento a scala territoriale e finalizzato a valutare, quantitativamente, l'impatto indotto ed il livello prestazionale delle **opzioni di cantierizzazione** proposte dal Gruppo di Lavoro in diretta relazione con la configurazione di riferimento presentata dal progetto di Gara, al fine di dare evidenza numerica circa la **valenza migliorativa** degli schemi di proposta.

L'approccio analitico proposto è del tutto analogo, in termini di processo e struttura, agli studi trasportistici di altra natura, in cui si quantificano, analizzano e simulano, con gli strumenti della pianificazione dei trasporti e dell'ingegneria del traffico, le condizioni di accessibilità e i livelli di servizio dell'impianto viario.

A tal riguardo, i **modelli di simulazione del traffico** sono strumenti essenziali e qualificanti dello studio di impatto trasportistico dei cantieri, in quanto consentono di rappresentare tutti gli elementi del sistema infrastrutturale e della domanda di traffico; attraverso il simulatore è infatti possibile rappresentare le condizioni di viabilità, registrando i livelli di servizio esistenti attraverso il calcolo di opportuni indicatori trasportistici, oltre a riprodurre ex ante, vale a dire prima dell'effettiva realizzazione, gli effetti dell'apertura dei cantieri per poterne misurare gli impatti sul traffico e valutare le migliori soluzioni da adottare per risolvere le eventuali criticità.

Il valore aggiunto offerto dalle attività di simulazione dinamica consiste in:

- Profonda attenzione alla **riduzione dei disagi all'utenza** durante le fasi di realizzazione delle nuove infrastrutture;
- Presentazione di soluzioni per alcune situazioni di particolare criticità, con la dimostrazione di poter affrontare - durante le fasi di progettazione esecutiva e persino di esecuzione delle opere- ulteriori situazioni critiche, sia note *ex ante*, sia emergenti in corso d'opera;
- Ottenere un esaustivo **quadro di risultanze modellistiche** (statistiche, mappature) atte ad offrire evidenza quantitativa in merito agli elementi di miglioria delle configurazioni di cantiere proposte, anche informando, attraverso la corretta valutazione dei benefici (riduzione dei tempi di percorrenza, contenimento emissivo, ecc.).

Figura 2 Svincolo SS554 – SP93

Per quel che riguarda la verifica di impatto dell'intero intervento a scala territoriale, è stato utilizzato il modello di traffico dell'intera **area metropolitana di Cagliari**, sviluppato con il software Cube (della casa Citilabs).
L'approccio proposto in questo studio si compone quindi delle seguenti due fasi analitiche:

- Fase 1 - Verifica di funzionalità dell'intero intervento attraverso l'aggiornamento e l'interrogazione del **modello di traffico a scala territoriale** (Area Vasta di Cagliari); questa prima fase comprende anche l'organizzazione ed esecuzione di un'apposita indagine conoscitiva con rilievi di traffico manuali finalizzati all'aggiornamento e calibrazione della piattaforma modellistica;
- Fase 2 - Verifica di funzionalità, attraverso **micro-simulazioni dinamiche *ad hoc***, dei nodi viabilistici significativi, caratterizzati da un consistente livello di complessità sia in termini di cantierizzazione, sia per quel che riguarda i volumi di traffico e le relazioni di mobilità in gioco.

2 I software utilizzati

2.1 Premessa

Come anticipato nel capitolo introduttivo, l'approccio analitico proposto dal presente studio si avvale del supporto modellistico a diversa scala. I software utilizzati sono principalmente due: CUBE (della casa CItilabs Ltd) per le simulazioni statiche di macroscala (macrosimulazioni) e S-Paramics (della casa SIAS Ltd) per le simulazioni dinamiche di dettaglio (microsimulazioni).

2.2 CUBE - Macrosimulazione di area vasta

Il modello di traffico dell'area vasta di Cagliari è implementato in CUBE (Citilabs Ltd), suite di programmi specialistici dedicati alla modellazione e simulazione dei sistemi di trasporto. Cube è composto da un'interfaccia di sistema, detta Cube Base, e da estensioni funzionali per specifiche esigenze, dette Cube Extensions, quali: Cube Voyager, Cube Analyst, Cube Avenue, Cube Cargo, Cube Land e Cube Cluster. Il modello di Cagliari, nello specifico, utilizza le estensioni Cube Base, Cube Voyager e Cube Analyst.

Cube Base è utilizzato per tutto il processo di modellazione, dalla progettazione e applicazione dei diversi modelli alla gestione e modifica dei dati di input e output, consentendo inoltre di simulare ed analizzare diversi scenari. Al centro delle funzionalità di Cube Base c'è un GIS dedicato ai trasporti, sviluppato sulla base di una versione integrata di ArcGIS Engine (ESRI).

Citilabs ha sviluppato un'applicazione specializzata di questa tecnologia finalizzata alla modellazione dei trasporti, con l'aggiunta di alcune regole topologiche proprie dell'argomento, pienamente sfruttate nel proprio geodatabase, unitamente ad un gran numero di strumenti specifici per la costruzione e l'analisi dei sistemi di trasporto. La progettazione e costruzione del processo di modellazione avviene attraverso l'Application Manager, un'interfaccia basata su diagrammi di flusso intuitiva e semplice per l'utilizzatore. La gestione dei diversi scenari avviene invece attraverso lo Scenario Manager.

Cube Voyager è l'estensione per l'analisi e la previsione degli spostamenti di persone. Basato su una struttura modulare supportata su uno specifico linguaggio di programmazione, rende possibile sviluppare una qualunque metodologia di modellazione, dal modello a quattro stadi a modelli di scelta discreta e modelli basati sulla localizzazione delle attività. Metodologie di lavoro avanzate permettono di sviluppare modelli di traffico basati sull'analisi della capacità della rete e delle intersezioni, così come modelli del trasporto pubblico multi-percorso.

Cube Voyager incorpora strumenti flessibili e potenti di calcolo delle reti e delle matrici per la valutazione della domanda di mobilità e per la comparazione dettagliata tra scenari. Cube Voyager è stato sviluppato con l'obiettivo di fornire un sistema semplice ed aperto con cui sviluppare modelli in grado di analizzare diverse politiche di pianificazione e sviluppo alla scala urbana, regionale e di lunga distanza. La struttura di Cube Voyager consente di usare e manipolare diversi dati in un modo molto semplice. Inoltre uno specifico assistente passo a passo rende semplice lo sviluppo di modelli complessi.

Cube Analyst è lo strumento attraverso il quale è possibile effettuare la stima delle matrici. Recentemente è stato sviluppato il modulo Analyst Drive, che sfrutta le potenzialità offerte dal calcolo parallelo, abbattendo i tempi computazionali a vantaggio dell'elasticità operativa, elementi che hanno fatto sì che sia utilizzato nel presente studio per l'implementazione della stima matriciale.

2.3 Paramics - Microsimulazione dinamica

S-Paramics, *(Parallel Microscopic Simulation)* è un codice di microsimulazione dinamica comportamentale del traffico privato ed è in grado di modellizzare dinamicamente le componenti individuali del traffico veicolare ad un livello di disaggregazione tale da poter replicare, con assoluta fedeltà e realismo, il comportamento di ogni singolo veicolo, in funzione ai specifici attributi cinematici e comportamentali.
Il software, di matrice anglosassone e prodotto dalla casa scozzese SIAS Ltd®, nonostante sia stato progettato per l'implementazione di modelli di traffico di micro / meso scala (dal singolo nodo ad un'area di studio di circa 5 km X 5 km), è in grado di gestire estese porzioni territoriali, ad includere interi ambiti urbani e regionali.
S-Paramics rappresenta lo strumento ideale per l'analisi di Accessibilità di Master Plan Urbani (livello di analisi da PII, PUA, ecc) per la predisposizione di Master Plan trasportistici integrati, al fine di valutare il probabile impatto veicolare dell'intervento di trasformazione ed identificare l'ottimale assetto infrastrutturale, con interventi di mitigazione ed adeguati correttivi puntuali e di rete.

Figura 3 Esempio di microsimulazione dinamica in Paramics: Expo 2015 Milano

Tra le sue molteplici finalità, il software può essere utilizzato come un vero e proprio *design-tool*, grazie all'elevato livello di dettaglio che offre in merito alla descrizione dell'offerta infrastrutturale. Il codice di verifica permette infatti l'accurata descrizione geometrica e funzionale di tutti gli elementi dell'offerta stradale (impianto viario), tra cui intersezioni semaforizzate complesse, rotatorie, elementi di restrizione dell'utilizzo della sede stradale, operazioni di calmierazione del traffico, sistema del trasporto pubblico ed interventi di priorità, generando una rappresentazione dinamica circa l'evoluzione e distribuzione delle correnti di traffico, oltre a dinamiche di congestione puntuale e diffusa. In particolare, il codice di simulazione offre la possibilità di:

- Simulare le componenti di traffico ed i fenomeni di congestione che ne possono derivare, gestendo il risultato dei calcoli effettuati tramite una rappresentazione in *real time*;
- Avere funzioni di scelta del percorso ottimale ad apprendimento dinamico tali da poter integrare sistemi di trasporto intelligenti;
- Interfacciarsi direttamente a strumenti di regolazione automatica del traffico, quali i sistemi per la gestione di impianti di semafori coordinati;
- Introdurre i sistemi di trasporto collettivo e valutare la loro influenza sulle altre componenti di traffico sia durante la fase di marcia che presso le fermate, nonché simulare sistemi di semafori asserviti al passaggio di mezzi pubblici;
- Ottenere report sia statistici che grafici dal livello di rete complessiva fino al livello del singolo veicolo per singolo istante di simulazione, fornendo quindi elementi di analisi estremamente efficaci per valutare la funzionalità e l'efficienza di un dato impianto infrastrutturale.

La possibilità di visualizzare e replicare dinamicamente le condizioni di circolazione sia in spazio bidimensionale sia tridimensionale, permette la predisposizione di video di grande efficacia comunicativa e di immediata lettura.

2.3.1 Analisi delle risultanze modellistiche

La valutazione complessiva circa la funzionalità di un intervento viabilistico e il grado di miglioria che esso apporta all'intero schema di rete si basa sulla ricerca ed elaborazione di una serie di dati statistici di rete che Paramics offre interrogando i modelli implementati. Tra i più importanti elementi si riportano i seguenti:

1. Parametri riassuntivi di rete: offrono un'immediata immagine del livello di funzionalità degli schemi viari modellizzati, permettendo inoltre un confronto diretto tra schemi diversi. Essi sono:

   - Tempo totale di percorrenza della rete (*network delay*): rappresenta la sommatoria dei tempi di viaggio di tutti i veicoli che effettuano il loro spostamento nell'ora di simulazione;
   - Numero totale di veicoli che hanno concluso il loro viaggio nell'ora di simulazione;
   - Tempo medio al veicolo: rappresenta il tempo speso mediamente da ogni veicolo simulato ed è dato dal rapporto del *network delay* con il numero totale cumulato di veicoli di rete; esso permette una prima valutazione sull'entità dei costi della collettività in termini di tempo speso durante lo spostamento.
   - Distanza totale percorsa nella rete: rappresenta la sommatoria delle distanze coperte dagli spostamenti di ogni veicolo simulato;
   - Velocità media della rete: data dal rapporto della distanza totale percorsa nella rete e il *network delay*.

2. Velocità media istantanea e cumulata: descrive la storia cinematica della rete fino a quell'istante. L'elaborazione dei dati permette la creazione di grafici temporali in cui si evince l'andamento cinematico della rete durante l'ora di simulazione;

3. Analisi di viabilità per determinati percorsi: si possono definire significativi percorsi di rete (non necessariamente relazioni interzonali) e sviluppare un'analisi più approfondita solo su questi, partendo dall'elaborazione di dati di report (richiesti ad ogni sotto-intervallo di simulazione di cui definire la durata);

4. Flussi di arco e flussi di manovra: il modello registra ad intervalli predefiniti il numero di veicoli che hanno descritto una particolare manovra o che hanno attraversato un certo arco, dati necessari al processo di calibrazione che si sviluppa dal confronto dei flussi osservati e quelli simulati.

3 Lo scenario attuale

3.1 Simulazione a scala territoriale

L'analisi di traffico si pone lo scopo di valutare, attraverso la definizione di specifici indicatori sintetici di prestazione trasportistica, l'impatto che lo **scenario di esercizio di progetto** andrà a generare sul sistema viabilistico sia a scala territoriale (Area Vasta di Cagliari), sia a livello più locale.
Dato l'obiettivo di offrire un solido riscontro basato sull'evidenza scientifica nella corretta rappresentazione delle fenomeniche di traffico attese, è stato implementato ed adeguatamente aggiornato uno specifico modello di **macrosimulazione di area vasta**.
Tale piattaforma infatti è in grado di valutare gli impatti trasportistici sia a livello puntuale che di più ampia scala, elemento di diagnosi fondamentale soprattutto in situazioni in cui, come il caso in oggetto, l'intervento infrastrutturale andrà ad assumere un ruolo cruciale nell'insieme delle relazioni di traffico del contesto urbano.
Nello specifico, è stato utilizzato il **modello di traffico dell'intera area metropolitana di Cagliari**, sviluppato con il software Cube (Citilabs) e precedentemente utilizzato a supporto di diversi progetti di pianificazione dei trasporti, fra cui, il più significativo, la redazione dell'attuale **Piano Urbano della Mobilità di Cagliari**, avvenuta nel periodo 2006-2009.
Il modello a disposizione del Gruppo di Lavoro è stato puntualmente aggiornato **all'anno base dello studio (febbraio 2016)** attraverso l'esecuzione di una specifica campagna di indagini che ha avuto luogo nei giorni 17/02/2016 e 18/02/2016, che ha riguardato un totale di **53 sezioni di rilievo mono-direzionali** lungo l'asse della SS554 oggetto di progettazione. Tale campagna d'indagine è andata ad integrare il database di circa **600 sezioni di conteggio** implementato nel modello di traffico.
Risulta importante sottolineare che il modello di traffico è impostato per replicare le condizioni di traffico relative all'intervallo **orario di punta del mattino (7:30 – 8:30)**, momento in cui si registra la maggiore pressione veicolare su tutta la rete viabilistica.
Le verifiche modellistiche si articolano in tre fasi analitiche principali:

- Rappresentazione e calibrazione dello scenario di Stato di Fatto (2016);
- Implementazione e simulazione degli scenari di progetto;
- Implementazione e simulazione degli scenari di cantiere.

Si precisa che le valutazioni economiche richiamate nel presente elaborato non anticipano in alcun modo l'offerta economica formulata sui lavori in oggetto.

3.1.1 Calibrazione dello stato di fatto 2016

La calibrazione dello stato di fatto avviene aggiornando le due dimensioni principali del modello: il **sistema di offerta e di domanda**. Con sistema di offerta si intendono tutte le infrastrutture ed elementi che fanno parte del servizio di trasporto offerto (strade, intersezioni, sistemi di regolazione del traffico, etc.).
La domanda di mobilità rappresenta invece tutta l'utenza che, nell'intervallo temporale considerato, ha necessità di muoversi dalla propria origine ad una specifica destinazione per un dato motivo. L'aggiornamento della domanda di mobilità avviene attraverso la **stima della matrice degli spostamenti sulla base di dati rilevati** (conteggi di traffico su sezioni stradali strategiche, vedi paragrafo precedente).
Una volta che il modello viene aggiornato, si attiva un processo iterativo di simulazione e confronto con i dati rilevati che ha come fine ultimo l'ottenimento dei risultati migliori in termini di efficacia della rappresentazione e validità statistica degli indicatori di calibrazione.
Le immagini seguenti mostrano, relativamente allo scenario dello stato di fatto aggiornato, i **volumi di traffico sulla rete e il rapporto volume/capacità (V/C)**, con quest'ultimo che rappresenta il grado di congestione dell'infrastruttura.

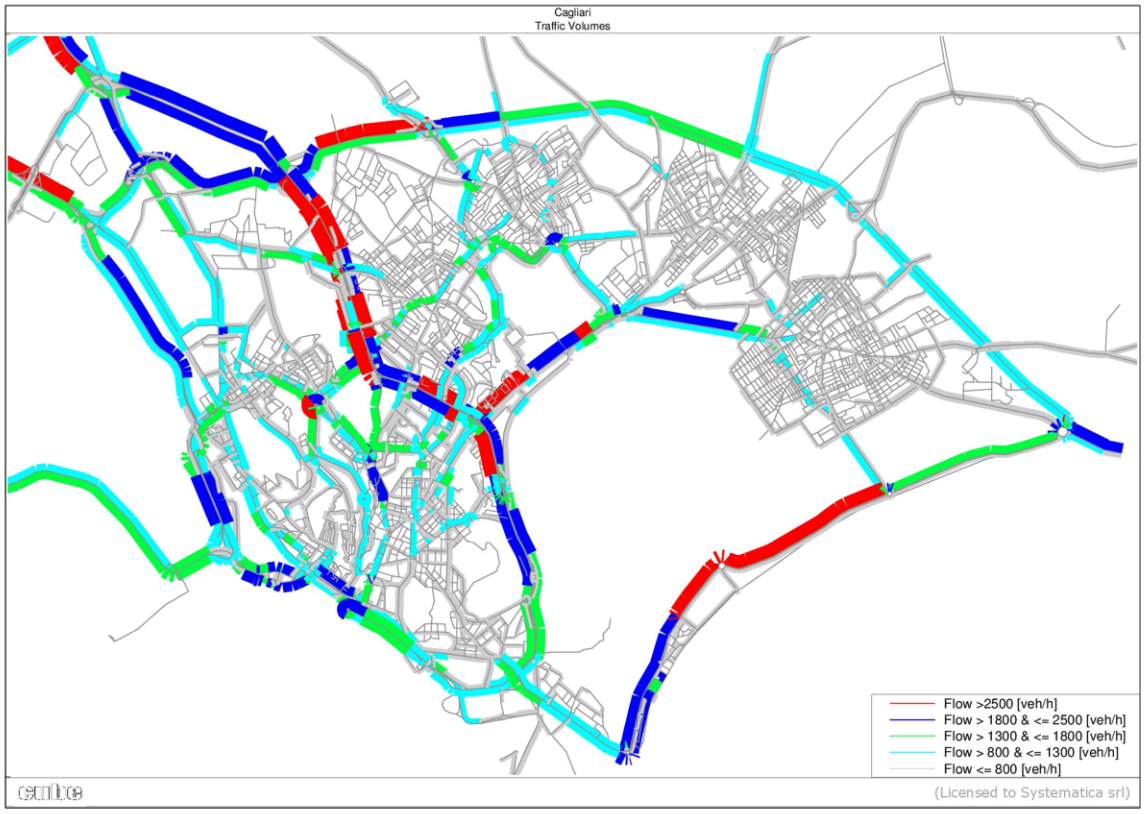

Figura 4 Flussi di traffico allo stato attuale

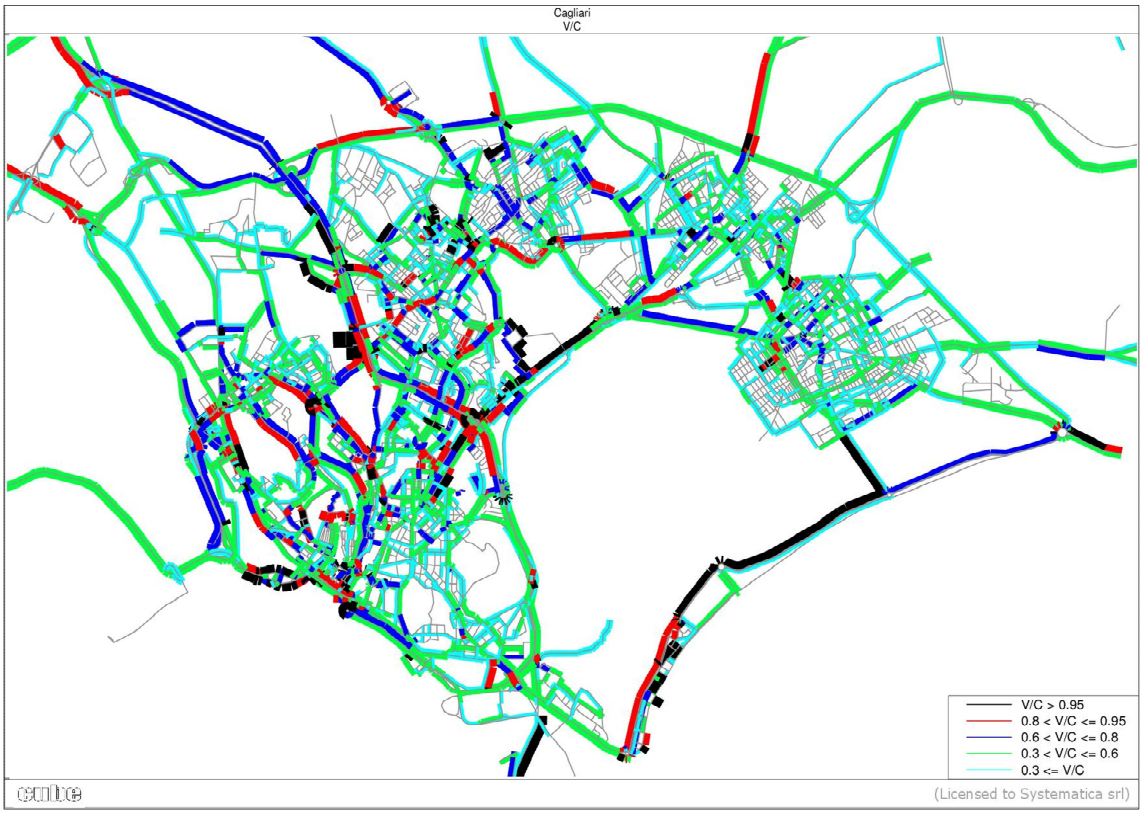

Figura 5 Rapporto volume/capacità allo stato attuale

Nel seguito sono riportati i parametri di calibrazione. Si anticipa che in tutti i casi si è superata positivamente la soglia minima statisticamente accettabile.

