

S.S. 554 "Cagliaritana"

Adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000

Ex S.S.125 Orientale Sarda – Connessione tra la S.S.554 e la nuova S.S.554

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA352

PROGETTAZIONE: ATI VIA - LOTTI - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Francesco Nicchiarelli (Ord. Ing. Prov. Roma 14711)

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Francesco Corrias

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:



MANDANTI:



ELABORATI GENERALI

Studio di traffico e costi-benefici PFTE



CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	CA352_T00EG00GENRE02_A			
DPCA0352	D 19	CODICE ELAB.	T00EG00GENRE02	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	FEB.2020	-	V.FIMIANI	F.NICCHIARELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

S.S. 554 "Cagliaritana"

Adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000
(ex S.S. 125 "Orientale Sarda" – Connessione tra la
S.S. 554 e la nuova S.S. 554)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

cod. CA-352

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

Ing. *VINCENZO MARZI*
Ordine Ing. di Bari n. 3594

GEOLOGO:

Geol. *SERENA MAJETTA*
Ordine Geol. del Lazio n. 928

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. *SALVATORE FRASCA*

ELABORATI GENERALI

Studio di traffico e costi-benefici

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00EG00GENRE02_A			
DPCA0352	P 17	CODICE ELAB.	T00EG00GENRE02	A	R
C					
B					
A	EMISSIONE		GIU. 2018		
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

ANAS SpA

Studio di traffico e analisi costi-benefici del progetto di Fattibilità tecnico-economica dell'intervento CA352 – "SS125 Orientale Sarda – Connessione tra la SS554 e la nuova SS 554"



Settembre 2018

Oggetto dello studio	2
Introduzione	4
1. Gli obiettivi e l’articolazione del lavoro	5
1.1. Gli obiettivi.....	6
1.2. L’articolazione del lavoro.....	6
2. Analisi del contesto di riferimento	7
2.1. Flussi di traffico.....	11
3. Analisi delle soluzioni progettuali	13
3.1. Ipotesi A - Variante “stretta”.....	14
3.2. Ipotesi B - Variante “Larga”.....	15
3.3. Ipotesi C - Adeguamento SS125	16
4. Analisi della domanda e modellizzazione del sistema di domanda e offerta	17
4.1. Il software di simulazione CUBE.....	17
4.2. Il modello di offerta.....	18
4.3. Il modello di domanda.....	20
4.4. Il modello di assegnazione	22
4.5. Calibrazione e validazione del modello.....	24
4.6. Risultati.....	26
4.6.1 Analisi Stato di fatto (Situazione senza Intervento)	29
4.6.1.1 Ipotesi di crescita della domanda di trasporto.....	33
4.6.2 Analisi Scenario 1.....	34
4.6.3 Analisi Scenario 2.....	39
4.6.4 Analisi Scenario 3.....	45
5. Sostenibilità finanziaria e Analisi Costi-Benefici	50
5.1. Costi di investimento.....	51
5.2. Variazione del tempo di viaggio.....	52
5.3. Impatti Esterni	53
5.3.1 Congestione stradale.....	54
5.3.2 Incidentalità	59
5.3.3 Emissioni inquinanti.....	60
5.3.4 Inquinamento acustico.....	63
5.3.5 Riscaldamento globale.....	67
5.3.6 Riepilogo degli impatti	69
5.4. Calcolo del Valore Attuale Netto e del Tasso di Rendimento Interno	70
5.4.1 Tabelle Riepilogative VANE e TIRE.....	71
6. Analisi dei rischi	79
6.1. Ipotesi 1 – Aumento 10%.....	80
6.2. Ipotesi 2 – Aumento 25%	81
7. Considerazioni conclusive	82

Oggetto dello studio

Lo studio riguarda la valutazione della fattibilità economica del progetto del collegamento stradale tra la SS554 e la nuova SS554, nel versante nord-orientale della Città Metropolitana di Cagliari. In particolare lo studio valuta la fattibilità economica di un intervento di riqualificazione di un tratto stradale esistente (ex SS125) assimilabile alla categoria C2, lungo poco meno di 6 km, che forma un “collo di bottiglia” tra due strade attualmente caratterizzate da due corsie per senso di marcia. La nuova SS 554 è una infrastruttura di categoria B, con carreggiate separate, svincoli a livelli sfalsati e velocità di progetto pari a 110 km/h, mentre la SS554 esistente (una strada a scorrimento veloce con due corsie per senso di marcia separate da un o spartitraffico centrale posizionato in una fase successiva alla realizzazione della strada a scorrimento veloce) verrà adeguata agli stessi standard, con lavori che dovrebbero essere consegnati entro il 2019.

Lo studio di fattibilità costituisce uno strumento importante per valutare quantitativamente l’efficacia e l’efficienza delle alternative progettuali individuate dalla committenza. Esso infatti può consentire di aumentare la consapevolezza sulle decisioni d’investimento, definendo obiettivi e benefici attesi e producendo quindi un quadro di riferimento per la gestione del progetto e per la verifica dei risultati. Nell’ambito di questo studio non sono stati individuati i costi delle alternative progettuali, in quanto il Quadro Economico è stato già predisposto dalla committenza.

Lo schema utilizzato tiene conto di quanto espresso nelle “Linee Guida per la valutazione degli investimenti in Opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture dei Trasporti” (d.lgs. 228/2011) del 11.11.2016, tenendo ad ogni modo in considerazione che, come già accennato, le alternative progettuali e i costi sono già stati definiti.

Lo studio di fattibilità economica permette di analizzare le molteplici ricadute che si generano sui diversi soggetti della collettività quando viene a modificarsi l’assetto delle infrastrutture di trasporto di un territorio. Infatti, la realizzazione di una nuova infrastruttura non solo può modificare le caratteristiche del servizio offerto agli utenti dell’intera rete nella quale essa si inserisce, ma produce anche effetti economici, finanziari, sociali, ambientali che riguardano, in modo diverso altri soggetti (non utenti/collettività).

Uno studio di fattibilità tecnico – economica di progetti di trasporto prevede in generale la formulazione di ipotesi alternative, dimensionate attraverso le loro caratteristiche tecniche, funzionali e prestazionali. Le diverse alternative individuate, vengono poi valutate e confrontate sulla base degli effetti che, dal punto di vista funzionale trasportistico, economico, finanziario, ambientale producono nel contesto di scenari evolutivi del sistema economico territoriale e di trasporto nel quale l’intervento si inserisce, avendo presenti gli obiettivi ed i vincoli del decisore.

Lo studio in esame, dopo un’analisi del contesto territoriale di riferimento, descrive brevemente le ipotesi progettuali definite dalla committenza. In seguito procede all’analisi della domanda di trasporto e alla modellizzazione del sistema di domanda e offerta, grazie al modello di macrosimulazione dell’area vasta di Cagliari sviluppato dal Cirem dell’Università di Cagliari e

aggiornato a Novembre 2017. Oltre a considerare lo stato di fatto, già opportunamente calibrato e validato, il modello permette di valutare le alternative progettuali e la loro influenza, basata su indicatori trasportistici, sul sistema di mobilità dell'area vasta di Cagliari.

La particolarità del presente studio di fattibilità è rappresentata dal fatto che lo scenario di riferimento (o di “non intervento”) è a tutti gli effetti uno scenario “futuro” che comprende gli interventi di riqualificazione della SS554 già previsti e appaltati.

Infine, le alternative vengono valutate tramite l'analisi benefici/costi, che tiene conto dei costi di investimento, di manutenzione e degli impatti positivi e negativi (monetizzati), ripartiti sull'arco di vita utile dell'infrastruttura. L'analisi benefici/costi permette di individuare quale delle alternative progettuali permette di ripagare prima l'investimento e quale fornisce il miglior “rendimento economico”. Infine viene effettuata un'analisi dei rischi andando a modificare percentualmente i valori delle variabili ritenute critiche e maggiormente influenti, al fine di verificare che la soluzione progettuale migliore possa essere sviluppata anche in presenza di esternalità negative che non possono essere valutate con esattezza in una fase di valutazione ex-ante.

Introduzione

La SS 125 (Orientale Sarda) ha costituito, e tutt'ora costituisce, la principale arteria di collegamento sud nord, lungo il versante costiero orientale della Sardegna. Essa si snoda da Cagliari (innesto sulla SS554) sino ad Olbia, con una lunghezza superiore ai 260 km. Il primo tratto Cagliari - Tortolì - Arbatax rappresenta l'itinerario di connessione diretto tra il capoluogo regionale e la città metropolitana di Cagliari e il territorio dell'Ogliastra, che attraversa e rende accessibili i principali insediamenti costieri residenziali della costa sud-orientale (litorale di Quartu, Sinnai e Villasimius), ed orientale a più forte connotazione turistico - balneare (Castiadas, Muravera, Villasimius).

Nella provincia di Cagliari, la SS 125 è stata interessata negli ultimi anni da importanti varianti migliorative al suo percorso. Una delle varianti più importanti è costituita dalla SS 125 VAR, che modificando radicalmente il tracciato esistente, si è sviluppata verso il versante costiero meridionale per svolgere la funzione di alternativa di accesso agli insediamenti costieri insediati lungo la fascia litoranea a sud est del Golfo di Cagliari. La variante ha inizio lungo il nuovo tratto della SS554, che si sviluppa verso la costa meridionale di Terramala, e bypassando un lungo tratto (più di 30 km) estremamente tortuoso della SS125 esistente, raggiunge e si riconnette alla stessa in località San Prima. In estrema sintesi la vecchia SS125 (ora chiamata NSA 371) e la nuova SS 125 VAR si intersecano, a Sud, attraverso un tratto della "Nuova SS 554" lungo circa 7 km che si ricongiunge con la NSA371 all'altezza della cava di Sabbia di Gannì ed a Nord, all'altezza della frazione di San Priamo, in comune di San Vito (Figura 1).



Figura 1 - Inquadramento

Secondo la gerarchizzazione funzionale del Piano Regionale dei Trasporti (PRT), l'itinerario composto dalla SS 554 – SS 125 VAR fa parte della rete fondamentale, ossia la grande maglia di livello nazionale ed europeo con funzioni di collegamento tra i capoluoghi di provincia e i nodi di

interscambio con l'esterno. Nella configurazione finale dell'assetto viabilistico della rete fondamentale della Città Metropolitana di Cagliari ed in particolare della sua area conurbata, svolge un importante ruolo la SS554 ("conosciuta" appunto con il nome di circonvallazione dell'area conurbata di Cagliari) oggetto di un importante progetto di riqualificazione e di adeguamento alla categoria B (già appaltato), la stessa categoria al quale appartiene il tratto esistente della nuova SS 554, da Gannì a Terramala. In questo contesto si colloca l'intervento oggetto del presente studio di fattibilità che riguarda la valutazione tecnico-economica delle diverse alternative progettuali dell'ultimo tratto di completamento delle suddette arterie di categoria B (SS SS4 e Nuova SS 554).

Nell'ambito di questo progetto di fattibilità, verranno pertanto analizzate e valutate le possibili soluzioni progettuali alternative per la realizzazione di tale collegamento di categoria B tra la SS554 e la nuova SS554, prendendo essenzialmente in considerazione l'alternativa di adeguare in sede la strada esistente, realizzando un allargamento della sezione e la realizzazione di svincoli e opere necessarie all'eliminazione delle intersezioni a raso, oppure quelle di realizzare uno o più alternative di tracciato, lasciando di fatto l'attuale itinerario ad uso dell'utenza locale, per l'accesso alle frazioni e all'agro.

Tale itinerario, una volta completato, permetterà di bypassare l'area conurbata di Cagliari, senza la presenza di intersezioni semaforizzate, connettendo il versante costiero sud orientale con quello occidentale e la direttrice longitudinale (SS131) che unisce il Nord e il Sud della Sardegna.

1. Gli obiettivi e l'articolazione del lavoro

Il nuovo codice degli appalti ha modificato i livelli di approfondimento progettuale, eliminando il progetto preliminare e sostituendolo con un "progetto di fattibilità tecnico economica" al fine di individuare la soluzione che presenta il miglior rapporto tra benefici e costi per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e le prestazioni da fornire. Tra le varie soluzioni, va presa in esame anche l'alternativa di non realizzare l'opera, se ritenuto non conveniente e pertanto di non procedere alla fase di progettazione successiva.

La valutazione ex-ante di un intervento o di una singola opera, condotta attraverso il progetto di fattibilità, avviene in due fasi. Una prima fase, in cui viene effettuata l'analisi di fattibilità delle alternative progettuali (documento di fattibilità delle alternative progettuali), in cui il codice incorpora le analisi che precedentemente erano previste nello studio di fattibilità.

Tale analisi ha il compito di individuare la migliore alternativa progettuale da approfondire in una seconda fase, con elaborati progettuali di maggiore dettaglio, indagini geognostiche e studi necessari per la progettazione architettonica e tecnico funzionale dell'opera, la conformità alle norme ambientali, urbanistiche e paesaggistiche, nonché il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza.

1.1. Gli obiettivi

Gli obiettivi da perseguire nell'ambito del seguente progetto di fattibilità sono i seguenti:

- Valutare le alternative progettuali per la realizzazione del collegamento tra la SS 554 e la Nuova SS 554, e verificarne la fattibilità economica
- Valutare la sostenibilità e la convenienza economico-sociale dell'opera.

1.2. L'articolazione del lavoro

Le analisi del progetto di fattibilità presentano un livello di approfondimento differenziato con riferimento alle quattro categorie di opere identificate dall'Allegato I del DPCM 3 agosto 2012, come specificato nella tabella seguente.

Categorie di opera (ex Allegato I, DPCM 3 agosto 2012, punto 2.5)		Requisiti delle analisi	Tecniche valutative richieste da DPCM e previste da LLGG
a)	Interventi di rinnovo del capitale (ad es. manutenzione straordinaria, recupero e ristrutturazione)	Le analisi si incentrano principalmente o esclusivamente su: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Confronto tra le alternative progettuali e valutazione della domanda ▪ Analisi parametrica dei costi, individuando, ove possibile, costi sostenuti per interventi analoghi 	Analisi della domanda Analisi Costi-Efficacia
b)	Nuove opere puntuali , con investimenti inferiori ai 10 milioni di euro, prive di introiti tariffari		
c)	Opere, con investimenti superiori ai 10 milioni di euro, prive di introiti tariffari	Le analisi si incentrano per le diverse alternative progettuali su: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Analisi della domanda ▪ Sostenibilità finanziaria e analisi di bancabilità per quelle opere ove è previsto il ricorso a capitali privati ▪ Analisi Costi-Benefici ▪ Analisi dei rischi 	Analisi della domanda Analisi finanziaria Analisi Costi-Benefici Analisi di rischio e di sensitività
d)	Opere di qualsiasi dimensione, escluse quelle di tipo a), per le quali è prevista una tariffazione del servizio (*)		

Tabella 1 - Requisiti delle analisi di fattibilità e tecniche valutative previste per categoria di opera

Con riferimento all'adeguamento stradale analizzato in questo studio, come stima di larga massima dei costi per la realizzazione di strada di categoria B", si può considerare un costo parametrico di circa 10 M€ a chilometro. Pertanto per la realizzazione dei 6 km di infrastruttura l'importo presunto si aggira intorno ai 60 M€, ricadendo nella categoria C (opere con investimenti superiori ai 10 milioni di euro, prive di introiti tariffari).

Pertanto il progetto di fattibilità e le relative analisi saranno incentrate su:

1. Analisi del contesto trasportistico di riferimento
2. Analisi delle soluzioni progettuali
3. Analisi della domanda e modellizzazione del sistema di domanda e offerta
4. Sostenibilità finanziaria dell'intervento e analisi costi/benefici
5. Analisi dei rischi

2. Analisi del contesto di riferimento

In questa parte viene descritto il contesto territoriale - trasportistico di riferimento, con particolare attenzione all'analisi del territorio e alle infrastrutture presenti sia nell'area di piano che nell'area di studio. Verranno descritte e analizzate in particolare le infrastrutture che risultano connesse dal tratto oggetto del progetto di fattibilità (SS 554, Nuova SS554), unitamente alle strade che gravitano su tali infrastrutture (SS125, strade di collegamento con Sinnai, Maracalagonis, Flumini di Quartu etc.).

Vengono inoltre esaminate le criticità infrastrutturali (dovute ad esempio a sezioni ristrette, assenza di banchine, tortuosità, intersezioni pericolose) della rete esistente. Unitamente alla criticità, verranno analizzati i flussi di traffico attuali, i quali risultano essere particolarmente intensi soprattutto durante i mesi estivi, in relazione all'attrattività turistica del versante costiero interessato dal collegamento.

Attualmente il tratto della SS 125 esistente, lungo circa 6 km, è compreso tra i comuni della Città Metropolitana di Cagliari (Cagliari, Selargius, Quartu, Quartucciu, Monserrato) racchiusi all'interno della SS 554, i comuni di Settimo San Pietro, Sinnai e Maracalagonis, il lago Simbirizzi e il territorio, in comune di Quartu Sant'Elena, comprendente Flumini e Sant'Isidoro.

Attualmente il tratto viene percorso dai veicoli provenienti dalla SS 554 e dall'area vasta di Cagliari e diretti principalmente verso la costa sud-orientale dell'isola (Villasimius, Costa Rei) e il Sarrabus (Muravera, San Vito, Villaputzu con annessa fascia costiera turistica), per poi proseguire verso l'Ogliastra (Tortoli con il porto di Arbatax). Una quota dei veicoli che vi transitano ha un bacino di gravitazione locale che interessa i centri abitati di Maracalagonis, Sinnai, Settimo San Pietro, il territorio (in comune di Quartu) comprendente Flumini e Sant'Isidoro (importanti insediamenti residenziali estensivi su cui risiedono circa 25.000 abitanti), e infine il comune di Burcei.



Figura 2 - Inquadramento Territoriale

Considerando la città metropolitana di Cagliari nel suo complesso e i comuni prossimi all'infrastruttura, si può notare come quasi il 74% degli abitanti (circa 320 mila su 432 mila) risiede nelle vicinanze del tratto di strada da adeguare (Tabella 2. A questi vanno aggiunti i pendolari provenienti dal Sarrabus e dall'Ogliastra, unitamente ai flussi turistici, molto consistenti soprattutto

nel periodo estivo. Questo significa che l'infrastruttura in esame ha una grande importanza per la mobilità della Sardegna sud-orientale, anche per l'inesistenza di itinerari alternativi comparabili.

Comuni	Totale	% totale area vasta
Cagliari	154.106	35,68%
Quartu Sant'Elena	70.879	16,41%
Selargius	28.986	6,71%
Mon serrato	19.771	4,58%
Sinnai	17.562	4,07%
Quartucciu	13.234	3,06%
Maracalagonis	7.980	1,85%
Settimo San Pietro	6.760	1,56%
Assemini	26.901	6,23%
Capoterra	23.583	5,46%
Sestu	20.958	4,85%
Elmas	9.546	2,21%
Uta	8.696	2,01%
Decimomannu	8.234	1,91%
Pula	7.338	1,70%
Sarroch	5.283	1,22%
Villa San Pietro	2.138	0,49%
Area interessata direttamente da intervento	319.278	73,91%
Area vasta di Cagliari	431.955	100,00%

Tabella 2 - Popolazione città metropolitana di Cagliari (Dati ISTAT 1/1/2018)

La sede stradale attuale è composta da una corsia per senso di marcia, larga circa 3,50 m, con banchina laterale di larghezza variabile, ed è assimilabile ad una strada di categoria C2.



Figura 3 - Sezione SS 125

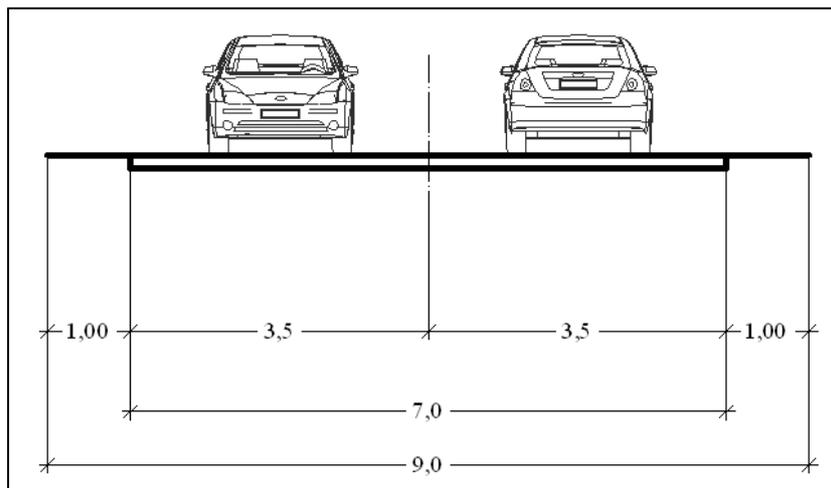


Figura 4 - Sezione SS 125

Sono inoltre presenti numerosissime intersezioni a raso, sia con strade provinciali, sia comunali che poderali, in quanto tale tratto di strada attraversa un territorio a forte vocazione agricola oltre che accessi a fondi ed attività frontaliere.

Occorre notare come attualmente questo tratto della SS 125 formi un naturale “collo di bottiglia” tra la SS 554 (due corsie per senso di marcia) e la nuova (ma anche la vecchia) SS554 (anch’essa con due corsie per senso di marcia). Questo tratto della SS 125, come detto, presenta un certo numero di intersezioni a raso, la maggior parte delle quali con viabilità locale e strade di penetrazione agraria. Una delle intersezioni più importanti è rappresentata dalla rotatoria tra la SS 125 e la SP 15 in località Gannì, grazie alla quale è possibile accedere ai comuni di Maracalagonis, Sinnai, Settimo S.P. e all’agro ed alla zona costiera di Flumini. Questa rotatoria, soprattutto in estate, rappresenta uno dei punti più critici di tutta l’area, causando accodamenti e ritardi.

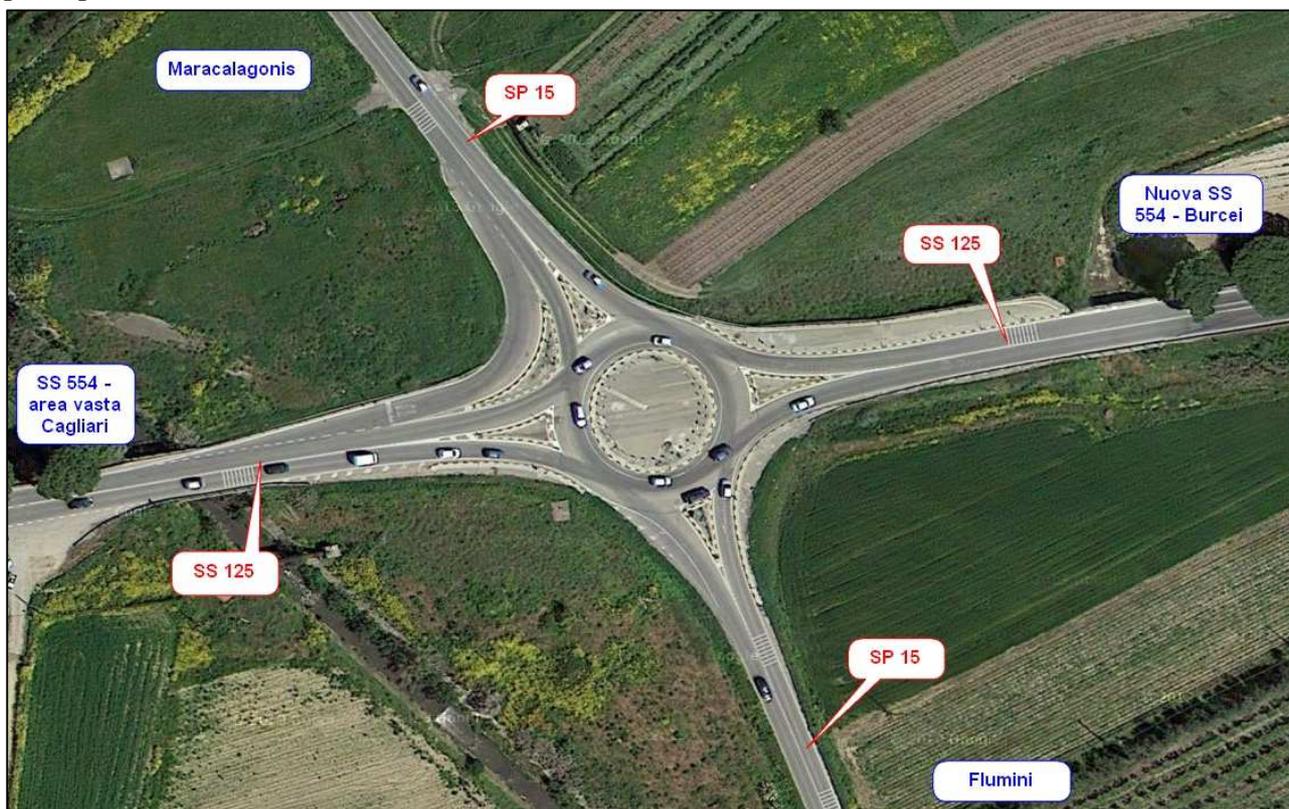


Figura 5 - Rotatoria Tra SS 125 e SP 15

L'attuale intersezione con la Nuova SS554 è regolata con uno svincolo a livelli sfalsati. La Nuova SS 554 confluisce nella SS 125 con una rampa a cappio. Nell'intersezione la precedenza viene data ai veicoli in transito sulla SS 125. Poco distante è presente una seconda intersezione a raso con una strada locale diretta verso l'agro di Flumini.



Figura 6 - Svincolo SS125 - SS 554 Bis

Come si può notare in Figura 7, lo svincolo è attualmente incompleto. La nuova SS 554 dovrebbe proseguire in direzione Nord Ovest per poi ricongiungersi alla SS 125 o sostituirsi ad essa. Attualmente esiste un troncone di strada, interrotto da barriere New Jersey, che costituisce il primo tratto del prolungamento della nuova SS 554 in direzione della vecchia SS 554.



Figura 7 - Interruzione SS 554 BIS

Il tratto stradale in progetto verrà raccordato a questo svincolo, per poi proseguire in direzione della SS 554 esistente.

2.1. Flussi di traffico

Il tratto in esame della SS 125 viene principalmente percorso da veicoli provenienti dall'area vasta di Cagliari (Città Metropolitana e suo bacino di gravitazione) e diretti verso la costa sud-orientale della Sardegna (da Villasimius fino all'Ogliastra).

E' presente una sezione di rilievo dell'ANAS (Figura 8), posizionata tra la vecchia SS 554 e la rotonda con la SP 15.



Figura 8- Sezione di rilievo ANAS

In Figura 8 viene mostrato il traffico giornaliero medio (somma dei due sensi di marcia) per giorno della settimana, durante una settimana invernale media (Febbraio 2017) e durante la settimana di Ferragosto (14-20 Agosto 2017). Si può notare come i flussi durante il periodo di picco in estate siano ben più che raddoppiati rispetto all'inverno, in cui i flussi di traffico comprendono una quota molto esigua di spostamenti turistici. La media invernale si attesta tra 8.500 e circa 10.000 vei/giorno durante i giorni feriali, con un picco il venerdì causato dai flussi di rientro.

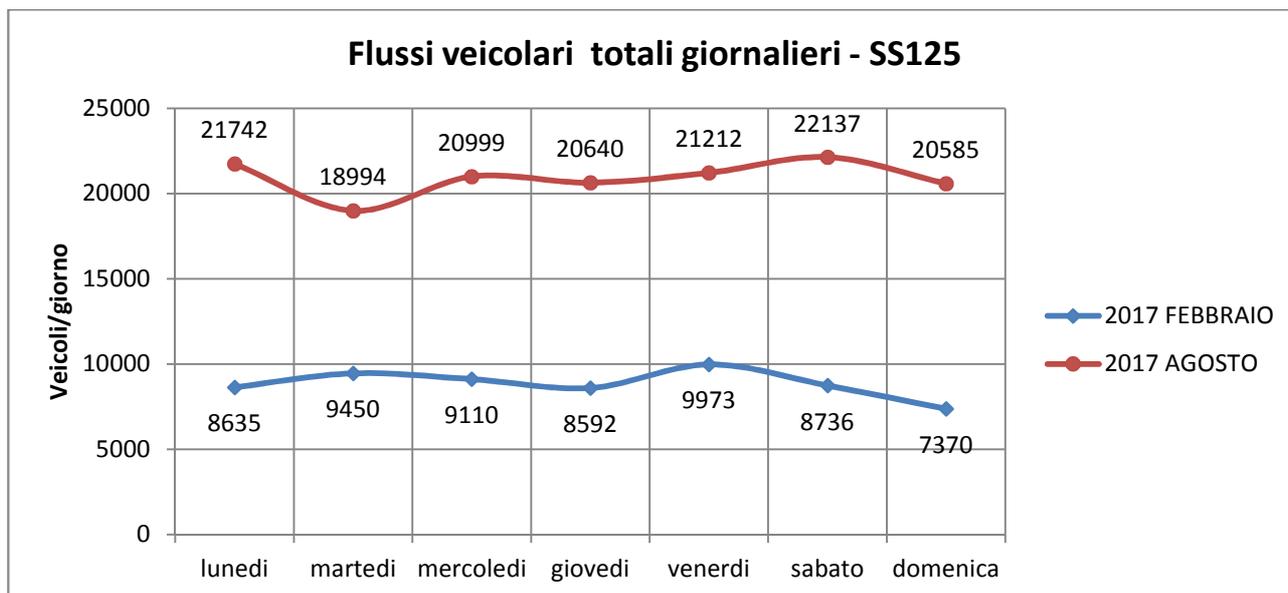


Figura 9 - Flussi giornalieri medi nelle due direzioni [Fonte: ANAS]

La strada è interessata da flussi veicolari molto consistenti durante i fine settimana estivi, a causa dei veicoli diretti verso Villasimius/Costa Rei. Nelle giornate di sabato e domenica si registrano valori, nelle due direzioni, superiori a 20.000 vei/giorno. Unitamente ai flussi di traffico giornalieri, sono stati rilevati i flussi di traffico durante l'ora di punta 13.30-14.30 di un giorno feriale medio. Dall'analisi dei dati forniti dall'ANAS, questa è risultata essere l'ora di punta più carica.

La composizione del traffico è prevalentemente formata da autoveicoli, con una percentuale di veicoli pesanti che si attesta attorno al 2-3% (dati desunti dalle sezioni di rilievo ANAS).

In Figura 10 sono mostrati i flussi di traffico in transito nella rotatoria tra la SS 125 e la SP 15 registrati nell'ora di punta del mattino (7:30-8:30) di un giorno feriale medio estivo, rilevati nel 2015. La direttrice lungo la SS 125 risulta essere quella più trafficata, con valori compresi tra 425 vei/h e 490 vei/h in entrata e in uscita. I flussi provenienti da Maracalagonis ammontano a poco meno di 220 vei/h, mentre quelli diretti verso lo stesso comune di Maracalagonis sono poco più di 300 vei/h. Infine, sono presenti circa 200 vei/h provenienti da Flumini.