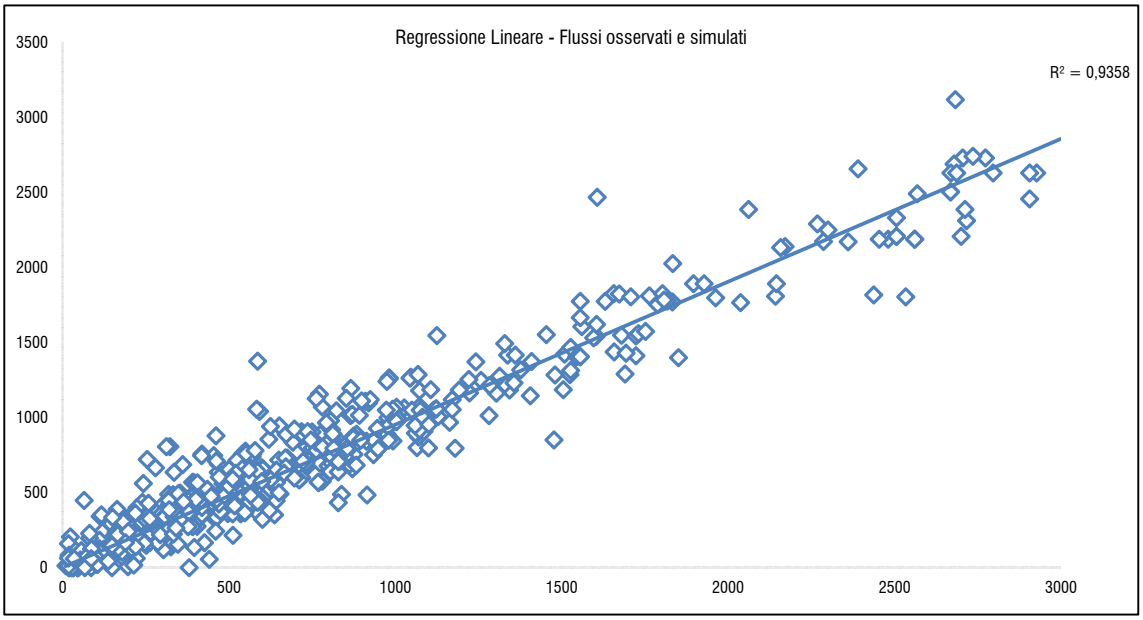

Figura 6 Regressione lineare tra flussi osservati e assegnati

- R^2 | coefficiente di determinazione = 0.939 – soglia minima: 0.8
- MAPE | Errore medio assoluto percentuale = 15.8% - soglia minima 20%
- RMSE | Errore quadratico medio = 23.0% - soglia minima 30%

Nel seguito si riportano i parametri di rete relativi allo scenario attuale:

- Veicoli*km (numero totale di km percorsi nella rete) = 629,883.3
- Veicoli*ora (numero totale di ore spese nella rete) = 20,246.6
- Velocità media di rete = 31.1 km/h

Relativamente alla sola SS 554, considerando un'area che contenga anche le strade in adduzione, si ha:

- Veicoli*km (numero totale di km percorsi nella rete) = 54.505,4
- Veicoli*ora (numero totale di ore spese nella rete) = 1.258,0
- Velocità media di rete = 43,3 km/h

4 Lo scenario di esercizio

4.1 Introduzione

La definizione e calibrazione dello scenario dello stato di fatto ha consentito l'implementazione ed interrogazione del modello alla simulazione dello **scenario di progetto in fase di esercizio**. Dal punto di vista della domanda di mobilità occorre effettuare delle stime di previsione rispetto allo scenario attuale, in quanto la fase di esercizio di progetto è prevista attorno al 2020. Al fine di testare un sistema di trasporti consolidato, **lo scenario di domanda testato è relativo al 2025**, anno per il quale si ritiene che gli utenti utilizzatori della rete di trasporto avranno raggiunto una consapevolezza e familiarità con i nuovi interventi relativamente stabile e, quindi, comparabile con il grado di conoscenza della rete allo stato di fatto. Dal punto di vista del sistema di offerta, la rete è modificata per rispettare la **configurazione infrastrutturale prevista**, accogliendone tutte le modifiche geometriche e funzionali, unitamente all'implementazione dell'intera serie di migliorie progettuali proposte.
Sono inoltre considerati tutti gli interventi infrastrutturali in corso di realizzazione e programmati che è prevedibile saranno in esercizio all'anno di riferimento 2025, fra cui la rampa di discesa dall'asse mediano verso Via dei Valenzani e la **modifica del Viale Marconi con l'implementazione del senso unico in direzione Cagliari**. Quest'ultimo intervento in particolare è di fondamentale importanza perché Viale Marconi, unitamente alla SS 554, rappresenta uno degli assi principali di collegamento tra Cagliari e l'area vasta e pertanto qualsiasi modifica apportata avrà necessariamente una ricaduta sull'intero sistema di viabilità.

4.2 Scenario a base gara

Di seguito si riportano le risultanze dello scenario infrastrutturale di esercizio a base gara.

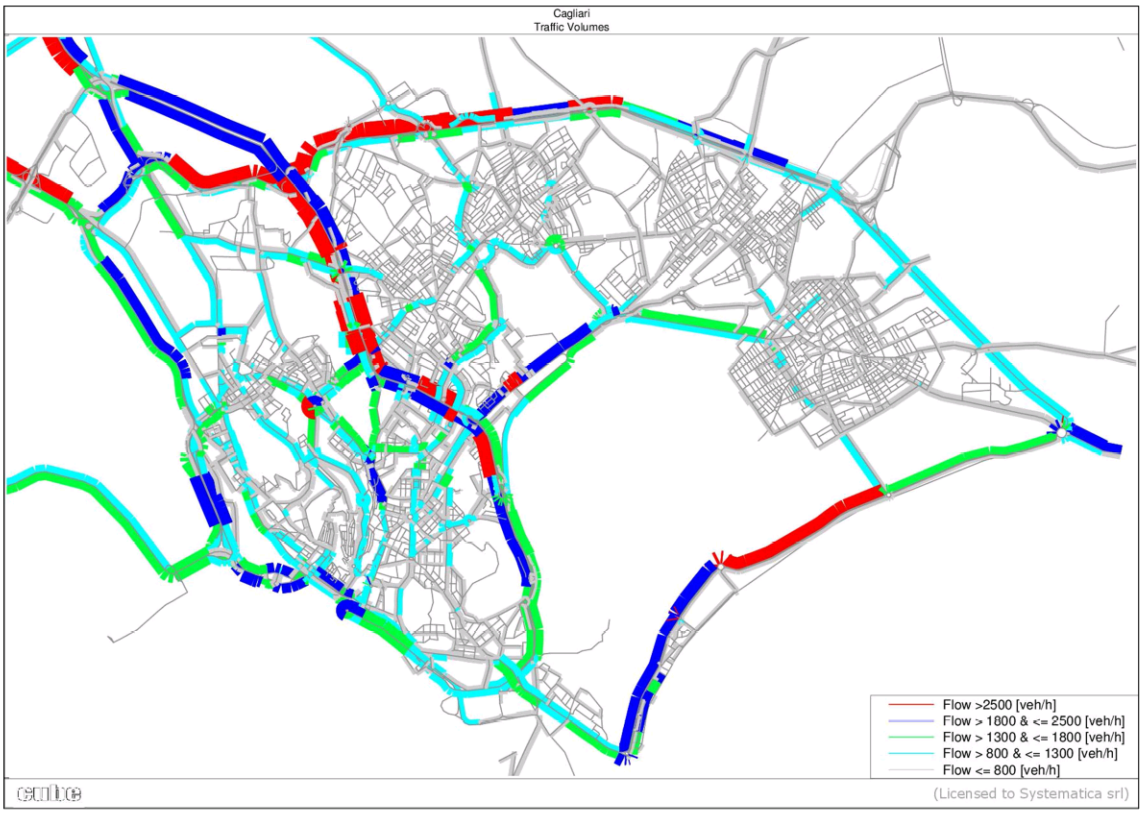

Figura 7 Flussi di traffico allo stato di progetto a base gara

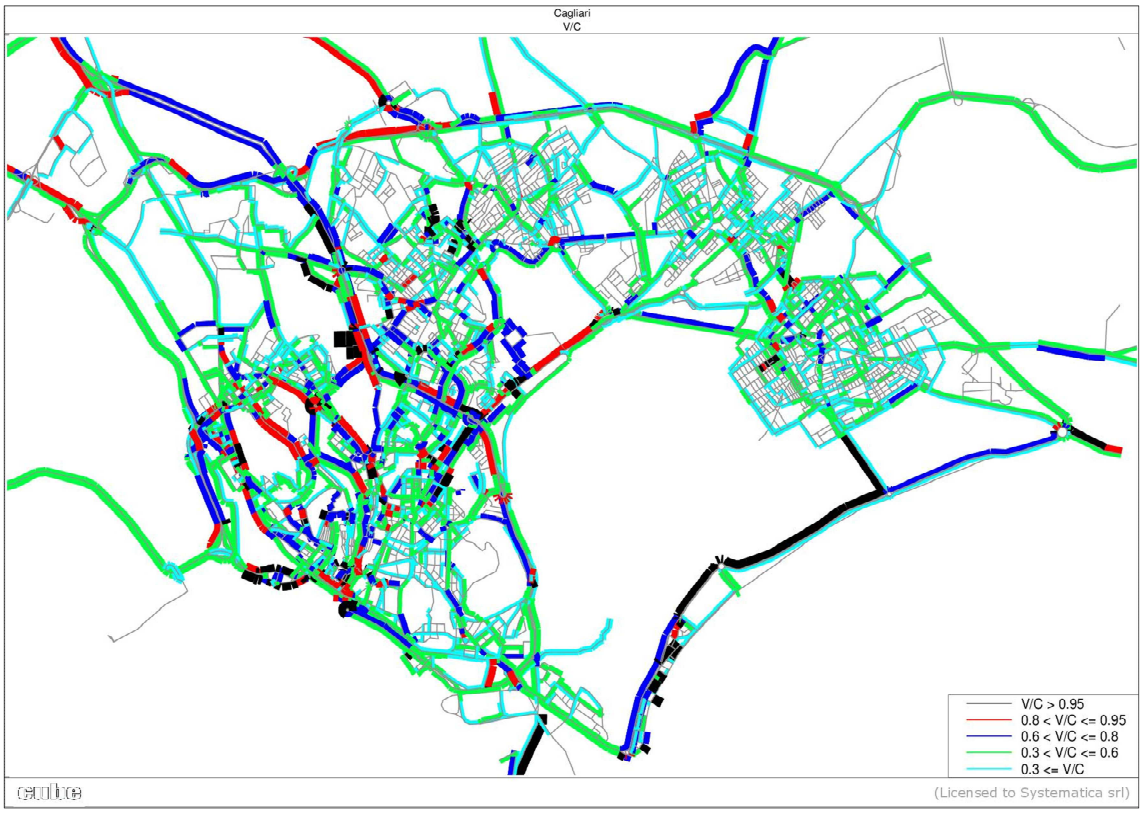

Figura 8 Rapporto volume/capacità allo stato di progetto a base gara

Le immagini mostrano come siano apprezzabili non solo a livello puntuale, ma anche di area vasta, le modifiche alle dinamiche di circolazione.

Sulla stessa SS 554 è possibile apprezzare la **diminuzione della congestione** nonostante un generale aumento dei flussi veicolari lungo tutta l'arteria, specie sulle strade di adduzione che beneficiano delle nuove intersezioni a rotatoria e dell'eliminazione delle interazioni con il flusso di attraversamento.

Si registra inoltre uno **scarico del Viale Marconi**, che porta a sicure migliorie delle condizioni di circolazione (allo stato attuale si registrano accodamenti a partire dall'ingresso a Cagliari fino a sopra lo svincolo per Monserrato), a cui contribuisce certamente la maggiore fruibilità della viabilità esterna offerta dalla nuova configurazione della SS 554.

4.2.1 Confronto con lo stato di fatto

Attraverso il modello è possibile effettuare un **confronto tra i due scenari**, sia in termini di indicatori e parametri di rete che di mappature. L'immagine seguente mostra infatti il confronto tra il traffico acquisito e distolto nello scenario di riferimento rispetto allo stato di fatto.

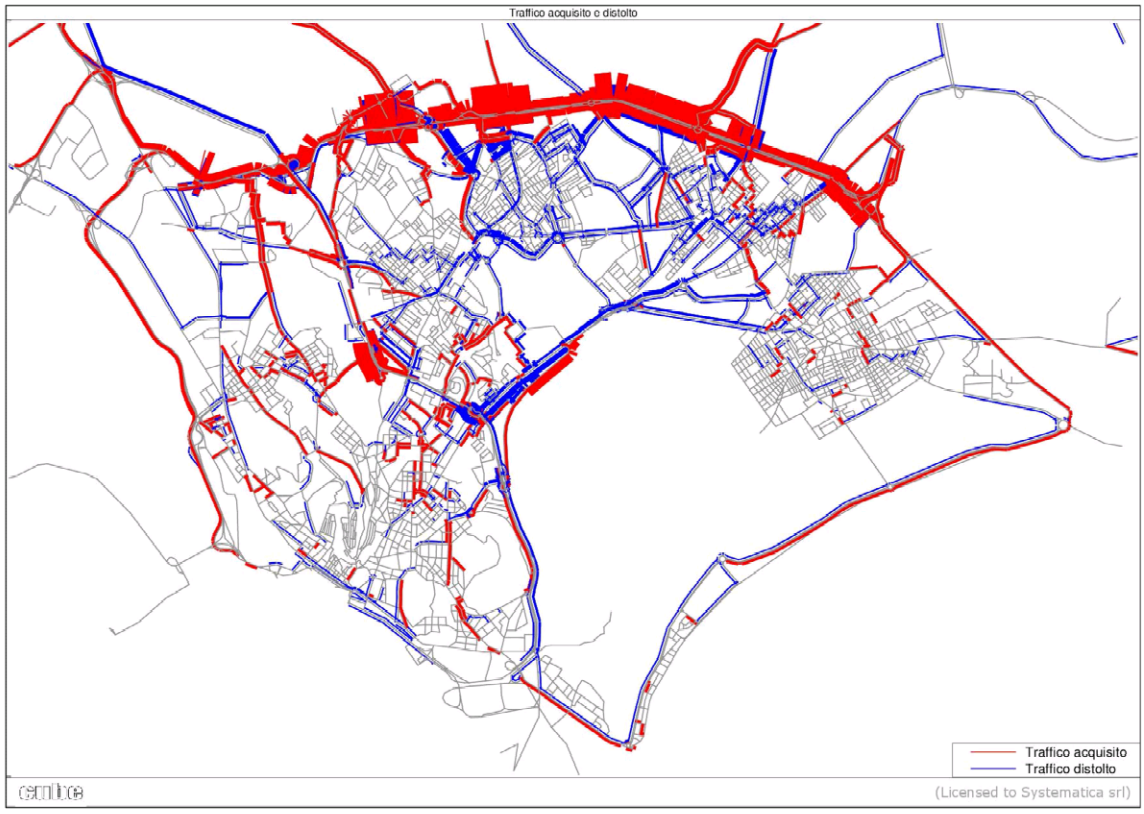

Figura 9 Traffico acquisito nello scenario di progetto a base gara rispetto allo stato di fatto

È possibile apprezzare come l'intervento infrastrutturale lungo la SS 554 abbia un impatto importante su tutta la rete di trasporto, così come ipotizzato in fase preliminare. Infatti, l'immagine mostra un carico maggiore rispetto allo stato attuale, che però contribuisce a **diminuire la pressione del traffico lungo tutta la maglia interna dell'area urbana**, con enormi benefici in termini di qualità della circolazione, tempi di percorrenza e sicurezza.
Le tabelle seguenti, riportanti un confronto dei parametri di rete tra lo scenario di riferimento e lo stato di fatto, forniscono ulteriori informazioni rispetto a quanto evidenziato dalle immagini.
Infatti, a livello di rete generale si registra una **diminuzione delle percorrenze e delle ore spese in rete**, a vantaggio di una maggiore fluidità della circolazione che si riflette nell'aumento della velocità di percorrenza. Considerando l'area intorno alla SS 554 è evidente un aumento sia delle distanze percorse che dei tempi, con questi ultimi legati non tanto ad un aumento di congestione ma alla semplice conseguenza del maggior numero di veicoli presenti.
Tutto ciò è confermato dall'**aumento della velocità di percorrenza**, che dimostra come la capacità dell'infrastruttura ad accogliere un traffico maggiore e, allo stesso tempo, offrire prestazioni migliori rispetto allo stato attuale. La tabella di sintesi seguente riporta un confronto dei parametri di rete tra i diversi scenari: stato di fatto (SDF) e base gara.