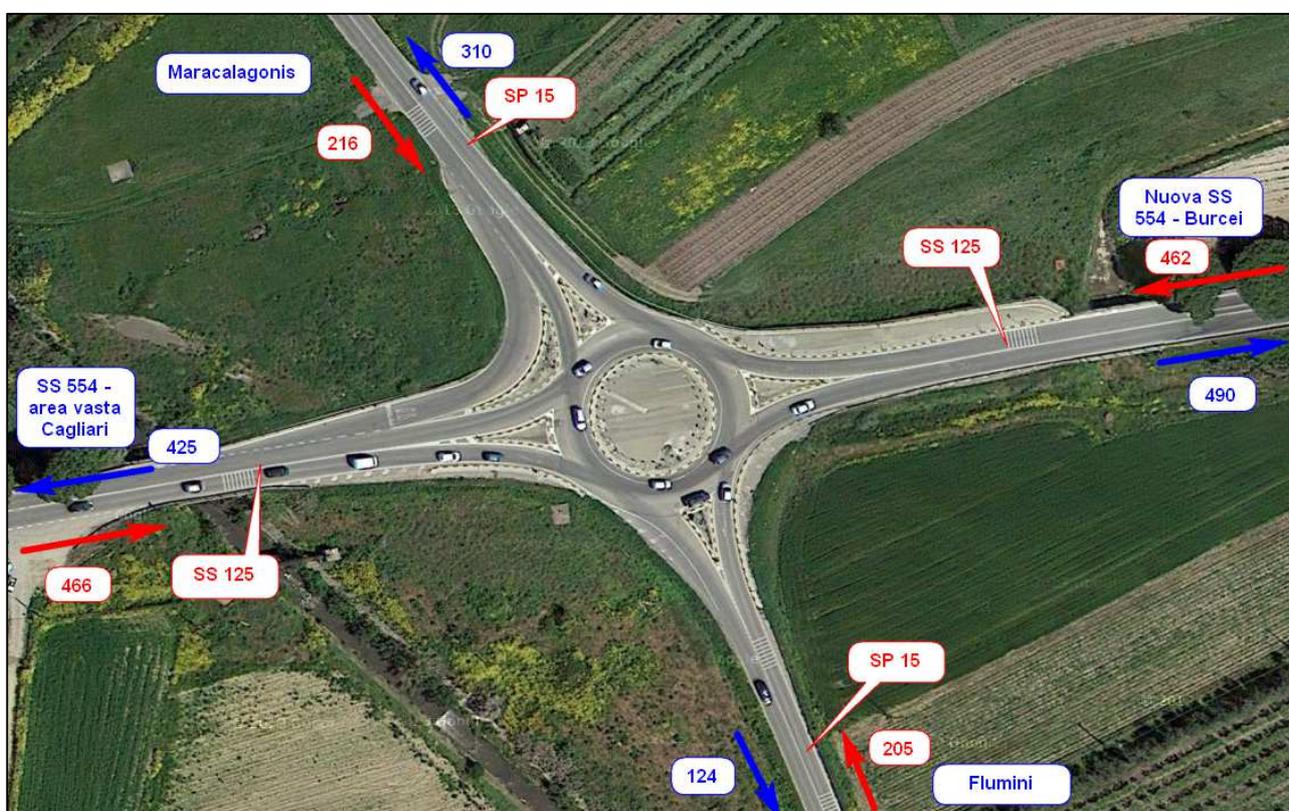


Figura 10 - Rotatoria tra SS 125 e SP 15, ore 13:30 - 14:30 [vei/h]

Proseguendo verso lo svincolo tra la SS125 e la Nuova SS 554, si nota come ci siano poco meno di 350 vei/h che provengono dalla nuova SS 554, mentre sono presenti circa 305 vei/h diretti verso la nuova SS 554. Sono presenti poco meno di 100 vei/h provenienti da Burcei, mentre circa 170 vei/h sono diretti verso Burcei. Infine, sono presenti 80-90 vei/h provenienti e diretti verso Flumini.



Figura 11 - Svincolo tra SS 125 e nuova SS 554, ore 13:30 - 14:30 [vei/h]

3. Analisi delle soluzioni progettuali

In generale, esiste sempre più di una soluzione progettuale per rispondere ad un determinato fabbisogno. Le diverse alternative devono essere sempre prese in considerazione e valutate in modo da verificare l'esistenza di modalità più efficienti e/o efficaci per rispondere a quell'esigenza specifica in esame.

Ogni alternativa andrà valutata rispetto ad uno scenario di riferimento, ovvero quello scenario che non include l'intervento in esame (scenario di non-intervento o "do-nothing"). Tale scenario serve come riferimento per la stima della domanda, dei costi finanziari ed economici, dei ricavi e dei benefici del progetto e delle possibili alternative.

Nel caso specifico gli scenari alternativi sono stati individuati dalla committenza (ANAS). In generale gli scenari di progetto riguarderanno essenzialmente l'allargamento della strada esistente oppure la realizzazione di due tracciati alternativi in variante.

Le soluzioni 1 e 2 (in variante) hanno lunghezza identica, pari a 5,800 km, mentre la soluzione 3 è solo lievemente più lunga delle altre due (5,900 km). I tre tracciati presentano gli stessi punti di raccordo con la SS 554 e la Nuova SS 554 (svincoli esistenti), mentre il raccordo con la viabilità locale avviene tramite svincoli differenti per ognuna delle ipotesi considerate.

Come da tavole di progetto, il km 0 si intende dal raccordo con la vecchia SS 554, mentre il km 5,8 (oppure 5,9 nella soluzione 3), rappresenta il raccordo con lo svincolo esistente con la SS 554 Bis.

3.1. Ipotesi A - Variante “stretta”

L'ipotesi progettuale A presenta una variante lunga 5,8 km, che si snoda quasi parallelamente alla SS125, alle quale si connette quasi centralmente al suo sviluppo, tramite uno svincolo al km 2 (Figura 12).



Figura 12 – Ipotesi A

Il tratto esistente della SS125 viene utilizzato, oltre che per l'accesso ai fondi lungo strada, anche per la connessione con Maracalagonis e la SP 15 in direzione Flumini. I veicoli provenienti da Cagliari e diretti verso Maracalagonis – Sinnai, devono svoltare a destra nello svincolo localizzato al Km 2,00, percorrere un tratto lungo circa 1,7 km della vecchia SS 125, per poi dirigersi verso Maracalagonis lungo la SP 15, dopo aver svoltato nella rotatoria esistente (si veda la Figura 5 a pagina 9).

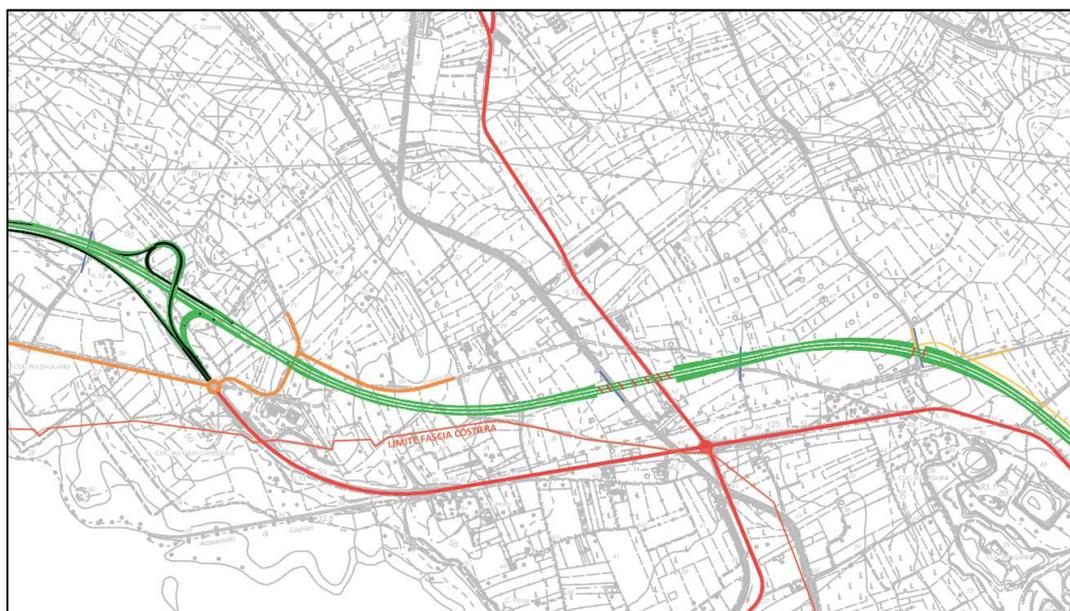


Figura 13 – Ipotesi A - Svincolo e itinerario verso Sinnai - Maracalagonis

Questa soluzione è caratterizzata pertanto dall'utilizzo di un tratto della Ex SS125 esistente per il collegamento e l'accesso ai centri urbani di Maracalagonis e Sinnai (25.000 abitanti circa), mentre l'intero tratto in variante verrebbe utilizzato dal traffico di attraversamento dall'area insediativa cagliaritana alla nuova SS554 ed alla SS125.

3.2. Ipotesi B - Variante “Larga”

Rispetto alla soluzione 1, in questo caso la soluzione in variante si snoda più vicino al sistema insediativo di Maracalagonis e Sinnai (Figura 14), consentendo un accesso più diretto e rapido agli stessi comuni.



Figura 14 – Ipotesi B

Il raccordo con la viabilità locale non è previsto con l'esistente SS125, ma sulla SP 15, a meno di 1 km da Maracalagonis. Rispetto alla soluzione precedente, la vecchia SS125 viene solamente utilizzata come viabilità di servizio alla fascia insediativa attraversata, mentre la variante accoglie sia i flussi in attraversamento sulla SS 554 che quelli provenienti dal sistema insediativo Maracalagonis Sinnai.



Figura 15 – Ipotesi B - Svincolo per l'accesso a Sinnai - Maracalagonis

Rispetto alla ipotesi A, questa soluzione permette ai flussi provenienti da Sinnai e Maracalagonis di immettersi nella variante molto prima, andando pertanto a scaricare la vecchia SS 125, che verrà utilizzata dal traffico esclusivamente locale ed a servizio dell'agro. Questa soluzione pertanto risulta rispondere sia alle esigenze del traffico di attraversamento proprio di una grande circonvallazione come sarà la nuova SS554, che del traffico di accesso ed egresso diretto ai sistemi insediativi attraversati di Sinnai e Maracalagonis.

3.3. Ipotesi C - Adeguamento SS125

L'ipotesi progettuale C consiste essenzialmente nel parziale adeguamento in sede della strada esistente alle caratteristiche di strada di tipo B. Il tratto dalla rotonda di Maracalagonis sulla Ex ss125 alla SS 554 ripercorre pertanto il tracciato esistente, mentre il tratto restante (dalla rotonda allo svincolo esistente in località Gannì con la nuova SS 554) si snoda in affiancamento alla strada esistente, che viene utilizzata per la viabilità a servizio del territorio attraversato.

La viabilità locale utilizza la SP 94, che è attualmente sterrata, raccordandosi alla nuova SS 554 attraverso uno svincolo all'altezza del lago Simbirizzi, al km 1,500 (Figura 16).

Anche in questo caso, come nella prima soluzione alternativa, l'accesso e l'egresso dai centri urbani di Sinnai e Maracalagonis avviene in modo indiretto attraverso la viabilità di servizio.



Figura 16 – Ipotesi C

4. Analisi della domanda e modellizzazione del sistema di domanda e offerta

Il modello di simulazione del traffico si compone di tre sottomodelli principali: il modello di offerta, il modello di domanda e il modello di assegnazione o di interazione domanda offerta. Il primo descrive le caratteristiche di tutto il quadro infrastrutturale puntuale e di rete e dei servizi dei sistemi di trasporto, mentre il secondo descrive matematicamente le principali caratteristiche (spaziali, temporali, modali etc.) della domanda di mobilità con le sue diverse caratteristiche e declinazioni. Il terzo modello ha lo scopo di mettere in relazione i primi due, attivando l'interazione tra domanda e offerta attraverso la quale si ottiene una rappresentazione oggettiva di come la prima si estrinsechi sulla rete producendo i flussi di percorso, d'arco, i costi e i tempi di viaggio. Nei paragrafi successivi è riportata una descrizione dettagliata di tutte e tre le dimensioni del modello implementato allo scopo del presente documento, corredato da una sezione riportante i risultati ottenuti dalla calibrazione.

4.1. Il software di simulazione CUBE

Il modello di traffico dell'area vasta di Cagliari, utilizzato nell'ambito di questo studio, è implementato in **CUBE v.6.4.2** (Citilabs Inc.), 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 multipercorso.

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 il Consulente l'abbia scelto per l'implementazione della stima matriciale.

4.2. Il modello di offerta

Il modello di offerta consiste nella rappresentazione schematica delle caratteristiche fisiche del sistema infrastrutturale e funzionali organizzative dei diversi sistemi di trasporto, attraverso la rappresentazione di tutti gli elementi fisici ed prestazionali, capaci di sintetizzare gli aspetti rilevanti della funzionalità del sistema dei trasporti interessato dall'intervento (area di studio).

Al fine di definire un ambiente di lavoro comprensivo di tutti gli elementi necessari alla corretta rappresentazione del contesto esaminato, la costruzione del modello di offerta avviene attraverso l'individuazione dell'area di studio (in questo caso l'intera area vasta di Cagliari) e, successivamente dell'area di piano, la quale diviene oggetto di rappresentazione specifica e di dettaglio. I componenti principali che la pratica della modellazione del traffico utilizza per rappresentare il sistema di offerta sono la definizione dell'area di studio e di piano con annessa linea di cordone, individuazione degli elementi di collegamento rilevanti e zonizzazione, estrazione del grafo di rete ed associazione delle caratteristiche operative funzionali ai diversi elementi trasportistici considerati. Per le analisi oggetto del presente studio viene utilizzato il modello disponibile presso il CIREM e messo a punto nel corso del tempo per lo svolgimento delle attività di ricerca applicata.

Come detto l'area di studio si estende alla quasi totalità della Città Metropolitana di Cagliari, inclusi alcuni importanti comuni esterni come Dolianova, San Sperate, mentre l'area di piano comprende l'agglomerato urbano di Cagliari e i comuni limitrofi, modellizzati con un livello di dettaglio maggiore, in termini di densità di centroidi e archi stradali.

I collegamenti rilevanti sono quelli sui cui si riversa la domanda interzonale ed in particolare quella che soddisfa le esigenze di interscambio dell'area considerata. La zonizzazione del modello è costituita da 650 zone O/D, di cui 301 all'interno della città di Cagliari, 198 comprese all'interno dell'area localizzata tra Cagliari e la SS 554 (comuni di Monserrato, Selargius, Quartu S. Elena, Quartucciu e la frazione di Pirri) e 151 esterne all'area delimitata dalla SS 554 e dal raccordo con la SS 195.

Il grafo di rete, rappresentativo di tutte le infrastrutture stradali comprese nell'area di studio è formato da:

- Circa 22.500 archi
- Circa 10.000 nodi



Figura 17 - Grafo di rete

Gli archi rappresentano tronchi stradali di caratteristiche geometrico-funzionali omogenee, mentre i nodi costituiscono degli elementi di interruzione di continuità (cambiamento delle caratteristiche) o intersezioni. A tutti gli archi del modello sono stati associati diversi attributi, fondamentali ai fini della rappresentazione della loro funzione e per le elaborazioni modellistiche a cui è soggetto il grafo di rete. Tra i principali, si citano:

- Nodo iniziale e finale, identificativi della posizione e della direzione;
- Gerarchia;
- Lunghezza;
- Senso di circolazione;
- Capacità oraria espressa in veicoli/ora;
- Velocità a flusso libero.
- Curva di deflusso

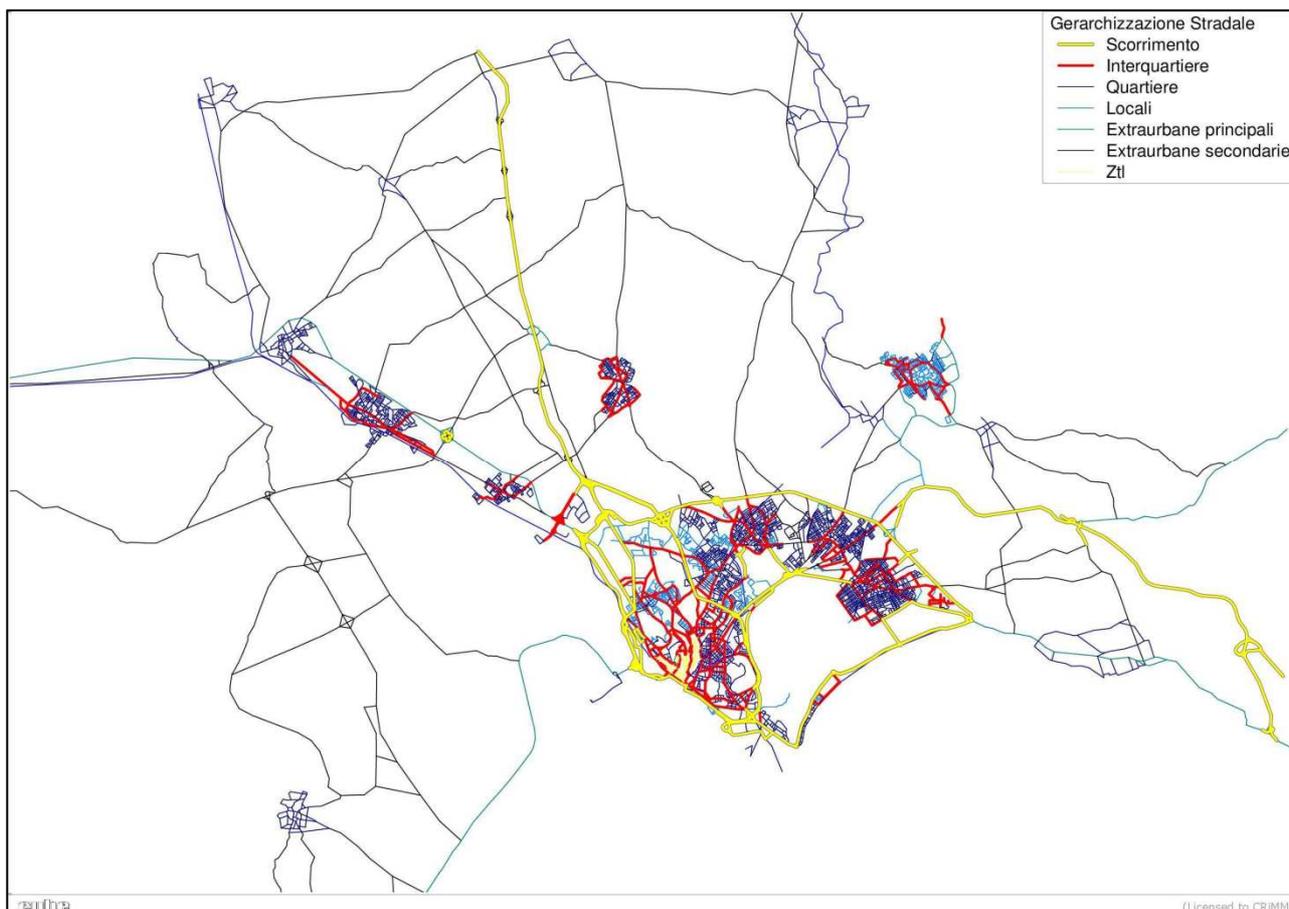


Figura 18 - Gerarchia degli archi

Nel grafo di rete sono state appositamente codificate più di 1.400 intersezioni, divise tra semaforizzazioni, svincoli a livelli sfalsati, regolazioni a precedenza e rotatorie. La corretta modellizzazione sia degli archi che delle intersezioni è particolarmente importante, in quanto essi influenzano in maniera notevole i ritardi accumulati dai veicoli sulla rete, andando ad incidere direttamente sui tempi di percorrenza e, quindi, determinando il grado di attrattività dei diversi percorsi.

Nell'ambito del corrente studio di fattibilità, si è provveduto ad aggiornare e codificare la rete e le intersezioni della parte del modello contenente l'area oggetto di studio, in particolare il versante nord est dell'area vasta di Cagliari. Come si vedrà nei paragrafi seguenti, è stato realizzato un grafo per ogni scenario progettuale, con le tre ipotesi di progetto.

4.3. Il modello di domanda

La domanda di mobilità è rappresentata dal numero di spostamenti auto guidatore che, nell'intervallo temporale considerato, ha necessità di muoversi dalla propria origine ad una specifica destinazione per un dato motivo nell'area di studio di riferimento. Nel modello essa è fondamentale per effettuare la simulazione dei flussi veicolari sulla rete, ed è rappresentata dalla matrice origine destinazione degli spostamenti. La modalità considerata nel modello integrato in oggetto è quella auto guidatore, riferita all'ora di punta del mattino (7.30 - 8.30), relativa a veicoli leggeri e pesanti. Il processo di

costruzione della matrice di domanda prevede l'aggiornamento di una matrice “prior”, riferita ad un periodo precedente rispetto a quello in studio, relativamente alle dinamiche di mobilità correnti (attraverso l'effettuazione di specifiche campagne d'indagine dei flussi di traffico), effettuato attraverso una procedura di stima matriciale, descritta di seguito.

Utilizzando come dato di partenza le matrici esistenti, i conteggi di traffico e i costi di percorso ottenuti attraverso un'assegnazione preliminare utilizzando la matrice originale, il processo di stima matriciale viene effettuato per mezzo del menzionato modulo Cube Analyst Drive, utilizzando il metodo della massima verosimiglianza. Il processo prevede la definizione di una funzione di costo che poi viene minimizzata attraverso metodi numerici che generano la matrice ottimale, la quale si adatta ai dati di input forniti e ai parametri di stima. In generale, l'obiettivo che ci si pone è quello di minimizzare la differenza tra il volume simulato ed i conteggi di traffico osservati, mantenendo la struttura di base della matrice O/D di input. Nel calcolo della funzione di costo sono presi inoltre in considerazione specifici valori di confidenza associati ai conteggi e alla matrice iniziale, che rappresentano il grado di affidabilità associato al dato. La minimizzazione di tale funzione è effettuata con il “conjugate gradient method for optimization”.

La matrice originale del modello di Cagliari (relativa ai primi anni del 2000) è stata aggiornata nel corso degli anni utilizzando dati ottenuti in diverse campagne di rilievi. Attualmente la matrice O/D ha una dimensione pari a circa 51.700 spostamenti relativi ai veicoli leggeri e 6.800 veicoli pesanti nell'ora di punta del mattino. Con l'ultimo aggiornamento relativo al 2017, la matrice include tutti gli spostamenti della fascia oraria del mattino (7:30 - 8:30), per tutti i motivi: essa pertanto contiene sia gli spostamenti pendolari (lavoro/studio) che discrezionali (altri motivi).

Oltre alle matrici di domanda e ai conteggi di traffico, nel processo di stima matriciale si utilizzano anche i potenziali di generazione e attrazione delle zone. Questi ultimi servono a mantenere una corretta proporzione tra i dati originari e quelli risultanti dal processo di stima.

Poiché i dati di base possono essere incongruenti tra di loro, in quanto provenienti da fonti e studi differenti, a ciascuno di essi viene associato un “livello di confidenza” che ne definisce la bontà e quindi il peso che ha nel concorrere alla determinazione dei valori della matrice.

Tra le tre tipologie di dati, quelli che generalmente hanno il migliore livello di confidenza sono i conteggi di traffico, in quanto il valore rilevato è “certo”; per cui il valore di confidenza normalmente viene assegnato dando il valore più elevato ai dati più recenti che saranno quelli acquisiti dai rilievi che si eseguiranno per lo studio in oggetto.

Nel processo di stima non è tanto importante il valore assoluto del livello di confidenza quanto il valore relativo tra le componenti in gioco. Per questo motivo, generalmente l'individuazione dei livelli di confidenza avviene impostando inizialmente un valore, ritenuto elevato, a quelle informazioni che sono considerate più affidabili (solitamente i conteggi veicolari) e assegnando valori proporzionalmente più bassi a quelle informazioni che sono considerate via via meno affidabili.

VALORI MEDI DI CONFIDENZA adottati nel modello (%)
--

Matrice di base (Prior Matrix)	50
Conteggi di traffico (Screenlines)	80 - 100
Potenziali di generazione	70 - 90
Potenziali di Attrazione	70 - 90

Tabella 3 - Valori di confidenza del modello

I potenziali di generazione e attrazione possono avere valori di confidenza molto alti se ricavati da conteggi posti al cordone della zona o più bassi rispetto ai conteggi di traffico se ricavati da stime di analisi territoriali. Il valore della matrice di base ha invece un valore di confidenza generalmente più basso rispetto a quello dei conteggi di traffico che dipenderà dalla metodologia e dalla conoscenza di come essa sia stata stimata nel passato.

La matrice stimata attraverso il procedimento illustrato è quindi utilizzata nel processo di assegnazione, il quale consente il caricamento dei volumi di traffico sulla rete (flussi d'arco e di percorso) il calcolo dei costi di percorso. Al termine del nuovo processo di assegnazione, viene effettuato nuovamente il processo di stima matriciale, sfruttando i nuovi costi calcolati come dato input. L'intero processo viene ripetuto iterativamente finché non si raggiunge una situazione di equilibrio o uno specificato numero di iterazioni.

4.4. Il modello di assegnazione

Il modello di assegnazione simula come la domanda di trasporto, descritta attraverso la matrice o/d degli spostamenti realizzata dai veicoli equivalenti, utilizza la rete, descritta attraverso il modello di offerta, con l'obiettivo di conoscere i flussi ed i costi sui percorsi e sugli archi della rete. La fase di calibrazione del modello di assegnazione è particolarmente importante in quanto attraverso la riproduzione dello stato di fatto è possibile confrontare i valori simulati con quelli rilevati nelle campagne d'indagine (validazione) e valutare l'attendibilità del modello per la fase di previsione. La simulazione delle condizioni di deflusso dello stato di fatto consente inoltre di poter disporre di una lettura più approfondita e capillare delle condizioni di deflusso sull'intera rete evidenziando le situazioni di criticità e i punti di debolezza del sistema, da porre a base delle proposte alternative di intervento. Tra i principali indicatori trasportistici calcolabili con il modello di assegnazione è possibile citare la distanza percorsa dai veicoli sulla rete, i tempi di percorrenza, la velocità media, il grado di congestione (rapporto volume/capacità) oltre che, soprattutto, i volumi di traffico sugli archi stradali.

La procedura di assegnazione della domanda alla rete consiste nel caricamento della rete (percorsi ed archi che li compongono) attraverso l'utilizzo di un modello di scelta del percorso che permette l'individuazione dei percorsi più probabili che collegano le diverse coppie O/D della matrice, sulla base di una funzione di costo data dalla combinazione di due fattori, il tempo di percorrenza e il costo operativo del veicolo. L'equazione di tale funzione di costo assume la forma seguente:

$$Costo = \beta_1 T + \beta_2 C_{op}$$

Il tempo di percorrenza T è calcolato in funzione della velocità di percorrenza a rete carica, determinato dall'apposita curva di deflusso specificamente associata agli archi, unitamente alla loro lunghezza, mentre il costo operativo C_{op} è una funzione della distanza:

$$C_{op} \begin{cases} 0.195 \frac{\text{€}}{\text{km}} & \text{per i mezzi leggeri} \\ 0.452 \frac{\text{€}}{\text{km}} & \text{per i mezzi pesanti} \end{cases}$$

I coefficienti β_1 e β_2 rappresentano rispettivamente il peso del tempo e del costo operativo nella composizione del risultato finale. I valori utilizzati valgono rispettivamente 1 per il coefficiente del tempo di viaggio e 0,312 per quello del costo operativo.

Il calcolo dei flussi assegnati avviene utilizzando la tecnica del "volume medio", che garantisce la convergenza all'equilibrio di Wardrop, (condizione teorica che prevede che all'equilibrio nessun veicolo, cambiando percorso, possa minimizzare il proprio costo generalizzato di viaggio), rappresentativa delle condizioni ottimali per la valutazione delle reti di trasporto.

Le figure di seguito mostrano rispettivamente il flussogramma e il rapporto volume/capacità della rete assegnata nell'ora di punta del mattino di un giorno feriale tipo al termine del processo di costruzione del modello di assegnazione (stato di fatto).

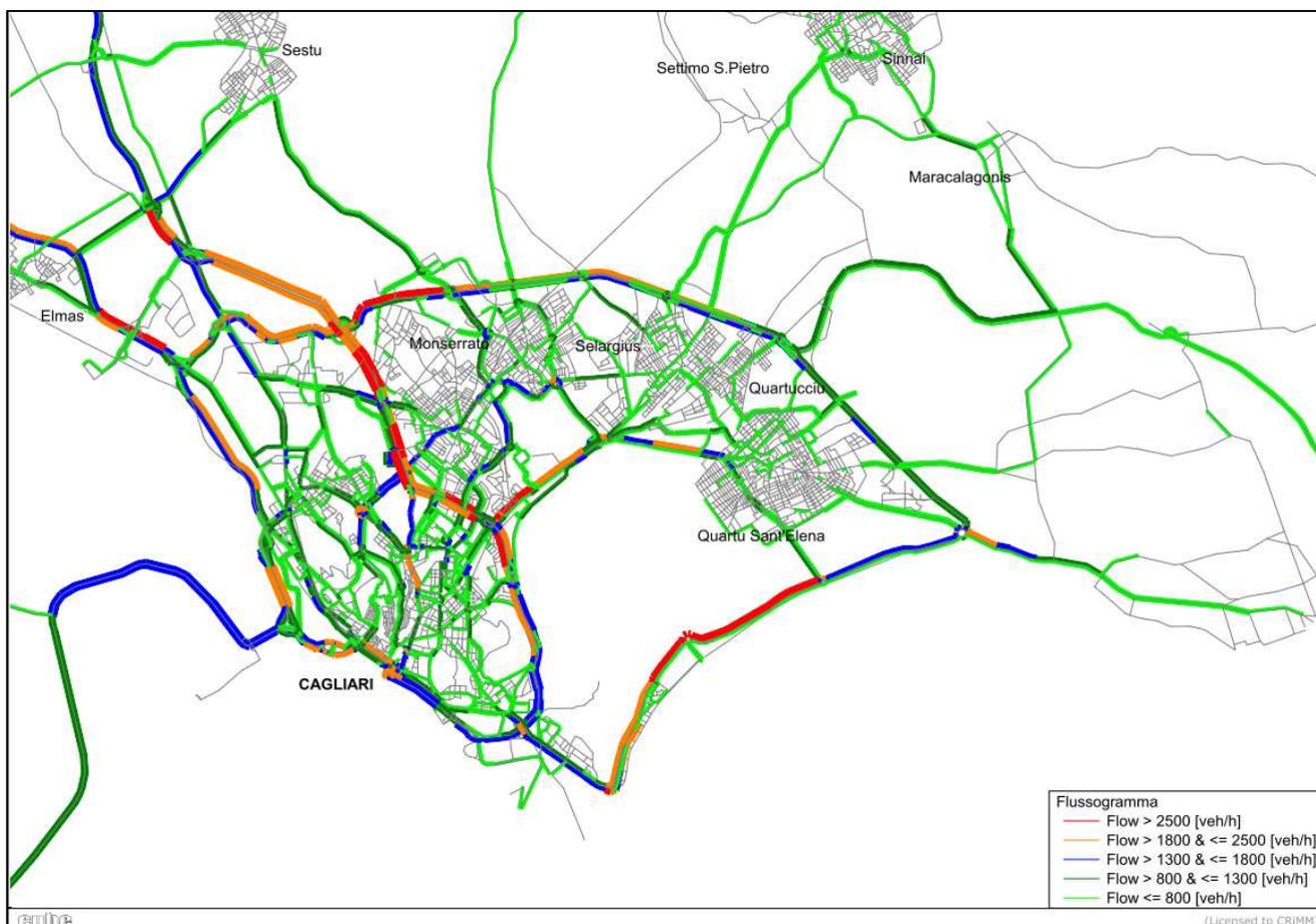


Figura 19 – Flussogramma

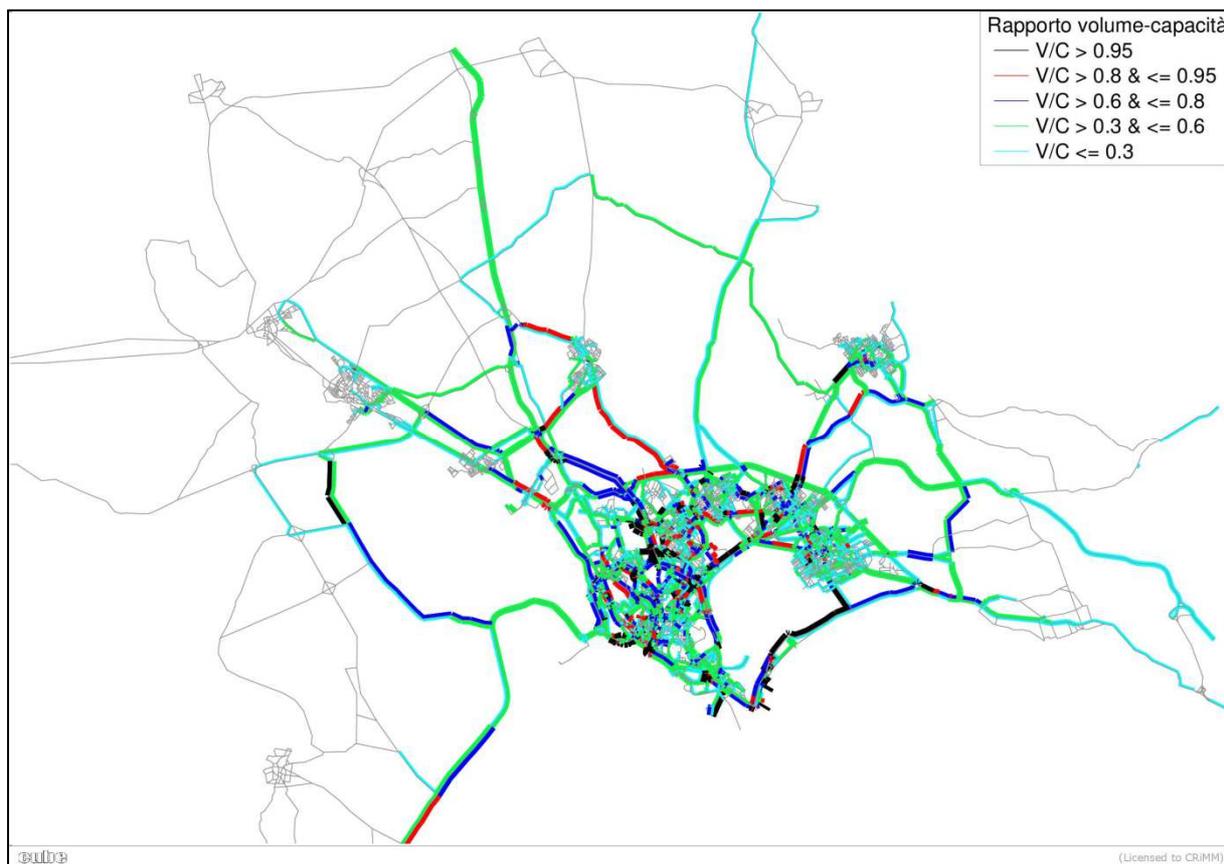


Figura 20 – Rapporto Volume-Capacità V/C

Nel seguito si riportano i parametri di rete relativi all'intero modello e riferiti allo scenario attuale:

- Veicoli*km (numero totale di km percorsi nella rete) = 650.468,03
- Veicoli*ora (numero totale di ore spese nella rete) = 25.007
- Velocità media di rete = 32,41 km/h

4.5. Calibrazione e validazione del modello

Il processo di calibrazione del modello è consistito, oltre che nella verifica puntuale delle caratteristiche degli archi e delle intersezioni, anche nel verificare che i risultati delle singole iterazioni del processo di assegnazione siano sempre costanti, stabili e convergenti (convergenza dell'assegnazione).