	Area Vasta				SS 554			
Annuali	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,370,859,329	100,697,659	€ 877,146,914	€ 1,714,883,886	345,327,028	7,110,482	€ 89,859,145	€ 121,091,711
Base Gara vs SDF	-0.31%	-7.35%	-€ 2,697,993	-€ 136,011,059	18.03%	5.29%	€ 13,723,933	€ 6,088,410

Tabella 1 Confronto parametri di rete globali tra stato di fatto e scenario di esercizio a base gara

È interessante valutare gli indicatori riportati nella

	Area Vasta				SS 554			
Annuali	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,370,859,329	100,697,659	€ 877,146,914	€ 1,714,883,886	345,327,028	7,110,482	€ 89,859,145	€ 121,091,711
Base Gara vs SDF	-0.31%	-7.35%	-€ 2,697,993	-€ 136,011,059	18.03%	5.29%	€ 13,723,933	€ 6,088,410

Tabella 1 Confronto parametri di rete globali tra stato di fatto e scenario di esercizio a base gara

tradotti in termini economici (benefici monetizzati). A tal riguardo sono stati considerati i seguenti parametri di **costi operativi (VOC)** e di **valore del tempo (VOT)** per le categorie veicoli leggeri (LV) e veicoli pesanti (HV):

- VOC LV = 0,195 €/km;
- VOT LV = 15,00 €/h;
- VOC HV = 0,452 €/km;
- VOT HV = 23,00 €/h.

Negli interventi in campo trasportistico e specie su quelli con ampia fascia d'influenza, di effettuare un'analisi a livello di area vasta, considerandone quindi tutte le possibili ricadute, piuttosto che focalizzarsi esclusivamente sull'intervento in oggetto.

Tale osservazione è confermata dall'analisi economica dei risultati ottenuti. Utilizzando i parametri di costo elencati è possibile calcolare, sulla base della differenza tra le distanze percorse e il tempo speso in rete, l'impatto economico relativo all'intervento, rappresentate un beneficio se di segno negativo e un costo in caso contrario.

Relativamente all'area intorno alla SS 554, proiettando i valori all'anno, si avrebbe un costo aggiuntivo rispetto allo stato di fatto pari a € 19.812.343.

Tale valore è essenzialmente dovuto all'aumento dei volumi di traffico sulla SS 554 e nell'area locale. **È evidente che senza considerare gli impatti a vasta scala, il bilancio economico dell'intervento sarebbe negativo**.

Focalizzando invece l'attenzione sull'intera area, contemplando quindi tutti gli effetti derivati dall'intervento in oggetto, si ha un **risparmio globale pari a € 138.709.051** rispetto allo stato di fatto.

4.3 Scenario di proposta progettuale

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni relative allo scenario di proposta progettuale. Per maggiori informazioni rispetto alla configurazione infrastrutturale si rimanda ai specifici documenti tecnici.

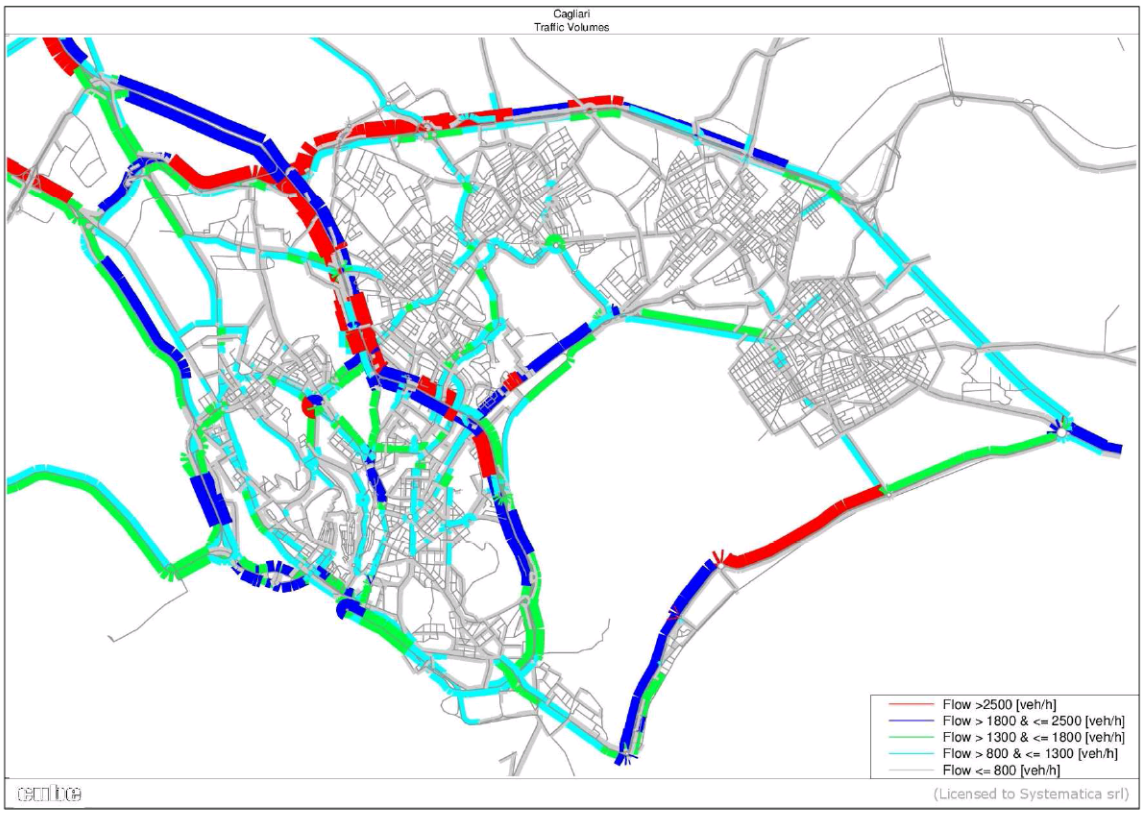

Figura 10 Flussi di traffico scenario proposta progettuale

.

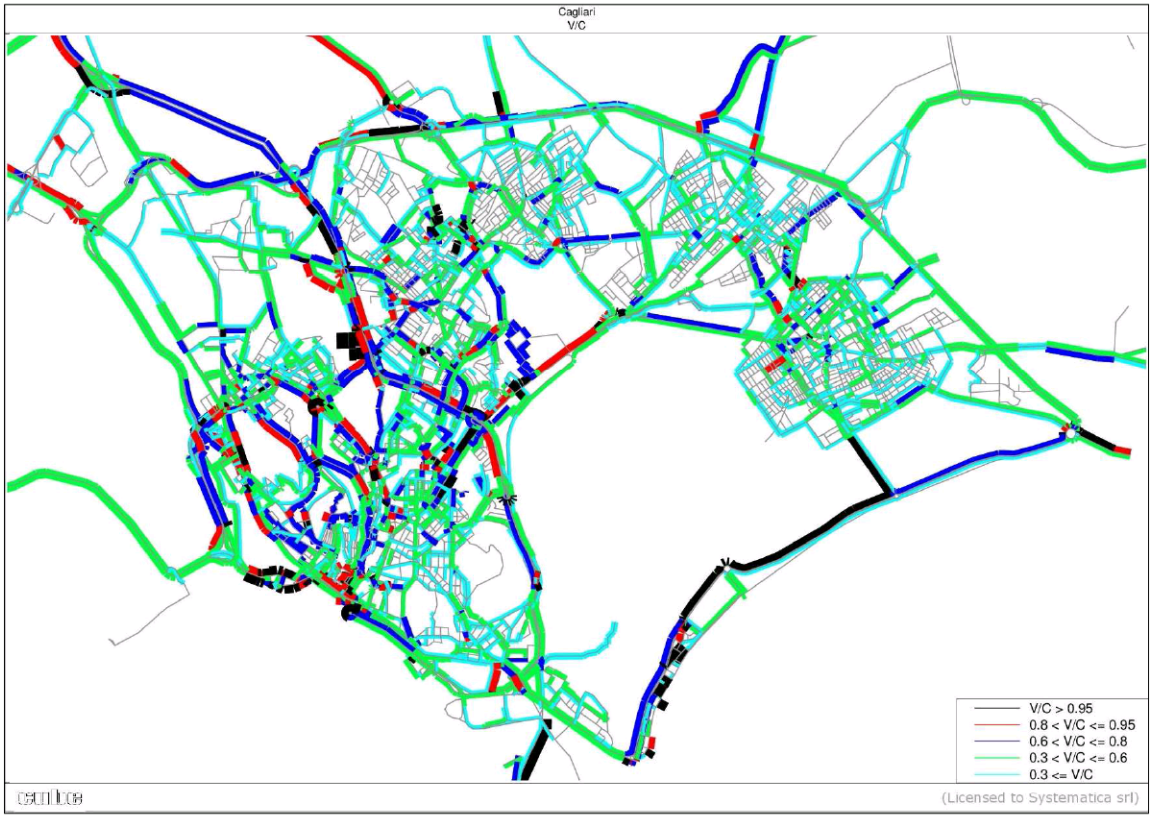

Figura 11 Rapporto volume/capacità scenario di proposta progettuale

A livello di distribuzione generale del traffico, le risultanze non mostrano particolari differenze rispetto allo scenario a base gara, con effetti simili rispetto allo stato di fatto.

4.3.1 Confronto con lo stato attuale

Le immagini rappresentative dei flussi di traffico mostrano come siano apprezzabili non solo a livello puntuale, ma anche di area vasta, le modifiche alle dinamiche di circolazione. Sulla SS 554 si registra una significativa **diminuzione della congestione**, nonostante un generale aumento dei flussi veicolari lungo tutta l'arteria, in particolare con riferimento alle strade di adduzione che beneficiano delle nuove intersezioni a rotatoria e dell'eliminazione delle interazioni con il flusso di attraversamento.

Si registra inoltre un effetto di **scarico di Viale Marconi**, che porta a sicure migliorie delle condizioni di circolazione (allo stato attuale si registrano accodamenti a partire dall'ingresso a Cagliari fino allo svincolo per Monserrato), a cui contribuisce certamente la maggiore fruibilità della viabilità esterna offerta dalla nuova configurazione della SS 554. La figura successiva mostra il confronto tra i flussi assegnati nello stato di fatto e quelli della proposta progettuale.

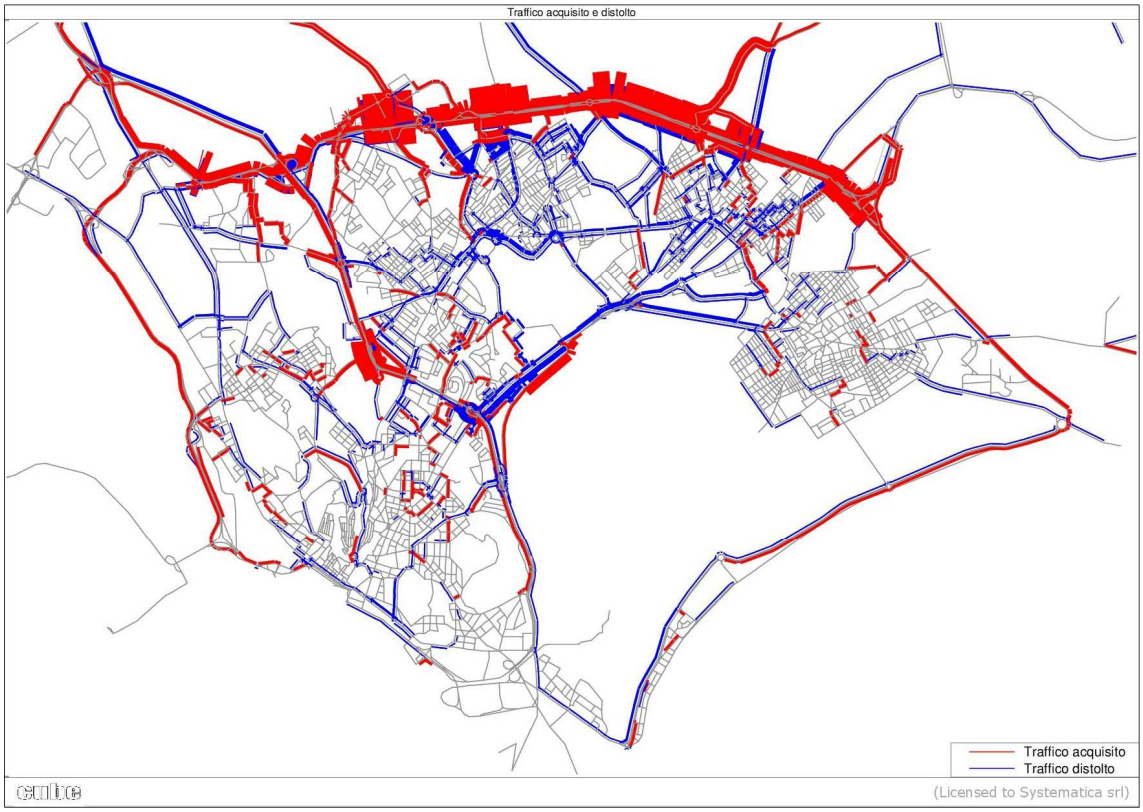

Figura 12 Traffico acquisito nello scenario di proposta progettuale rispetto allo stato di fatto

Le tabelle di sintesi seguenti riportano un confronto dei parametri annuali di rete tra i diversi scenari: stato di fatto (SDF), base gara e proposta progettuale (PRJ). I dati si riferiscono a costi operativi veicolari (*Vehicle Operating Cost,* VOC), costo del tempo (*Value of Time,* VOT), distanze percorse (veh*km) e numero di ore totale speso in rete (veh*h).

	Area Vasta				Area SS 554			
Annuali	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
PRJ	3,357,326,651	99,324,304	€ 873,625,514	€ 1,691,495,615	348,544,728	7,028,727	€ 90,696,438	€ 119,699,422
PRJ vs SDF	-0.71%	-8.61%	-€ 6,219,393	-€ 159,399,329	19.13%	4.08%	€ 14,561,226	€ 4,696,120

Tabella 2 Indicatori annuali di prestazione di esercizio

Analogamente a quanto emerso nel confronto tra scenario a base gara e SDF, risulta importante l'analisi dei risultati in termini di impatto ad area vasta. **Relativamente all'area intorno alla SS 554, proiettando i valori all'anno**, si avrebbe un costo aggiuntivo rispetto allo stato di fatto pari a € 19.257.346.
Tale valore è essenzialmente dovuto all'aumento dei volumi di traffico sulla SS 554 e nell'area locale. **È evidente che senza considerare gli impatti a vasta scala, il bilancio economico dell'intervento sarebbe negativo**.
Focalizzando invece l'attenzione sull'intera area, contemplando quindi tutti gli effetti derivati dall'intervento in oggetto, si ha un **risparmio globale pari a € 165.618.722** rispetto allo stato di fatto.

4.3.1 Confronto con lo scenario a base gara

Le tabelle di sintesi seguenti riportano un confronto dei parametri annuali di rete tra i diversi scenari: stato di fatto (SDF), base gara e proposta progettuale (PRJ). I dati si riferiscono a costi operativi veicolari (*Vehicle Operating Cost,* VOC), costo del tempo (*Value of Time,* VOT), distanze percorse (veh*km) e numero di ore totale speso in rete (veh*h).

	Area Vasta				Area SS 554			
Annuali	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**	**veh*km**	**veh*h**	**VOC**	**VOT**
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,370,859,329	100,697,659	€ 877,146,914	€ 1,714,883,886	345,327,028	7,110,482	€ 89,859,145	€ 121,091,711
PRJ	3,357,326,651	99,324,304	€ 873,625,514	€ 1,691,495,615	348,544,728	7,028,727	€ 90,696,438	€ 119,699,422
PRJ vs SDF	-0.71%	-8.61%	-€ 6,219,393	-€ 159,399,329	19.13%	4.08%	€ 14,561,226	€ 4,696,120
PRJ vs Base Gara	-0.40%	-1.36%	-€ 3,521,401	-€ 23,388,271	0.93%	-1.15%	€ 837,293	-€ 1,392,290

Tabella 3 Indicatori annuali di prestazione di esercizio

Dalle risultanze riportate nella tabella **la proposta progettuale si mostra più efficace rispetto a quella a base gara, con un risparmio annuo a scala territoriale pari a € 26.909.671, mentre considerando solo l'area d'intorno della SS 554 il risparmio annuale sarebbe di € 554.997.**

4.4 Simulazioni di dettaglio

4.4.1 Quadrifoglio 131dir

Si riportano di seguito le risultanze ottenute simulando in corrispondenza dello svincolo con la SS131 la soluzione di progetto a base gara e la soluzione di proposta progettuale migliorativa (PRJ).
I modelli differiscono dunque per la descrizione dell'offerta infrastrutturale ma implementano la **medesima domanda di traffico** desunta dal modello a scala territoriale (scenario di esercizio 2025).
La simulazione evidenzia che entrambe le soluzioni **non presentano particolari criticità**, ma appare comunque evidente dalla tabella sotto riportata che l'ipotesi di proposta progettuale offre **risultanze migliorative** rispetto alla soluzione a base gara. Si osserva, infatti, una riduzione del tempo medio speso in rete del 5%.
I tratti di scambio, evidenziati come possibili criticità, risultano adeguatamente dimensionati in quanto, dalle analisi a scala territoriale emerge che i flussi di traffico interessati dallo scambio sono di modesta entità poiché il flusso principale è quello passante.

Scenario di cantiere (fase 2)	Ora (HH:MM:SS)	Numero di veicoli in matrice	Numero di veicoli simulati	Tempo medio di percorrenza per veicolo (sec)	Tempo totale di percorrenza della rete (veh X h)	Distanza media per veicolo (m)	Distanza totale percorsa nella rete (veh X km)	Velocità media cumulata di rete (km/h)
Base Gara	08:00 - 09:00	**3723**	**3075**	323.06	275.95	409.90	1260	**4.57**
PRJ	08:00 - 09:00	**3723**	**3521**	131.47	128.58	404.61	1425	**11.08**
PRJ vs Base Gara	08:00 - 09:00	-	**446**	**-191.6**	**-147.4**	**-5.3**	**164.2**	**6.5**
%	08:00 - 09:00	-	**15%**	**-59%**	**-53%**	**-1%**	**13%**	**143%**

Tabella 4 Indicatori di prestazione di esercizio, svincolo SS131

Dalle risultanze riportate nella tabella **la proposta progettuale si mostra più efficace rispetto a quella a base gara, con un risparmio annuo € 1.625.156.**
Le immagini seguenti mostrano alcune istantanee di simulazione per entrambi gli scenari simulati.

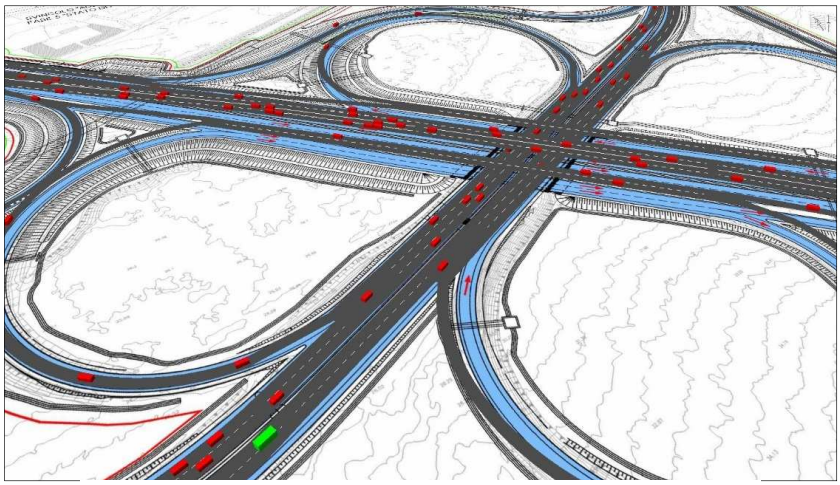

Figura 13 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio a base gara

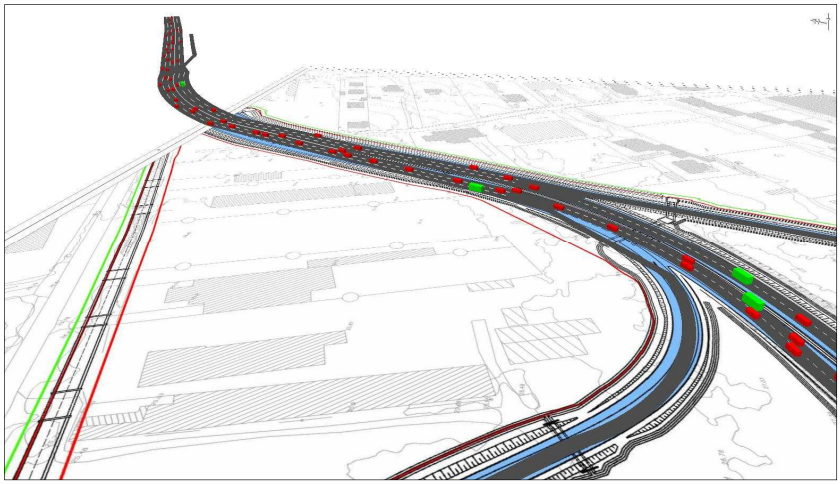

Figura 14 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio a base gara

Figura 15 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio a base gara

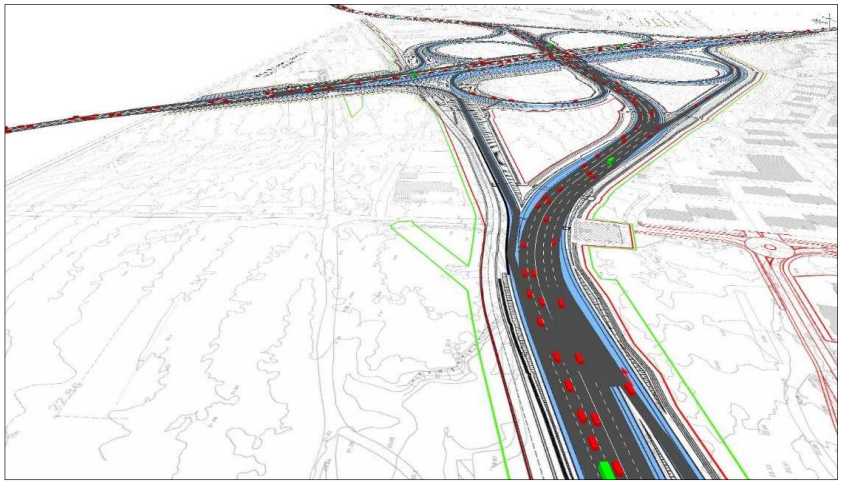

Figura 16 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio a base gara

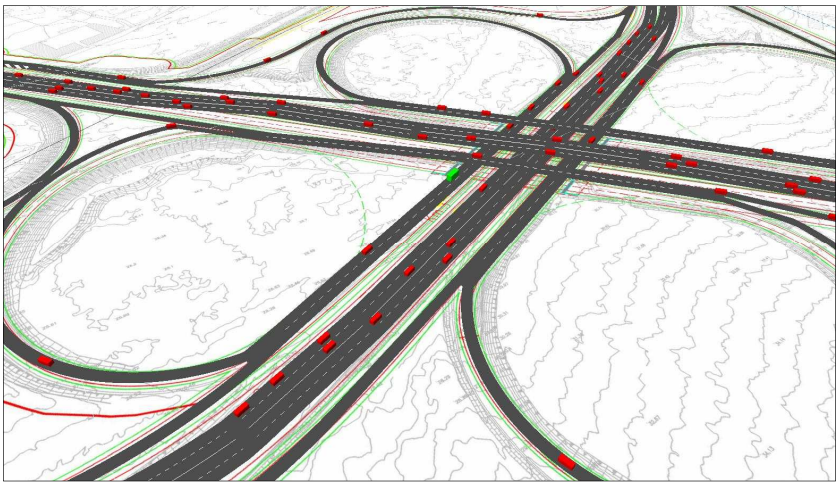

Figura 17 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio di proposta progettuale

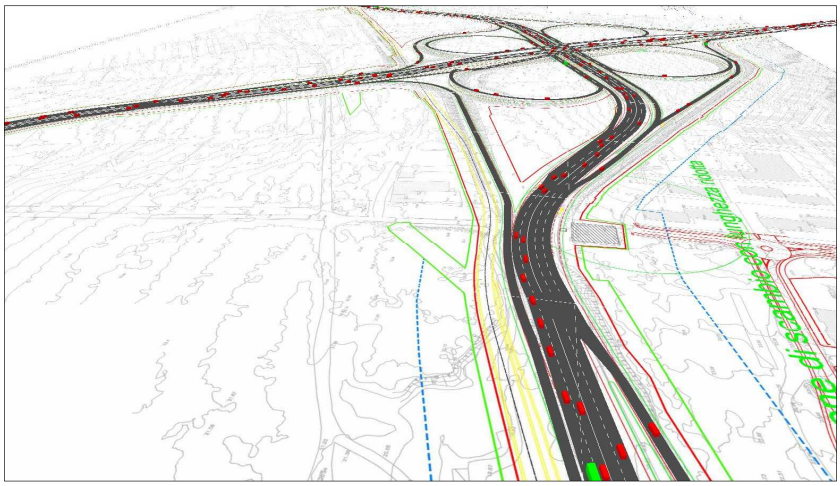

Figura 18 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio di proposta progettuale

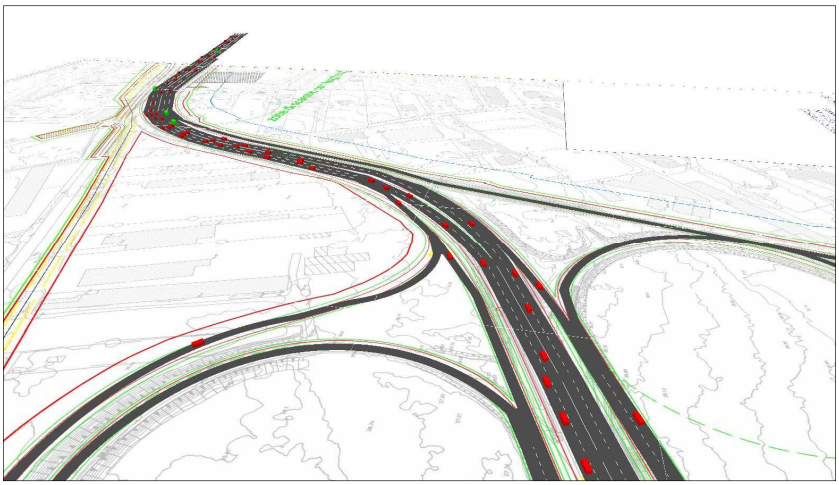

Figura 19 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio di proposta progettuale

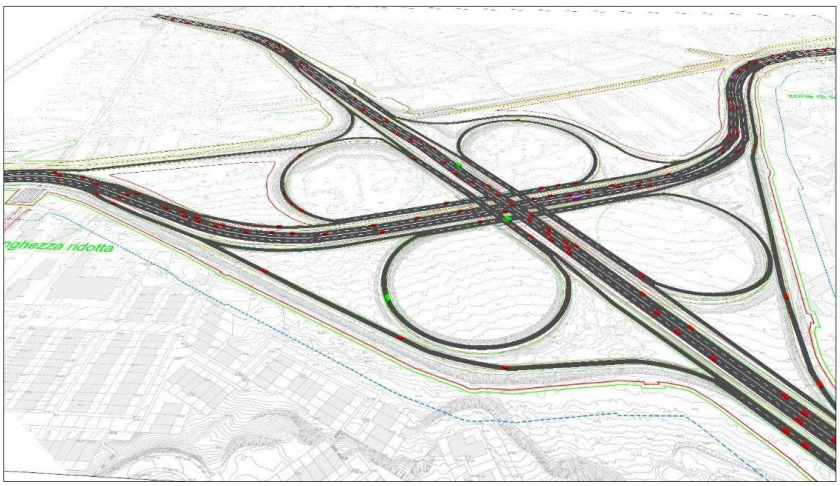

Figura 20 Svincolo SS131 dir, scenario di esercizio di proposta progettuale

4.4.1 Svincolo tipo

Si riportano di seguito le risultanze ottenute simulando lo scenario di esercizio per gli **svincoli con rotatoria tipo**, nello specifico lo **svincolo n. 3 Monserrato**. La domanda implementata nei modelli è quella desunta dal modello a scala territoriale (esercizio 2025).

Le soluzioni per la fase di esercizio nel progetto a base gara e nell'ipotesi di proposta progettuale sono geometricamente simili e differiscono sostanzialmente per la posizione delle pile del viadotto. Nella soluzione a base gara sono presenti due pile all'interno dell'isola di rotatoria e la lunghezza della campata tra due pile successive è di circa 32 metri.

Nell'ipotesi di proposta progettuale la distanza tra le pile viene aumentata a circa 47 metri, ciò permette di avere solamente una pila all'interno dell'isola di rotatoria.

Tale accorgimento garantisce una maggiore visibilità ai veicoli che approcciano la rotatoria e permette di effettuare le manovre di svolta con maggiore sicurezza.

I modelli simulativi differiscono, quindi, solo per il valore del **parametro della visibilità** in approccio alla rotatoria, introdotto per confrontare, solamente da un punto di vista di circolazione del traffico, le soluzioni proposte.

I risultati simulativi evidenziano che i parametri prestazionali di rete nell'ipotesi progettuale di proposta (PRJ) **sono sensibilmente migliorativi** rispetto a quelli riferiti al modello del progetto a base gara.

Dal punto di vista dei flussi di traffico, infatti, le due soluzioni sono del tutto analoghe e confrontabili, ma la soluzione proposta nell'ipotesi progettuale, aumentando la visibilità per i veicoli in approccio, migliora di fatto il livello di sicurezza dello svincolo a rotatoria (parametro che i software di simulazione non sono in grado di valutare nello specifico dato che considerano parametri di natura cinematica).

Scenario di esercizio	Ora (HH:MM:SS)	Numero di veicoli in matrice	Numero di veicoli simulati	Tempo medio di percorrenza per veicolo (sec)	Tempo totale di percorrenza della rete (veh X h)	Distanza media per veicolo (m)	Distanza totale percorsa nella rete (veh X km)	Velocità media cumulata di rete (km/h)
Base Gara	08:00 - 09:00	**5517**	**5517**	32.98	50.55	431.84	2382	**47.13**
PRJ	08:00 - 09:00	**5517**	**5517**	32.74	50.17	431.52	2381	**47.45**
PRJ vs Base Gara	08:00 - 09:00	-	**0**	**-0.2**	**-0.4**	**-0.3**	**-1.8**	**0.3**
%	08:00 - 09:00	-	**0%**	**-1%**	**-1%**	**0%**	**0%**	**1%**

Tabella 5 Indicatori di prestazione di esercizio, svincolo tipo

Dalle risultanze riportate nella tabella **la proposta progettuale si mostra più efficace rispetto a quella a base gara, con un risparmio annuo € 36.136.** Le immagini seguenti mostrano alcune istantanee di simulazione per entrambi gli scenari simulati.