La validazione del modello è effettuata confrontando i flussi simulati e quelli rilevati sulla rete stradale durante i rilievi di traffico, utilizzando alcuni indicatori statistici:

- R^2 : detto anche coefficiente di determinazione, è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. La soglia limite è 0.85;
- MAPE: errore medio percentuale assoluto, espresso tramite percentuale. La soglia limite è 20%;
- RMSE: radice dell'errore quadratico medio, espresso come percentuale. La soglia limite è 30%;

I risultati specifici ottenuti dalla calibrazione del modello dello stato di fatto dell'area vasta di Cagliari, aggiornato a Novembre 2017, sono tutti positivi, in quanto rientranti nei valori limite imposti dalle soglie statistiche:

- R^2 | coefficiente di determinazione = 0.92
- MAPE | Errore medio assoluto percentuale = 21.1%
- RMSE | Errore quadratico medio = 27.7%

L'unico indicatore che supera di poco la soglia limite è il MAPE; tuttavia tale estremo è comunque accettabile in quanto rappresenta uno scostamento di circa il 5.5%. Il fattore più importante è infatti rappresentato dal RMSE, che prevede un controllo molto più restrittivo dei parametri modellistici; risultando tale valore nelle soglie limite, il modello può essere definitivamente considerato correttamente calibrato.

La figura di seguito mostra il diagramma del confronto puntuale tra i flussi rilevati e quelli assegnati dal modello sulla rete, ottenuta tramite una regressione lineare di circa 780 screenlines:

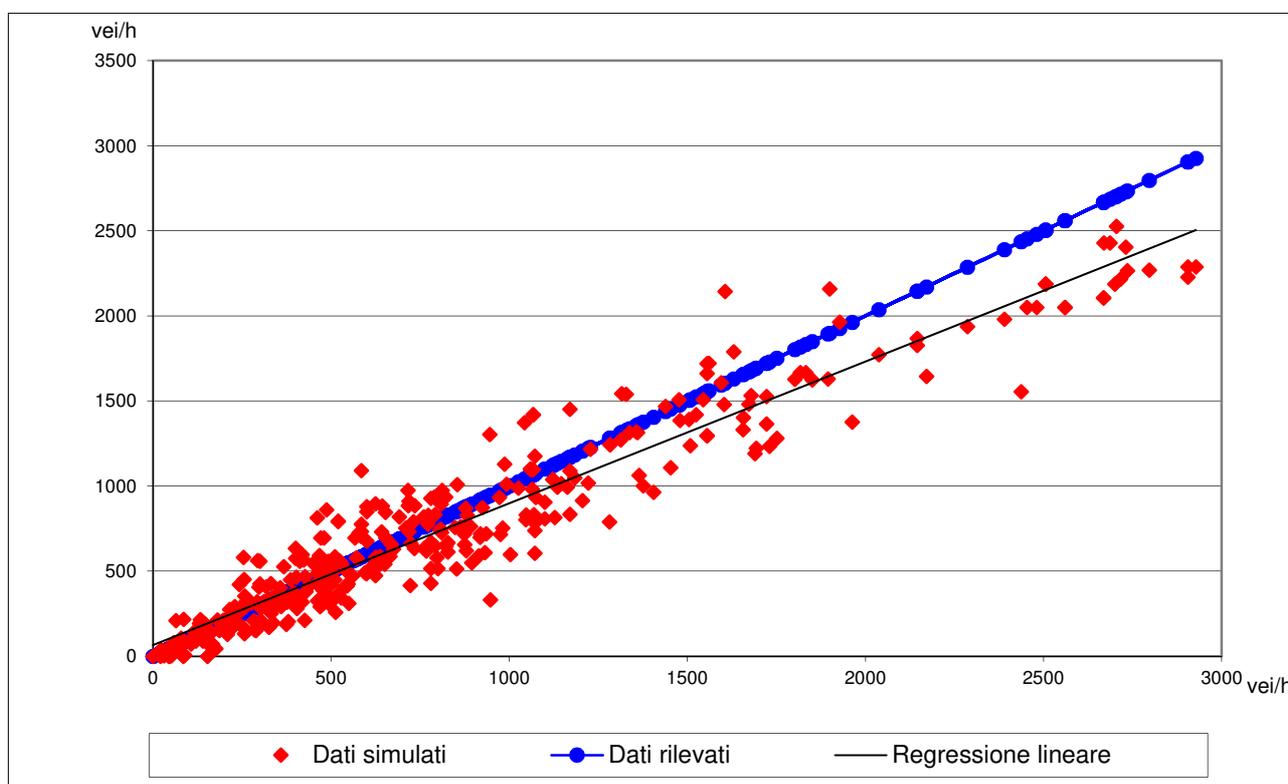


Figura 21 - Flussi rilevati e simulati

La validazione è stata completata anche con il confronto dei tempi di percorrenza tra quelli simulati e reali su alcune o/d campione e nella verifica dei percorsi di costo minimo, fattori che hanno riportato esito positivo.

4.6. Risultati

Come precedentemente detto, la realizzazione di interventi progettuali su una importante direttrice di accesso all'area vasta di Cagliari, produce effetti che non si limitano solo al particolare contesto in esame ed interessato dall'intervento, ma si espandono e interessano tutta la rete stradale dell'area vasta cagliaritano.

Per questo motivo è stato inoltre ritenuto opportuno considerare e valutare gli effetti della realizzazione della connessione tra la SS 554 e la nuova SS 554 non rispetto alla situazione attuale (oggetto nel breve periodo di importanti e radicali cambiamenti), ma rispetto ad uno scenario prossimo "futuro" che contempla gli interventi di adeguamento della attuale SS554, che sono già in fase avanzata di progettazione (appaltati i servizi e i lavori) e dovrebbero iniziare entro il 2019 e concludersi prima dell'entrata in esercizio del presente tratto.

Gli interventi di adeguamento della SS554 prevedono l'eliminazione di tutte le intersezioni semaforizzate attualmente presenti, sostituendole con rotonde per le manovre minori e viadotti per le manovre principali, quelle in transito diretto sulla SS554, unitamente alla realizzazione di controstrade per accogliere i flussi locali.

Ovviamente questi interventi, estremamente migliorativi della situazione attuale, producono una redistribuzione dei flussi di traffico radicalmente diversa da quella attuale, come si può notare in Figura 22 che riporta i risultati della simulazione degli interventi della nuova SS554, in termini di flussi in aumento (i rossi) e flussi in diminuzione (i verdi) sugli archi della rete. In particolare si può rilevare come l'intervento di riqualificazione della SS554 produca una diminuzione dei flussi sulla viabilità dei centri urbani, utilizzati meno in attraversamento, e un incremento dei flussi lungo la SS554. E' chiaro che non si può non tenere conto di questo fatto nel corso del presente studio di fattibilità, e si ritiene pertanto inutile trattare scenari di confronto tra la situazione "attuale" senza che vengano considerati interventi già ampiamente previsti che verranno sicuramente realizzati prima della connessione tra la SS 554 e la nuova SS554.

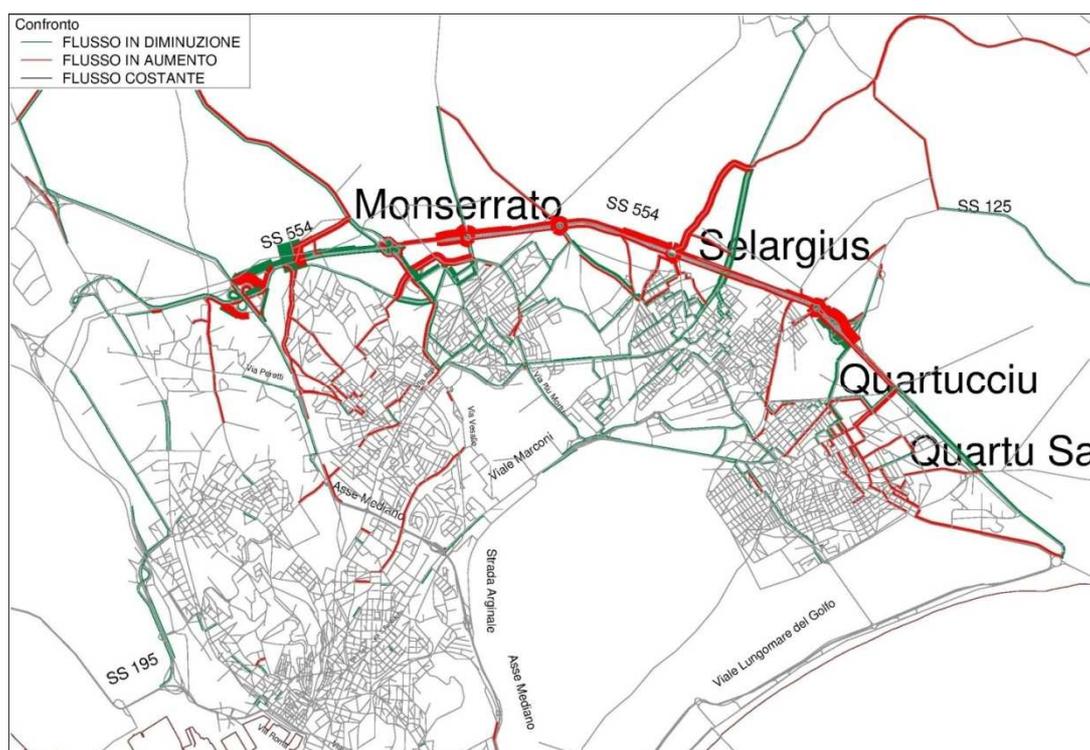


Figura 22 - Confronto tra i flussi di traffico nello stato di fatto e gli interventi di adeguamento della SS554

Pertanto gli scenari che verranno analizzati e confrontati sono i seguenti:

- Situazione senza intervento di progetto. Stato di fatto comprendente i già previsti interventi di riqualificazione della SS 554
- Scenario 1 (Stato di fatto + Ipotesi A – Variante “Stretta”)
- Scenario 2 (Stato di fatto + Ipotesi B – Variante “Larga”)
- Scenario 3 (Stato di fatto + Ipotesi C (Adeguamento SS125 esistente))

Per poter valutare gli effetti prodotti dagli interventi alternativi proposti, gli stessi sono stati implementati nel modello di macrosimulazione del traffico predisposto e calibrato per lo stato di fatto (situazione senza intervento).

La ricostruzione modellistica degli scenari è stata realizzata attraverso le seguenti modifiche:

- aggiornamento del grafo di rete secondo la nuova regolamentazione della circolazione (realizzazione nuove infrastrutture previste dalle alternative progettuali);
- aggiornamento del grafo di rete secondo la nuova regolamentazione delle intersezioni (nodi);
- una volta ricostruiti gli scenari sul grafo di rete "Senza Intervento" (stato di fatto comprendente i già previsti interventi di riqualificazione della SS 554), si è proceduto alla loro simulazione e valutazione attraverso il modello di assegnazione del traffico, che ha consentito di valutare quindi l’impatto combinato che gli interventi di progetto generano sulla rete (insieme a quelli della riqualificazione della SS554).

I risultati sono illustrati nelle tabelle e figure delle pagine seguenti.

In particolare, le tabelle riportate illustrano i valori di alcuni tra i più importanti indicatori trasportistici sintetici, veicoli*km, veicoli*h e velocità media dei differenti scenari di progetto simulati e, per confronto, quelli relativi allo stato di fatto.

L’indicatore veicoli*chilometro è la somma di tutte le distanze percorse, tra le rispettive coppie o/d, dai veicoli nell’ora di modellizzazione; l’indicatore veicoli*ore è invece la somma dei tempi di percorrenza di tutti i veicoli. Come si vedrà nei paragrafi seguenti, questi due indicatori sono fondamentali nell’analisi Benefici/Costi, in quanto tutti gli impatti vengono calcolati basandosi su questi indicatori.

Per quanto riguarda i veicoli*h, tale valore viene utilizzato per il calcolo del risparmio di tempo monetizzato, utilizzando un valore del costo del tempo (VoT) che è stato desunto dalle Linee Guida per la Valutazione degli investimenti in Opere Pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Novembre 2016). In Tabella 4 vengono indicati i range di valori a seconda del tipo di spostamento e della categoria di utenza riportati nelle Linee Guida sopra richiamate.

	Business	Pendolarismo	Altri motivi
Spostamenti urbani e metropolitani	12-20 €	5-10 €	5-15 €
Spostamenti su medie e lunghe distanze	20-35 €	10-15 €	10-25 €

Tabella 4 - Valore dei risparmi di tempo di viaggio per motivo dello spostamento e classe di distanza

La matrice O/D utilizzata nel modello non risulta essere disaggregata per motivazione dello spostamento, ma si può comunque ragionevolmente ipotizzare che nell'ora modellizzata 7:30 – 8:30 la grande maggioranza degli spostamenti sia di tipo urbano e metropolitano, con motivazione pendolarismo: per cui si è optato per utilizzare un valore pari a 10€/h, il valore massimo del pendolarismo per gli spostamenti urbani e metropolitani.

Scenario	Tempi di Percorrenza		Valore del tempo	Risparmio nell'ora di punta [€]	Risparmio giornaliero [€]	Risparmio annuo [€]
	Vei*h	Differenza rispetto a stato di fatto (Vei*h)	(€/h)			
Stato di fatto - Riqualficazione SS 554	23.737					
Scenario 1 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 1	23.220	- 517	10	€ 5.170,0	€ 43.083,3	€ 11.934.083,3
Scenario 2 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 2	23.122	- 615	10	€ 6.150,0	€ 51.250,0	€ 14.196.250,0
Scenario 3 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 3	23.309	- 428	10	€ 4.280,0	€ 35.666,7	€ 9.879.666,7

Tabella 5 - Confronti tra Scenari progettuali (tempi di percorrenza)

Scenario	Velocità media	Distanza Percorsa			
	(km/h)	(Vei*km)	Differenza (Vei*km)	vei * km /giorno	vei * km /anno
Stato di fatto - Riqualficazione SS 554	33,54	651.227,23		5.426.893,58	1.503.249.522,58
Scenario 1 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 1	33,91	651.869,98	+ 643	+5.356,25	+1.483.681,25
Scenario 2 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 2	33,96	650.820,54	-407	-3.389,08	-938.776,08
Scenario 3 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 3	33,99	652.153,34	+ 926	+7.717,58	+2.137.770,58

Tabella 6 - Confronti tra scenari progettuali (Distanza percorsa)

Da una prima lettura degli indicatori, si può notare come lo scenario 2 sia l'unico a mostrare sia un risparmio nei tempi di percorrenza che nella distanza percorsa. Gli scenari 1,3 presentano un buon risparmio nei tempi di percorrenza, ma a fronte di un aumento della distanza percorsa. Tutti i valori, calcolati per l'ora di modellizzazione, sono stati estesi per ottenere un valore giornaliero e annuale, al fine di poter essere usati nell'analisi benefici/costi.

4.6.1 Analisi Stato di fatto (Situazione senza Intervento)

Lo stato di fatto “attuale” al 2018, precedente alla realizzazione degli interventi di riqualificazione della SS554, è rappresentato nel modello a disposizione del Cirem e continuamente aggiornato nell’ambito delle attività di ricerca e studio. L’ultimo aggiornamento (Novembre 2017), si è focalizzato sui centri abitati di Selargius, Quartucciu e Sinnai.

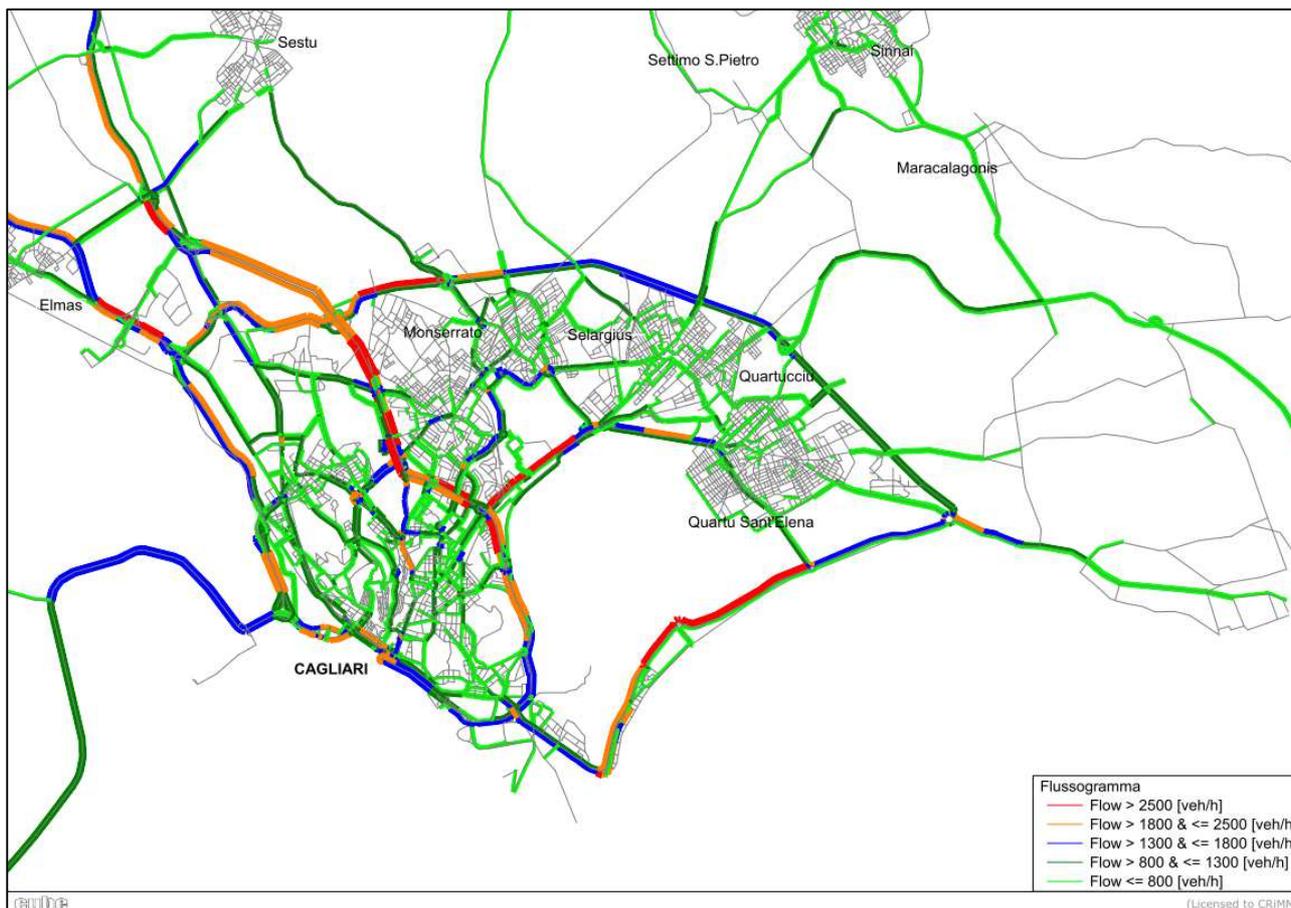


Figura 23 - Flussogramma Stato di fatto 2018 (pre interventi di riqualificazione SS554)

Come accennato in precedenza, lo “stato di fatto” o scenario di non intervento da utilizzare nei confronti con le ipotesi progettuali, è a tutti gli effetti uno scenario futuro in cui si prevede che siano stati già realizzati gli interventi previsti per la riqualificazione della SS554. In particolare, l’intervento di riqualificazione prevede che le attuali intersezioni a raso, semaforizzate, vengano sostituite da rotonde che permettono le manovre minori e da viadotti in cui transitino i flussi che attraversano la SS554. L’intervento prevede inoltre tutta una serie di strade di servizio complanari per incanalare i flussi in ingresso e in uscita diretti ai lotti frontali.

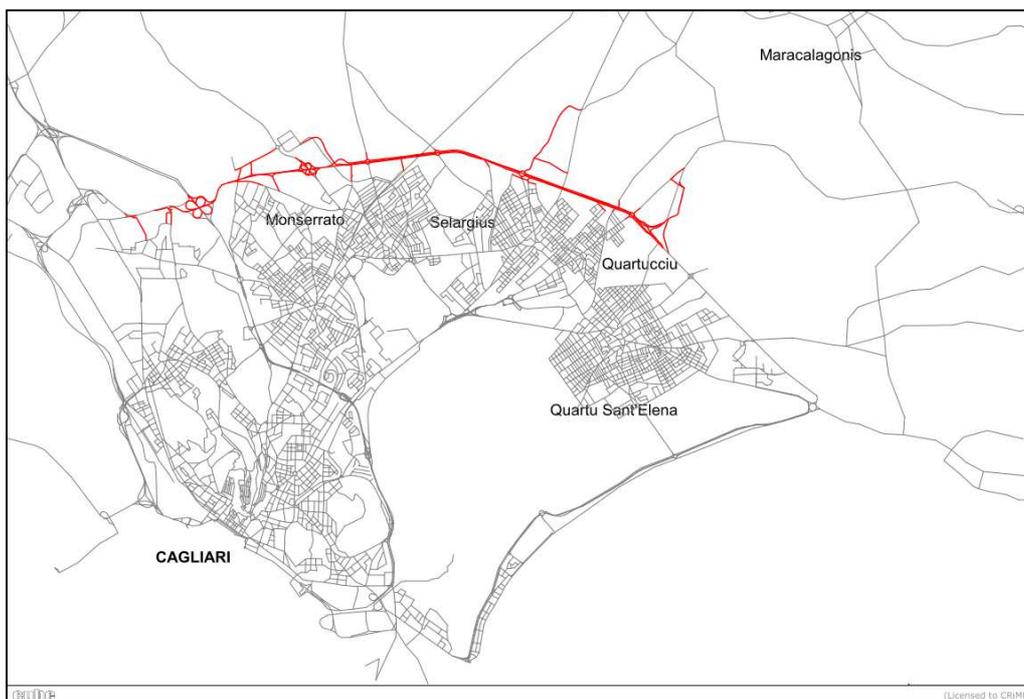


Figura 24 - Stato di fatto (Con riqualificazione SS 554)

La simulazione degli interventi di riqualificazione della SS554 ha evidenziato come la nuova riorganizzazione della rete consentirà di scaricare la viabilità urbana dei centri facenti parte dell'area vasta di Cagliari, in particolare Monserrato, Selargius e Quartucciu, che vengono attualmente interessati dai flussi in attraversamento (si veda la Figura 22 a pagina 26) alternativi a quelli che utilizzano l'attuale SS554 caratterizzata da numerose intersezioni a raso e alti livelli di congestione. Come si può notare in Figura 25, i flussi più consistenti (in rosso), transitano nella SS554 nei pressi del Quadrifoglio, lungo l'Asse Mediano, sul Lungomare Poetto e nel viale Marconi, nei pressi dell'intersezione con l'Asse Mediano di Scorrimento. La maglia urbana appare più scarica e meno influenzata dai flussi di attraversamento.

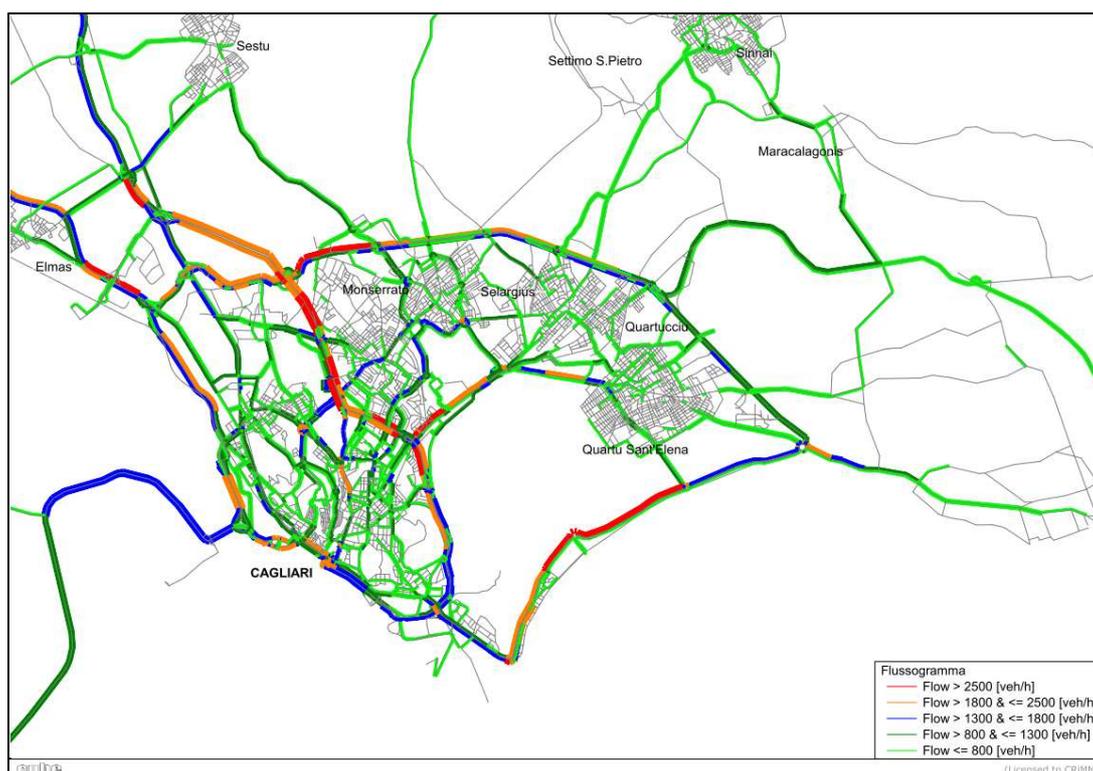


Figura 25 - Flussogramma stato di fatto con SS554 - Area vasta

Lungo la ex SS125 (tratto da adeguare), il modello prevede nell'ora di punta del mattino un flusso pari a circa 1300 vei/h in ingresso all'area vasta di Cagliari e circa 600 in uscita. Nel tratto tra la rotonda in ingresso a Maracalagonis e lo svincolo esistente a Gannì, i flussi sono equilibrati e pari a circa 500 vei/h per senso di marcia (Figura 26).

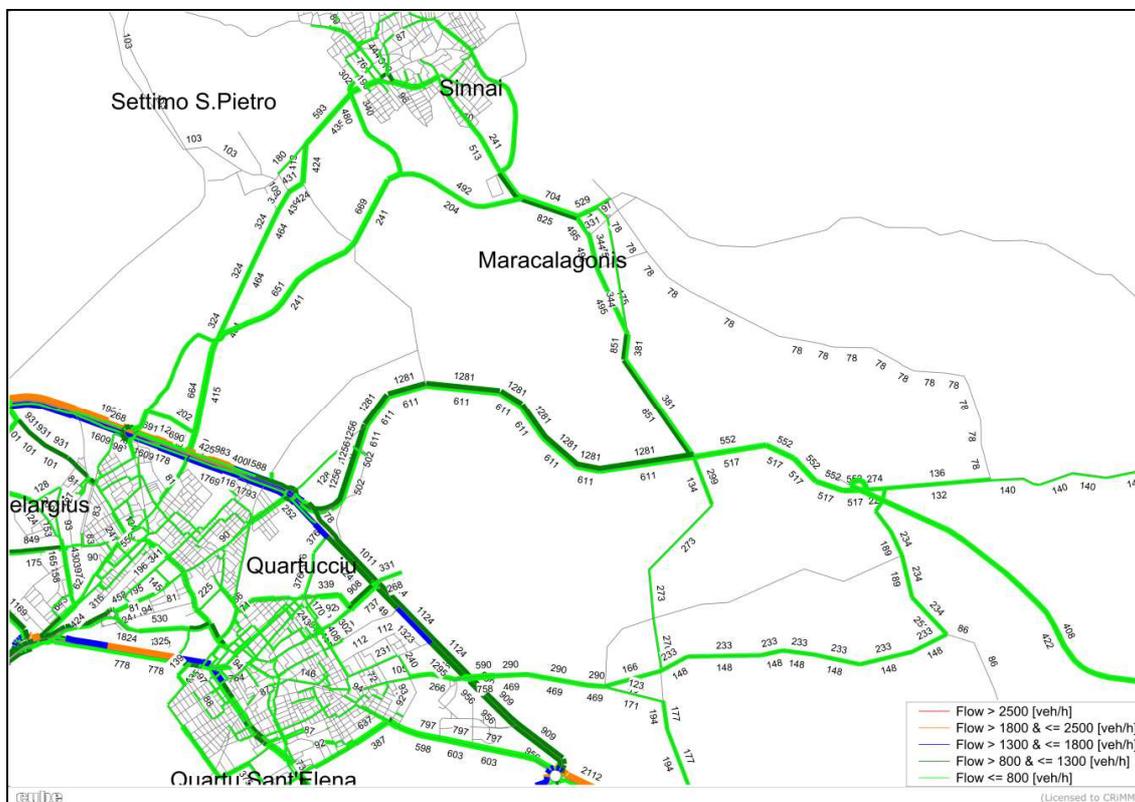


Figura 26 - Flussogramma dettaglio zona di intervento

Complessivamente, nell'ora di punta del mattino i veicoli percorrono in totale oltre 651 mila km, impiegano oltre 23.700 ore, ad una velocità media di 33,54 km/h (Tabella 7).

Tempi di percorrenza	Distanza Percorsa	Velocità media
vei*h	Vei*km	Km/h
23.737	651.227,23	33,54

Tabella 7 - Stato di fatto - indicatori globali

E' stata inoltre estratta una subarea del modello, come da figura sottostante, per poter analizzare il tempo di percorrenza e la distanza percorsa nella zona di intervento. Tali tempi e distanze dello stato di fatto saranno confrontate con gli scenari.

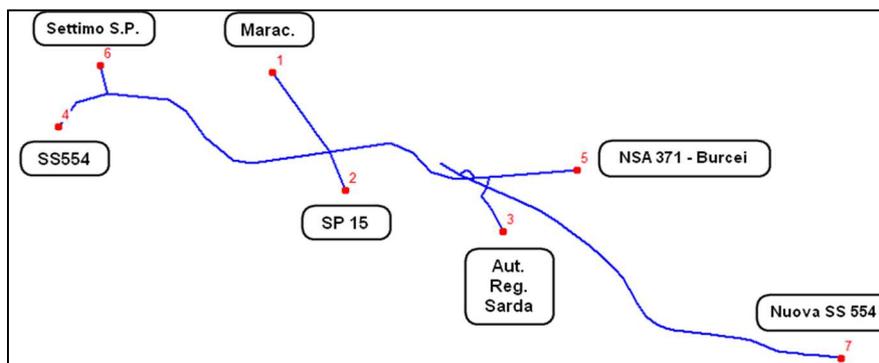


Figura 27 – Subarea

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		2,57	3,84	4,64	4,04	4,85	6,49
2	SP 15	2,73		3,24	4,03	3,44	4,25	5,89
3	Via Aut. Reg. Sarda	3,69	2,93		4,99	1,33	5,21	4,06
4	SS 554	4,36	3,60	4,87		5,07	1,36	7,52
5	NSA 371 - Burcei	3,89	3,13	1,33	5,19		5,41	4,26
6	Settimo S.P.	4,60	3,84	5,11	1,39	5,31		7,76
7	Nuova SS 554	6,34	5,58	4,06	7,64	4,26	7,85	

Tabella 8 - Stato di fatto - Tempi di percorrenza tra coppie O/D [minuti]

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		1,88	4,44	5,43	4,74	5,00	9,47
2	SP 15	1,88		3,68	4,67	3,98	4,24	8,71
3	Via Aut. Reg. Sarda	4,44	3,68		7,23	2,00	6,80	7,15
4	SS 554	5,43	4,67	7,23		7,53	1,23	12,26
5	NSA 371 - Burcei	4,74	3,98	2,00	7,53		7,10	7,45
6	Settimo S.P.	5,00	4,24	6,80	1,23	7,10		11,83
7	Nuova SS 554	9,47	8,71	7,15	12,26	7,45	11,83	

Tabella 9 - Stato di fatto - Distanze percorse tra coppie O/D [minuti]

4.6.1.1 Ipotesi di crescita della domanda di trasporto

Una delle principali caratteristiche della domanda di viaggio è quella temporale, ovvero la domanda varia nel tempo e l'arco temporale su cui analizzarla e simularla dipende chiaramente dal tipo di studio, piano o progetto che si sta elaborando. Normalmente, la progettazione di parte o di un intero un sistema di trasporto (ad esempio, una sezione stradale, un'intersezione semaforizzata o, ancora, una rete stradale) necessita della conoscenza della domanda in un intervallo temporale di massimo carico (ad es., l'ora di punta o sue frazioni). Invece, per la valutazione economica e finanziaria di un intervento sul sistema di trasporto è necessario conoscere l'evoluzione della domanda su orizzonti temporali più estesi come, ad esempio, quelli relativi alla vita tecnica dell'intervento (30 anni per una strada). La "domanda attuale" utilizzata in questa analisi rappresenta la domanda di traffico tipica dell'ora di punta del mattino (7:30 – 8:30) di un giorno ferialo medio, aggiornata e validata al Novembre 2017 con una campagna di rilievi di traffico che ha interessato i comuni di Selargius, Quartucciu, Monserrato e Sinnai.

Negli studi di fattibilità delle infrastrutture di trasporto, è necessario, come detto, stimare la variazione della domanda durante l'arco di vita utile della stessa infrastruttura, solitamente fissato in 30 anni. Trattandosi di *variazioni/previsioni di lungo periodo (trend)*, cioè quelle che si evidenziano analizzando i flussi di domanda su un elevato numero di periodi di riferimento (anni), la domanda annuale può essere analizzata attraverso la variazione del livello totale di domanda annua osservata su più anni. Secondo questa impostazione il processo di stima in questo studio di fattibilità utilizza le previsioni di crescita stimate dal Piano Regionale dei Trasporti della Sardegna (PRT) che hanno tenuto conto di numerosi fattori, non solo trasportistici ma anche socioeconomici. "Il valore stimato al 2021 dal modello di trasporto dell'intera regione Sardegna, del numero di spostamenti intercomunali veicolari (matrice O/D auto conducente) nella fascia di punta del mattino in un giorno lavorativo medio invernale raggiunge 131.638 unità (+ 3,5% rispetto al 2006)"¹.

In via cautelativa si è ipotizzato di ripartire l'aumento del 3,5% su quindici anni, ed ottenere una crescita annuale pari a 0,23%. Trattandosi di una variazione annua contenuta, non si è ritenuto necessario utilizzare la domanda annua incrementata (matrice O/D) per assegnarla ogni anno alla rete e valutare i benefici dagli indicatori di traffico risultanti. Come si vedrà nei capitoli successivi relativi all'analisi benefici/costi, nel presente studio di fattibilità si è scelto di utilizzare tale tasso di crescita costante per tutta la vita utile dell'opera, applicandolo non alla domanda stessa ma agli impatti monetizzati (positivi e negativi), i quali vengono calcolati basandosi su indicatori trasportistici come $vei \cdot km$ e $vei \cdot h$.

¹ PRT Sardegna – Parte Seconda – Scenari futuri

4.6.2 Analisi Scenario 1

Lo scenario 1, unitamente agli interventi di riqualificazione della SS554, contiene l'ipotesi costruttiva "variante stretta", che prevede che parte del tratto in adeguamento sia formato da un nuovo tracciato, in aderenza alla strada esistente. La vecchia SS125 e la variante sono collegate da uno svincolo posto al km 1,800 (Figura 28).

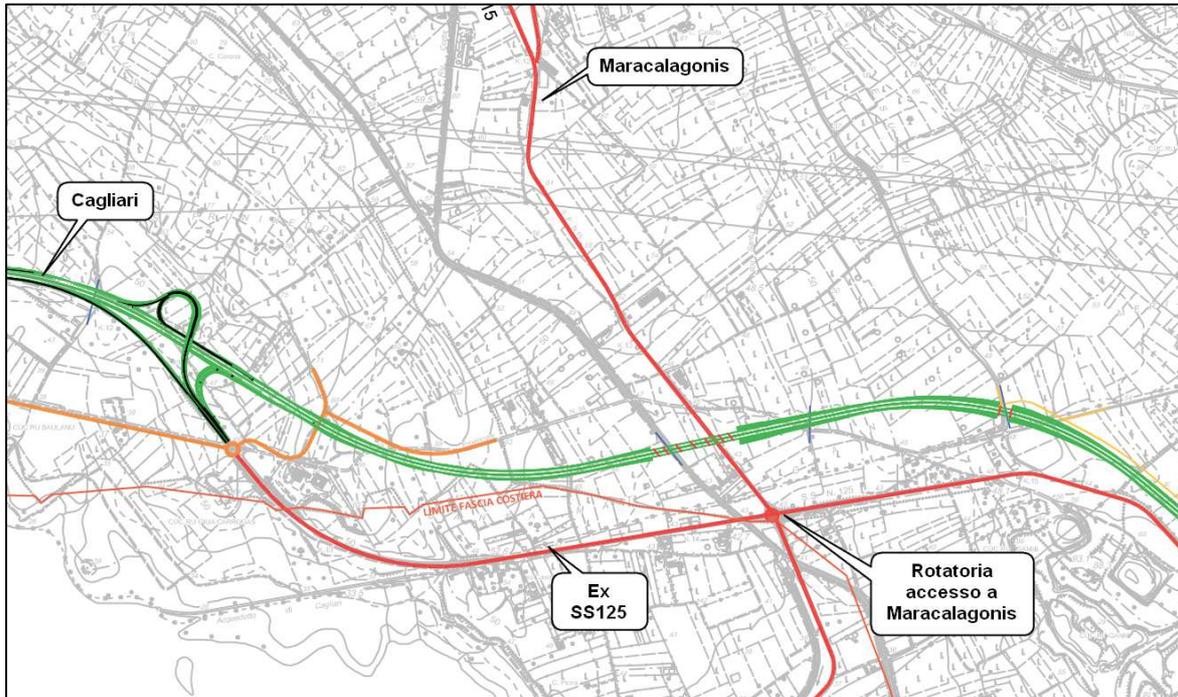


Figura 28 - Svincolo Scenario 1

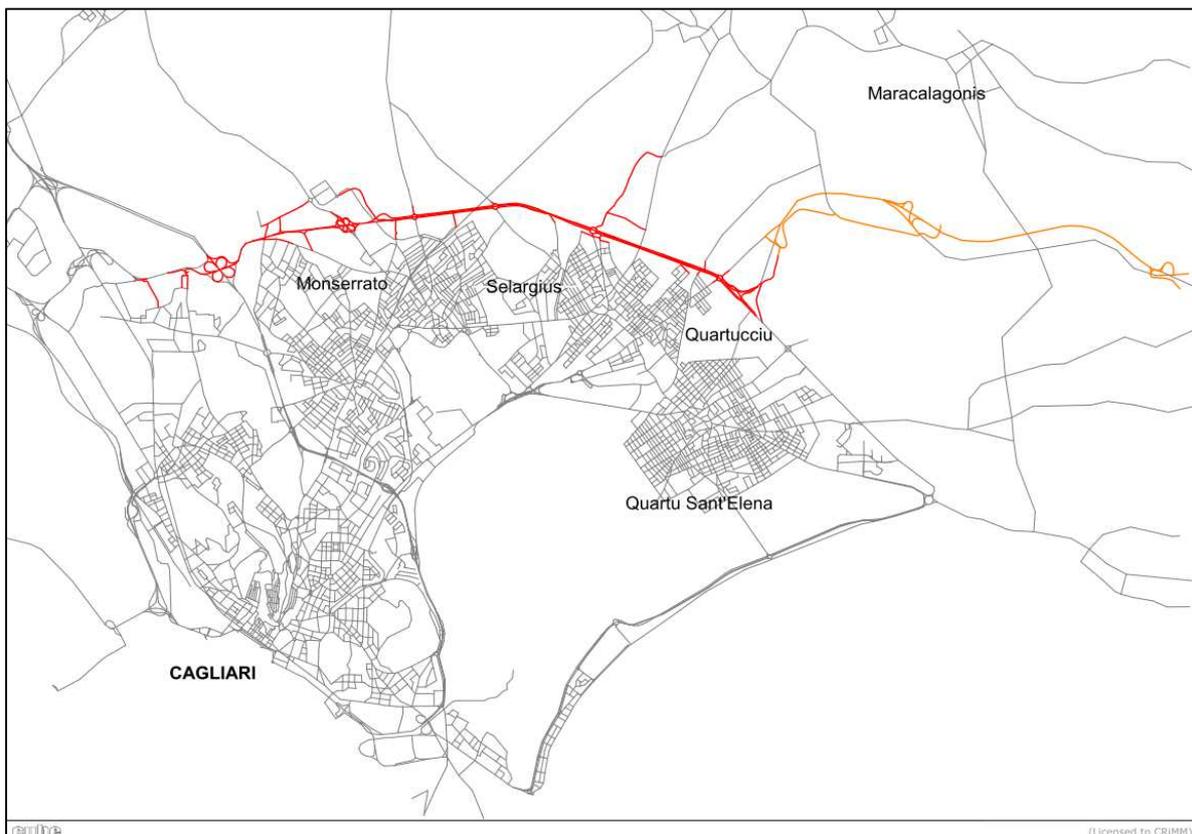


Figura 29 - Scenario 1 - Riqualificazione SS554 + ipotesi A (Variante Stretta)

I flussi di area vasta non registrano particolari differenze; gli assi di accesso a Cagliari continuano ad essere quelli più carichi (Lungomare Poetto, SS 554 nei pressi del Quadrifoglio, Asse Mediano e viale Marconi, Figura 30).

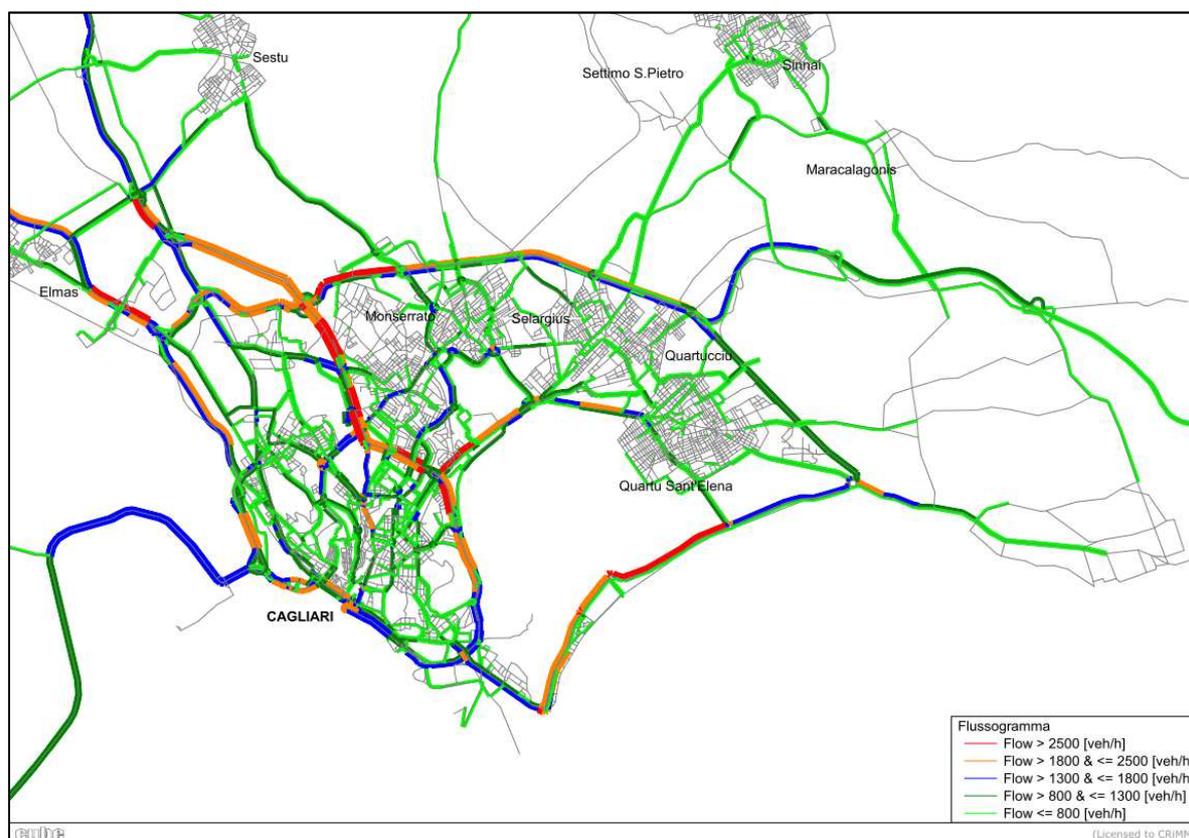


Figura 30 - Flussogramma Scenario 1 - Area Vasta

Analizzando i flussi nell'area di intervento con le immagini successive (flussogramma e variazioni dei flussi di traffico rispetto allo stato di fatto), si nota come la realizzazione della variante attragga flussi importanti: il tratto finale della variante, all'intersezione con la SS 554, viene percorsa da circa 1700 vei/h in ingresso e oltre 700 in uscita (rispettivamente 450 e 120 in più rispetto allo stato di fatto). Una quota dell'incremento dei flussi in ingresso è essenzialmente attratta da quelli che attualmente utilizzano il percorso della via dell'Autonomia Regionale Sarda, che con la realizzazione della variante cambiano itinerario, andando a scaricare le strade provinciali dell'agro di Flumini. Un'altra quota di veicoli invece proviene da Settimo San Pietro e dal suo agro, nell'ipotesi che le strade di accesso, come da progetto, vengano riqualificate e permettano un accesso più veloce. Occorre inoltre notare come i flussi attinenti a Maracalagonis non subiscano variazioni significative indicando, che probabilmente questa soluzione non facilita l'accesso al centro abitato, per dover attraversare la viabilità di servizio per raggiungere la SP 15. Questo è ancora più evidente dai flussogrammi nelle successive figure.

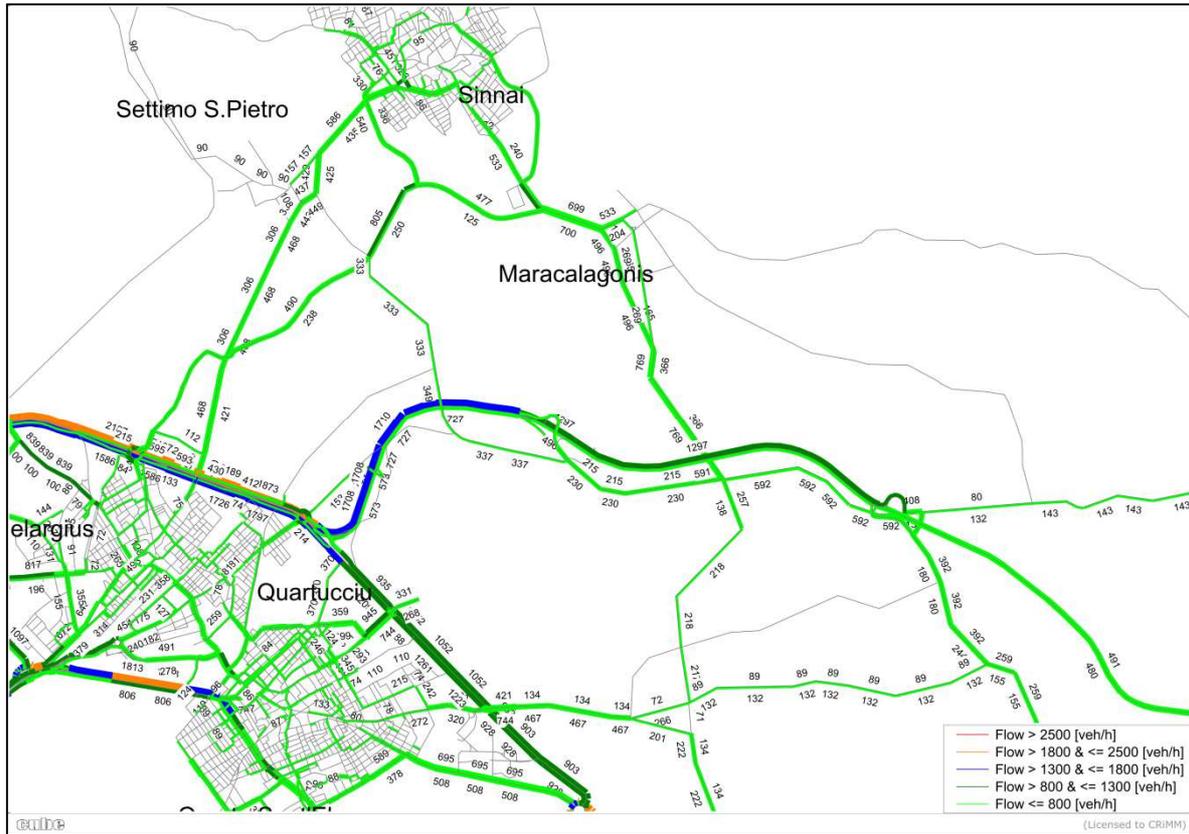


Figura 31 - Flussogramma Scenario 1 - Dettaglio zona di intervento

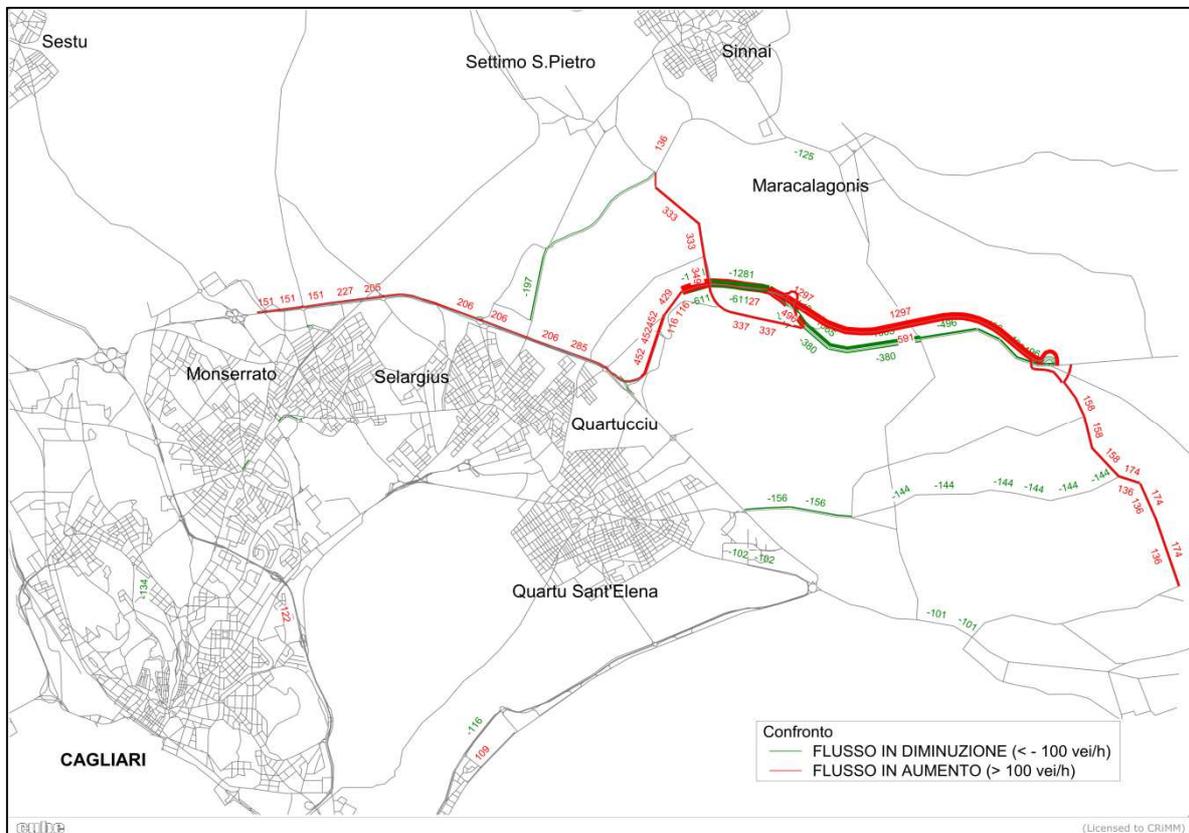


Figura 32 - Confronto tra i flussi Scenario 1 - Stato di fatto (Area Vasta)

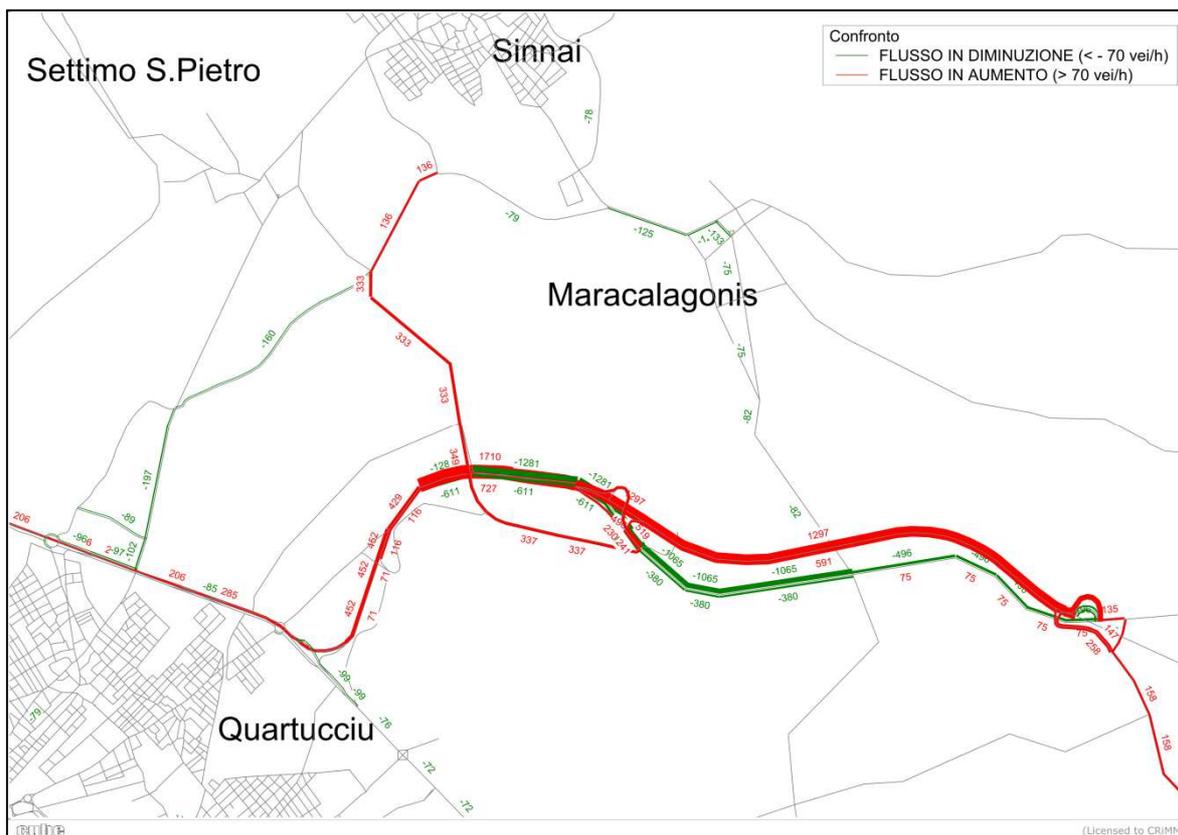


Figura 33 - Confronto tra i flussi Scenario 1 – Scenario Base (Dettaglio zona di intervento)

In termini globali, nell’ora di punta del mattino i veicoli percorrono globalmente quasi 651 mila km, impiegano oltre 23.200 ore, ad una velocità media di 33,91 km/h. Rispetto allo stato di fatto, si riscontra un lieve aumento delle distanze percorse (+ 643 vei*km) e una diminuzione dei tempi di percorrenza (-517 vei*h) (Tabella 10).

Tempi di percorrenza	Distanza Percorsa	Velocità media
vei*h	Vei*km	Km/h
23.220	651.869,98	33,91

Tabella 10 - Scenario 1 - Indicatori globali

Nelle tabelle successive vengono mostrati i dati relativi alla zona di intervento, con i tempi di percorrenza e le distanze percorse tra coppie O/D.

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		2,33	4,71	5,50	4,91	5,69	8,12
2	SP 15	2,26		3,72	4,51	3,92	4,70	7,18
3	Via Aut. Reg. Sarda	4,63	3,72		3,79	1,33	5,39	4,22
4	SS 554	5,20	4,29	3,60		4,17	3,40	5,85
5	NSA 371 - Burcei	4,83	3,11	1,33	3,99		7,28	4,79
6	Settimo S.P.	5,62	4,70	7,08	1,91	7,28		7,03
7	Nuova SS 554	7,48	6,56	4,26	5,87	4,46	7,47	

Tabella 11 - Scenario 1 - Tempi di percorrenza tra coppie O/D [minuti]

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		1,88	4,44	5,22	4,74	4,68	10,21
2	SP 15	1,88		3,68	4,46	3,98	3,92	9,53
3	Via Aut. Reg. Sarda	4,44	3,68		6,15	2,00	6,66	6,99
4	SS 554	5,05	4,29	5,75		6,61	3,55	10,63
5	NSA 371 - Burcei	4,74	3,21	2,00	6,45		6,78	7,85
6	Settimo S.P.	4,68	3,92	6,48	1,59	6,78		10,64
7	Nuova SS 554	9,52	8,76	7,20	10,63	7,50	11,14	

Tabella 12 - Scenario 1 - Distanze percorse tra coppie O/D [km]

In Tabella 13 e in Tabella 14 viene mostrato il confronto tra i tempi di percorrenza e la distanza percorsa tra lo stato di fatto e lo scenario 1, per la zona di intervento. Si può notare come le coppie O/D con le più significative variazioni sono quelle che collegano la SS 554 e la nuova SS 554, in cui si registrano miglioramenti significativi, sia in termini di tempi di percorrenza (quasi due minuti in meno tra la nuova SS 554), che di distanza percorsa (1,6 km in meno). Alcune coppie O/D di minore importanza mostrano invece dei valori negativi. Occorre comunque far notare come molte di queste coppie O/D siano interessate, da modello, da pochissimi veicoli, pertanto il valore più significativo, anche in termini globali, va ricercato nei vantaggi riscontrati negli itinerari percorsi dal maggior numero di utenti.

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		-14	52	52	52	51	98
2	SP 15	-28		29	28	29	27	77
3	Via Aut. Reg. Sarda	57	47		-72	0	11	9
4	SS 554	51	41	-76		-54	123	-100
5	NSA 371 - Burcei	57	-1	0	-72		112	32
6	Settimo S.P.	61	52	118	31	118		-44
7	Nuova SS 554	69	59	12	-106	12	-23	

Tabella 13 - Confronto tempi di percorrenza tra stato di fatto e scenario 1 [secondi]

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		0,00	0,00	-0,21	0,00	-0,32	0,74
2	SP 15	0,00		0,00	-0,21	0,00	-0,32	0,82
3	Via Aut. Reg. Sarda	0,00	0,00		-1,08	0,00	-0,14	-0,16
4	SS 554	-0,38	-0,38	-1,48		-0,92	2,32	-1,63
5	NSA 371 - Burcei	0,00	-0,77	0,00	-1,08		-0,32	0,40
6	Settimo S.P.	-0,32	-0,32	-0,32	0,36	-0,32		-1,19
7	Nuova SS 554	0,05	0,05	0,05	-1,63	0,05	-0,69	

Tabella 14 - Confronto Distanze percorse tra coppie O/D [km]

4.6.3 Analisi Scenario 2

Lo scenario 2 prevede gli interventi di riqualificazione già previsti nella SS 554 e l'ipotesi costruttiva "variante larga". Rispetto all'ipotesi "Variante stretta", quasi tutto il tracciato si trova in variante, andando a raccordarsi al percorso esistente al km 0,800. Un'altra differenza significativa dall'ipotesi "Variante stretta" è il raccordo con la viabilità provinciale di accesso al sistema dei comuni di Maracalagonis e Sinnai, che avviene in modo più diretto tramite uno svincolo a livelli sfalsati sulla SP 15, a poche centinaia di metri da Maracalagonis, e non sulla ex ss125.