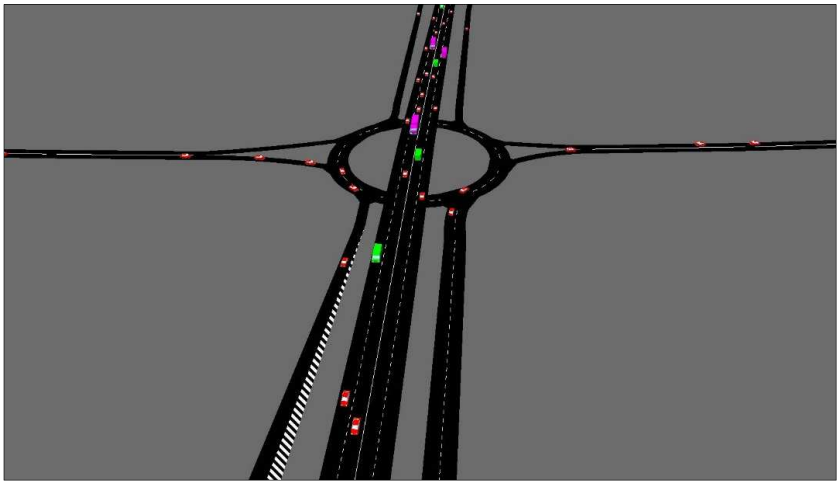

Figura 21 Rotatoria tipo, scenario di esercizio a base gara

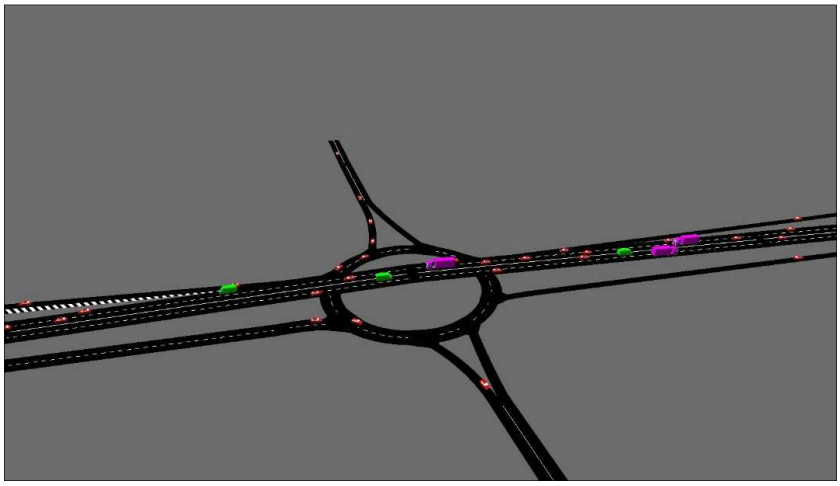

Figura 22 Rotatoria tipo, scenario di esercizio a base gara

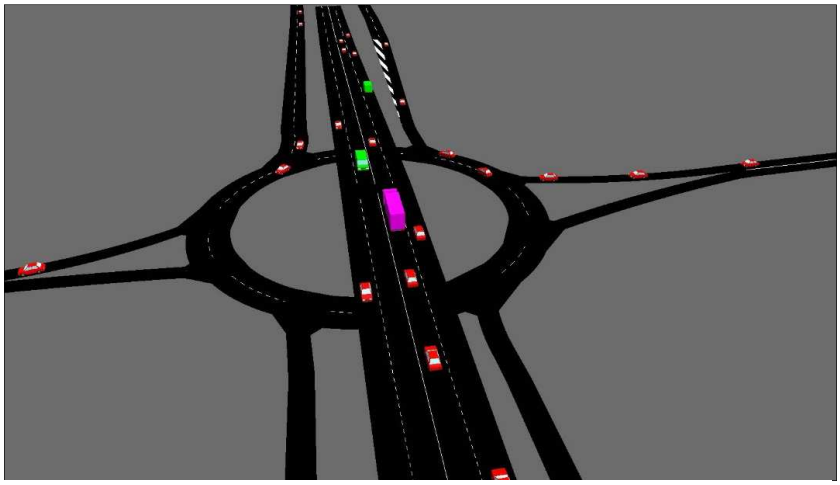

Figura 23 Rotatoria tipo, scenario di esercizio a base gara

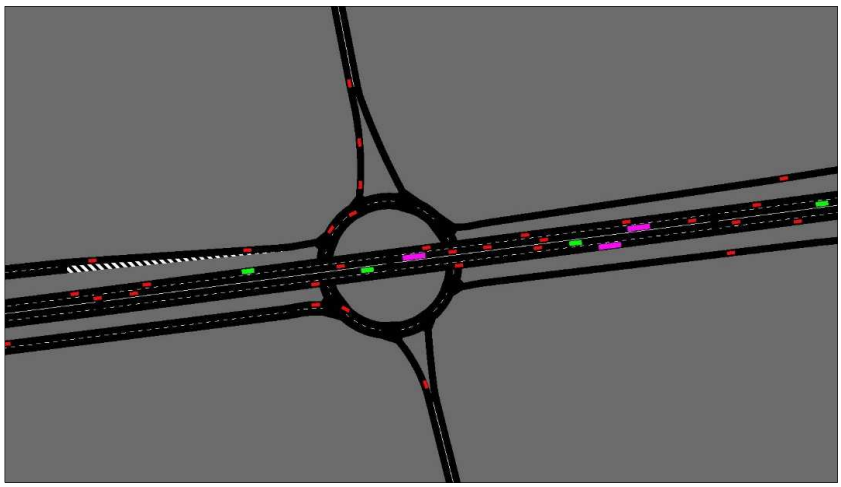

Figura 24 Rotatoria tipo, scenario di esercizio a base gara

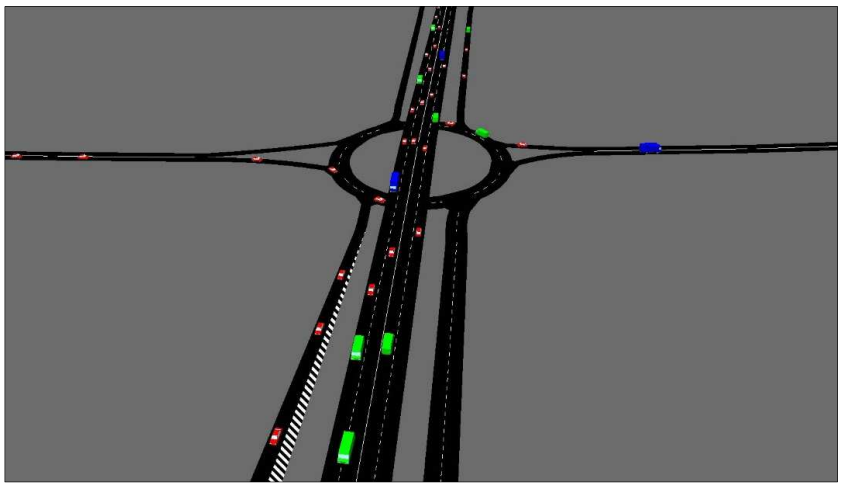

Figura 25 Rotatoria tipo, scenario di esercizio di proposta progettuale

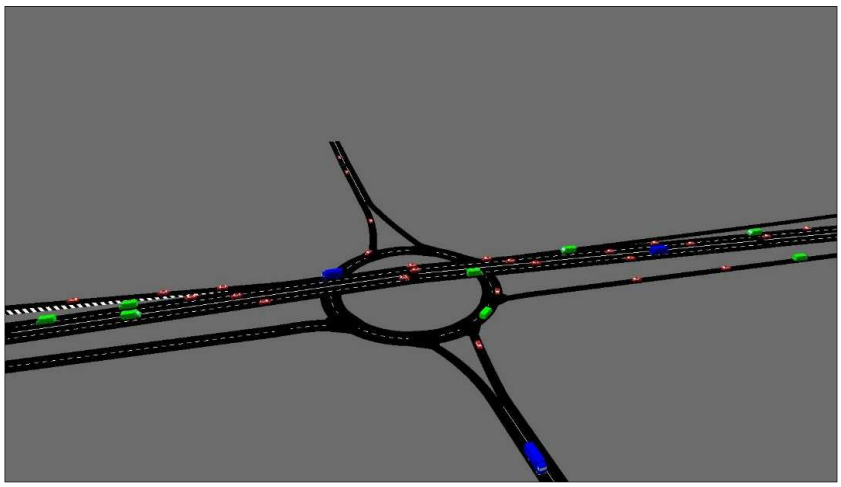

Figura 26 Rotatoria tipo, scenario di esercizio di proposta progettuale

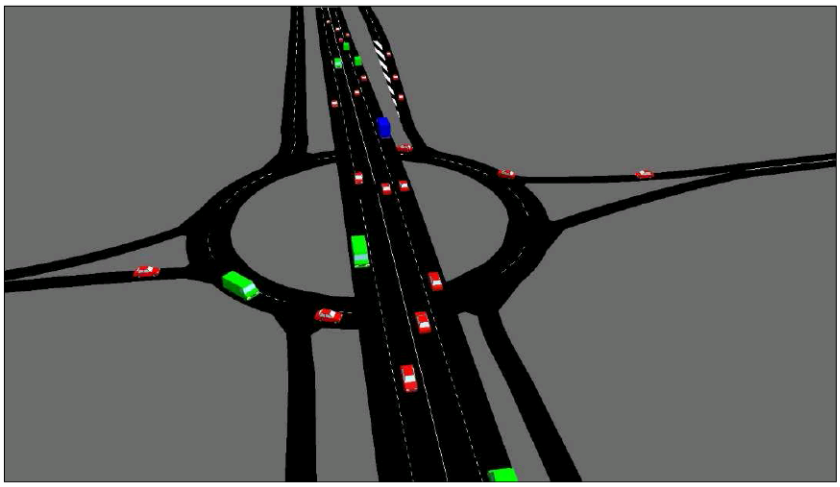

Figura 27 Rotatoria tipo, scenario di esercizio di proposta progettuale

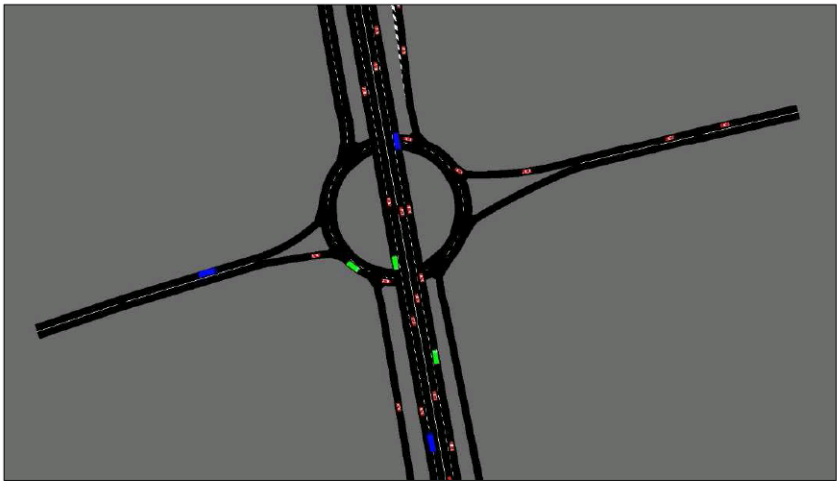

Figura 28 Rotatoria tipo, scenario di esercizio di proposta progettuale

4.4.1 Svincolo SS 125

Le analisi di traffico effettuate non hanno mostrato particolari differenze tra la configurazione a base gara e quella di proposta progettuale.

5 Lo scenario di cantiere

5.1 Introduzione

Al fine di valutare gli impatti sul traffico delle diverse fasi di cantiere, sono stati implementati due differenti **modelli di simulazione**. L'approccio utilizzato prevede sia un'analisi di area vasta, attraverso l'utilizzo del modello di **macrosimulazione** di cui al capitolo 2.2, sia un approfondimento puntuale su 3 ambiti principali: lo svincolo con la SS 131, lo svincolo tipo (cavalcavia lungo la SS 554 e nodo a rotatoria) e lo svincolo SS 125.

Le analisi di dettaglio sono state effettuate attraverso l'implementazione e puntuale interrogazione di modelli di **microsimulazione** dinamica, in grado di riprodurre il comportamento di guida al livello del singolo veicolo, consentendo un'analisi precisa e affidabile su quelli che saranno gli effetti dovuti a modifiche geometriche del tracciato e restrizioni alla circolazione tipiche dei cantieri stradali.

L'analisi della gestione del traffico sulla sede della SS.554 è stata effettuata attraverso il modello di macrosimulazione di area vasta. Lo scopo principale è quello di **valutare a livello globale gli effetti della cantierizzazione**, fornendo un adeguato supporto alla definizione della proposta progettuale migliorativa rispetto a quella a base gara.

Nello specifico sono stati simulati **due scenari di cantiere** Lotto 1 e Lotto 2 con la configurazione a base gara. Nello scenario Lotto 1 si è in fase costruttiva nella prima parte (appunto il Lotto 1), mentre il Lotto 2 rimane nelle condizioni attuali. Nello scenario Lotto 2 la fase costruttiva si sposta in quest'area e il Lotto 1 presenta la configurazione di esercizio definitiva. Per maggiori approfondimenti si rimanda agli appositi elaborati.

Sulla base delle criticità emerse, è stato possibile definire un'apposita **strategia di cantierizzazione alternativa e migliorativa** sia dal punto di vista della circolazione nell'area di studio, sia rispetto agli impatti gravanti sul traffico ad area vasta.

Tale configurazione migliorativa è stata simulata a sua volta e confrontata con la soluzione a base gara sia in termini di indicatori trasportistici che di impatto economico.

Le analisi dei singoli svincoli, come anticipato in apertura del paragrafo, sono state effettuate con specifici **modelli di microsimulazione dinamica** come per la fase di esercizio.

Tale strumento, in questa occasione, è utilizzato come supporto alla pianificazione e progettazione della configurazione puntuale di cantiere, in quanto permette di valutare gli effetti delle geometrie e della gestione delle singole correnti veicolari nelle aree critiche.

Pertanto, nel presente studio è stato utilizzato a supporto del Gruppo di Lavoro nella definizione della migliore strategia di cantierizzazione dei singoli svincoli, demandando al modello di macrosimulazione di area vasta la verifica dell'impatto della cantieristica sulla circolazione del traffico generale. Di conseguenza, la domanda di traffico utilizzata per le verifiche di dettaglio è quella che, allo stato di fatto, interessa la specifica intersezione.

Questa assunzione consente un **confronto prestazionale oggettivo** tra la soluzione a base gara e la proposta migliorativa del Gruppo di Lavoro, andando a rappresentare il momento più critico della cantierizzazione, ossia il momento in cui gli utilizzatori della rete non hanno ancora valutato ipotesi di percorso alternative e proseguono nel loro itinerario abituale.

5.2 Scenario a base gara, Cantiere Lotto 1

Lo scenario di cantiere relativo al Lotto 1 è quello **più impattante** dal punto di vista delle ricadute sulla circolazione veicolare, in quanto comprende la porzione della SS.554 su cui attualmente si registra la maggior pressione veicolare. Le figure successive mostrano i flussi di traffico e i rapporti volume/capacità dello scenario a base gara ottenuti attraverso le analisi effettuate con il modello di macrosimulazione di area vasta.

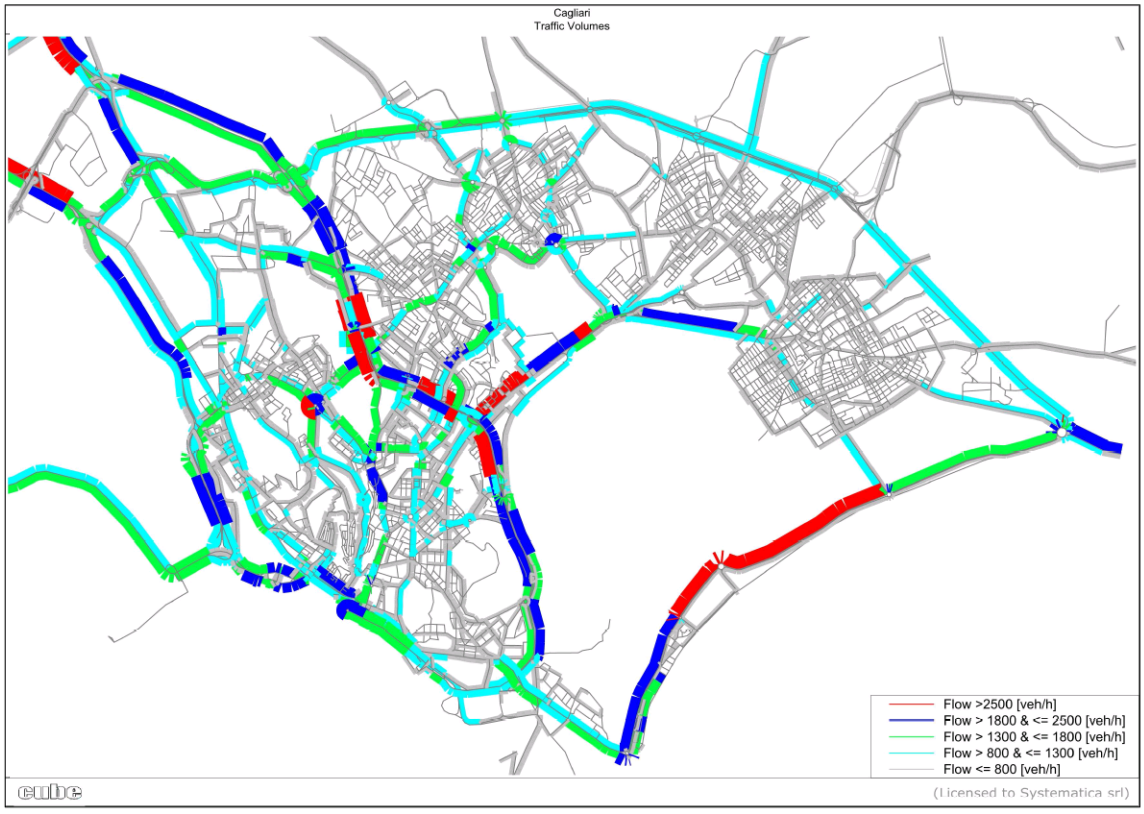

Figura 29 Flussi di traffico scenario a base gara, cantiere Lotto 1

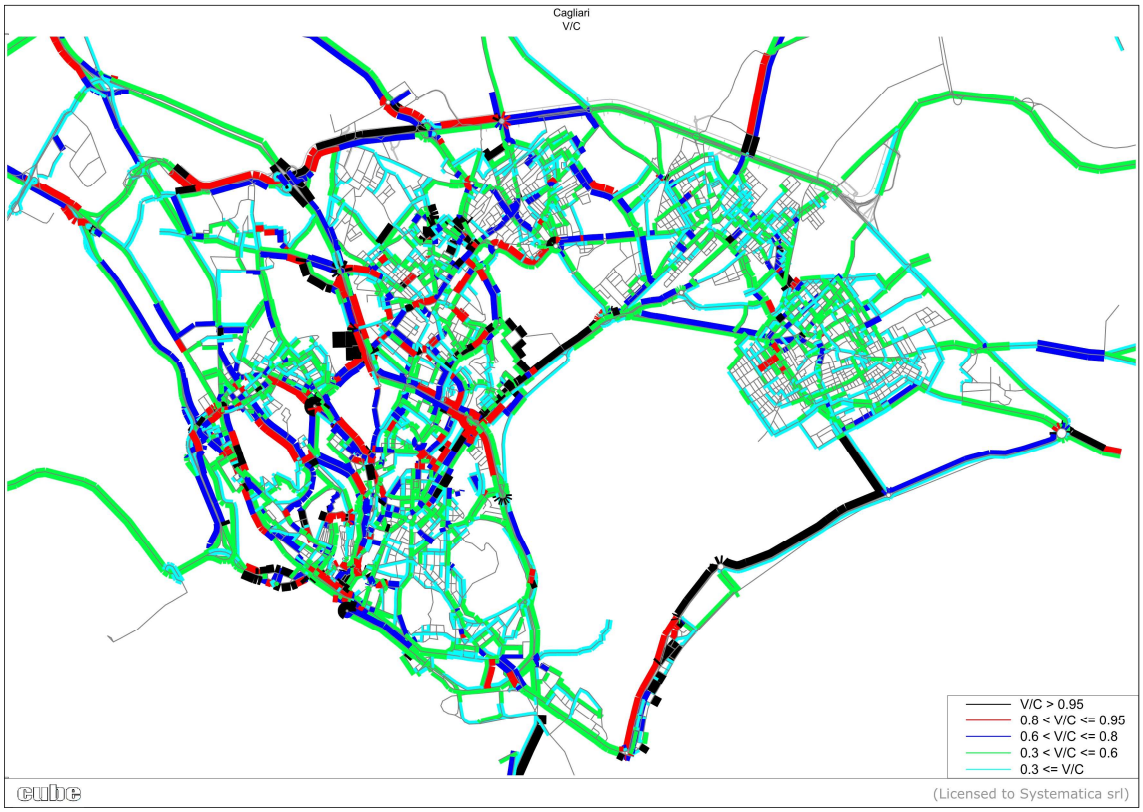

Figura 30 Rapporto volume\capacità scenario a base gara, cantiere Lotto 1

Gli impatti rispetto allo stato di fatto consistono in un aumento dei flussi di traffico sulle direttrici di penetrazione radiali all'area urbana, con un conseguente scarico della SS.131dir dovuto alla cantieristica dello svincolo (che mostra un carico aggiuntivo dovuto alla presenza delle nuove complanari). Inoltre, si registra un maggior flusso nel viale Marconi, che va ad accogliere le relazioni veicolari che nella fase di cantiere risentono necessariamente delle restrizioni alla circolazione sulla SS.554.

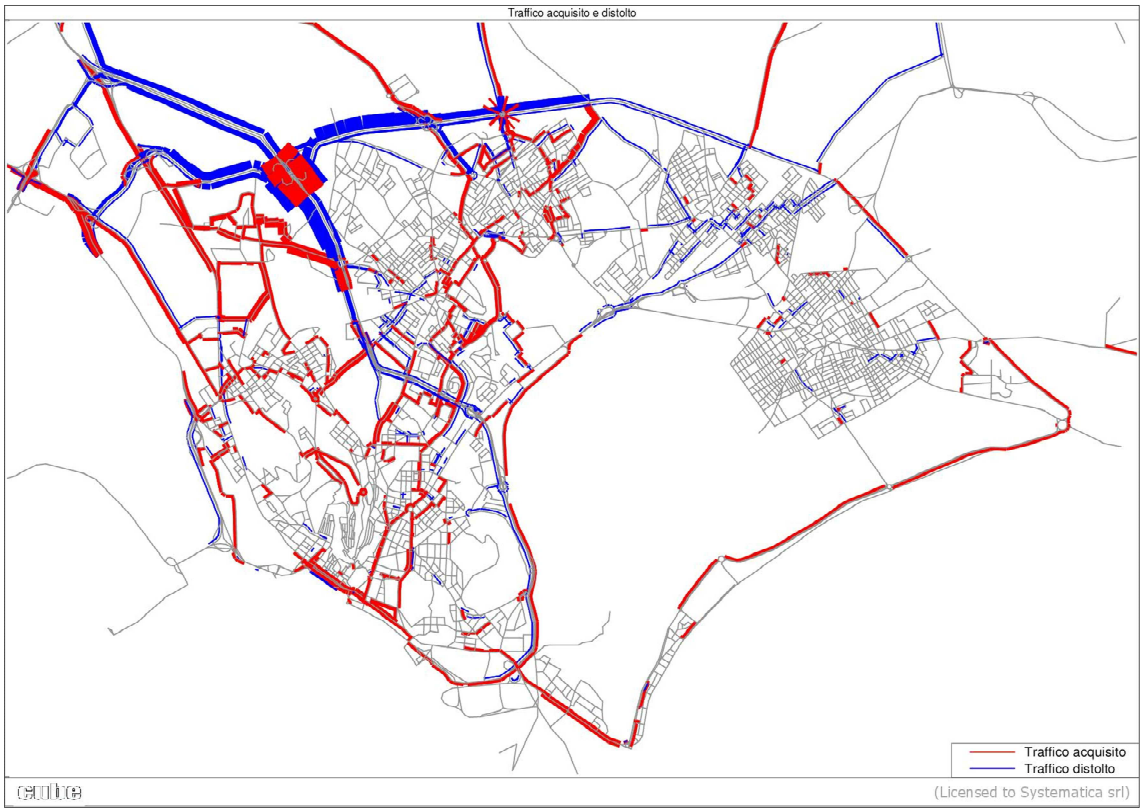

Figura 31 Confronto stato di fatto e scenario a base gara, cantiere Lotto 1

La tabella successiva mostra gli indicatori trasportistici annuali di confronto dello stato di fatto (SDF) e dello scenario di cantiere Lotto 1 a base gara.