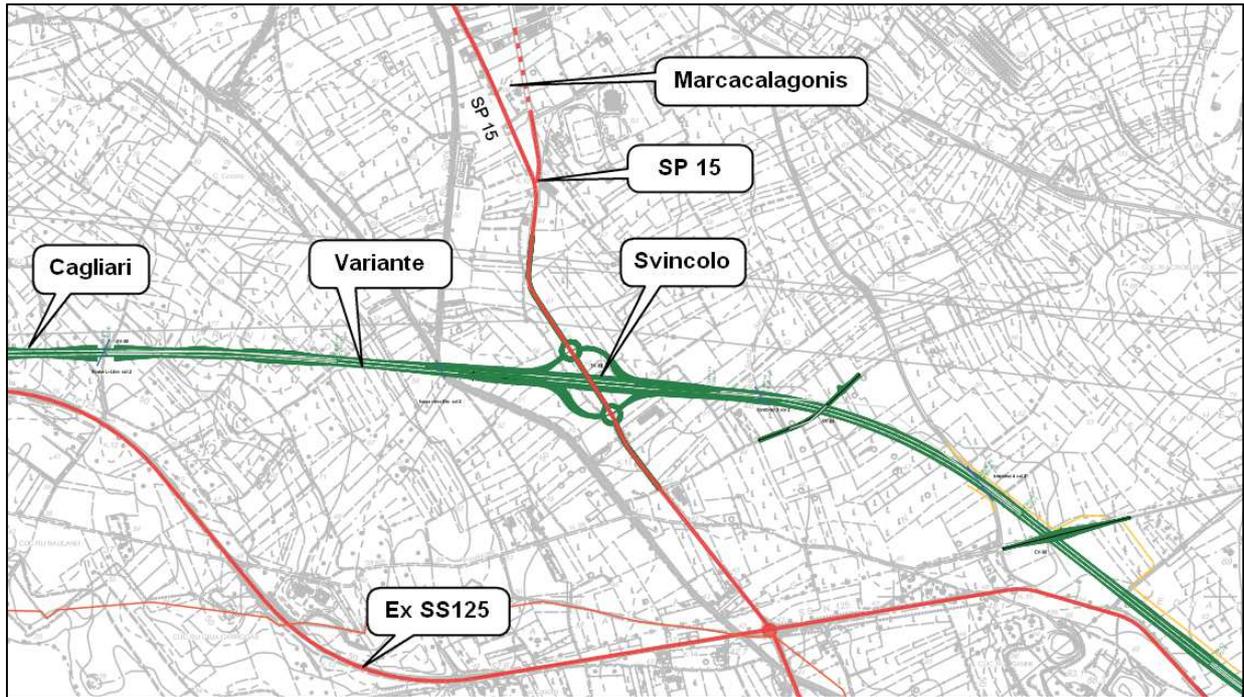


Figura 34 - Svincolo Scenario 2

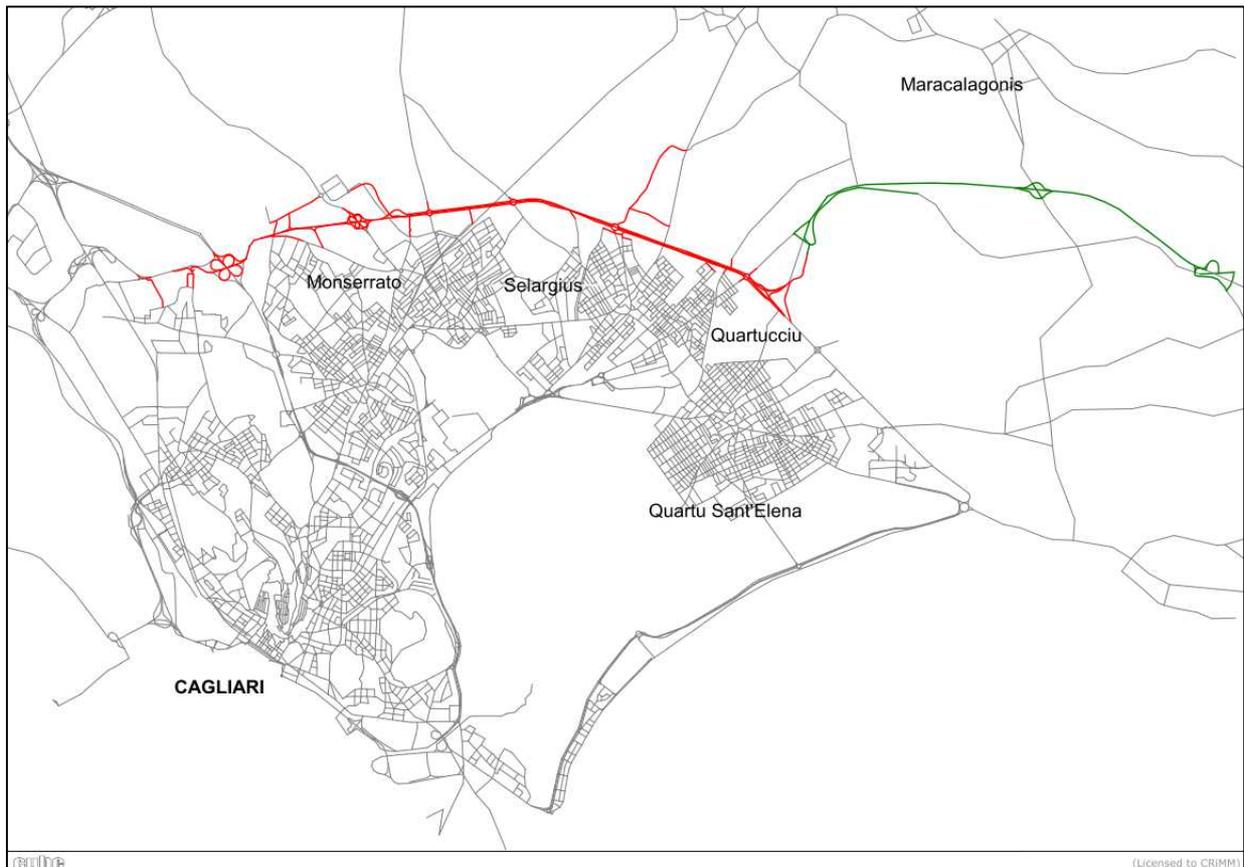


Figura 35 - Scenario 2 - Riqualificazione SS554 + ipotesi B (Variante Larga)

In termini di flussi di area vasta, anche con questa ipotesi non si notano differenze macroscopiche con lo stato di fatto (Figura 36).

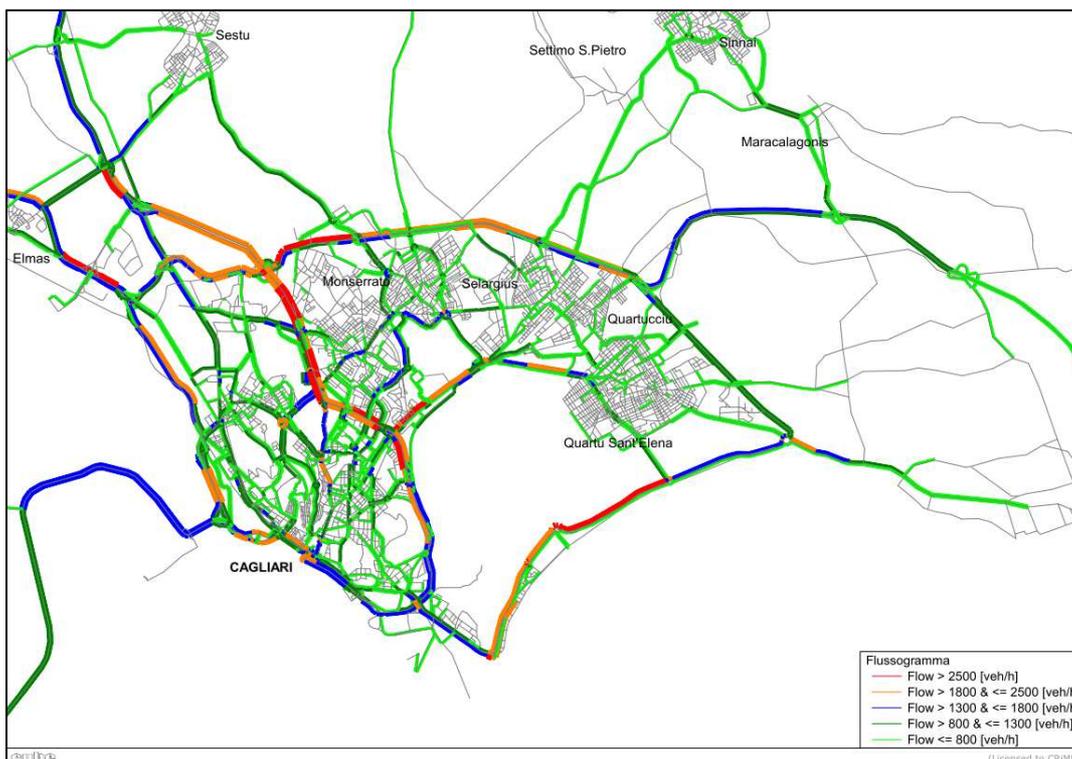


Figura 36 – Flussogramma scenario 2 – Area Vasta

Da un'analisi dei flussi nell'area di intervento (si vedano le immagini successive con flussogramma e variazioni dei flussi di traffico rispetto allo stato di fatto), si nota come la variante venga utilizzata da flussi importanti di traffico (1650 vei/h in ingresso e 900 vei/h in uscita). Anche in questo caso, i flussi attratti provengono essenzialmente da via dell'Autonomia Regionale Sarda e, rispetto alla soluzione precedente, da Maracalagonis, soprattutto per la presenza dello svincolo di accesso alla nuova infrastruttura viaria nelle immediate vicinanze del centro abitato. Si nota inoltre come la Ex SS125 risulti essere percorsa tra flussi scarsissimi, in quanto tutti i flussi in attraversamento transitano sulla variante piuttosto che sulla viabilità locale.

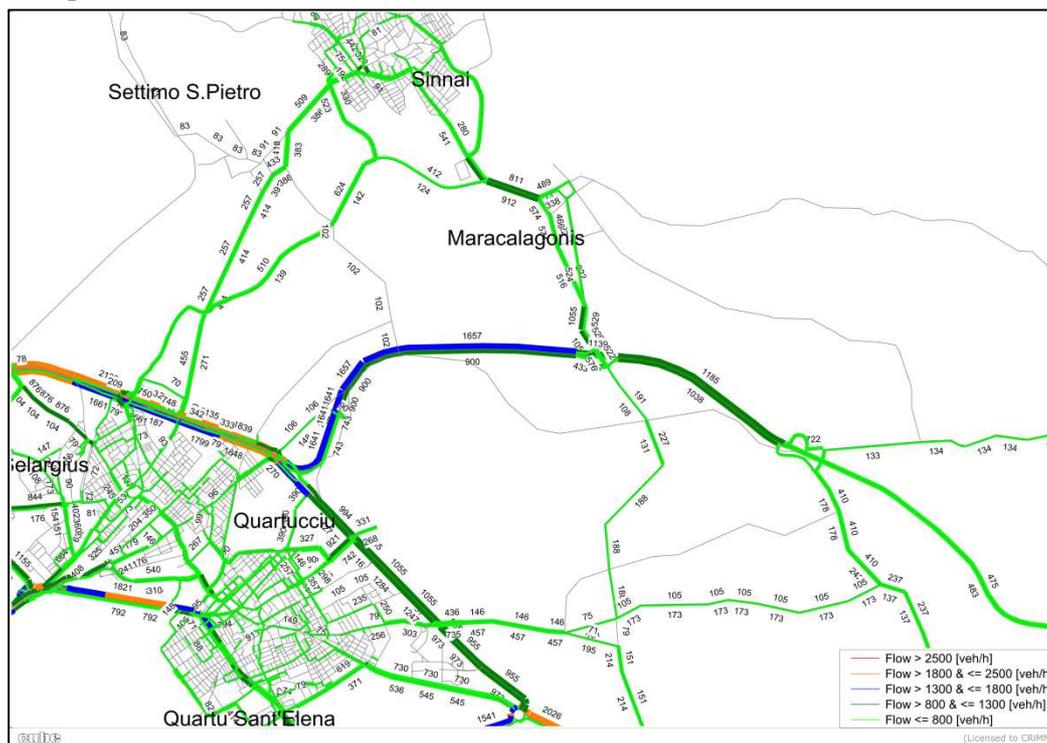


Figura 37 - Flussogramma scenario 2 . Dettaglio zona di intervento

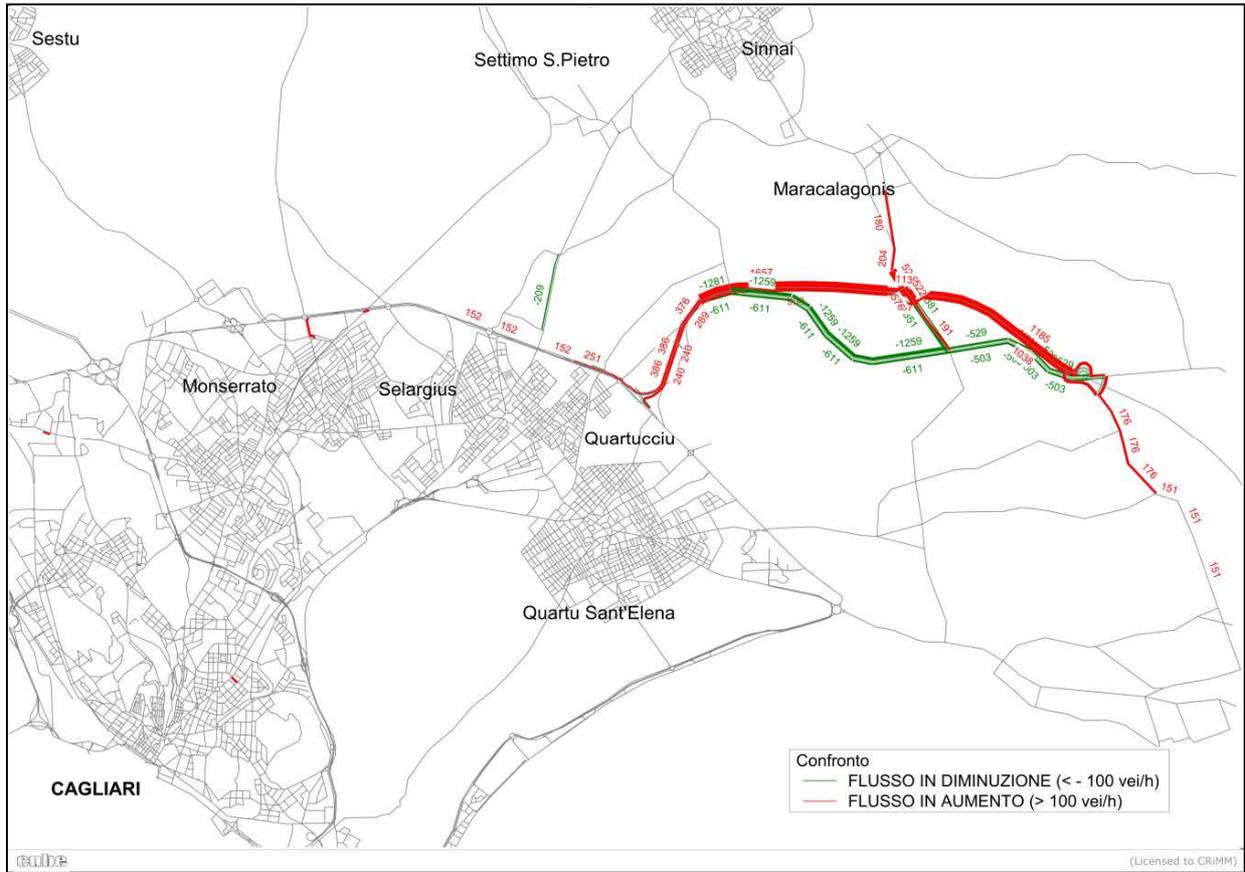


Figura 38 - Confronto tra Flussi scenario 2 – Scenario Base (Area Vasta)

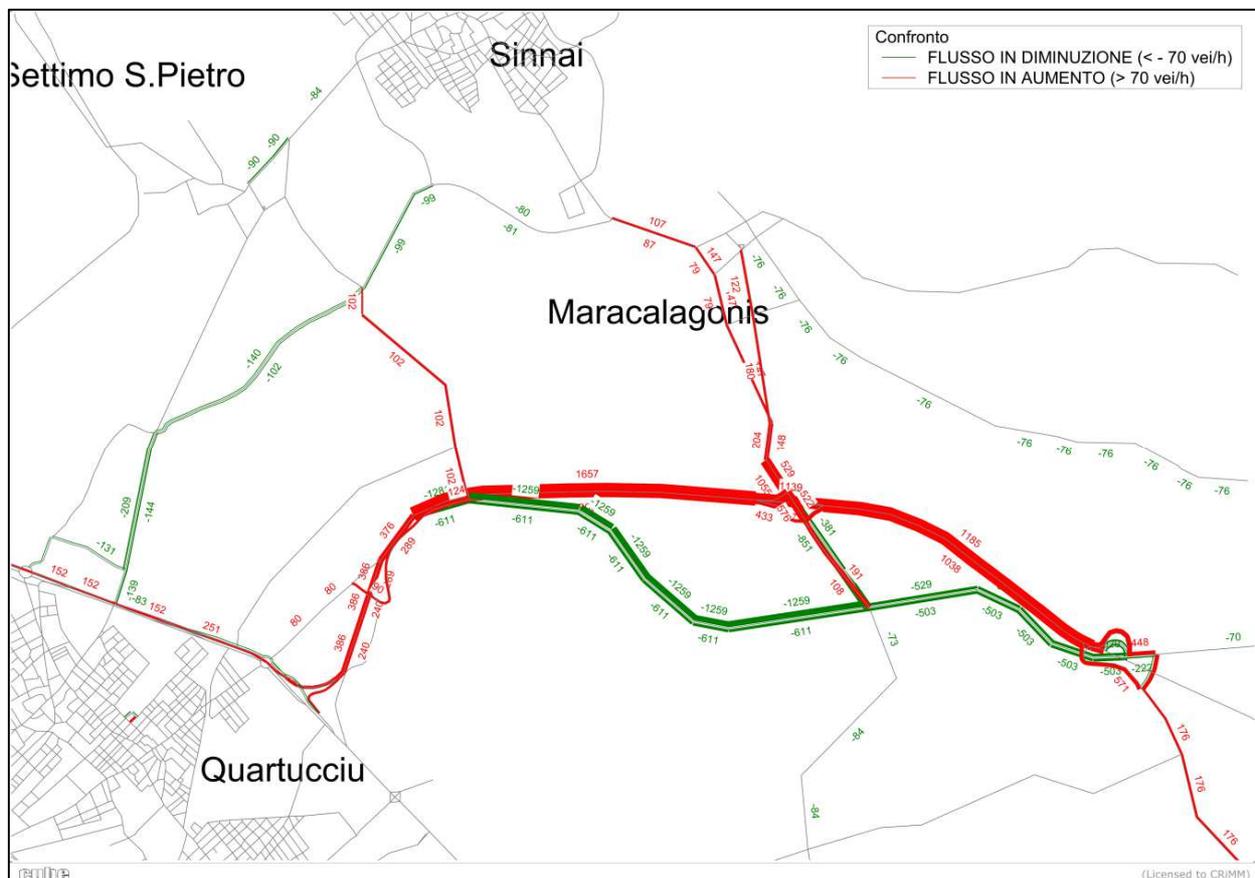


Figura 39 - Confronto tra i flussi Scenario 2 – Scenario Base (Dettaglio zona di intervento)

In termini globali, nell'ora di punta del mattino i veicoli percorrono globalmente quasi 651 mila km, impiegano oltre 23.100 ore, ad una velocità media di 33,96 km/h. Rispetto allo stato di fatto questo è l'unico scenario che presenta sia una diminuzione della distanza globale percorsa (-407 vei*km) sia una diminuzione globale dei tempi di percorrenza (-615 vei*h).

Tempi di percorrenza	Distanza Percorsa	Velocità media
vei*h	Vei*km	Km/h
23.122	650.820,54	33,96

Tabella 15 - Scenario 2 - indicatori globali

Nelle tabelle successive vengono mostrati i dati relativi alla zona di intervento, con i tempi di percorrenza e le distanze percorse tra coppie O/D.

O/D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		1,97	2,65	2,07	3,22	6,03	4,91
2	SP 15	1,96		3,59	3,47	4,16	5,41	5,84
3	Via Aut. Reg. Sarda	2,71	3,34		3,91	1,33	8,18	4,22
4	SS 554	2,32	3,26	3,60		4,18	7,33	5,86
5	NSA 371 - Burcei	2,91	4,32	1,33	4,11		8,38	4,75
6	Settimo S.P.	6,02	5,41	7,65	1,93	8,22		9,91
7	Nuova SS 554	4,79	6,20	4,26	5,99	4,46	10,26	

Tabella 16 - Scenario 2 - Tempi di percorrenza tra coppie O/D [minuti]

O/D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		1,63	3,42	2,89	4,28	4,75	8,30
2	SP 15	1,63		4,21	4,06	5,07	4,24	9,09
3	Via Aut. Reg. Sarda	3,73	4,25		6,12	2,00	8,02	6,99
4	SS 554	3,20	3,99	5,72		6,58	7,11	10,60
5	NSA 371 - Burcei	4,03	5,20	2,00	6,42		8,32	7,81
6	Settimo S.P.	4,75	4,24	7,33	1,34	8,19		12,21
7	Nuova SS 554	8,22	9,39	7,20	10,60	7,50	12,51	

Tabella 17 - Scenario 2 - Distanze percorse tra coppie O/D [km]

Nelle due tabelle successive è rappresentato il confronto, in termini di tempi di percorrenza e distanza percorsa, tra lo stato di fatto e lo scenario 2, per la sola zona di intervento. Rispetto allo scenario precedente, si nota come tutti gli indicatori per la zona Maracalagonis diventano positivi, per la presenza dello svincolo nei pressi del centro abitato (occorrono 154 secondi in meno per effettuare lo spostamento Maracalagonis – SS 554). Anche in questo scenario, gli indicatori tra le coppie O/D principali (SS554 e nuova SS 554) sono ampiamente positivi, in termini di tempi e distanze. L'unica zona che risulta penalizzata è la 6 (Settimo San Pietro), o meglio il suo agro, in quanto non è presente un svincolo per l'immissione diretta nella variante.

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		-36	-72	-154	-49	71	-95
2	SP 15	-46		21	-34	43	70	-3
3	Via Aut. Reg. Sarda	-58	24		-65	0	179	9
4	SS 554	-123	-20	-76		-54	358	-99
5	NSA 371 - Burcei	-58	71	0	-65		179	29
6	Settimo S.P.	85	94	152	33	175		129
7	Nuova SS 554	-92	37	12	-99	12	145	

Tabella 18 - Confronto tempi di percorrenza tra stato di fatto e scenario 2 [secondi]

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		-0,25	-1,02	-2,54	-0,46	-0,25	-1,17
2	SP 15	-0,25		0,53	-0,61	1,09	0,00	0,38
3	Via Aut. Reg. Sarda	-0,71	0,57		-1,11	0,00	1,22	-0,16
4	SS 554	-2,23	-0,68	-1,51		-0,95	5,88	-1,66
5	NSA 371 - Burcei	-0,71	1,22	0,00	-1,11		1,22	0,36
6	Settimo S.P.	-0,25	0,00	0,53	0,11	1,09		0,38
7	Nuova SS 554	-1,25	0,68	0,05	-1,66	0,05	0,68	

Tabella 19 - Confronto tra la distanze percorse tra stato di fatto e scenario 2 [km]

4.6.4 Analisi Scenario 3

Lo scenario 3, prevede gli interventi di riqualificazione già previsti nella SS 554 e l'ipotesi di adeguamento della Ex SS125 alla categoria B. Rispetto a entrambi gli scenari precedenti, il tracciato ripercorre la viabilità esistente. Il tratto tra la SS554 e la rotatoria sulla SP 15 per Maracalagonis viene allargato e adeguato, mentre il tratto restante (dalla rotatoria allo svincolo esistente della nuova SS 554), passa in affiancamento alla strada esistente, che rimane a servizio dell'agro di Flumini.

Il collegamento con la viabilità locale avviene tramite uno svincolo al km 1,500, in cui la SS 554 si raccorda alla SP 94 (attualmente sterrata). Come si può notare nella figura seguente, la SP 94 accoglie anche i flussi che provengono da Maracalagonis, i quali si possono immettere nella SS54 percorrendo prima la SP 15 e poi la SP 94, attraverso due rotatorie.

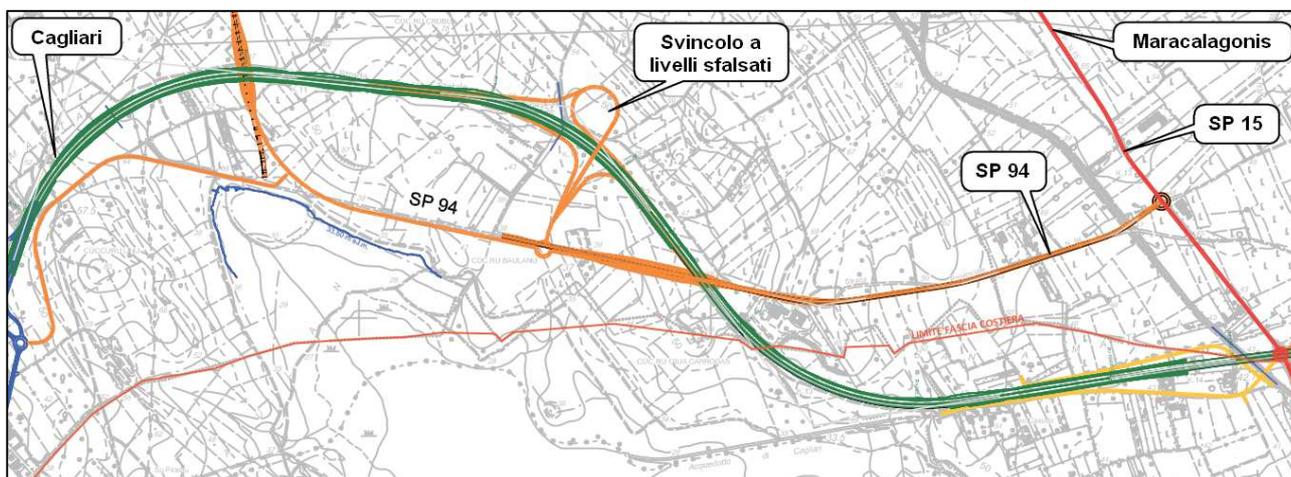


Figura 40 - Svincolo Scenario 3

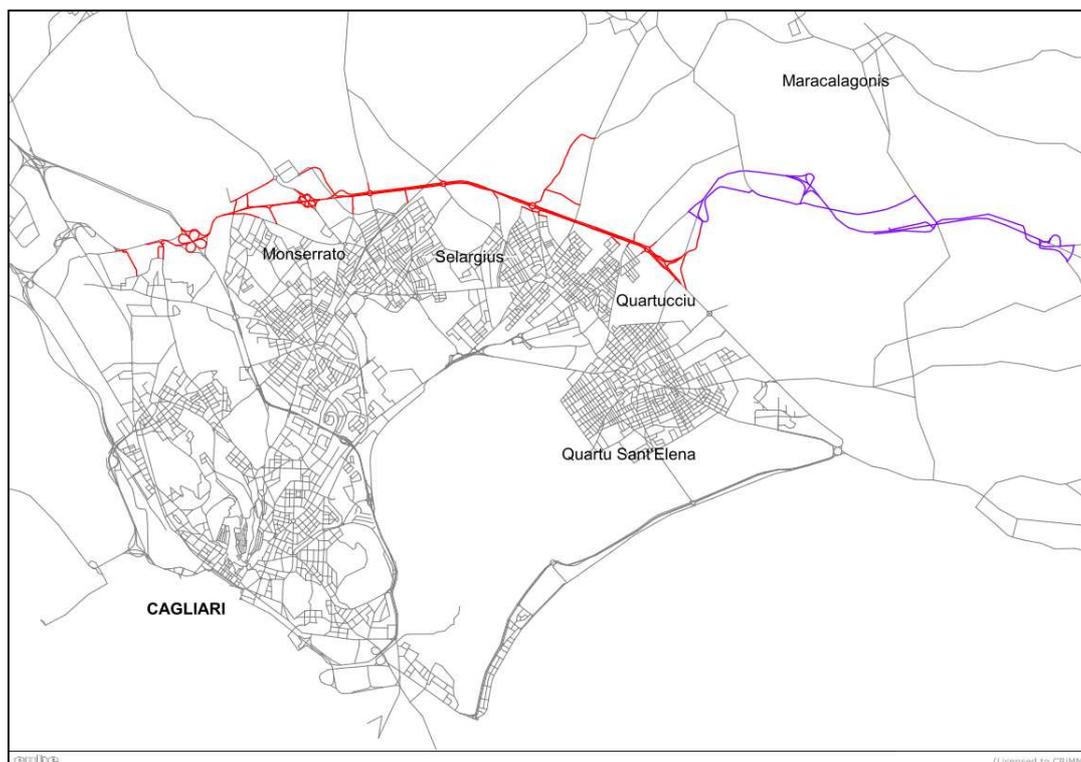


Figura 41 - Scenario 3 - Riqualificazione SS554 + ipotesi C (Adeguamento SS125)

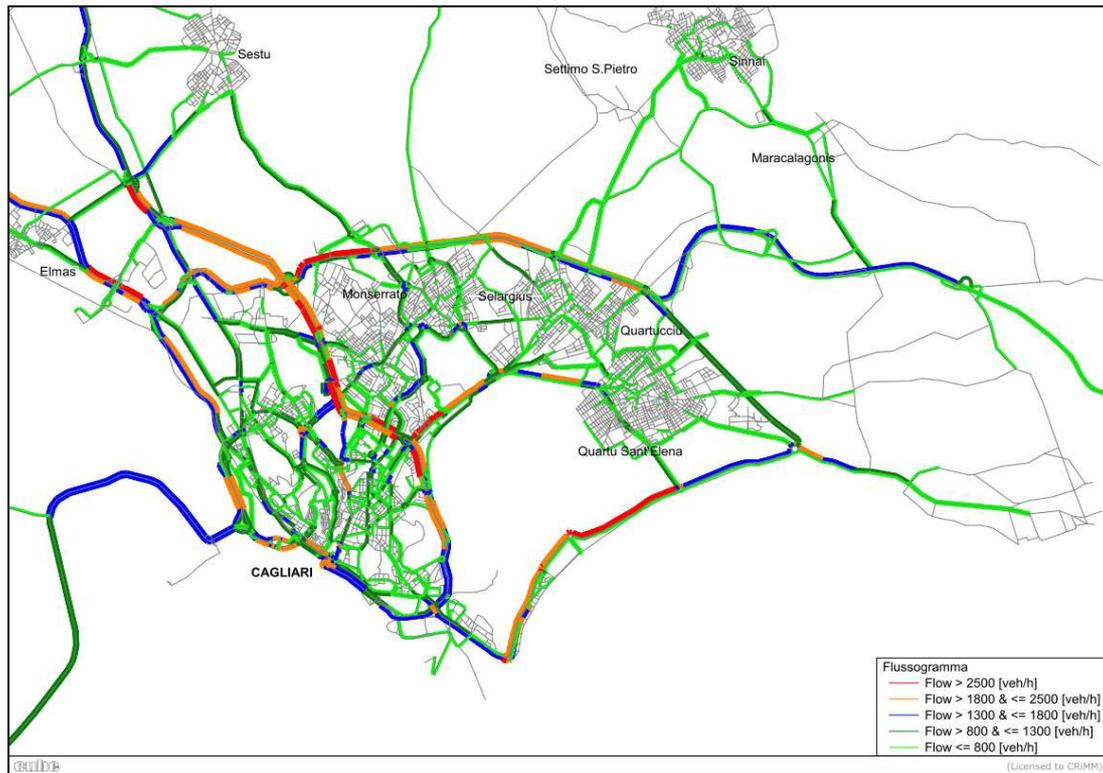


Figura 42 - Flussogramma Scenario 3 - Area Vasta

Analizzando l'area di intervento, come prevedibile i flussi maggiori vengono convogliati nella strada adeguata, con valori simili a quanto visto per gli scenari precedenti (circa 1700 vei/h in ingresso a Cagliari e 700 vei/h in uscita). La Ex SS125 viene utilizzata solamente da flussi locali, mentre la SP 94 accoglie circa 250 vei/h, nei due sensi di marcia, relativi a Maracalagonis.

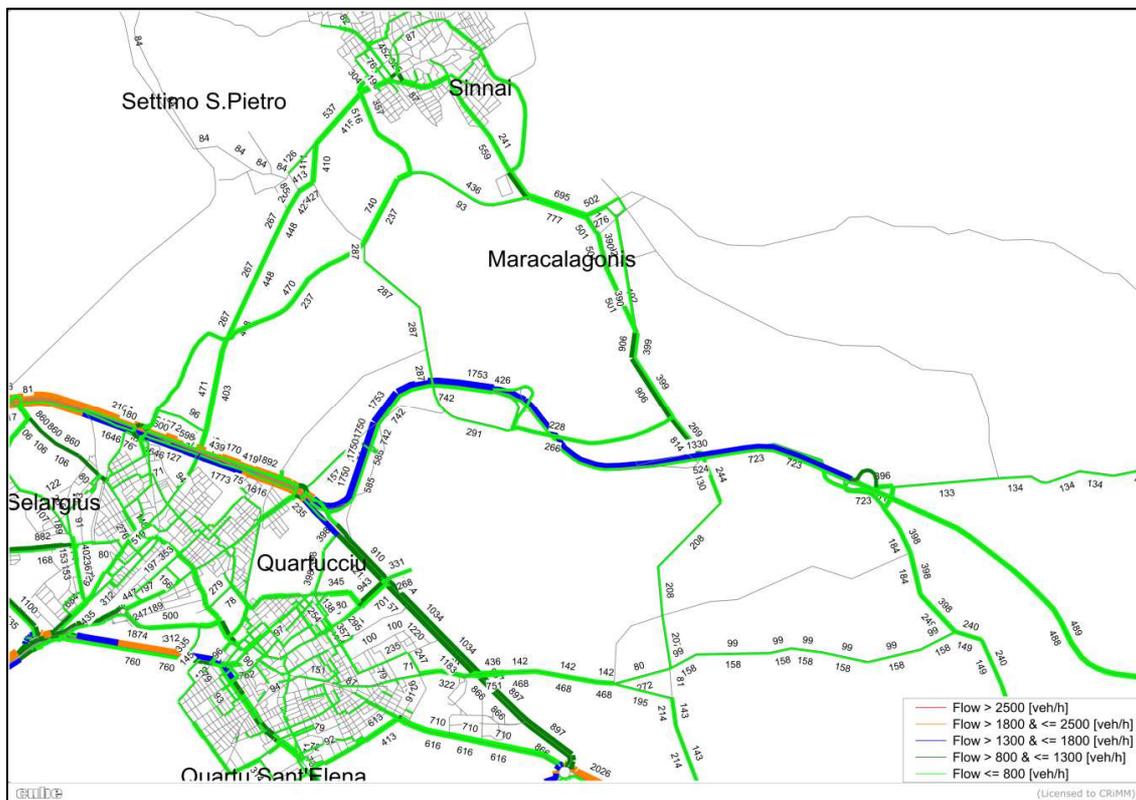


Figura 43 - Flussogramma Scenario 3- Dettaglio zona di Intervento

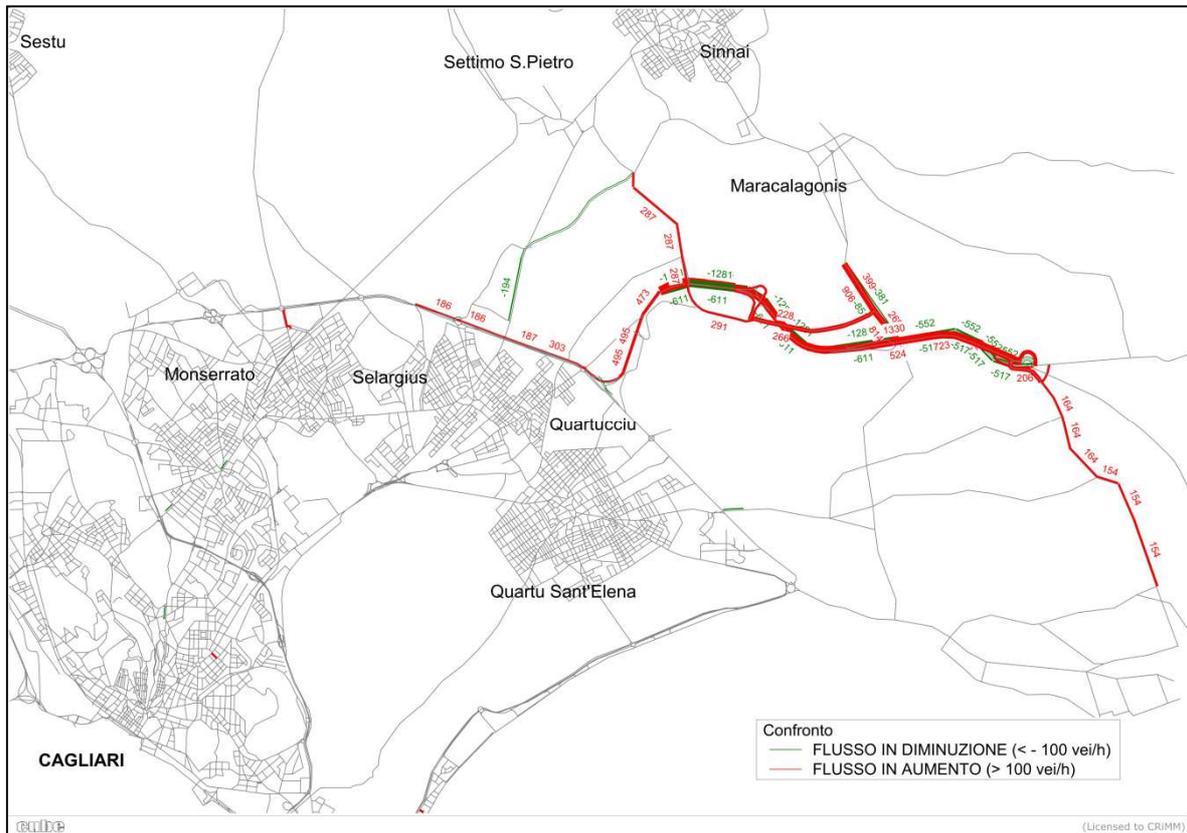


Figura 44 - Confronto tra Flussi scenario 3 – Scenario Base - Area Vasta)

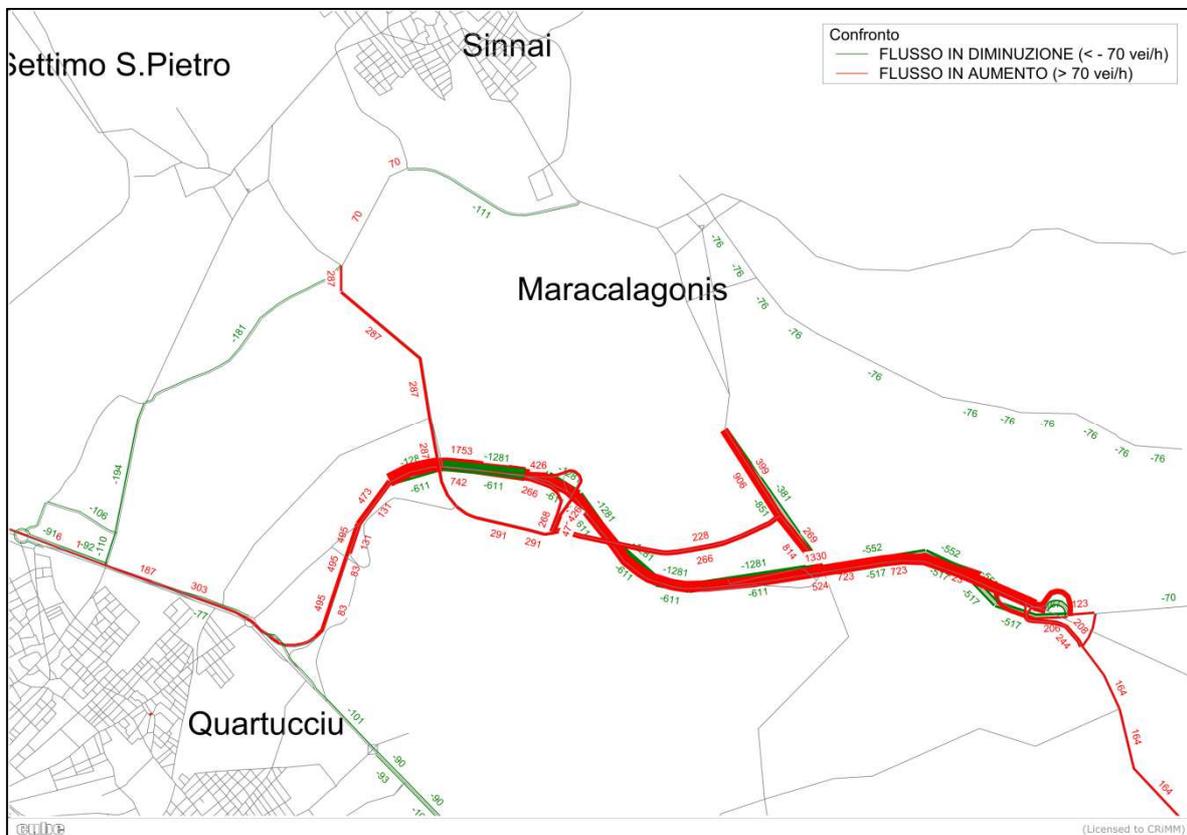


Figura 45 - Confronto tra Flussi scenario 3 – Scenario Base (Dettaglio zona di intervento)

In termini di indicatori globali, lo scenario 3 è quello che presenta il maggior aumento di distanza percorsa (con un totale superiore a 652 mila vei*km) e la minore diminuzione dei tempi di percorrenza

(totale pari a circa 23.300 vei*h); rispetto allo stato di fatto, la distanza percorsa aumenta di 926 vei*km e i tempi di percorrenza diminuiscono di 428 vei*h.

Tempi di percorrenza	Distanza Percorsa	Velocità media
vei*h	Vei*km	Km/h
23.309	652.153,34	33,99

Tabella 20 - Scenario 3 - Indicatori globali

Le tabelle seguenti mostrano la distanza percorsa e il tempo di percorrenza tra coppie O/D, relativamente alla sola zona di intervento.

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		2,13	3,98	4,23	4,18	4,53	7,43
2	SP 15	2,48		3,71	5,16	3,91	4,95	7,34
3	Via Aut. Reg. Sarda	3,97	3,53		3,83	1,33	5,09	4,22
4	SS 554	3,91	4,49	3,63		4,21	2,81	5,89
5	NSA 371 - Burcei	4,17	3,73	1,33	4,03		5,29	4,79
6	Settimo S.P.	4,01	4,60	4,49	1,88	5,06		6,74
7	Nuova SS 554	6,82	6,37	4,26	5,92	4,46	7,17	

Tabella 21 - Scenario 3 - Tempi di percorrenza tra coppie O/D [minuti]

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		1,63	3,89	4,14	4,19	3,77	9,74
2	SP 15	1,63		3,13	4,49	3,43	3,69	9,23
3	Via Aut. Reg. Sarda	3,89	3,38		6,21	2,00	6,47	6,99
4	SS 554	3,90	4,25	5,82		6,68	2,99	10,70
5	NSA 371 - Burcei	4,19	3,68	2,00	6,51		6,77	7,85
6	Settimo S.P.	3,34	3,69	5,61	1,57	6,47		10,49
7	Nuova SS 554	8,97	8,46	7,20	10,70	7,50	10,96	

Tabella 22 - Scenario 3 - Distanze percorse tra coppie O/D [km]

Confrontando lo scenario 3 con lo stato di fatto, si nota come la zona maggiormente penalizzata risulta essere la SP 15 (agro di Flumini, almeno in termini di tempi di percorrenza). Le coppie O/D più rappresentative (SS 554 con la nuova SS 554) mostrano tempi di percorrenza sensibilmente minori (circa 100 secondi) e distanze percorse minori (1,56 km in meno).

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		-26	8	-25	8	-19	57
2	SP 15	-15		28	68	28	42	87
3	Via Aut. Reg. Sarda	17	36		-69	0	-7	9
4	SS 554	-27	53	-74		-52	87	-98
5	NSA 371 - Burcei	17	36	0	-69		-7	32
6	Settimo S.P.	-35	45	-38	30	-15		-61
7	Nuova SS 554	29	48	12	-103	12	-41	

Tabella 23 - Confronto tempi di percorrenza tra stato di fatto e scenario 3 [secondi]

O D		1	2	3	4	5	6	7
		Maracalagonis	SP 15	Via Aut. Reg. Sarda	SS 554	NSA 371 - Burcei	Settimo S.P.	Nuova SS 554
1	Maracalagonis		-0,25	-0,55	-1,29	-0,55	-1,23	0,27
2	SP 15	-0,25		-0,55	-0,18	-0,55	-0,55	0,52
3	Via Aut. Reg. Sarda	-0,55	-0,30		-1,02	0,00	-0,33	-0,16
4	SS 554	-1,53	-0,42	-1,41		-0,85	1,76	-1,56
5	NSA 371 - Burcei	-0,55	-0,30	0,00	-1,02		-0,33	0,40
6	Settimo S.P.	-1,66	-0,55	-1,19	0,34	-0,63		-1,34
7	Nuova SS 554	-0,50	-0,25	0,05	-1,56	0,05	-0,87	

Tabella 24 - Confronto tra la distanze percorse tra stato di fatto e scenario 3 [km]

5. Sostenibilità finanziaria e Analisi Costi-Benefici

Avendo il committente già individuato i costi e le risorse da assegnare al progetto, l'analisi di sostenibilità finanziaria risulta superflua. Sulla base dei costi stimati dalla committenza, si procederà pertanto all'analisi economica delle alternative di progetto, con le seguenti sottofasi:

- analisi degli effetti (benefici/costi) per gli utenti e per la collettività, con indicazione dei parametri da utilizzare per la monetizzazione;
- attualizzazione dei valori economici (tasso di attualizzazione sociale), per il calcolo degli indicatori di convenienza economica.

L'analisi economica rispetto a quella finanziaria (utilizzata per verificare la fattibilità dell'opera dal punto di vista dei flussi di cassa) tiene conto di molteplici obiettivi e impatti, positivi e negativi, che ricadono sulla collettività. L'analisi economica infatti non valuta solo i flussi di cassa strettamente legati alla realizzazione dell'intervento, ma l'impatto globale che l'intervento in esame ha sulla collettività, sia quella che utilizzerà il sistema (utenti) sia quella che non lo utilizzerà (esternalità). Ai fini dell'analisi economica delle opere oggetto di valutazione è necessario procedere alla quantificazione degli effetti diretti e indiretti connessi alla realizzazione dell'opera. Relativamente agli effetti diretti si procederà alla loro misurazione, distinguendo tra effetti diretti interni ed effetti diretti esterni.

Al fine di misurare i costi e i benefici che la realizzazione dell'opera potrà apportare agli utenti dell'opera, si dovranno misurare gli effetti connessi alla variazione del costo generalizzato del trasporto: questo concetto tiene conto, oltre che della variazione dei costi operativi, anche della variazione del tempo di viaggio. Si noti che le variazioni possono essere positive, per effetto dell'investimento, o negative, come ad esempio in fase di cantiere.

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, per la stima economica degli impatti verranno seguite le Linee Guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche, redatte dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Per quanto concerne gli **impatti diretti interni**, essi vengono calcolati in termini di risparmio di tempo di viaggio, che rappresenta il parametro più importante nella valutazione di un progetto nel settore dei trasporti. Il Valore del tempo è stato calcolato legandolo al costo della forza lavoro, nell'ipotesi che il tempo impiegato per viaggi connessi all'attività lavorativa potrebbe essere impiegato in un'attività remunerativa alternativa e, pertanto, rappresenta un costo per il datore di lavoro.

Per quanto riguarda **gli impatti esterni**, al fine di misurare i costi e i benefici che la realizzazione dell'opera potrà apportare alla collettività (compresi i non utenti dell'opera), si dovranno stimare gli effetti, espressi in termini monetari, relativi a:

- congestione stradale, intesa come “disutilità pura da traffico” secondo l’accezione della Commissione Europea 27;
- incidentalità;
- emissioni inquinanti, ovvero quelle dannose per la salute umana e derivanti dai consumi energetici imputabili agli utenti (sia direttamente per gli spostamenti con mezzi individuali, sia indirettamente per quelli realizzati in forma collettiva) serviti dall’infrastruttura nel corso della sua vita utile;
- inquinamento acustico, che determina impatti sociali in funzione del luogo, della durata dell’esposizione e del tipo di veicolo e delle sue caratteristiche;
- emissioni di gas che concorrono al riscaldamento globale (effetto serra).

Ai fini dell’analisi economica, dovrà essere adottato **il tasso di attualizzazione sociale** fissato dall’Unione Europea nell’ambito del Regolamento di esecuzione (UE) n. 207/2015, che è attualmente pari al **3%**.

5.1. Costi di investimento

Come anticipato in precedenza, i costi di investimento sono stati anticipatamente calcolati dalla committenza. Come si può notare in Tabella 25, essi sono praticamente identici per le prime due ipotesi progettuali (variante stretta e variante larga), pari a poco meno di 79 M€, mentre aumentano per la soluzione in adeguamento della strada esistente (circa 93,6 M€).

Scenario	Costo di investimento [€]	Lunghezza intervento [km]	Costo manutenzione a km [€]	Costo manutenzione annuo [€]
Scenario 1 - Ipotesi A - Variante Stretta	€ 78.752.084,9	5,8	€ 50.000,0	€ 290.000,0
Scenario 2 - Ipotesi B - Variante Larga	€ 78.873.486,2	5,8		€ 290.000,0
Scenario 3 - Ipotesi C - Adeguamento SS125	€ 93.644.416,2	5,9		€ 295.000,0

Tabella 25 - Costi di investimento

Si ipotizza di completare i lavori in tre anni, ripartendo i costi di investimento con le seguenti percentuali:

- 1° anno : 30%
- 2° anno : 40%
- 3° anno : 30%

Scenario	1° anno (30%)	2° anno (40%)	3° anno (30%)	Totale
Scenario 1 - Ipotesi A - Variante Stretta	€ 23.625.625,5	€ 31.500.834,0	€ 23.625.625,5	€ 78.752.084,9
Scenario 2 - Ipotesi B - Variante Larga	€ 23.662.045,9	€ 31.549.394,5	€ 23.662.045,9	€ 78.873.486,2
Scenario 3 - Ipotesi C - Adeguamento SS125	€ 28.093.324,9	€ 37.457.766,5	€ 28.093.324,9	€ 93.644.416,2

Tabella 26 - Ripartizione costi di investimento

I Costi di manutenzione, per una strada di categoria B, sono stimati pari a 40.000 – 50.000 €/km (fonte: ANAS). Ponendosi in una posizione prudentiale, nel corso dell’analisi si è scelto di utilizzare il valore più alto dell’intervallo, ossia 50.000 €/km. I costi di manutenzione annuali sono praticamente identici nei tre scenari, essendo la lunghezza dei tratti in costruzione quasi uguale.

5.2. Variazione del tempo di viaggio

Il risparmio del tempo di viaggio rappresenta uno dei parametri più importanti nella valutazione dei progetti nel settore dei trasporti. Infatti, il risparmio di tempo degli utenti rappresenta sicuramente il “beneficio” più importante per un qualsiasi progetto di miglioramento del sistema dei trasporti.

Per poter valutare in termini economici il risparmio dei tempi di viaggio, occorre definire il concetto di “valore del tempo” (VoT) che può essere inteso come la disponibilità a pagare da parte dell’utenza per il miglioramento delle caratteristiche dell’offerta di trasporto. In precedenza, per ogni scenario, sono stati calcolati i $vei \cdot h$, ossia la sommatoria dei tempi di percorrenza di tutti i veicoli in transito nell’ora modellizzata. La matrice O/D del periodo di tempo modellizzato include tutti gli spostamenti della fascia oraria del mattino (7:30 - 8:30), per tutti i motivi: essa pertanto contiene sia gli spostamenti pendolari (lavoro/studio) che discrezionali (altri motivi). Si è pertanto scelto di utilizzare un valore del tempo pari a 10€/h, che corrisponde al valore medio di uno spostamento pendolare.

La variazione del tempo di viaggio viene calcolata come differenza rispetto allo scenario di riferimento (Stato di fatto + riqualificazione SS554). Come riportato nella Tabella 27, tutti gli scenari mostrano un miglioramento nei tempi di percorrenza globali, con il massimo risparmio nello scenario 2 (più di 14 M€ annui) e il minimo nello scenario 3 (poco meno di 10 M€ all’anno). I valori, calcolati per l’ora di punta del mattino, sono stati rapportati al giorno e all’anno, al fine di poter essere utilizzati nell’analisi benefici/costi. Il risparmio giornaliero viene calcolato dividendo il valore dell’ora di punta per 0,12 (ipotizzando, secondo quanto stabilito da diverse esperienze e studi nel campo dei trasporti, che i flussi dell’ora di punta rappresentino il 10-12% dei flussi giornalieri), mentre il valore annuale è ottenuto moltiplicando il valore giornaliero per 277, ossia il numero dei giorni feriali mediamente presenti in un anno.

Scenario	Tempi di Percorrenza		Valore del tempo	Risparmio nell'ora di punta [€]	Risparmio giornaliero [€]	Risparmio annuo [€]
	Vei*h	Differenza rispetto a stato di fatto(Vei*h)	(€/h)			
Stato di fatto - Riqualficazione SS 554	23.737					
Scenario 1 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 1	23.220	- 517	10	€ 5.170,0	€ 43.083,3	€ 11.934.083,3
Scenario 2 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 2	23.122	- 615	10	€ 6.150,0	€ 51.250,0	€ 14.196.250,0
Scenario 3 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 3	23.309	- 428	10	€ 4.280,0	€ 35.666,7	€ 9.879.666,7

Tabella 27 - Variazione del tempo di viaggio [vei*h]

5.3. Impatti Esterni

Per la stima degli impatti esterni, le linee Guida fanno riferimento all' Handbook on External Costs of Transport, redatto dalla DG Move della Commissione Europea. Gli impatti citati in precedenza (congestione stradale, incidentalità, emissioni inquinanti, inquinamento acustico e riscaldamento globale), sono tutti stimati in base ai vei*km, alla tipologia veicolare (compresa la classe Euro), all'ambito (urbano, extraurbano etc) e alla tipologia di strada (urbana, di scorrimento etc.). Ogni categoria, basata su questi fattori, presenta un costo marginale differente.

Per quanto riguarda i vei*km, l'unico scenario che presenta un miglioramento globale è lo scenario 2 (Variante Larga), mentre gli scenari 1,3 mostrano un aumento dei km percorsi (pur avendo una diminuzione dei vei*h, come mostrato nella tabella precedente). Questo si traduce in impatti di valore negativo per gli scenari 1,3, mentre lo scenario 2 avrà impatti di valore positivo (miglioramento).

Scenario	Distanza Percorsa			
	(Vei*km)	Differenza (Vei*km)	vei * km /giorno	vei * km /anno
Stato di fatto - Riqualficazione SS 554	651.227,23			
Scenario 1 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 1	651.869,98	+643	5.356,25	1.483.681,25
Scenario 2 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 2	650.820,54	-407	-3.389,08	-938.776,08
Scenario 3 - Adeguamento SS 554 + Ipotesi 3	652.153,34	+926	7.717,58	2.137.770,58

Tabella 28 - Variazione delle distanze percorse [vei*km]

Al fine di calcolare gli impatti esterni, la variazione dei vei*km è stata distribuita tra le varie categorie individuate, a seconda del tipo di strada, dell'ambito e della categoria veicolare, assegnando ad ogni categoria il proprio costo marginale, per poi calcolare il costo globale dell'impatto come somma dei valori delle singole categorie.

Per quanto riguarda la suddivisione delle classi veicolari, la matrice O/D del modello consta di oltre 58.000 veicoli, di cui circa 51.700 leggeri e 6.800 pesanti (Tabella 29), con una ripartizione pari a circa 88% di veicoli leggeri e 12% pesanti.

Veicoli modello		
Leggeri	51.710	88,36%
Pesanti	6.814	11,64%
Totale	58.524	100%

Tabella 29 - ripartizione veicoli nel modello di macrosimulazione

Come si vedrà nei paragrafi seguenti, questa ripartizione è troppo semplificata al fine del calcolo degli indicatori, pertanto sono state fatte ulteriori ripartizioni. I dati ACI per la provincia di Cagliari al

31/12/2017, mostrano che la ripartizione percentuale utilizzata dal modello è pressoché esatta, se si considerano anche i motocicli e gli autoveicoli specifici nel computo dei veicoli leggeri, con una percentuale totale di leggeri che si aggira intorno all' 89% del totale (Tabella 30).

AUTOVETTURE	271.686	77,33%
MOTOCICLI	36.717	10,45%
AUTOVEICOLI SPECIALI / SPECIFICI	5.222	1,49%
AUTOCARRI TRASPORTO MERCI	28.690	8,17%
AUTOBUS	1.432	0,41%
MOTOCARRI E QUADRICICLI TRASPORTO MERCI	1.701	0,48%
MOTOVEICOLI E QUADRICICLI SPECIALI / SPECIFICI	446	0,13%
RIMORCHI E SEMIRIMORCHI SPECIALI / SPECIFICI	970	0,28%
RIMORCHI E SEMIRIMORCHI TRASPORTO MERCI	3.132	0,89%
TRATTORI STRADALI O MOTRICI	1.351	0,38%
Totale	351.347	100,00%

Tabella 30 - Parco veicolare della provincia di Cagliari al 21/12/2017 (Fonte: ACI)

Per la ulteriore ripartizione nelle classi Euro, da 0 a 6, è stata utilizzata la Ripartizione elaborata dall'Osservatorio PUMS per il comune di Cagliari ², aggregata per categorie come da tabelle delle linee guida ministeriali:

Classe Euro	%
0	10,33
1-4	65,10
5-6	24,57

Tabella 31 - Ripartizione dei veicoli secondo la classe Euro (dati 2016)

5.3.1 Congestione stradale

Gli impatti sulla congestione vanno intesi come “disutilità da traffico” secondo l’accezione della DG MOVE. Nella tabella seguente viene riportata la tabella dei costi marginali. I costi sono categorizzati in base alla tipologia veicolare, all’area territoriale, alla tipologia stradale e al rapporto V/C.

Veicolo	Area territoriale	Tipologia di strada	v/c < 0,75	0,75 < v/c < 1	v/c > 1
			(€cent/vkm)	(€cent/vkm)	(€cent/vkm)
Autovetture	Metropolitana	Autostrada	0,0	26,8	61,5
		Extraurbane principali	0,9	141,3	181,3
		Altre strade	2,5	159,5	242,6
	Urbana	Urbane principali	0,6	48,7	75,8
		Altre strade	2,5	139,4	230,5
	Rurale	Autostrada	0,0	13,4	30,8
		Extraurbane principali	0,4	18,3	60,7
		Altre strade	0,2	42,0	139,2

² <http://www.osservatoriopums.it/cagliari#parco>

Veicoli merci	Metropolitana	Autostrada	0,0	50,9	116,9
		Extraurbane principali	1,8	268,5	344,4
		Altre strade	4,7	303,0	460,9
	Urbana	Urbane principali	1,2	92,5	144,1
		Altre strade	4,7	264,9	438,0
	Rurale	Autostrada	0,0	25,4	58,4
		Extraurbane principali	0,8	34,8	115,3
		Altre strade	0,4	79,8	264,5
	Veicoli merci articolati	Metropolitana	Autostrada	0,0	77,6
Extraurbane principali			2,7	409,8	525,6
Altre strade			7,2	462,5	703,5
Urbana		Urbane principali	1,8	141,1	219,9
		Altre strade	7,2	404,4	668,6
Rurale		Autostrada	0,0	38,8	89,2
		Extraurbane principali	1,2	53,1	176,0
		Altre strade	0,6	121,9	403,8
Autobus		Metropolitana	Autostrada	0,0	66,9
	Extraurbane principali		2,3	353,3	453,1
	Altre strade		6,2	398,7	606,4
	Urbana	Urbane principali	1,6	121,7	189,6
		Altre strade	6,2	348,6	576,3
	Rurale	Autostrada	0,0	33,5	76,9
		Extraurbane principali	1,0	45,8	151,7
		Altre strade	0,5	105,0	348,1

Tabella 32 - Costi Marginali della congestione stradale

Occorre far notare come le tabelle ministeriali, che riprendono quelle di DG Move, presentano un errore nella categorizzazione dei rapporti V/C. Infatti le categorie originariamente tabellate sono le seguenti:

- $V/C < 0,50$
- $0,75 < V/C < 1$
- $V/C > 1$

E' evidente come la classificazione presenti una lacuna tra 0,50 e 0,75. La Classificazione DG Move, che è stata ripresa in questo studio, mostra come la prima categoria, chiamata "Free flow", comprenda i V/C inferiori a 0,75.

Per quanto riguarda il Rapporto V/C riscontrati nel modello, con lievissime differenze tra gli scenari, esso è mediamente sempre inferiore al 75%, per tipologia di strada. Nelle tabelle seguenti viene mostrata la ripartizione della rete modellizzata per tipologia stradale (vengono contate le semicarreggiate, che hanno diversi valori del rapporto V/C). Il rapporto V/C è una media pesata dei valori calcolati per i singoli archi della rete.

	km rete (semicarreggiata)	Rapporto V/C	% rete su totale
extraurbana principale	353,71	0,51	13,26%
extraurbana secondaria	655,56	0,33	24,58%
Urbane principali	607,05	0,39	22,76%
Altre Strade	1051,18	0,36	39,41%
Totale	2.667,5		100,00%

Tabella 33 - Ripartizione percentuale della rete stradale per tipologia (scenario 1)

	km rete (semicarreggiata)	Rapporto V/C	% rete su totale
extraurbana principale	353,71	0,51	13,25%
extraurbana secondaria	647,92	0,33	24,26%
Urbane principali	616,78	0,39	23,10%
Altre Strade	1.051,98	0,36	39,39%
Totale	2.670,39		100,00%

Tabella 34 - Ripartizione percentuale della rete stradale per tipologia (scenario 2)

	km rete (semicarreggiata)	Rapporto V/C	% rete su totale
extraurbana principale	353,71	0,51	13,32%
extraurbana secondaria	646,75	0,33	24,36%
Urbane principali	609,89	0,39	22,98%
Altre Strade	1.044,18	0,36	39,34%
Totale	2.654,53		100,00%

Tabella 35 - Ripartizione percentuale della rete stradale per tipologia (scenario 3)

Per quanto riguarda i veicoli, per l'impatto relativo alla congestione sono stati aggregati percentualmente secondo le categorie richieste:

Ripartizione veicoli	
Autovetture + motocicli	87,78%
Autobus	0,41%
Veicoli comm. leggeri	10,26%
Veicoli merci pesanti	1,55%
Totale	100,00%

Tabella 36 - Ripartizione veicoli per il calcolo dell'impatto congestione

Sfruttando le ripartizioni veicolari e infrastrutturali, la variazione annuale dei vei*km per ogni scenario è stata ripartita percentualmente (si veda la Tabella 28 a pagina 53).