Cantiere Lotto 1	Area Vasta				SS 554			
Annuali	veh*km	veh*h	VOC	VOT	veh*km	veh*h	VOC	VOT
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,395,810,165	112,591,156	€ 883,639,487	€ 1,917,430,479	250,012,369	7,664,892	€ 65,056,876	€ 130,533,318
Base Gara vs SDF	0.43%	3.59%	€ 3,794,580	€ 66,535,535	-14.55%	13.50%	-€ 11,078,336	€ 15,530,017

Tabella 6 Indicatori annuali di prestazione scenario di cantiere Lotto 1 a base gara

A livello di area vasta la fase di cantiere Lotto1 a base gara ha un impatto stimato pari a **€ 70.330.115** annui aggiuntivi**.**

5.3 Scenario di proposta progettuale, Cantiere Lotto 1

Lo scenario di cantiere Lotto 1 è stato simulato anche utilizzando la **configurazione infrastrutturale di proposta progettuale** (si rimanda agli appositi elaborati per maggiori approfondimenti sulle caratteristiche).
Le figure successive mostrano i flussi di traffico e i rapporti volume/capacità dello scenario a base gara ottenuti attraverso le analisi effettuate con il modello di macrosimulazione di area vasta

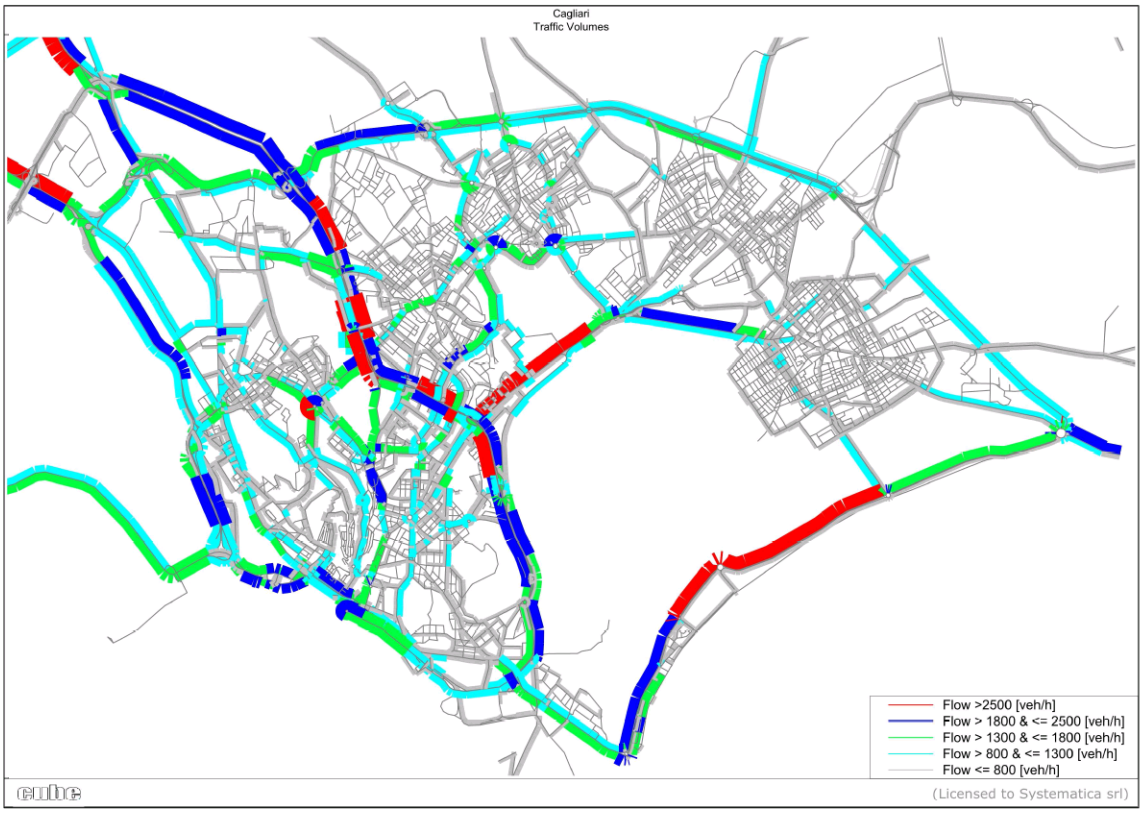

Figura 32 Flussi di traffico scenario di proposta progettuale, cantiere Lotto 1

Gli impatti rispetto allo stato di fatto consistono in un **aumento dei flussi di traffico** sulle **direttrici di penetrazione radiali** all'area urbana, con un conseguente scarico della SS.131dir dovuto alla cantieristica dello svincolo (che mostra un carico aggiuntivo dovuto alla presenza delle nuove complanari).
Inoltre, si registra un maggior flusso nel viale Marconi, che va ad accogliere le relazioni veicolari che nella fase di cantiere risentono necessariamente delle restrizioni alla circolazione sulla SS.554.
Tali impatti, a livello generale di ridistribuzione del traffico, sono più o meno comparabili a quelli dello scenario a base gara. Tuttavia, la maggiore fluidità della percorrenza garantita lungo il tracciato della SS554 porta a **notevoli vantaggi sui tempi di percorrenza** e, di conseguenza, a considerevoli risparmi economici, come mostrano gli indicatori riportati nelle pagine seguenti.

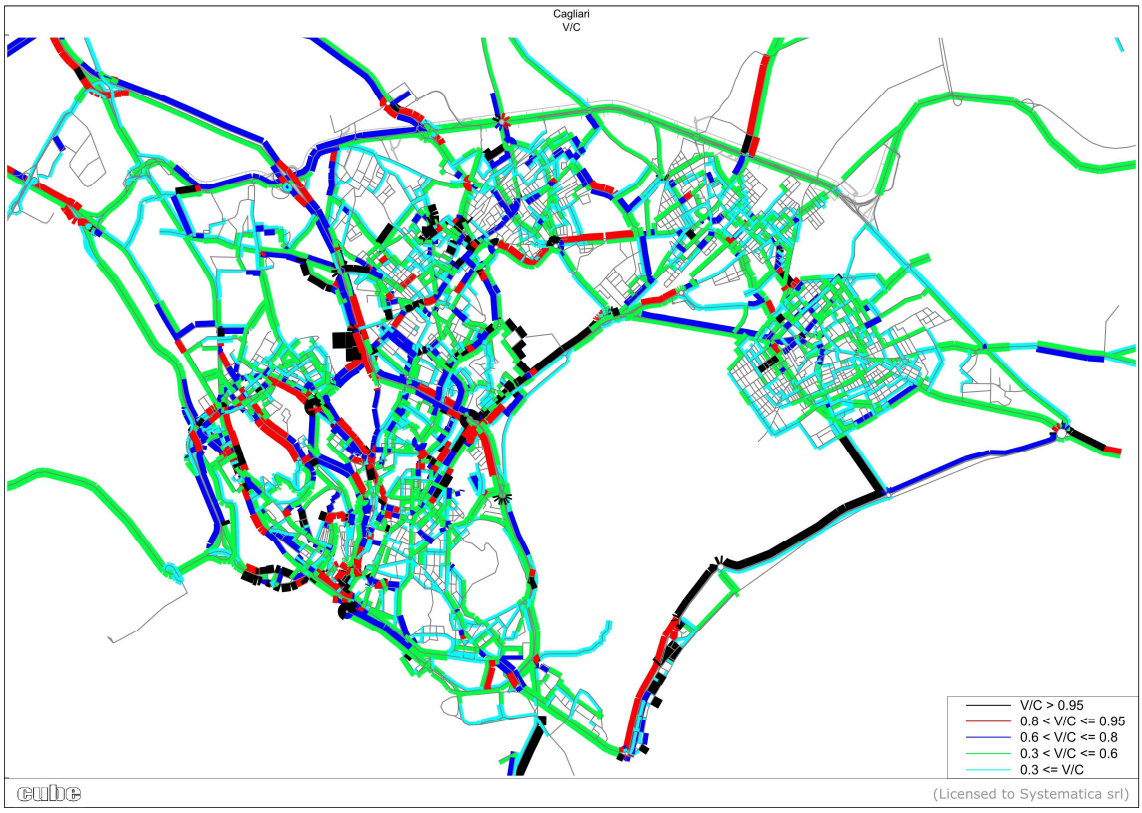

Figura 33 Rapporto volume\capacità scenario di proposta progettuale, cantiere Lotto 1

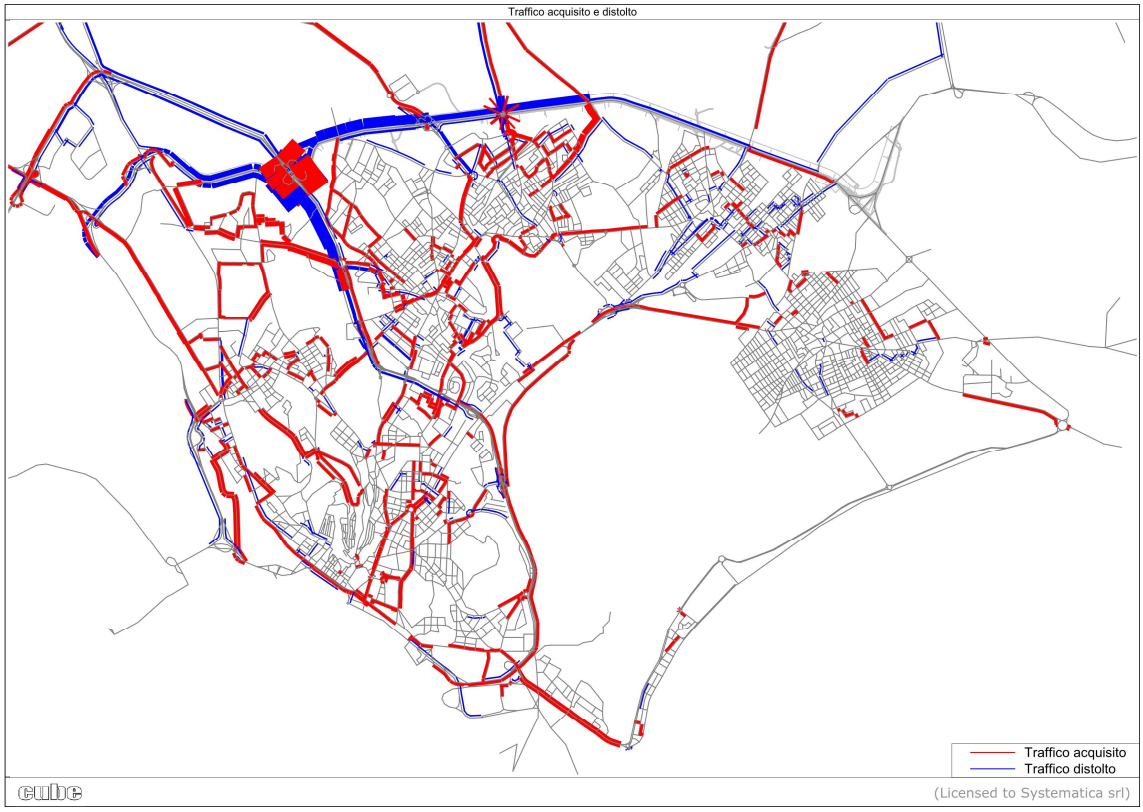

Figura 34 Confronto stato di fatto e scenario di proposta progettuale, cantiere Lotto 1

La tabella successiva mostra gli indicatori trasportistici annuali di confronto dello stato di fatto (SDF) e dello scenario di cantiere Lotto 1 di proposta progettuale.

Cantiere Lotto 1	Area Vasta				SS 554			
Annuali	veh*km	veh*h	VOC	VOT	veh*km	veh*h	VOC	VOT
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
PRJ	3,406,483,243	111,433,006	€ 886,416,778	€ 1,897,707,139	264,348,317	5,933,275	€ 68,787,300	€ 101,043,839
PRJ vs SDF	0.75%	2.53%	€ 6,571,871	€ 46,812,194	-9.65%	-12.14%	-€ 7,347,912	-€ 13,959,463

Tabella 7 Indicatori annuali di prestazione scenario di cantiere Lotto 1 di proposta progettuale

In questo caso, l'impatto economico ad area vasta dovuto alla presenza del cantiere si traduce in **€ 53.384.066** annui aggiuntivi.

5.3.1 Confronto con lo scenario a base gara

Come anticipato nel capitolo precedente, la proposta progettuale di cantiere Lotto 1 ha degli impatti minori rispetto a quella a base gara, come si desume dalla tabella successiva, che mostra gli indicatori trasportistici di confronto della proposta progettuale (PRJ) sia con lo stato di fatto (SDF), sia con la configurazione a base gara.

Cantiere Lotto 1	Area Vasta				SS 554			
Annuali	veh*km	veh*h	VOC	VOT	veh*km	veh*h	VOC	VOT
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,395,810,165	112,591,156	€ 883,639,487	€ 1,917,430,479	250,012,369	7,664,892	€ 65,056,876	€ 130,533,318
PRJ	3,406,483,243	111,433,006	€ 886,416,778	€ 1,897,707,139	264,348,317	5,933,275	€ 68,787,300	€ 101,043,839
PRJ vs SDF	0.75%	2.53%	€ 6,571,871	€ 46,812,194	-9.65%	-12.14%	-€ 7,347,912	-€ 13,959,463
PRJ vs Base Gara	0.31%	-1.03%	€ 2,777,291	-€ 19,723,340	5.73%	-22.59%	€ 3,730,423	-€ 29,489,479

Tabella 8 Indicatori annuali di prestazione scenario di cantiere Lotto 1

Dagli indicatori trasportistici presentati in tabella si evidenzia che la proposta progettuale **garantisce annualmente un risparmio pari a € 16,946,049 a livello di area vasta rispetto alla configurazione a base gara**. Tali aspetti migliorativi si percepiscono ancora meglio analizzando l'area d'intorno della SS554, dove nonostante il naturale decremento delle percorrenze dovute alla minore attrattività dell'itinerario durante la fase di cantiere (che si traduce in volumi di traffico transitanti inferiori), **la proposta progettuale garantisce, agli utilizzatori dell'infrastruttura, condizioni di esercizio simili a quelle dello stato di fatto**. **Tale effetto non è invece ottenibile secondo la configurazione di cantiere a base gara**, che anche a livello locale e, nonostante la ridotta attrattività dell'infrastruttura, mostra dei peggioramenti importanti rispetto alle condizioni di deflusso dello stato di fatto, garantite invece dalla proposta progettuale.

5.4 Scenario a base gara, Cantiere Lotto 2

Lo scenario di cantiere del Lotto 2 è meno impattante sulla circolazione, in quanto va a ricadere su una zona interessata da flussi di traffico minori e, inoltre, beneficia della messa in esercizio del Lotto1.
Le figure successive mostrano i flussi di traffico e i rapporti volume/capacità simulati attraverso il modello di macrosimulazione di area vasta.

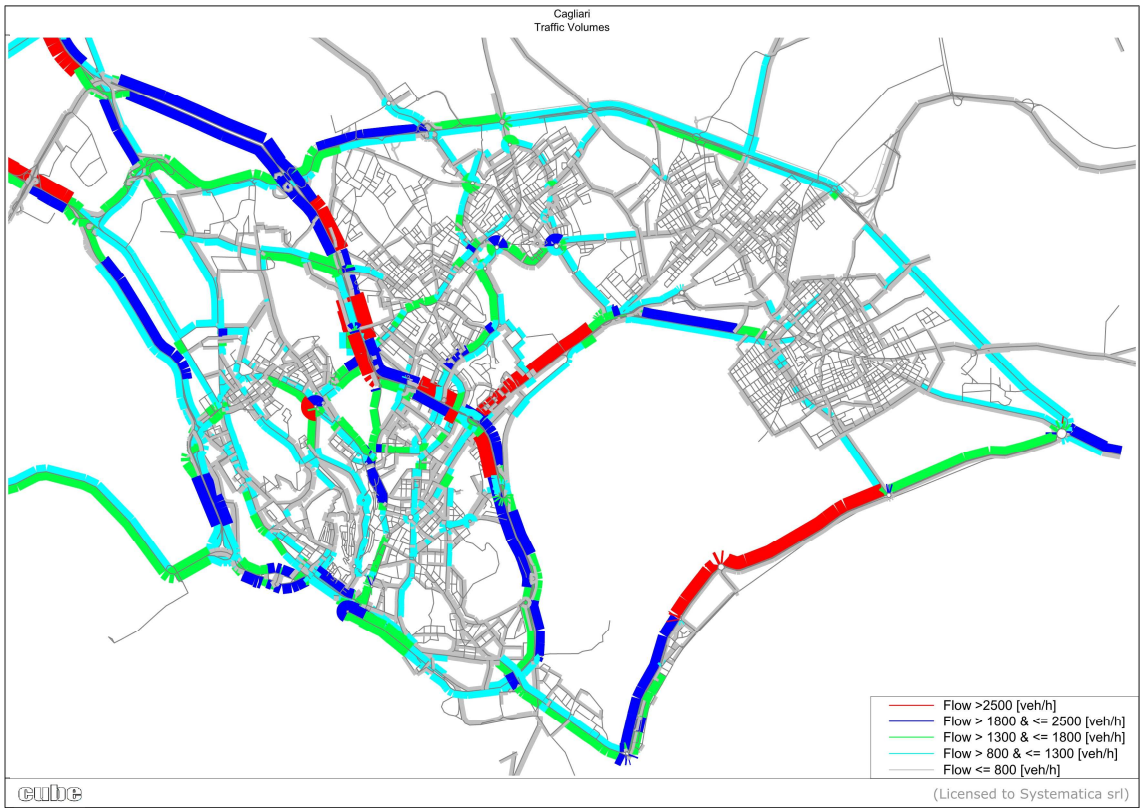

Figura 35 Flussi di traffico scenario a base gara, cantiere Lotto 2

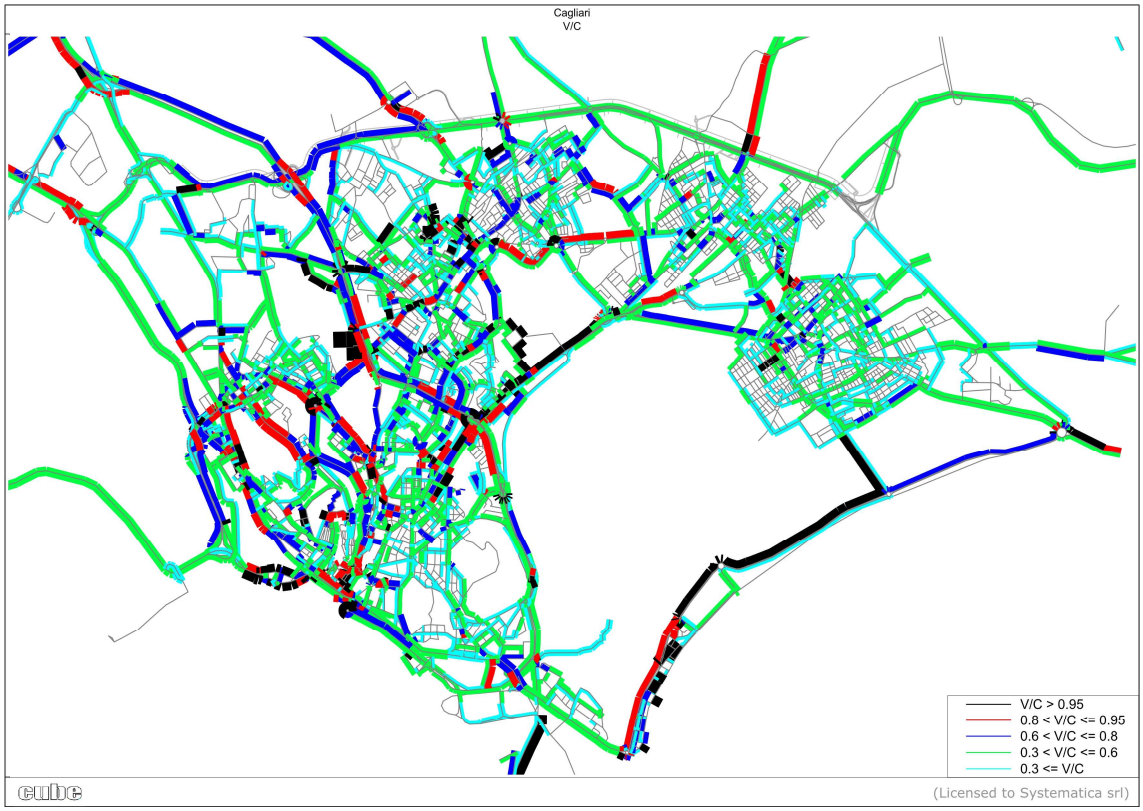

Figura 36 Rapporto volume\capacità scenario a base gara, cantiere Lotto 2

La tabella successiva mostra gli indicatori trasportistici di confronto della fase di cantiere Lotto 2 a base gara e lo stato di fatto SDF.