Ripartizione veicoli	%	Vei*km	Extraurb. principali	Extraurb. secondarie	urbane principali	altre strade
Autovetture	87,78%	1.302.335,72	172.689,47	320.059,68	296.375,97	513.210,60
Veicoli Merci	10,26%	152.271,29	20.191,14	37.421,92	34.652,78	60.005,45
Veicoli Merci Articolati	1,55%	23.027,13	3.053,39	5.659,11	5.240,35	9.074,29
Autobus	0,41%	6.047,10	801,84	1.486,13	1.376,16	2.382,98
Totale	100,00%	1.483.681,25	196.736	364.627	337.645	584.673

Tabella 37 - Ripartizione vei*km, scenario 1

Ripartizione veicoli	%	Vei*km	Extraurb. principali	Extraurb. secondarie	urbane principali	altre strade
Autovetture	87,78%	-824.032,54	-109.148,31	-199.936,03	-190.326,80	-324.621,40
Veicoli Merci	10,26%	-96.347,28	-12.761,80	-23.376,86	-22.253,33	-37.955,28
Veicoli Merci Articolati	1,55%	-14.570,06	-1.929,90	-3.535,15	-3.365,25	-5.739,76
Autobus	0,41%	-3.826,21	-506,81	-928,36	-883,74	-1.507,31
Totale	100,00%	-938.776,08	-124.347	-227.776	-216.829	-369.824

Tabella 38 - Ripartizione vei*km, scenario 2

Ripartizione veicoli	%	Vei*km	Extraurb. principali	Extraurb. secondarie	urbane principali	altre strade
Autovetture	87,78%	1.876.477,84	250.036,34	457.185,28	431.129,08	738.127,14
Veicoli Merci	10,26%	219.400,96	29.234,67	53.454,88	50.408,34	86.303,07
Veicoli Merci Articolati	1,55%	33.178,77	4.421,00	8.083,68	7.622,97	13.051,13
Autobus	0,41%	8.713,00	1.160,99	2.122,84	2.001,85	3.427,33
Totale	100,00%	2.137.770,58	284.853	520.847	491.162	840.909

Tabella 39 - Ripartizione vei*km, scenario 3

Una volta ripartiti i vei*km di ogni scenario a seconda della categoria veicolare e stradale, sono stati moltiplicati per il costo marginale di ogni categoria, come da Tabella 32 a pagina 55. La sommatoria dei singoli valori per categoria rappresenta il valore globale dell'impatto di uno specifico scenario.

Tipologia Veicolo	Tipologia strada	Vei*km	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture	Extraurbana principale	172.689,47	0,9	€ 1.554,21
	Extraurbana secondaria	320.059,68	2,5	€ 8.001,49
	Urbane Principali	296.375,97	0,6	€ 1.778,26
	Altre Strade	513.210,60	2,5	€ 12.830,26
Veicoli Merci	Extraurbana principale	20.191,14	1,8	€ 363,44
	Extraurbana secondaria	37.421,92	4,7	€ 1.758,83
	Urbane Principali	34.652,78	1,2	€ 415,83
	Altre Strade	60.005,45	4,7	€ 2.820,26
	Extraurbana principale	3.053,39	2,7	€ 82,44

Veicoli Mercii Articolati	Extraurbana secondaria	5.659,11	7,2	€ 407,46
	Urbane Principali	5.240,35	1,8	€ 94,33
	Altre Strade	9.074,29	7,2	€ 653,35
Autobus	Extraurbana principale	801,84	2,3	€ 18,44
	Extraurbana secondaria	1.486,13	6,2	€ 92,14
	Urbane Principali	1.376,16	1,6	€ 22,02
	Altre Strade	2.382,98	6,2	€ 147,74
			Totale	€ 31.040,50

Tabella 40 - Valore dell'impatto della congestione - scenario 1

Tipologia Veicolo	Tipologia strada	Vei*km	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture	Extraurbana principale	-109.148,31	0,9	-€ 982,33
	Extraurbana secondaria	-199.936,03	2,5	-€ 4.998,40
	Urbane Principali	-190.326,80	0,6	-€ 1.141,96
	Altre Strade	-324.621,40	2,5	-€ 8.115,54
Veicoli Mercii	Extraurbana principale	-12.761,80	1,8	-€ 229,71
	Extraurbana secondaria	-23.376,86	4,7	-€ 1.098,71
	Urbane Principali	-22.253,33	1,2	-€ 267,04
	Altre Strade	-37.955,28	4,7	-€ 1.783,90
Veicoli Mercii Articolati	Extraurbana principale	-1.929,90	2,7	-€ 52,11
	Extraurbana secondaria	-3.535,15	7,2	-€ 254,53
	Urbane Principali	-3.365,25	1,8	-€ 60,57
	Altre Strade	-5.739,76	7,2	-€ 413,26
Autobus	Extraurbana principale	-506,81	2,3	-€ 11,66
	Extraurbana secondaria	-928,36	6,2	-€ 57,56
	Urbane Principali	-883,74	1,6	-€ 14,14
	Altre Strade	-1.507,31	6,2	-€ 93,45
			Totale	-€ 19.574,88

Tabella 41 - Valore dell'impatto della congestione - scenario 2

Tipologia Veicolo	Tipologia strada	Vei*km	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture	Extraurbana principale	250.036,34	0,9	€ 2.250,33
	Extraurbana secondaria	457.185,28	2,5	€ 11.429,63
	Urbane Principali	431.129,08	0,6	€ 2.586,77
	Altre Strade	738.127,14	2,5	€ 18.453,18
Veicoli Mercii	Extraurbana principale	29.234,67	1,8	€ 526,22
	Extraurbana secondaria	53.454,88	4,7	€ 2.512,38
	Urbane Principali	50.408,34	1,2	€ 604,90
	Altre Strade	86.303,07	4,7	€ 4.056,24
Veicoli Mercii Articolati	Extraurbana principale	4.421,00	2,7	€ 119,37
	Extraurbana secondaria	8.083,68	7,2	€ 582,03
	Urbane Principali	7.622,97	1,8	€ 137,21

	Altre Strade	13.051,13	7,2	€ 939,68
Autobus	Extraurbana principale	1.160,99	2,3	€ 26,70
	Extraurbana secondaria	2.122,84	6,2	€ 131,62
	Urbane Principali	2.001,85	1,6	€ 32,03
	Altre Strade	3.427,33	6,2	€ 212,49
			Totale	€ 44.600,79

Tabella 42 - Valore dell'impatto della congestione - scenario 3

Gli scenari 1,3 hanno un impatto negativo (rispettivamente circa 31 mila e 44 mila euro di perdita annua), mentre lo scenario 2 (essendo l'unico a mostrare una diminuzione dei $vei \cdot km$ globali) presenta un miglioramento di quasi 20.000 euro annui per la riduzione dei fenomeni di congestione.

5.3.2 Incidentalità

Per quanto riguarda il calcolo dell'impatto dell'incidentalità, il procedimento risulta simile a quello del calcolo della congestione, ripartendo le percorrenze chilometriche ($vei \cdot km$), in funzione del tipo di veicolo e della tipologia di infrastrutture.

	Diff $vei \cdot km$ anno	% auto	% mezzi pesanti
Scenario 1	1.483.681,3	1.310.935,0	172.746,3
Scenario 2	-938.776,1	-829.473,6	-109.302,5
Scenario 3	2.137.770,6	1.888.868,1	248.902,5

Tabella 43 - Ripartizione $vei \cdot km$ in base alla tipologia veicolare

La successiva ripartizione è quella infrastrutturale, che risulta più semplificata rispetto a quella della congestione stradale, essendo suddivisa solo tra strade non urbane (Extraurbane principali e secondarie) e Altre strade. Non viene considerata la categoria autostradale in quanto non presente nel modello. La ripartizione delle infrastrutture per i tre scenari è pressoché identica (38% strade non urbane e 62% urbane). Il valore ripartito dei $vei \cdot km$ è stato poi moltiplicato per il corrispondente costo marginale.

Veicolo	tipo strada	% rete su totale	$vei \cdot km$ / anno	costo marginale [€ per $v \cdot km$]	Costo impatto [€]
Autovetture	Strada non urbana	0,38	496.002,7	0,2	€ 99.200,55
	Urbana	0,62	814.932,2	0,6	€ 488.959,33
			1.310.934,96		€ 588.159,88
Veicoli pesanti	Strada non urbana	0,38	65.359,9	1,0	€ 65.359,94
	Urbana	0,62	107.386,3	4,0	€ 429.545,39
			172.746,29		€ 494.905,34
			1.483.681,25	Totale impatto	€ 1.083.065,21

Tabella 44 - Valore dell'impatto dell'incidentalità - scenario 1

Veicolo	tipo strada	% rete su totale	$vei \cdot km$ anno	costo marginale [€ per $v \cdot km$]	Costo impatto [€]
Autovetture	Strada non urbana	0,38	-311.462,3	0,2	-€ 62.292,45

	Strada urbana	0,62	-518.910,0	0,6	-€ 311.345,98
			-830.372,23		-€ 373.638,43
Veicoli pesanti	Strada non urbana	0,38	-41.042,4	1,0	-€ 41.042,43
	Strada urbana	0,62	-68.378,5	4,0	-€ 273.514,02
			-109.420,93		-€ 314.556,45
			-939.793,16	Totale impatto	-€ 688.194,88

Tabella 45 - Valore dell'impatto dell'incidentalità - Scenario 2

Veicolo	tipo strada	% rete su totale	vei*km anno	costo marginale [€ per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture	Strada non urbana	0,38	708.430,0	0,2	€ 141.686,00
	Strada urbana	0,62	1.171.254,0	0,6	€ 702.752,40
			1.879.683,99		€ 844.438,40
Veicoli pesanti	Strada non urbana	0,38	93.352,2	1,0	€ 93.352,19
	Strada urbana	0,62	154.340,1	4,0	€ 617.360,26
			247.692,26		€ 710.712,46
			2.127.376,25	Totale impatto	€ 1.555.150,86

Tabella 46 - Valore dell'impatto dell'incidentalità - Scenario 3

Anche in questo caso, l'impatto dell'incidentalità è positivo solamente nello scenario 2, con un valore positivo pari a quasi 700 mila euro all'anno, mentre gli scenari 1 e 3 mostrano impatti negativi (quasi 1,1 M€ nello scenario 1 e oltre 1,5 M€ nello scenario 3).

5.3.3 Emissioni inquinanti

Per la stima delle emissioni inquinanti dannose per la salute umana (es. SO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}, NMVOC) possono essere applicate metodologie disaggregate e aggregate. In genere, indipendentemente dall'approccio seguito, i costi marginali sono funzione del contesto territoriale in cui avvengono le emissioni, della tipologia veicolare e della classe Euro, come mostrato nella tabella seguente.

Veicolo	Classe EURO	Urbano			Suburbano			Rurale			Autostrada		
		(€cent/vkm)			(€cent/vkm)			(€cent/vkm)			(€cent/vkm)		
		min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max
Autovetture	0	3,5	6,2	10,3	3,1	3,3	3,5	0,9	2,0	2,8	0,9	2,4	3,5
	1-4	0,4	1,6	3,7	0,2	0,8	1,5	0,1	0,4	0,8	0,1	0,5	0,9
	5-6	0,4	0,6	0,9	0,1	0,3	0,6	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4
Veicoli merci leggeri	1-4	0,6	2,8	5,9	0,3	1,3	2,5	0,1	0,7	1,4	0,1	0,7	1,3
	5-6	0,6	0,9	1,4	0,2	0,4	0,8	0,1	0,3	0,6	0,1	0,3	0,6
Autobus urbani	0	30,2	37,4	46,4	15,5	21,9	28,5	10,4	15,2	19,8	9,5	12,9	16,3
	1-4	6,7	15,6	27,3	5,1	10,8	17,2	3,7	7,8	12,0	3,0	6,4	9,8
	5-6	1,8	4,2	7,0	0,7	2,7	5,0	0,3	1,6	3,0	0,3	1,2	2,3
Autobus extraurbani	0	28,8	31,9	34,9	17,4	19,5	21,5	11,9	13,3	14,7	10,4	11,5	12,5
	1-4	9,0	18,1	26,9	7,0	12,3	16,3	5,1	8,5	11,2	4,5	7,2	9,5

	5-6	2,4	6,4	10,6	1,3	4,7	8,4	0,6	2,6	4,6	0,4	1,6	2,7
Autocarri	0	15,4	28,8	39,2	7,7	17,8	25,1	5,6	12,8	17,7	5,9	11,4	14,9
	1-4	3,8	14,5	29,8	2,5	9,7	18,1	2,1	7,2	12,5	2,1	6,4	10,6
	5-6	1,7	4,5	8,5	0,6	3,0	6,3	0,3	1,5	3,4	0,2	1,0	2,3
Autoarticolati	0	28,5	39,9	56,6	17,6	25,7	37,2	12,5	17,9	25,9	11,0	14,7	20,2
	1-4	7,2	20,9	43,1	5,5	14,4	26,6	4,2	10,2	17,9	3,7	8,4	14,1
	5-6	2,0	5,1	9,4	0,9	3,4	6,7	0,4	1,9	4,1	0,3	1,3	3,0

Tabella 47 - Costi Marginali delle emissioni inquinanti per il trasporto stradale [€cent per vei*km]

Nello studio di fattibilità in esame, sono state fatte le seguenti considerazioni:

- in assenza di ulteriori dati, è stato utilizzato il valore medio del costo marginale, come da tabella;
- per quanto riguarda l'ambito, è stata utilizzata la ripartizione utilizzata per l'incidentalità (62% urbano e 38% suburbano – extraurbano);
- in assenza di dati sulla ripartizione dei bus tra urbani ed extraurbani, essi sono stati equamente suddivisi tra le due categorie.
- per la categoria dei veicoli leggeri, in cui in questo caso vengono esclusi i veicoli euro 0, essi sono stati inglobati percentualmente nella categoria 1-4 (ripartizione 75% veicoli classe 1-4 e 25% classe 5-6).

Le tabelle seguenti mostrano, per i tre scenari, la ripartizione dei vei*km per categoria veicolare e ambito (urbano e suburbano).

Ripartizione veicoli			Vei*km	%urbano	% extraurbano
Leggeri	Autoveicoli	77,33%	1.147.285,80	722.790,05	424.495,75
	Motocicli	10,45%	155.049,92	97.681,45	57.368,47
	Veicoli merci leggeri	2,10%	31.118,09	19.604,40	11.513,69
Pesanti	Bus Urbani	0,20%	3.023,55	1.904,84	1.118,71
	Bus Extraurbani	0,20%	3.023,55	1.904,84	1.118,71
	Autocarri	8,17%	121.153,20	76.326,52	44.826,69
	Autoarticolati	1,55%	23.027,13	14.507,09	8.520,04
	Totale	100,00%	1.483.681,25	934.719,19	548.962,06

Tabella 48 - ripartizione vei*km scenario 1

Ripartizione veicoli			Vei*km	%urbano	% extraurbano
Leggeri	Autoveicoli	77,33%	-725.927,13	-457.334,09	-268.593,04
	Motocicli	10,45%	-98.105,41	-61.806,41	-36.299,00
	Veicoli merci leggeri	2,10%	-19.689,48	-12.404,37	-7.285,11
Pesanti	Bus Urbani	0,20%	-1.913,10	-1.205,26	-707,85
	Bus Extraurbani	0,20%	-1.913,10	-1.205,26	-707,85
	Autocarri	8,17%	-76.657,79	-48.294,41	-28.363,38
	Autoarticolati	1,55%	-14.570,06	-9.179,14	-5.390,92
Totale	100,00%	-938.776,08	-591.428,93	-347.347,15	

Tabella 49 - Ripartizione vei*km scenario 2

Ripartizione veicoli			Totale	%urbano	% extraurbano
Leggeri	Autoveicoli	77,33%	1.653.073,28	1.041.436,17	611.637,11

	Motocicli	10,45%	223.404,56	140.744,87	82.659,69
	Veicoli merci leggeri	2,10%	44.836,68	28.247,11	16.589,57
Pesanti	Bus Urbani	0,20%	4.356,50	2.744,60	1.611,91
	Bus Extraurbani	0,20%	4.356,50	2.744,60	1.611,91
	Autocarri	8,17%	174.564,29	109.975,50	64.588,79
	Autoarticolati	1,55%	33.178,77	20.902,63	12.276,15
	Totale	100,00%	2.137.770,58	1.346.795,47	790.975,12

Tabella 50 - Tabella 31 - Ripartizione vei*km scenario 3

Una volta ripartiti i vei*km di ogni scenario a seconda della categoria veicolare e stradale, essi sono stati moltiplicati per il costo marginale di ogni categoria, come da Tabella 47 a pagina 61. La sommatoria dei singoli valori per categoria rappresenta il valore globale dell'impatto di uno specifico scenario.

Veicolo	classe euro	Ambito urbano (62%)	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]	Ambito extraurbano (38%)	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture e motocicli	0	84.754,71	6,2	€ 5.254,79	49.776,57	3,3	€ 1.642,63
	1-4	534.126,95	1,6	€ 8.546,03	313.693,61	0,8	€ 2.509,55
	5-6	201.589,85	0,6	€ 1.209,54	118.394,04	0,3	€ 355,18
Veicoli merci leggeri	1-4	14.787,60	2,8	€ 414,05	8.684,78	1,3	€ 112,90
	5-6	4.816,80	0,9	€ 43,35	2.828,91	0,4	€ 11,32
Autobus urbani	0	196,77	37,4	€ 73,59	115,56	21,9	€ 25,31
	1-4	1.240,05	15,6	€ 193,45	728,28	10,8	€ 78,65
	5-6	468,02	4,2	€ 19,66	274,87	2,7	€ 7,42
Autobus Extraurbani	0	196,77	31,9	€ 62,77	115,56	19,5	€ 22,53
	1-4	1.240,05	18,1	€ 224,45	728,28	12,3	€ 89,58
	5-6	468,02	6,4	€ 29,95	274,87	4,7	€ 12,92
Autocarri	0	7.884,53	28,8	€ 2.270,74	4.630,60	17,8	€ 824,25
	1-4	49.688,56	14,5	€ 7.204,84	29.182,17	9,7	€ 2.830,67
	5-6	18.753,43	4,5	€ 843,90	11.013,92	3,0	€ 330,42
Autoarticolati	0	1.498,58	39,9	€ 597,93	880,12	25,7	€ 226,19
	1-4	9.444,12	20,9	€ 1.973,82	5.546,55	14,4	€ 798,70
	5-6	3.564,39	5,1	€ 181,78	2.093,37	3,4	€ 71,17
		934.719,19		29.144,66	548.962,06		9.949,39
						Totale	€ 39.094,06

Tabella 51 - Valore dell'impatto delle emissioni inquinanti - Scenario 1

Veicolo	classe euro	Ambito urbano (62%)	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]	Ambito extraurbano (38%)	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture e motocicli	0	-53.627,21	6,2	-€ 3.324,89	-31.495,35	3,3	-€ 1.039,35
	1-4	-337.960,47	1,6	-€ 5.407,37	-198.484,72	0,8	-€ 1.587,88
	5-6	-127.552,82	0,6	-€ 765,32	-74.911,97	0,3	-€ 224,74
Veicoli merci leggeri	1-4	-9.356,62	2,8	-€ 261,99	-5.495,16	1,3	-€ 71,44
	5-6	-3.047,75	0,9	-€ 27,43	-1.789,95	0,4	-€ 7,16
Autobus urbani	0	-124,50	37,4	-€ 46,56	-73,12	21,9	-€ 16,01
	1-4	-784,62	15,6	-€ 122,40	-460,81	10,8	-€ 49,77
	5-6	-296,13	4,2	-€ 12,44	-173,92	2,7	-€ 4,70

Autobus Extraurbani	0	-124,50	31,9	-€ 39,72	-73,12	19,5	-€ 14,26
	1-4	-784,62	18,1	-€ 142,02	-460,81	12,3	-€ 56,68
	5-6	-296,13	6,4	-€ 18,95	-173,92	4,7	-€ 8,17
Autocarri	0	-4.988,81	28,8	-€ 1.436,78	-2.929,94	17,8	-€ 521,53
	1-4	-31.439,66	14,5	-€ 4.558,75	-18.464,56	9,7	-€ 1.791,06
	5-6	-11.865,94	4,5	-€ 533,97	-6.968,88	3,0	-€ 209,07
Autoarticolati	0	-948,20	39,9	-€ 378,33	-556,88	25,7	-€ 143,12
	1-4	-5.975,62	20,9	-€ 1.248,90	-3.509,49	14,4	-€ 505,37
	5-6	-2.255,31	5,1	-€ 115,02	-1.324,55	3,4	-€ 45,03
		-591.428,93		-18.440,83	-347.347,15		-6.295,32
Totale							-€ 24.736,15

Tabella 52 - Valore dell'impatto delle emissioni inquinanti - Scenario 2

Veicolo	classe euro	Ambito urbano (62%)	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]	Ambito extraurbano (38%)	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture e motocicli	0	122.119,30	6,2	€ 7.571,40	71.720,86	3,3	€ 2.366,79
	1-4	769.599,86	1,6	€ 12.313,60	451.987,22	0,8	€ 3.615,90
	5-6	290.461,88	0,6	€ 1.742,77	170.588,72	0,3	€ 511,77
Veicoli merci leggeri	1-4	21.306,79	2,8	€ 596,59	12.513,51	1,3	€ 162,68
	5-6	6.940,31	0,9	€ 62,46	4.076,06	0,4	€ 16,30
Autobus urbani	0	283,52	37,4	€ 106,04	166,51	21,9	€ 36,47
	1-4	1.786,73	15,6	€ 278,73	1.049,35	10,8	€ 113,33
	5-6	674,35	4,2	€ 28,32	396,05	2,7	€ 10,69
Autobus Extraurbani	0	283,52	31,9	€ 90,44	166,51	19,5	€ 32,47
	1-4	1.786,73	18,1	€ 323,40	1.049,35	12,3	€ 129,07
	5-6	674,35	6,4	€ 43,16	396,05	4,7	€ 18,61
Autocarri	0	11.360,47	28,8	€ 3.271,82	6.672,02	17,8	€ 1.187,62
	1-4	71.594,05	14,5	€ 10.381,14	42.047,30	9,7	€ 4.078,59
	5-6	27.020,98	4,5	€ 1.215,94	15.869,46	3,0	€ 476,08
Autoarticolati	0	2.159,24	39,9	€ 861,54	1.268,13	25,7	€ 325,91
	1-4	13.607,61	20,9	€ 2.843,99	7.991,77	14,4	€ 1.150,82
	5-6	5.135,78	5,1	€ 261,92	3.016,25	3,4	€ 102,55
		1.346.795,47		41.993,25	790.975,12		14.335,64
Totale							€ 56.328,90

Tabella 53 - Valore dell'impatto delle emissioni inquinanti - Scenario 3

Gli scenari 1,3 mostrano un impatto negativo (rispettivamente quasi 40.000 e 56.000 € annui), mentre lo scenario 2 ha un impatto positivo sulle emissioni inquinanti (quasi 25.000 € annui).

5.3.4 Inquinamento acustico

Le emissioni sonore determinano impatti sociali in funzione del luogo e della durata delle emissioni, del tipo di veicolo e delle sue caratteristiche. Anche per la stima di questi impatti possono essere applicate metodologie più o meno disaggregate. Di seguito si riportano alcuni valori dei costi marginali proposti dalla DG MOVE (2014), utilizzati nelle Linee Guida del Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture.

Tipologia di veicolo	Periodo del giorno	Densità media del traffico	Area Urbana	Area Suburbana	Area Rurale
Autovetture	Giorno	Alta	8,8	0,5	0,1
		Bassa	21,4	1,4	0,2
	Notte	Alta	16,1	0,9	0,1
		Bassa	38,9	2,5	0,4
Motocicli	Giorno	Alta	17,7	1,1	0,1
		Bassa	42,7	2,7	0,4
	Notte	Alta	32,1	1,9	0,2
		Bassa	77,9	5,1	0,6
Autobus	Giorno	Alta	44,0	2,4	0,4
		Bassa	107,0	6,8	0,8
	Notte	Alta	80,3	4,5	0,7
		Bassa	194,7	12,7	1,5
Veicoli merci leggeri	Giorno	Alta	44,0	2,4	0,4
		Bassa	107,0	6,8	0,8
	Notte	Alta	80,3	4,5	0,7
		Bassa	194,7	12,7	1,5
Veicoli merci pesanti	Giorno	Alta	81,0	4,5	0,7
		Bassa	196,6	12,7	1,5
	Notte	Alta	147,8	8,3	1,3
		Bassa	358,2	23,1	2,6

Tabella 54 - Costi marginali dell'inquinamento acustico [€ per 1000 vei*km]

Per il calcolo degli impatti, sono state fatte le seguenti considerazioni.

- Per la valutazione della “densità media del traffico”, ci si è basati sui valori medi del rapporto V/C calcolati in precedenza; essendo sempre inferiore a 0,5, si è optato per utilizzare una densità del traffico “bassa” per tutte le categorie e ripartizioni.
- Per quanto riguarda l’ambito, è stata utilizzata la ripartizione utilizzata per l’incidentalità e le emissioni inquinanti (62% urbano e 38% suburbano – extraurbano);
- Per la suddivisione dei vei*km del periodo tra giorno (6-22) e notte (22-6), si è scelto di ripartirli per il 90% nel periodo diurno e il 10% nel periodo notturno. Questa considerazione scaturisce anche dall’analisi del traffico giornaliero nelle sezioni fornite da ANAS, che mostra una ripartizione media dei flussi veicolari di questo tipo, pur con qualche differenza tra una sezione e l’altra.

Le tabelle seguenti mostrano, per i tre scenari, la ripartizione dei vei*km per tipologia veicolare e ambito territoriale.

Tipologia di Veicolo		Totale	%urbano	% extraurbano
Autovetture	77,33%	1.147.285,80	722.790,05	424.495,75
Motocicli	10,45%	155.049,92	97.681,45	57.368,47
Autobus	0,41%	6.047,10	3.809,67	2.237,43
Veicoli comm. leggeri	10,26%	152.271,29	95.930,91	56.340,38
Veicoli comm. pesanti	1,55%	23.027,13	14.507,09	8.520,04

Totale	100,00%	1.483.681,25	934.719,19	548.962,06
---------------	----------------	---------------------	-------------------	-------------------

Tabella 55 - Ripartizione vei*km scenario 1

Autovetture	77,33%	-725.927,13	-457.334,09	-268.593,04
Motocicli	10,45%	-98.105,41	-61.806,41	-36.299,00
Autobus	0,41%	-3.826,21	-2.410,51	-1.415,70
Veicoli comm. leggeri	10,26%	-96.347,28	-60.698,78	-35.648,49
Veicoli comm. pesanti	1,55%	-14.570,06	-9.179,14	-5.390,92
Totale	100,00%	-938.776,08	-591.428,93	-347.347,15

Tabella 56 - Ripartizione vei*km scenario 2

Tipologia di veicolo		Totale	%urbano	% extraurbano
Autovetture	77,33%	1.653.073,28	1.041.436,17	611.637,11
Motocicli	10,45%	223.404,56	140.744,87	82.659,69
Autobus	0,41%	8.713,00	5.489,19	3.223,81
Veicoli comm. leggeri	10,26%	219.400,96	138.222,61	81.178,36
Veicoli comm. pesanti	1,55%	33.178,77	20.902,63	12.276,15
Totale	100,00%	2.137.770,58	1.346.795,47	790.975,12

Tabella 57 - Ripartizione vei*km scenario 3

Dopo aver ripartito i vei*km per tipologia di veicolo e ambito territoriale, essi sono stati ulteriormente ripartiti in base alla fascia oraria (90% diurno e 10% notturno).

Tipologia Veicolo	Periodo del giorno	Ambito urbano (62%)	costo marginale [€ per 1000v*km]	Costo impatto [€]	Ambito extraurbano (38%)	costo marginale [€ per 1000v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture	Giorno 6_22	650.511,05	21,4	€ 13.920,94	382.046,17	1,4	€ 5.348,65
	Notte 22_06	72.279,01	38,9	€ 28.116,53	42.449,57	2,5	€ 1.061,24
Motocicli	Giorno 6_22	87.913,30	42,7	€ 37.538,98	51.631,62	2,7	€ 1.394,05
	Notte 22_06	9.768,14	77,9	€ 7.609,38	5.736,85	5,1	€ 292,58
Autobus	Giorno 6_22	3.428,71	107,0	€ 3.668,72	2.013,69	6,8	€ 136,93
	Notte 22_06	380,97	194,7	€ 741,74	223,74	12,7	€ 28,42
Veicoli comm. leggeri	Giorno 6_22	86.337,82	107,0	€ 92.381,47	50.706,34	6,8	€ 3.448,03
	Notte 22_06	9.593,09	194,7	€ 18.677,75	5.634,04	12,7	€ 715,52
Veicoli comm. Pesanti	Giorno 6_22	13.056,38	196,6	€ 25.668,85	7.668,04	12,7	€ 973,84
	Notte 22_06	1.450,71	358,2	€ 5.196,44	852,00	23,1	€ 196,81
		934.719,19		€ 233.520,81	548.962,06		€ 13.596,07
						Totale	€ 247.116,88

Tabella 58 - Valore dell'impatto dell'inquinamento acustico - scenario 1

Tipologia Veicolo	Periodo del giorno	Ambito urbano (62%)	costo marginale [€ per 1000v*km]	Costo impatto [€]	Ambito extraurbano (38%)	costo marginale [€ per 1000v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture	Giorno 6_22	411.600,68	21,4	-€ 8.808,25	241.733,73	1,4	-€ 3.384,27
	Notte 22_06	-45.733,41	38,9	-€ 17.790,30	-26.859,30	2,5	-€ 671,48
Motocicli	Giorno 6_22	-55.625,77	42,7	-€ 23.752,20	-32.669,10	2,7	-€ 882,07

	Notte 22_06	-6.180,64	77,9	-€ 4.814,72	-3.629,90	5,1	-€ 185,12	
Autobus	Giorno 6_22	-2.169,46	107,0	-€ 2.321,32	-1.274,13	6,8	-€ 86,64	
	Notte 22_06	-241,05	194,7	-€ 469,33	-141,57	12,7	-€ 17,98	
Veicoli comm. leggeri	Giorno 6_22	-54.628,91	107,0	-€ 58.452,93	-32.083,64	6,8	-€ 2.181,69	
	Notte 22_06	-6.069,88	194,7	-€ 11.818,05	-3.564,85	12,7	-€ 452,74	
Veicoli comm. Pesanti	Giorno 6_22	-8.261,22	196,6	-€ 16.241,56	-4.851,83	12,7	-€ 616,18	
	Notte 22_06	-917,91	358,2	-€ 3.287,97	-539,09	23,1	-€ 124,53	
		591.428,93		-€ 147.756,64	347.347,15		-€ 8.602,70	
Totale								-€ 156.359,34

Tabella 59 - Valore dell'impatto dell'inquinamento acustico - scenario 2

Tipologia Veicolo	Periodo del giorno	Ambito urbano (62%)	costo marginale [€ per 1000v*km]	Costo impatto [€]	Ambito extraurbano (38%)	costo marginale [€ per 1000v*km]	Costo impatto [€]	
Autovetture	Giorno 6_22	937.292,55	21,4	€ 20.058,06	550.473,40	1,4	€ 7.706,63	
	Notte 22_06	104.143,62	38,9	€ 40.511,87	61.163,71	2,5	€ 1.529,09	
Motocicli	Giorno 6_22	126.670,39	42,7	€ 54.088,26	74.393,72	2,7	€ 2.008,63	
	Notte 22_06	14.074,49	77,9	€ 10.964,03	8.265,97	5,1	€ 421,56	
Autobus	Giorno 6_22	4.940,27	107,0	€ 5.286,09	2.901,43	6,8	€ 197,30	
	Notte 22_06	548,92	194,7	€ 1.068,75	322,38	12,7	€ 40,94	
Veicoli comm. leggeri	Giorno 6_22	124.400,34	107,0	€ 133.108,37	73.060,52	6,8	€ 4.968,12	
	Notte 22_06	13.822,26	194,7	€ 26.911,94	8.117,84	12,7	€ 1.030,97	
Veicoli comm. Pesanti	Giorno 6_22	18.812,37	196,6	€ 36.985,11	11.048,53	12,7	€ 1.403,16	
	Notte 22_06	2.090,26	358,2	€ 7.487,32	1.227,61	23,1	€ 283,58	
		1.346.795,47		€ 336.469,79	790.975,12		€ 19.589,98	
Totale								€ 356.059,77

Tabella 60 - Valore dell'impatto dell'inquinamento acustico - scenario 3

Come per gli impatti precedenti, si nota un valore negativo per gli scenari 1,3 (rispettivamente 247 mila e 356 mila €), mentre lo scenario 2 è caratterizzato da un impatto positivo (156 mila €).

5.3.5 Riscaldamento globale

Le emissioni di gas serra (gas climalteranti) producono effetti negativi sul riscaldamento del pianeta, che possono essere stimati attraverso metodologie disaggregate che stimano la variazione di emissione di CO₂ nell'aria successivamente monetizzati in maniera aggregata in funzione delle percorrenze chilometriche (ad es. veicoli-Km), utilizzando i costi marginali proposti dalla DG MOVE riportati nelle per le diverse modalità di trasporto.