Cantiere Lotto 2	Area Vasta				SS 554			
Annuali	veh*km	veh*h	VOC	VOT	veh*km	veh*h	VOC	VOT
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,388,351,298	106,151,301	€ 881,698,581	€ 1,807,759,565	293,636,462	6,760,702	€ 76,408,503	€ 115,134,943
Base Gara vs SDF	0.21%	-2.33%	€ 1,853,674	-€ 43,135,380	0.36%	0.11%	€ 273,291	€ 131,641

Tabella 9 Indicatori annuali di prestazione scenario di cantiere Lotto 2 a base gara

In questo caso, l'impatto economico ad area vasta dovuto alla presenza del cantiere si traduce in **€ 41.281.706** annui risparmiati. Tale risparmio è dovuto alla messa in esercizio del Lotto 1 che ricade nell'area della SS554 su cui gravano i maggiori flussi di traffico, che quindi beneficiano della nuova configurazione anche durante la fase di cantiere Lotto 2.

5.5 Scenario di proposta progettuale, Cantiere Lotto 2

Lo scenario di cantiere Lotto 2 è stato simulato attraverso il modello di macrosimulazione di area vasta anche con la configurazione di proposta progettuale. Le immagini successive mostrano i flussi di traffico e i rapporti volumi/capacità.

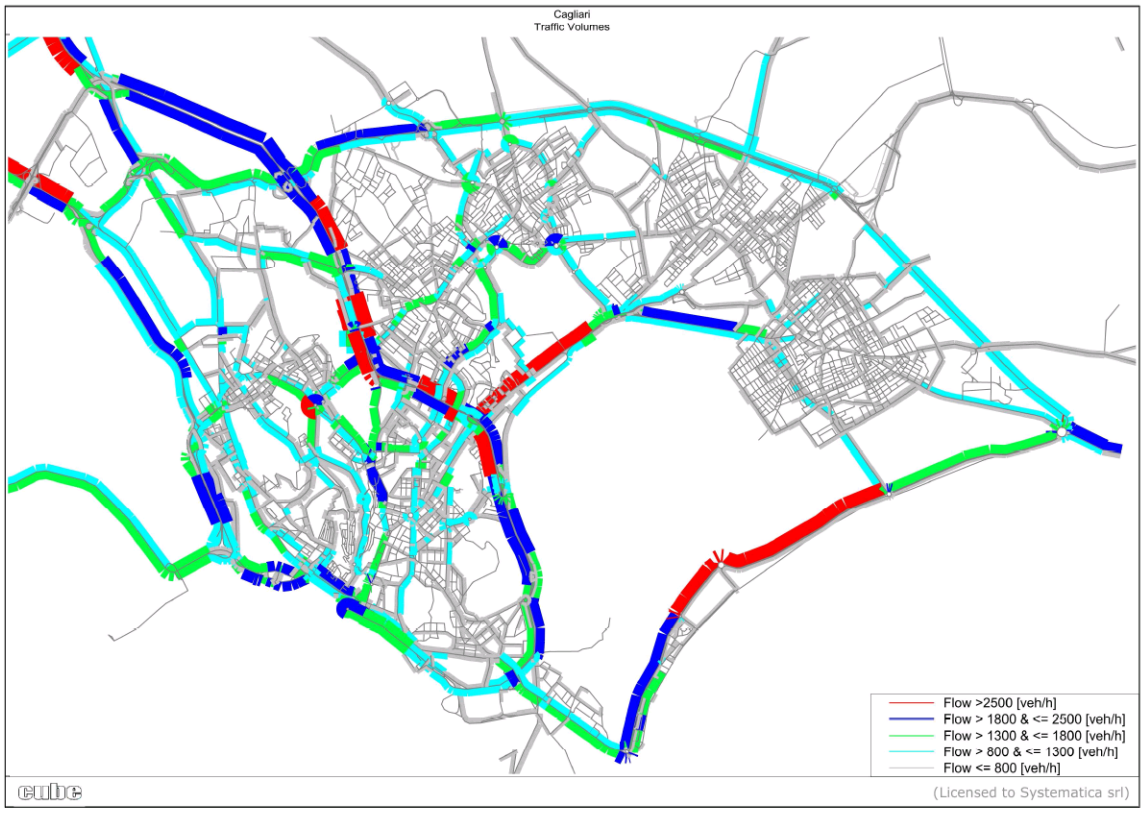

Figura 37 Flussi di traffico scenario di proposta progettuale, cantiere Lotto 1

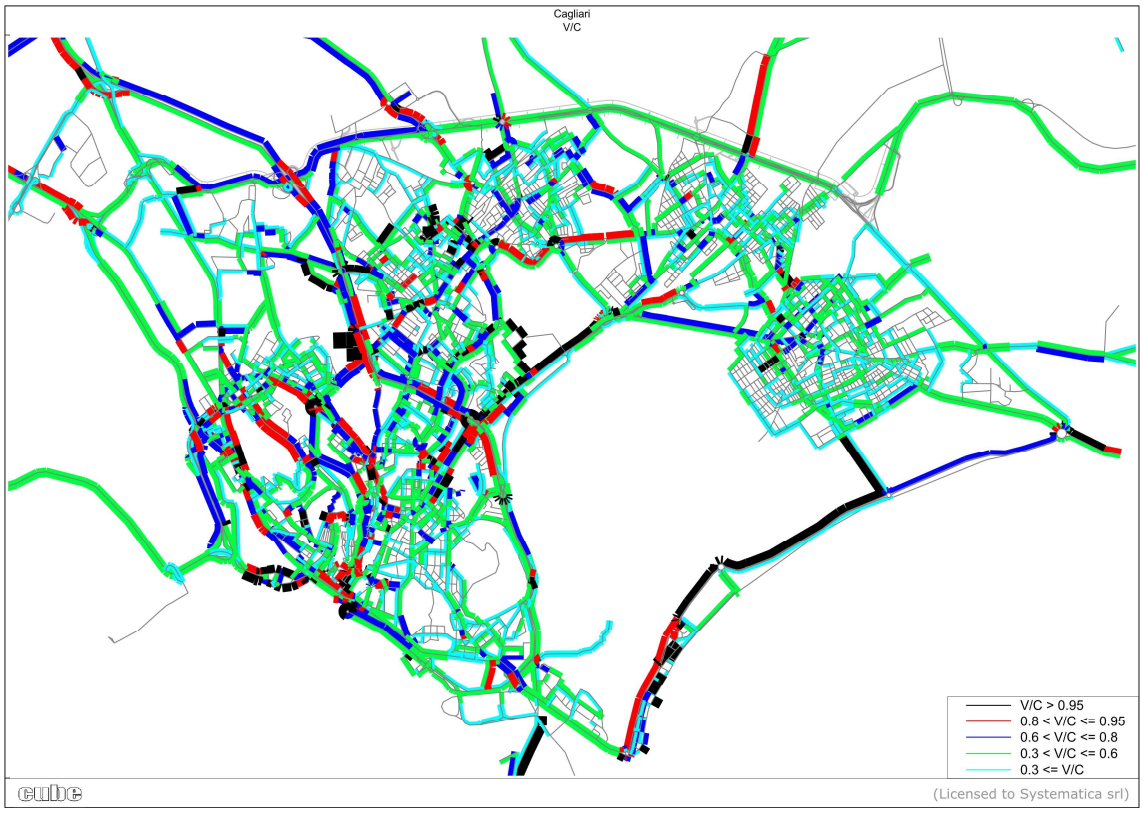

Figura 38 Rapporto volume\capacità scenario di proposta progettuale, cantiere Lotto 1

La tabella successiva mostra gli indicatori trasportistici di confronto della proposta progettuale (PRJ) con lo stato di fatto (SDF), sia con la configurazione a base gara, in modo da avere un riscontro oggettivo degli effetti e impatti relativi dei diversi scenari testati anche a livello economico (VOC e VOT).

Lotto 2	Area Vasta				SS 554			
Annuali	veh*km	veh*h	VOC	VOT	veh*km	veh*h	VOC	VOT
SDF	3,381,227,664	108,684,202	€ 879,844,907	€ 1,850,894,944	292,586,208	6,752,972	€ 76,135,212	€ 115,003,301
Base Gara	3,388,351,298	106,151,301	€ 881,698,581	€ 1,807,759,565	293,636,462	6,760,702	€ 76,408,503	€ 115,134,943
PRJ	3,381,449,524	105,017,092	€ 879,902,638	€ 1,788,443,946	292,393,496	6,351,927	€ 76,085,066	€ 108,173,495
PRJ vs SDF	0.01%	-3.37%	€ 57,731	-€ 62,450,998	-0.07%	-5.94%	-€ 50,146	-€ 6,829,807
PRJ vs Base Gara	-0.20%	-1.07%	-€ 1,795,943	-€ 19,315,618	-0.42%	-6.05%	-€ 323,438	-€ 6,961,448

Tabella 10 Indicatori annuali di prestazione scenario di cantiere Lotto 2

Anche nel caso del Lotto 2 la proposta progettuale si dimostra migliorativa rispetto alla configurazione a base gara. Rispetto allo stato di fatto il risparmio annuo si traduce in **€ 62.393.266 a livello di area vasta, mentre rispetto alla configurazione a base gara il risparmio annuo complessivo sarebbe di € 21.111.561.**

5.6 Simulazioni di dettaglio

5.6.1 Quadrifoglio 131dir

Si riportano di seguito le risultanze ottenute analizzando, attraverso l'ausilio di specifici modelli di microsimulazione dinamica dello **svincolo SS554 / SS131dir**, la soluzione di cantiere prevista a base gara e l'ipotesi di cantierizzazione dell'ipotesi progettuale di proposta (PRJ).
Per entrambi i modelli è stata scelta la **Fase di Cantiere n.2** poiché ritenuta la più critica, fase in cui si procede alla modifica e realizzazione del cavalcavia sulla SS131.
I modelli differiscono, quindi, per la descrizione dell'offerta infrastrutturale ma implementano la medesima domanda desunta dal modello ad area vasta che riproduce le attuali condizioni.
I risultati simulativi evidenziano che la soluzione di cantiere a base gara presenta **notevoli criticità** che rendono impossibile l'assegnazione dell'intera domanda di traffico nell'ora simulata (il modello assegna circa il **70% della domanda di traffico** e quindi solamente 5.914 veicoli a fronte degli 8.392 in matrice).
Da un punto di vista operativo, è altamente probabile e realistico che a causa della presenza del cantiere una quota parte degli attuali utenti scelga **percorsi alternativi** riducendo la domanda di traffico complessiva, ma, per ottenere un confronto diretto tra le soluzioni di cantiere proposte, si è scelto di non considerare questa ipotesi.
La maggiore criticità è rappresentata dall'innesto a precedenza dei veicoli che provenienti dalla SS131dir sud si immettono sulla SS554 direzione ovest (rampa indiretta); data l'importante quota di traffico passante sulla SS554, una sola corsia non è in grado di gestire anche l'immissione dei veicoli provenienti dalla SS131 che creano, così, **importanti accodamenti** tali da provocare rallentamenti e congestioni diffuse.
Anche la presenza di una sola corsia che gestisce il flusso veicolare sulla SS131 per i veicoli provenienti da nord crea code e rallentamenti. Nell'ipotesi progettuale di proposta non si riscontrano criticità particolari dal momento che vengono mantenute le doppie corsie per direzione di marcia, sia sulla SS131 che sulla SS554.
Tale accorgimento permette di ridurre, se non eliminare del tutto, le criticità collegate all'immissione dei veicoli riscontrate nell'opzione a base gara.

Scenario di cantiere (fase 2)	Ora (HH:MM:SS)	Numero di veicoli in matrice	Numero di veicoli simulati	Tempo medio di percorrenza per veicolo (sec)	Tempo totale di percorrenza della rete (veh X h)	Distanza media per veicolo (m)	Distanza totale percorsa nella rete (veh X km)	Velocità media cumulata di rete (km/h)
Base Gara	08:00 - 09:00	8392	5914	519.08	852.74	1585.20	9375	10.99
PRJ	08:00 - 09:00	8392	8392	112.46	262.16	1520.76	12762	48.68
PRJ vs Base Gara	08:00 - 09:00	-	2478	-406.6	-590.6	-64.4	3387.4	37.7
%	08:00 - 09:00	-	42%	-78%	-69%	-4%	36%	343%

Tabella 11 Indicatori di prestazione svincolo SS.131dir cantiere Fase 2 (ora di punta AM)

Le stime economiche mostrano che **i risparmi ottenibili dalla configurazione di proposta progettuale sono stimabili in € 135.325 al giorno** rispetto alla soluzione a base gara, pari a **€ 53.989.388** all'anno.
Il valore più elevato registrato per le distanze percorse, nelle fasi di cantiere, è da considerarsi positivamente, in quanto è indice della maggiore possibilità di circolazione garantita dalla soluzione presentata, fattore confermato anche dalla maggiore velocità di percorrenza.

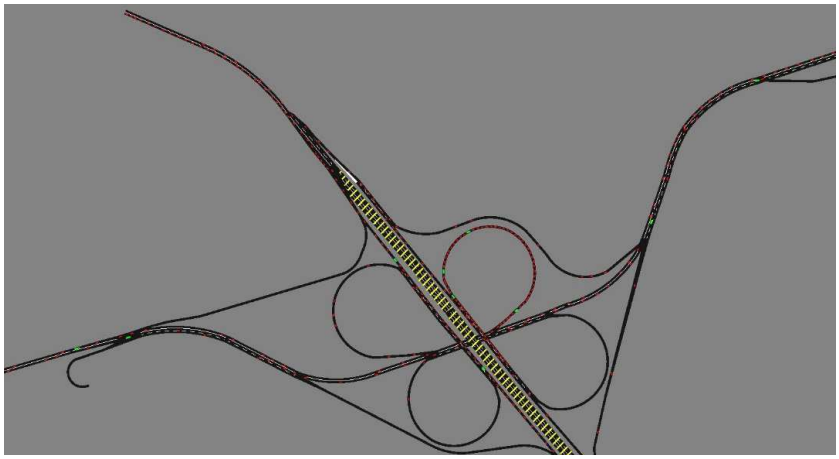

Figura 39 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, base gara

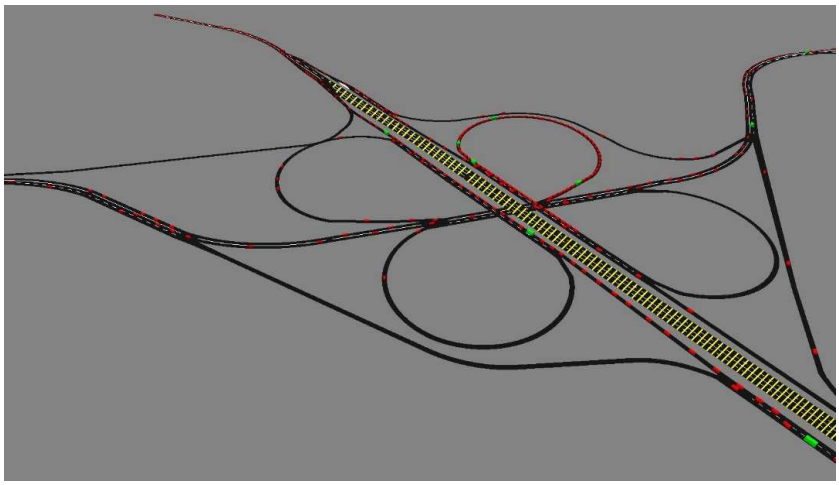

Figura 41 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, base gara

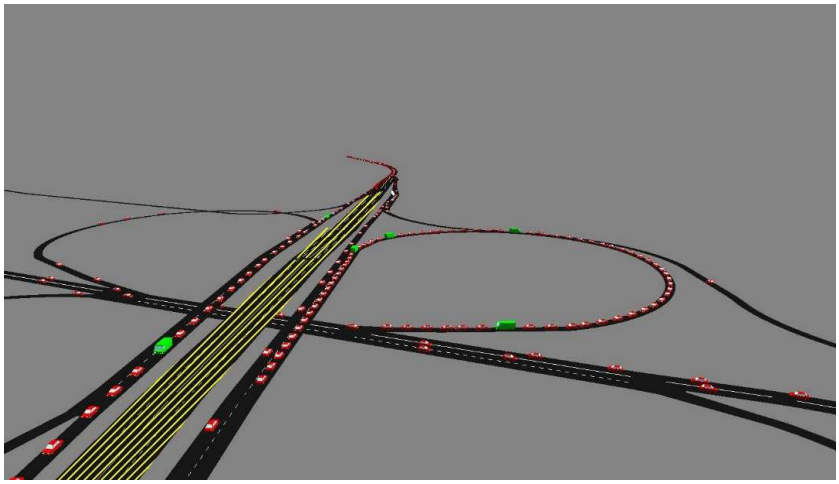

Figura 40 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, base gara

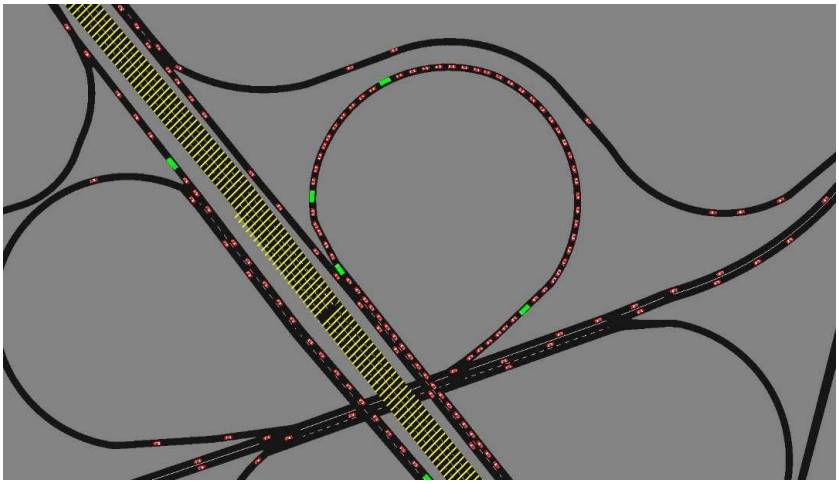

Figura 42 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, base gara

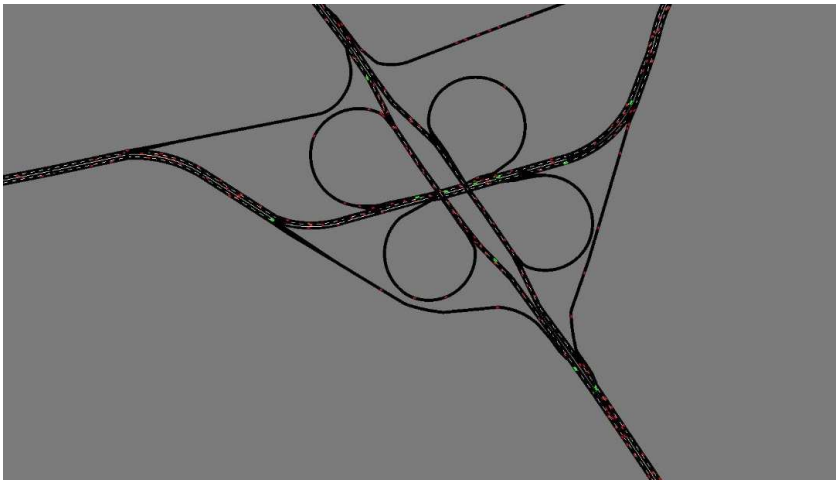

Figura 43 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

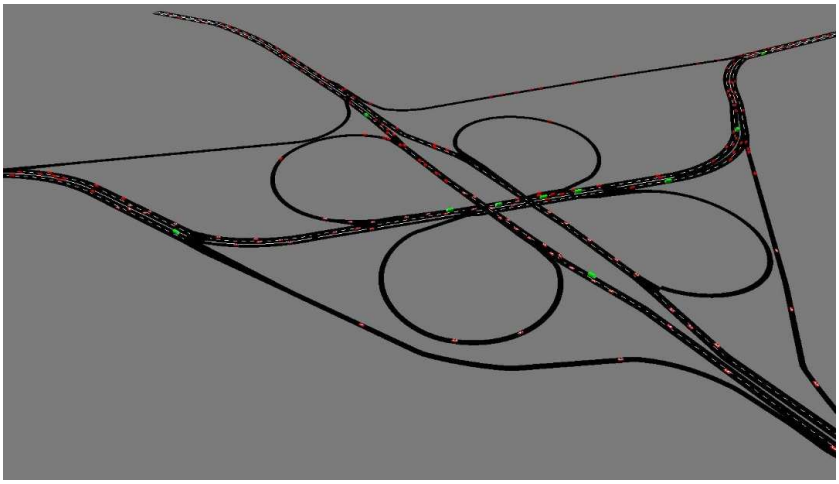

Figura 44 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

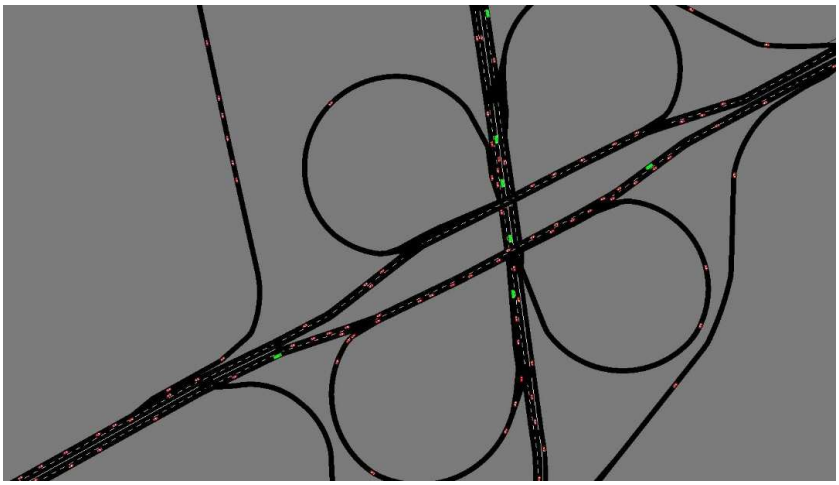

Figura 45 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

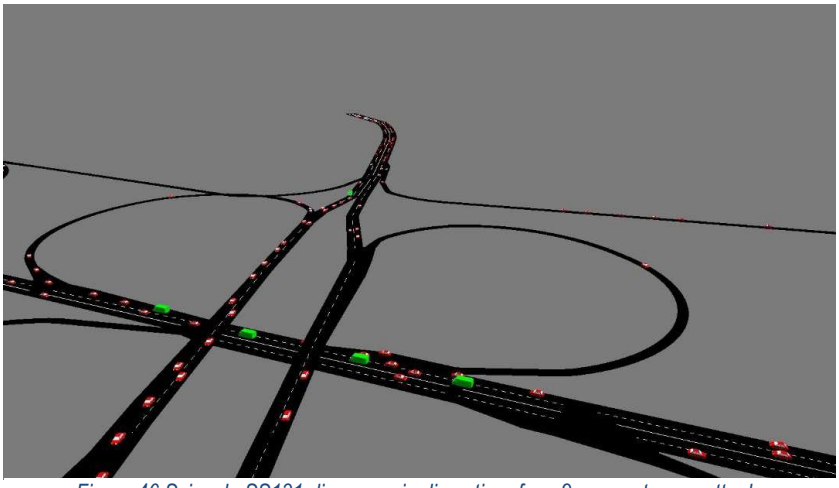

Figura 46 Svincolo SS131 dir, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

5.6.1 Svincolo tipo

Si riportano di seguito le risultanze ottenute simulando il cantiere in corrispondenza di uno svincolo con rotatoria tipo, nello specifico lo **svincolo n. 3 Monserrato**. Sono state simulate sia la soluzione prevista a base gara sia la soluzione progettuale di proposta (PRJ) con la domanda dello Stato di Fatto desunta dal modello a scala territoriale.
Per entrambi i modelli è stata scelta la **Fase di Cantiere 2** perché ritenuta quella maggiormente critica. In questa fase è prevista la realizzazione del viadotto sulla SS554, prevedendo contestualmente che il traffico venga deviato sulle complanari precedentemente realizzate e che le manovre di svolta vengano gestite dal **nodo a rotatoria a raso** realizzato nella fase precedente.
La differenza principale tra i due scenari simulati consiste nella **capacità delle corsie di approccio** alla rotatoria. Infatti, nel modello dello scenario di base gara tutti gli approcci sono a singola corsia, mentre lo scenario della proposta progettuale prevede il **raddoppio di corsia per tutti gli approcci viari**, con sviluppo compatibile alle disponibilità delle aree di intervento
Anche in questo caso i risultati di simulazione evidenziano come la soluzione di cantiere a base gara presenti **livelli di criticità** tali da rendere impossibile l'assegnazione dell'intera domanda di traffico nell'ora simulata (il modello assegna circa l'**83% della domanda** e quindi solamente 3.075 veicoli a fronte dei 3.723 in matrice) e portando il valore della velocità media cumulata di rete intorno ai 5 Km/h (condizione di rilevante congestione).
La principale causa di tali criticità è rappresentata dalla contrapposizione tra i **flussi veicolari sulla SS554 in direzione Cagliari** (circa 1.400 nell'ora simulata) e i flussi che dalla SS387 si attestano in rotatoria (427 diretti in via Giulio Cesare e 359 in direzione Cagliari).
Il flusso di veicoli sulla Cagliaritana, infatti, rallenta e impedisce l'immissione dei veicoli dalla SS387 e gli accodamenti che si vengono a creare fanno sì che peggiorino le condizioni cinematiche dell'intero nodo simulato.
Anche il fatto che la SS554 sia ad una sola corsia crea rallentamenti e accodamenti per i veicoli in direzione Cagliari.
Tale situazione **migliora nell'ipotesi di cantierizzazione di proposta**, che, portando a 2 corsie tutti gli approcci in rotatoria, aumenta la capacità dell'intero nodo e migliora le condizioni di percorrenza, pur non eliminando del tutto la difficoltà di immissione dei veicoli sulla SS387.
In questo scenario, anche se non viene assegnata l'intera domanda oraria, si ha un incremento del 15% circa nel numero dei veicoli simulati e un incremento della **velocità media del 143%.**
Da un punto di vista operativo, è altamente probabile e realistico che a causa della presenza del cantiere una quota parte degli attuali utenti scelga percorsi alternativi riducendo la domanda di traffico complessiva, ma, per ottenere un confronto diretto tra le soluzioni di cantiere simulate, si è scelto di non considerare questa ipotesi.

Scenario di cantiere (fase 2)	Ora (HH:MM:SS)	Numero di veicoli in matrice	Numero di veicoli simulati	Tempo medio di percorrenza per veicolo (sec)	Tempo totale di percorrenza della rete (veh X h)	Distanza media per veicolo (m)	Distanza totale percorsa nella rete (veh X km)	Velocità media cumulata di rete (km/h)
Base Gara	08:00 - 09:00	3723	3075	323.06	275.95	409.90	1260	4.57
PRJ	08:00 - 09:00	3723	3521	131.47	128.58	404.61	1425	11.08
PRJ vs Base Gara	08:00 - 09:00	-	446	-191.6	-147.4	-5.3	164.2	6.5
%	08:00 - 09:00	-	15%	-59%	-53%	-1%	13%	143%

Tabella 12 Indicatori di prestazione svincolo tipo Fase 2 (ora di punta AM)

Le stime economiche, in termini di costi associati al tempo speso in rete, mostrano che **i risparmi ottenibili dalla configurazione di proposta progettuale sono stimabili in € 36.378,38 € al giorno** rispetto alla soluzione a base gara, pari a **€ 13.241.729 all'anno.** Il valore più elevato registrato per le distanze percorse, nelle fasi di cantiere, è da considerarsi positivamente, in quanto è indice della maggiore possibilità di circolazione garantita dalla soluzione presentata, fattore confermato anche dalla maggiore velocità di percorrenza.

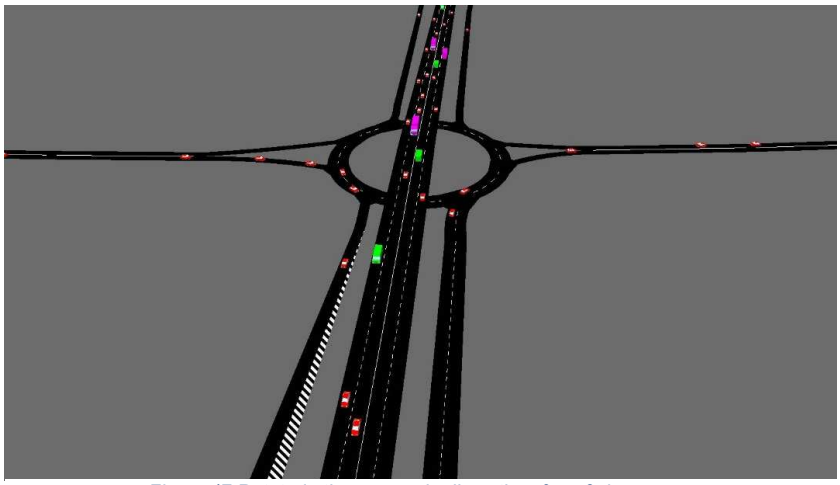

Figura 47 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, base gara

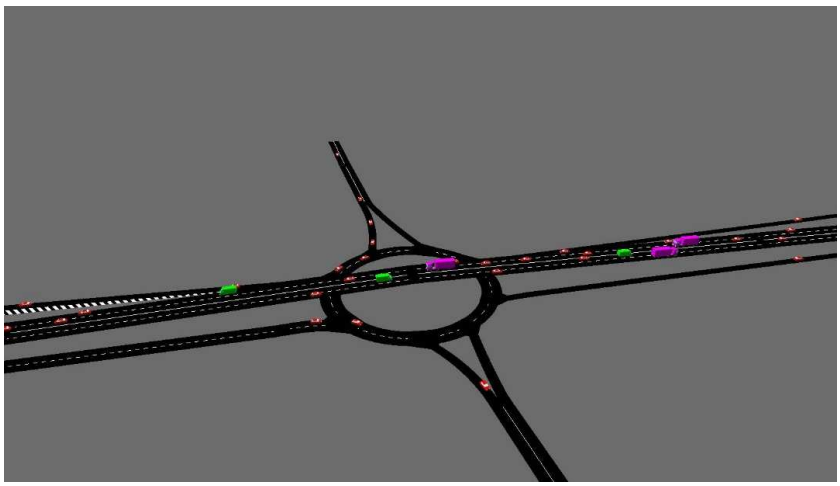

Figura 48 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, base gara

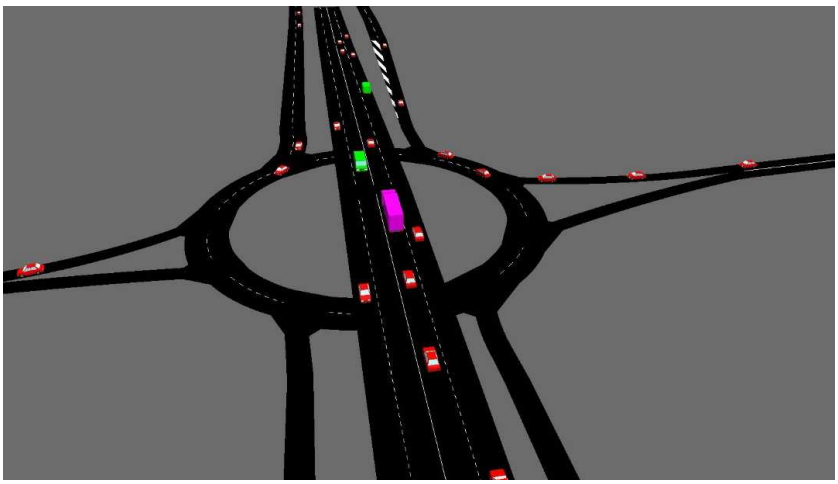

Figura 49 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, base gara

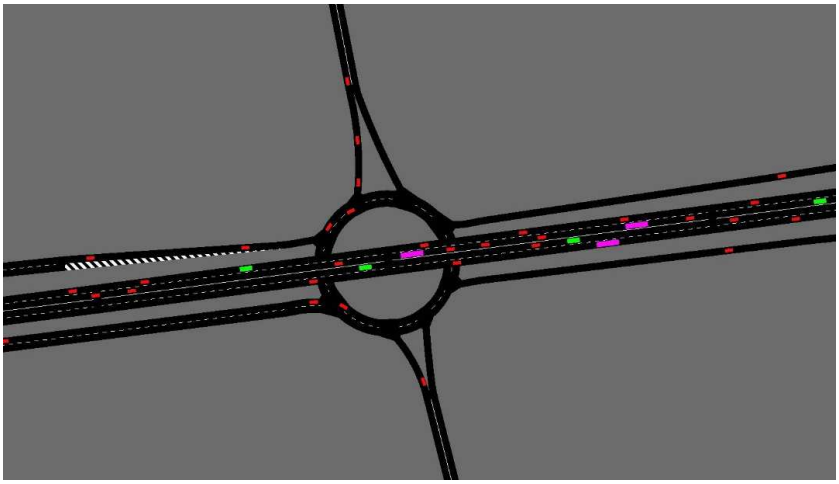

Figura 50 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, base gara

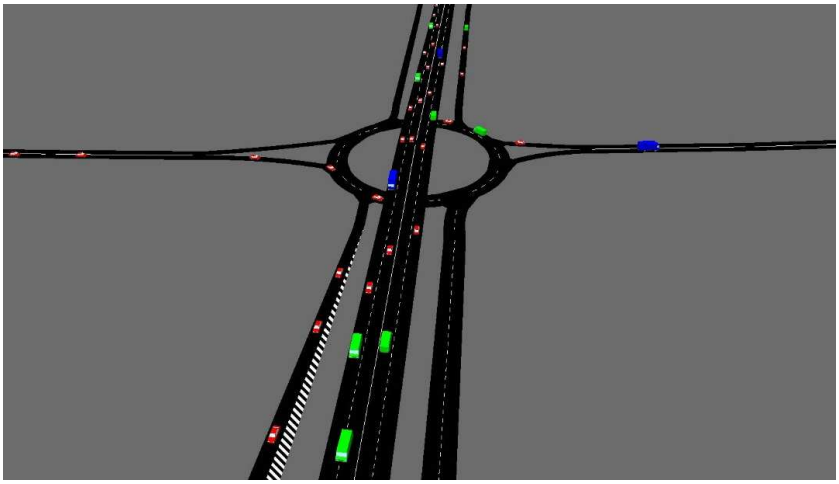

Figura 51 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

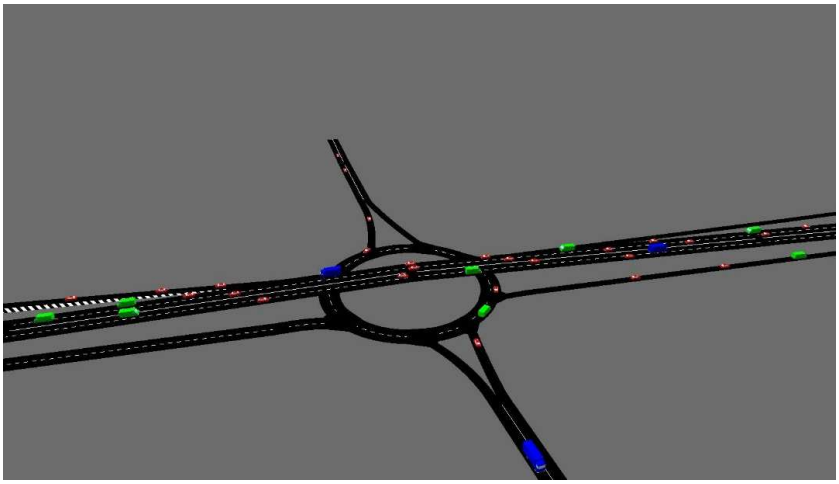

Figura 52 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

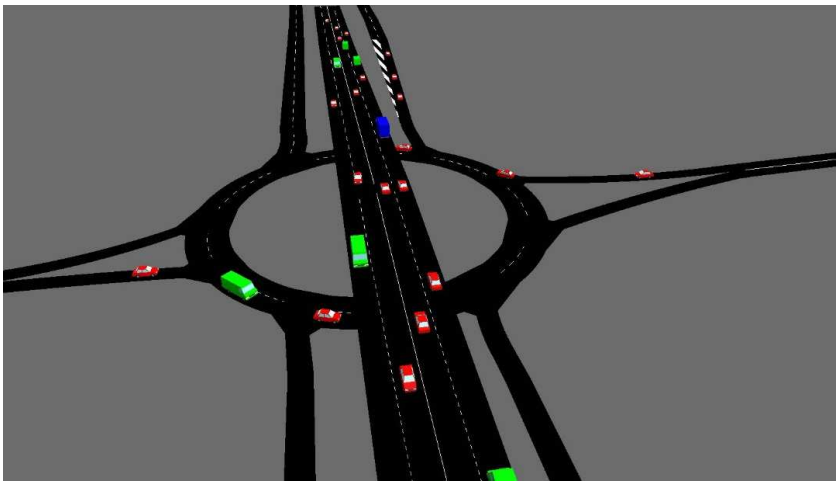

Figura 53 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

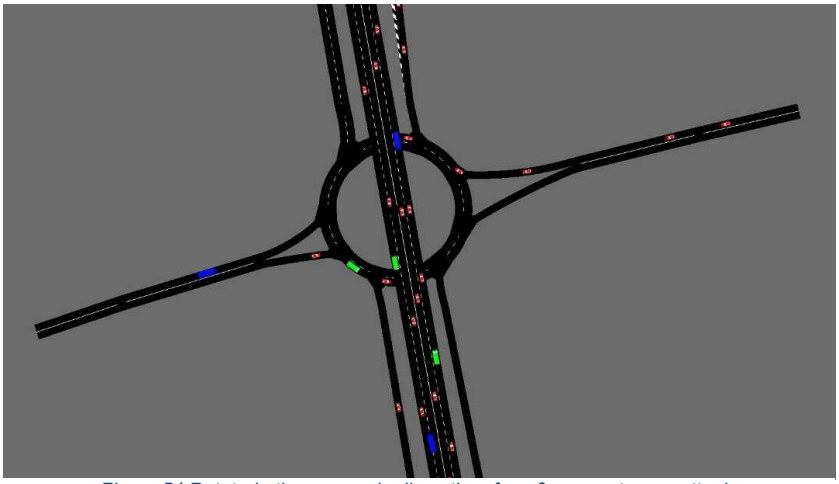

Figura 54 Rotatoria tipo, scenario di cantiere fase 2, proposta progettuale

5.6.2 Svincolo SS 125

Le analisi di traffico effettuate non hanno mostrato particolari differenze tra la configurazione a base gara e quella di proposta progettuale.