Veicolo	Classe EURO	Ambito urbano			Ambito Rurale			Ambito Autostradale			Media		
		(€cent/vkm)			(€cent/vkm)			(€cent/vkm)			(€cent/vkm)		
		min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	Max
Autovetture	0	2,4	3,0	3,4	1,7	1,9	2,3	1,8	2,1	2,7	1,9	2,2	2,6
	1-4	1,6	2,7	3,9	1,1	1,7	2,3	1,2	1,8	2,4	1,3	2,0	2,8
	5-6	1,6	2,6	3,5	1,1	1,6	1,9	1,2	1,6	2,1	1,3	1,9	2,4
Veicoli merci leggeri	0	2,9	3,5	4,0	2,0	2,3	2,5	2,8	2,9	2,9	2,4	2,6	2,7
	1-4	2,8	3,2	3,7	1,7	2,0	2,3	2,3	2,5	2,6	2,1	2,3	2,5
	5-6	2,8	3,1	3,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4	2,1	2,2	2,3
Autobus	1-4	7,4	7,6	7,7	5,1	5,5	5,8	4,6	5,0	5,3	5,8	6,1	6,3
	5-6	7,4	7,4	7,4	5,1	5,1	5,1	4,6	4,6	4,6	5,8	5,8	5,8
Veicoli merci pesanti	0	3,8	8,5	13,2	3,2	6,8	10,4	3,4	6,2	9,0	3,4	7,0	10,4
	1-4	2,7	7,4	12,1	2,3	5,8	9,6	2,5	5,2	8,2	2,5	6,0	9,5
	5-6	2,7	7,0	11,2	2,3	5,2	8,0	2,5	4,6	6,7	2,5	5,6	8,3

Tabella 61 - Costi Marginali del riscaldamento globale per il trasporto stradale [€cent per vei*km]

Per il calcolo degli impatti, sono state fatte le seguenti considerazioni.

- Per quanto riguarda l'ambito territoriale, non essendo presente la categoria "suburbana" o extraurbana, si è scelto di usare l'ambito "medio", anche basandosi sul fatto che le variazioni del costo marginale tra un ambito e l'altro sono abbastanza modeste, rispetto agli altri impatti.
- I motocicli sono stati considerati insieme alle autovetture.
- Per la categoria degli autobus, in cui in questo caso vengono esclusi i veicoli euro 0, essi sono stati inglobati percentualmente nella categoria 1-4 (ripartizione 75% veicoli classe 1-4 e 25% classe 5-6).

Di seguito sono riportate, per i tre scenari, le tabelle con la ripartizione dei vei*km in funzione della tipologia veicolare.

Tipologia veicolare		vei*km
Autovetture + motocicli	87,78%	1.302.335,72
Autobus	0,41%	6.047,10
Veicoli comm. leggeri	10,26%	152.271,29
Veicoli merci pesanti	1,55%	23.027,13
Totale	100,00%	1.483.681,25

Tabella 62 - Ripartizione vei*km scenario 1

Tipologia veicolare		vei*km
Autovetture + motocicli	87,78%	-824.032,54
Autobus	0,41%	-3.826,21
Veicoli comm. leggeri	10,26%	-96.347,28
Veicoli merci pesanti	1,55%	-14.570,06
Totale	100,00%	-938.776,08

Tabella 63 - Ripartizione vei*km scenario 2

Tipologia veicolare		vei*km
Autovetture + motocicli	87,78%	1.876.477,84
Autobus	0,41%	8.713,00
Veicoli comm. leggeri	10,26%	219.400,96
Veicoli merci pesanti	1,55%	33.178,77
Totale	100,00%	2.137.770,58

Tabella 64 - Ripartizione vei*km scenario 3

Una volta ripartiti i vei*km per categoria veicolare, essi sono stati ulteriormente ripartiti per classe Euro e per ambito territoriale, come mostrato nelle tabelle seguenti.

Tipologia veicolare	classe euro	vei*km	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture e motocicli	0	134.531,28	2,2	€ 2.959,69
	1-4	847.820,55	2,0	€ 16.956,41
	5-6	319.983,89	1,9	€ 6.079,69
Veicoli merci leggeri	0	15.729,62	2,6	€ 408,97
	1-4	99.128,61	2,3	€ 2.279,96
	5-6	37.413,06	2,2	€ 823,09
Autobus	1-4	4.561,33	6,1	€ 278,24
	5-6	1.485,77	5,8	€ 86,17
Veicoli merci pesanti	0	2.378,70	7,0	€ 166,51
	1-4	14.990,66	6,0	€ 899,44
	5-6	5.657,77	5,6	€ 316,83
			Totale	€ 31.255,01

Tabella 65 - Valore dell'impatto del riscaldamento globale - scenario 1

Tipologia veicolare	classe euro	vei*km	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture e motocicli	0	-85.122,56	2,2	-€ 1.872,70
	1-4	-536.445,18	2,0	-€ 10.728,90
	5-6	-202.464,79	1,9	-€ 3.846,83
Veicoli merci leggeri	0	-9.952,67	2,6	-€ 258,77
	1-4	-62.722,08	2,3	-€ 1.442,61
	5-6	-23.672,53	2,2	-€ 520,80
Autobus	1-4	-2.886,11	6,1	-€ 176,05
	5-6	-940,10	5,8	-€ 54,53
Veicoli merci pesanti	0	-1.505,09	7,0	-€ 105,36
	1-4	-9.485,11	6,0	-€ 569,11
	5-6	-3.579,86	5,6	-€ 200,47
			Totale	-€ 19.776,12

Tabella 66 - Valore dell'impatto del riscaldamento globale - scenario 2

Tipologia veicolare	classe euro	vei*km	costo marginale [€cent per v*km]	Costo impatto [€]
Autovetture e motocicli	0	193.840,16	2,2	€ 4.264,48
	1-4	1.221.587,08	2,0	€ 24.431,74
	5-6	461.050,61	1,9	€ 8.759,96
Veicoli merci leggeri	0	22.664,12	2,6	€ 589,27
	1-4	142.830,03	2,3	€ 3.285,09
	5-6	53.906,82	2,2	€ 1.185,95
Autobus	1-4	6.572,22	6,1	€ 400,91
	5-6	2.140,78	5,8	€ 124,17
Veicoli merci pesanti	0	3.427,37	7,0	€ 239,92
	1-4	21.599,38	6,0	€ 1.295,96
	5-6	8.152,02	5,6	€ 456,51
			Totale	€ 45.033,96

Tabella 67 - Valore dell'impatto del riscaldamento globale - Scenario 3

5.3.6 Riepilogo degli impatti

Come si può notare nella tabella sottostante, la sommatoria degli impatti dei tre scenari mostra un valore positivo in tutti i casi. La variazione del tempo di viaggio risulta essere l'impatto di maggiore importanza (con impatti positivi compresi tra 9,8 e 14,1 M€), seguito dall'incidentalità, che assume un valore negativo superiore ad 1,5 M€ nello scenario 3 e quasi 700 mila € in positivo nello scenario 2. Anche l'impatto dell'inquinamento acustico non è trascurabile ed è compreso tra un valore negativo superiore a 350 mila € nello scenario 3 e un valore positivo di oltre 150 mila euro nello scenario 2. Infine, gli impatti relativi a Congestione, Emissioni Inquinanti e Riscaldamento globale risultano essere abbastanza contenuti, nell'ordine di poche decine di migliaia di euro all'anno.

Scenario

		1	2	3
Impatto	Variazione tempo di viaggio	-€ 11.934.083,33	-€ 14.196.250,00	-€ 9.879.666,67
	Congestione	€ 31.040,50	-€ 19.574,88	€ 44.600,79
	Incidentalità	€ 1.083.065,21	-€ 688.194,88	€ 1.555.150,86
	Emissioni Inquinanti	€ 39.094,06	-€ 24.736,15	€ 56.328,90
	Inquinamento acustico	€ 247.116,88	-€ 156.359,34	€ 356.059,77
	Riscaldamento Globale	€ 31.255,01	-€ 19.776,12	€ 45.033,96
	Totale impatti	-€ 10.502.511,68	-€ 15.104.891,36	-€ 7.822.492,40

Tabella 68 - Riepilogo degli impatti

Lo scenario 2 risulta essere quello con gli impatti maggiormente positivi (oltre 15 M€), quasi il doppio dello scenario 3 (7,8 M€), mentre lo scenario 1 rappresenta una via di mezzo (circa 10,5 M€ annui).

5.4. Calcolo del Valore Attuale Netto e del Tasso di Rendimento Interno

Per il confronto fra i flussi di benefici e di costi dei diversi scenari sono stati proposti diversi indicatori sintetici; quelli più utilizzati sono il Valore Attuale Netto Economico (VANE) che riporta all'anno iniziale i diversi effetti calcolati per un periodo di T anni come:

$$VANE = \frac{\sum_{t=1}^N Bt - \sum_{t=1}^N Ct}{(1+r)^t}$$

e il Tasso Interno di Rendimento Economico (TIRE) definito come il valore del tasso di sconto r_0 che annulla il VAN calcolato in un periodo di T anni:

$$TIRE_i = r_0; VANE_i(r_0) = 0$$

Sulla base del primo indicatore, il generico scenario i è preferibile rispetto al Non progetto se il suo VANE è positivo; il progetto i è preferibile al progetto j se $VANE_i > VANE_j$.

Un progetto i è invece preferibile al non progetto rispetto al Tasso Interno di Rendimento Economico se il suo TIRE è maggiore al valore del tasso di sconto ed è preferibile rispetto al progetto j se $TIRE_i > TIRE_j$.

Il valore del tasso di sconto da utilizzare per il calcolo del VANE o con il quale confrontare il TIRE, è stato scelto in base alle indicazioni della Commissione Europea, ed è pari al 3%.

Per il calcolo del VANE, sono state fatte le seguenti considerazioni:

- il calcolo del VANE è stato fatto su una vita utile dell'opera pari a 30 anni;
- il costo di costruzione delle opere, per tutti gli scenari, è stato ripartito nei primi tre anni (si veda la Tabella 26 a pagina 51);
- i costi di manutenzione, dal quarto anno in poi, si mantengono costanti:

- gli impatti, positivi e negativi, variano secondo una curva di crescita della domanda. Il Piano Regionale dei Trasporti (PRT) della Sardegna, afferma che “Il valore stimato del modello al 2021 del numero di spostamenti intercomunali veicolari (auto conducente) nella fascia di punta del mattino in un giorno lavorativo medio invernale raggiunge 131.638 unità (+ 3,5% rispetto al 2006)³. Ripartendo l’aumento del 3,5% sui quindici anni, si ottiene una crescita annua pari a 0,23%, che è stata mantenuta per tutta la vita utile dell’opera.

5.4.1 Tabelle Riepilogative VANE e TIRE

Di seguito vengono riportate le tabelle riepilogative del VANE e del TIRE per tutti gli scenari. Come si può notare nella tabella seguente, lo scenario 2 (Variante “Larga”), risulta essere quello largamente migliore, essendo quello che si ripaga prima (al 10° anno), quello col migliore VANE al 30° anno e col miglior TIRE. Viceversa, lo scenario peggiore (seppure con tutti gli indicatori ampiamente positivi), è lo scenario 3 (adeguamento della strada esistente), che si ripaga al 20° anno.

Scenario	Anno VANE positivo	VANE 30° anno	TIRE
1	13	€ 101.661.480,36	11,15%
2	10	€ 180.766.214,90	16,01%
3	20	€ 41.406.230,30	6,22%

Tabella 69 - Riepilogo VANE- TIRE

³ PRT Sardegna – Parte Seconda – Scenari futuri

Anno	Costi		Benefici					Valore VANE annuale	VANE	
	Costo di costruzione	Costo di Manutenzione	Risparmio di tempo di viaggio monetizzato	Congestione	Incidentalità	Emissioni inquinanti	Inquinamento acustico			Riscaldamento globale
1	€ 23.625.625								-€ 22.937.500	
2	€ 31.500.834								-€ 29.692.557	-€ 52.630.058
3	€ 23.625.625								-€ 21.620.794	-€ 74.250.852
4		€ 290.000	€ 11.934.083	-€ 31.040	-€ 1.083.065	-€ 39.094	-€ 247.117	-€ 31.255	€ 9.073.684	-€ 65.177.167
5		€ 290.000	€ 11.961.532	-€ 31.112	-€ 1.085.556	-€ 39.184	-€ 247.685	-€ 31.327	€ 8.830.239	-€ 56.346.928
6		€ 290.000	€ 11.989.043	-€ 31.183	-€ 1.088.053	-€ 39.274	-€ 248.255	-€ 31.399	€ 8.593.324	-€ 47.753.604
7		€ 290.000	€ 12.016.618	-€ 31.255	-€ 1.090.556	-€ 39.364	-€ 248.826	-€ 31.471	€ 8.362.765	-€ 39.390.839
8		€ 290.000	€ 12.044.256	-€ 31.327	-€ 1.093.064	-€ 39.455	-€ 249.398	-€ 31.544	€ 8.138.390	-€ 31.252.449
9		€ 290.000	€ 12.071.958	-€ 31.399	-€ 1.095.578	-€ 39.546	-€ 249.972	-€ 31.616	€ 7.920.034	-€ 23.332.416
10		€ 290.000	€ 12.099.724	-€ 31.471	-€ 1.098.098	-€ 39.637	-€ 250.547	-€ 31.689	€ 7.707.535	-€ 15.624.881
11		€ 290.000	€ 12.127.553	-€ 31.544	-€ 1.100.623	-€ 39.728	-€ 251.123	-€ 31.762	€ 7.500.736	-€ 8.124.145
12		€ 290.000	€ 12.155.446	-€ 31.616	-€ 1.103.155	-€ 39.819	-€ 251.701	-€ 31.835	€ 7.299.485	-€ 824.659
13		€ 290.000	€ 12.183.404	-€ 31.689	-€ 1.105.692	-€ 39.911	-€ 252.280	-€ 31.908	€ 7.103.633	€ 6.278.974
14		€ 290.000	€ 12.211.426	-€ 31.762	-€ 1.108.235	-€ 40.003	-€ 252.860	-€ 31.981	€ 6.913.035	€ 13.192.008
15		€ 290.000	€ 12.239.512	-€ 31.835	-€ 1.110.784	-€ 40.095	-€ 253.441	-€ 32.055	€ 6.727.549	€ 19.919.557
16		€ 290.000	€ 12.267.663	-€ 31.908	-€ 1.113.339	-€ 40.187	-€ 254.024	-€ 32.129	€ 6.547.039	€ 26.466.597
17		€ 290.000	€ 12.295.878	-€ 31.982	-€ 1.115.900	-€ 40.279	-€ 254.609	-€ 32.203	€ 6.371.372	€ 32.837.969
18		€ 290.000	€ 12.324.159	-€ 32.055	-€ 1.118.466	-€ 40.372	-€ 255.194	-€ 32.277	€ 6.200.417	€ 39.038.386
19		€ 290.000	€ 12.352.505	-€ 32.129	-€ 1.121.039	-€ 40.465	-€ 255.781	-€ 32.351	€ 6.034.048	€ 45.072.434
20		€ 290.000	€ 12.380.915	-€ 32.203	-€ 1.123.617	-€ 40.558	-€ 256.369	-€ 32.425	€ 5.872.143	€ 50.944.577
21		€ 290.000	€ 12.409.391	-€ 32.277	-€ 1.126.201	-€ 40.651	-€ 256.959	-€ 32.500	€ 5.714.581	€ 56.659.158
22		€ 290.000	€ 12.437.933	-€ 32.351	-€ 1.128.792	-€ 40.745	-€ 257.550	-€ 32.575	€ 5.561.245	€ 62.220.403
23		€ 290.000	€ 12.466.540	-€ 32.425	-€ 1.131.388	-€ 40.838	-€ 258.142	-€ 32.649	€ 5.412.024	€ 67.632.427
24		€ 290.000	€ 12.495.213	-€ 32.500	-€ 1.133.990	-€ 40.932	-€ 258.736	-€ 32.725	€ 5.266.805	€ 72.899.232
25		€ 290.000	€ 12.523.952	-€ 32.575	-€ 1.136.598	-€ 41.026	-€ 259.331	-€ 32.800	€ 5.125.482	€ 78.024.714
26		€ 290.000	€ 12.552.757	-€ 32.650	-€ 1.139.212	-€ 41.121	-€ 259.928	-€ 32.875	€ 4.987.951	€ 83.012.665
27		€ 290.000	€ 12.581.629	-€ 32.725	-€ 1.141.833	-€ 41.215	-€ 260.525	-€ 32.951	€ 4.854.109	€ 87.866.775
28		€ 290.000	€ 12.610.566	-€ 32.800	-€ 1.144.459	-€ 41.310	-€ 261.125	-€ 33.027	€ 4.723.858	€ 92.590.633
29		€ 290.000	€ 12.639.571	-€ 32.875	-€ 1.147.091	-€ 41.405	-€ 261.725	-€ 33.103	€ 4.597.102	€ 97.187.735
30		€ 290.000	€ 12.668.642	-€ 32.951	-€ 1.149.729	-€ 41.500	-€ 262.327	-€ 33.179	€ 4.473.746	€ 101.661.480

Tabella 70 - VANE scenario 1

Anno	Costi		Benefici						Valore VANE annuale	VANE
	Costo di costruzione	Costo di Manutenzione	Risparmio di tempo di viaggio monetizzato	Congestione	Incidentalità	Emissioni inquinanti	Inquinamento acustico	Riscaldamento globale		
1	€ 23.662.046								-€ 22.972.860	
2	€ 31.549.394								-€ 29.738.330	-€ 52.711.190
3	€ 23.662.046								-€ 21.654.124	-€ 74.365.314
4		€ 290.000	€ 14.196.250	€ 19.575	€ 688.195	€ 24.736	€ 156.359	€ 19.776	€ 13.162.839	-€ 61.202.475
5		€ 290.000	€ 14.228.901	€ 19.620	€ 689.778	€ 24.793	€ 156.719	€ 19.822	€ 12.809.424	-€ 48.393.051
6		€ 290.000	€ 14.261.628	€ 19.665	€ 691.364	€ 24.850	€ 157.079	€ 19.867	€ 12.465.496	-€ 35.927.556
7		€ 290.000	€ 14.294.430	€ 19.710	€ 692.954	€ 24.907	€ 157.441	€ 19.913	€ 12.130.801	-€ 23.796.755
8		€ 290.000	€ 14.327.307	€ 19.756	€ 694.548	€ 24.965	€ 157.803	€ 19.959	€ 11.805.091	-€ 11.991.664
9		€ 290.000	€ 14.360.260	€ 19.801	€ 696.146	€ 25.022	€ 158.166	€ 20.005	€ 11.488.126	-€ 503.538
10		€ 290.000	€ 14.393.288	€ 19.847	€ 697.747	€ 25.079	€ 158.530	€ 20.051	€ 11.179.670	€ 10.676.132
11		€ 290.000	€ 14.426.393	€ 19.892	€ 699.352	€ 25.137	€ 158.894	€ 20.097	€ 10.879.494	€ 21.555.626
12		€ 290.000	€ 14.459.573	€ 19.938	€ 700.960	€ 25.195	€ 159.260	€ 20.143	€ 10.587.378	€ 32.143.004
13		€ 290.000	€ 14.492.830	€ 19.984	€ 702.572	€ 25.253	€ 159.626	€ 20.189	€ 10.303.103	€ 42.446.107
14		€ 290.000	€ 14.526.164	€ 20.030	€ 704.188	€ 25.311	€ 159.993	€ 20.236	€ 10.026.461	€ 52.472.568
15		€ 290.000	€ 14.559.574	€ 20.076	€ 705.808	€ 25.369	€ 160.361	€ 20.282	€ 9.757.245	€ 62.229.814
16		€ 290.000	€ 14.593.061	€ 20.122	€ 707.431	€ 25.428	€ 160.730	€ 20.329	€ 9.495.257	€ 71.725.071
17		€ 290.000	€ 14.626.625	€ 20.168	€ 709.058	€ 25.486	€ 161.100	€ 20.376	€ 9.240.303	€ 80.965.374
18		€ 290.000	€ 14.660.266	€ 20.215	€ 710.689	€ 25.545	€ 161.470	€ 20.423	€ 8.992.194	€ 89.957.568
19		€ 290.000	€ 14.693.985	€ 20.261	€ 712.324	€ 25.603	€ 161.841	€ 20.469	€ 8.750.745	€ 98.708.313
20		€ 290.000	€ 14.727.781	€ 20.308	€ 713.962	€ 25.662	€ 162.214	€ 20.517	€ 8.515.779	€ 107.224.091
21		€ 290.000	€ 14.761.655	€ 20.355	€ 715.604	€ 25.721	€ 162.587	€ 20.564	€ 8.287.121	€ 115.511.212
22		€ 290.000	€ 14.795.607	€ 20.401	€ 717.250	€ 25.780	€ 162.961	€ 20.611	€ 8.064.602	€ 123.575.814
23		€ 290.000	€ 14.829.637	€ 20.448	€ 718.900	€ 25.840	€ 163.336	€ 20.658	€ 7.848.057	€ 131.423.870
24		€ 290.000	€ 14.863.745	€ 20.495	€ 720.553	€ 25.899	€ 163.711	€ 20.706	€ 7.637.325	€ 139.061.195
25		€ 290.000	€ 14.897.932	€ 20.542	€ 722.210	€ 25.959	€ 164.088	€ 20.754	€ 7.432.252	€ 146.493.447
26		€ 290.000	€ 14.932.197	€ 20.590	€ 723.872	€ 26.018	€ 164.465	€ 20.801	€ 7.232.684	€ 153.726.131
27		€ 290.000	€ 14.966.541	€ 20.637	€ 725.536	€ 26.078	€ 164.843	€ 20.849	€ 7.038.474	€ 160.764.605
28		€ 290.000	€ 15.000.964	€ 20.684	€ 727.205	€ 26.138	€ 165.223	€ 20.897	€ 6.849.479	€ 167.614.084
29		€ 290.000	€ 15.035.466	€ 20.732	€ 728.878	€ 26.198	€ 165.603	€ 20.945	€ 6.665.557	€ 174.279.641
30		€ 290.000	€ 15.070.048	€ 20.780	€ 730.554	€ 26.259	€ 165.983	€ 20.993	€ 6.486.574	€ 180.766.215

Tabella 71 - VANE Scenario 2

Anno	Costi		Benefici						Valore VANE annuale	VANE
	Costo di costruzione	Costo di Manutenzione	Risparmio di tempo di viaggio monetizzato	Congestione	Incidentalità	Emissioni inquinanti	Inquinamento acustico	Riscaldamento globale		
1	€ 28.093.325								-€ 27.275.073	
2	€ 37.457.766								-€ 35.307.537	-€ 62.582.610
3	€ 28.093.325								-€ 25.709.372	-€ 88.291.982
4		€ 295.000	€ 9.879.667	-€ 44.601	-€ 1.555.151	-€ 56.329	-€ 356.060	-€ 45.034	€ 6.688.080	-€ 81.603.903
5		€ 295.000	€ 9.902.390	-€ 44.703	-€ 1.558.728	-€ 56.458	-€ 356.879	-€ 45.138	€ 6.508.801	-€ 75.095.102
6		€ 295.000	€ 9.925.165	-€ 44.806	-€ 1.562.313	-€ 56.588	-€ 357.700	-€ 45.241	€ 6.334.327	-€ 68.760.775
7		€ 295.000	€ 9.947.993	-€ 44.909	-€ 1.565.906	-€ 56.718	-€ 358.522	-€ 45.345	€ 6.164.528	-€ 62.596.247
8		€ 295.000	€ 9.970.874	-€ 45.013	-€ 1.569.508	-€ 56.849	-€ 359.347	-€ 45.450	€ 5.999.280	-€ 56.596.967
9		€ 295.000	€ 9.993.807	-€ 45.116	-€ 1.573.118	-€ 56.980	-€ 360.173	-€ 45.554	€ 5.838.460	-€ 50.758.508
10		€ 295.000	€ 10.016.792	-€ 45.220	-€ 1.576.736	-€ 57.111	-€ 361.002	-€ 45.659	€ 5.681.950	-€ 45.076.558
11		€ 295.000	€ 10.039.831	-€ 45.324	-€ 1.580.362	-€ 57.242	-€ 361.832	-€ 45.764	€ 5.529.634	-€ 39.546.924
12		€ 295.000	€ 10.062.923	-€ 45.428	-€ 1.583.997	-€ 57.374	-€ 362.664	-€ 45.869	€ 5.381.400	-€ 34.165.523
13		€ 295.000	€ 10.086.067	-€ 45.533	-€ 1.587.640	-€ 57.506	-€ 363.498	-€ 45.975	€ 5.237.139	-€ 28.928.384
14		€ 295.000	€ 10.109.265	-€ 45.637	-€ 1.591.292	-€ 57.638	-€ 364.334	-€ 46.081	€ 5.096.744	-€ 23.831.639
15		€ 295.000	€ 10.132.517	-€ 45.742	-€ 1.594.952	-€ 57.771	-€ 365.172	-€ 46.187	€ 4.960.112	-€ 18.871.527
16		€ 295.000	€ 10.155.821	-€ 45.847	-€ 1.598.620	-€ 57.903	-€ 366.012	-€ 46.293	€ 4.827.142	-€ 14.044.385
17		€ 295.000	€ 10.179.180	-€ 45.953	-€ 1.602.297	-€ 58.037	-€ 366.854	-€ 46.399	€ 4.697.735	-€ 9.346.651
18		€ 295.000	€ 10.202.592	-€ 46.059	-€ 1.605.982	-€ 58.170	-€ 367.698	-€ 46.506	€ 4.571.796	-€ 4.774.854
19		€ 295.000	€ 10.226.058	-€ 46.165	-€ 1.609.676	-€ 58.304	-€ 368.544	-€ 46.613	€ 4.449.233	-€ 325.621
20		€ 295.000	€ 10.249.578	-€ 46.271	-€ 1.613.378	-€ 58.438	-€ 369.391	-€ 46.720	€ 4.329.955	€ 4.004.333
21		€ 295.000	€ 10.273.152	-€ 46.377	-€ 1.617.089	-€ 58.572	-€ 370.241	-€ 46.828	€ 4.213.873	€ 8.218.206
22		€ 295.000	€ 10.296.780	-€ 46.484	-€ 1.620.808	-€ 58.707	-€ 371.092	-€ 46.935	€ 4.100.902	€ 12.319.109
23		€ 295.000	€ 10.320.463	-€ 46.591	-€ 1.624.536	-€ 58.842	-€ 371.946	-€ 47.043	€ 3.990.960	€ 16.310.069
24		€ 295.000	€ 10.344.200	-€ 46.698	-€ 1.628.273	-€ 58.977	-€ 372.801	-€ 47.151	€ 3.883.964	€ 20.194.033
25		€ 295.000	€ 10.367.991	-€ 46.805	-€ 1.632.018	-€ 59.113	-€ 373.659	-€ 47.260	€ 3.779.836	€ 23.973.868
26		€ 295.000	€ 10.391.838	-€ 46.913	-€ 1.635.771	-€ 59.249	-€ 374.518	-€ 47.369	€ 3.678.498	€ 27.652.367
27		€ 295.000	€ 10.415.739	-€ 47.021	-€ 1.639.534	-€ 59.385	-€ 375.380	-€ 47.478	€ 3.579.877	€ 31.232.244
28		€ 295.000	€ 10.439.695	-€ 47.129	-€ 1.643.305	-€ 59.522	-€ 376.243	-€ 47.587	€ 3.483.900	€ 34.716.144
29		€ 295.000	€ 10.463.707	-€ 47.237	-€ 1.647.084	-€ 59.659	-€ 377.108	-€ 47.696	€ 3.390.494	€ 38.106.638
30		€ 295.000	€ 10.487.773	-€ 47.346	-€ 1.650.872	-€ 59.796	-€ 377.976	-€ 47.806	€ 3.299.592	€ 41.406.230

Tabella 72 - VANE Scenario 3

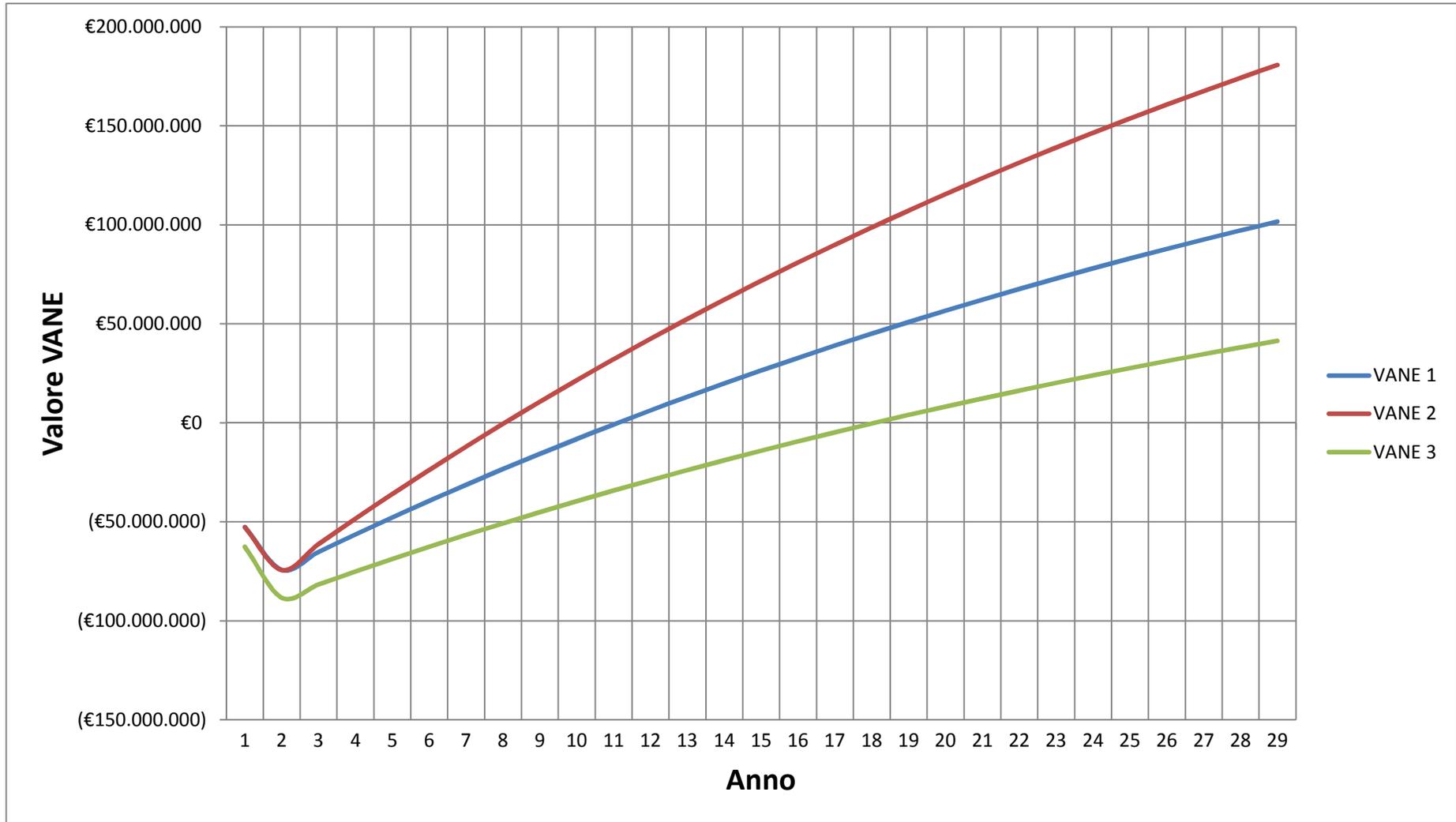


Figura 46 - Confronto VANE

Anno	Costi		Benefici						Valore VANE annuale	VANE
	Costo di costruzione	Costo di Manutenzione	Risparmio di tempo di viaggio monetizzato	Congestione	Incidentalità	Emissioni inquinanti	Inquinamento acustico	Riscaldamento globale		
1	€ 23.625.625								-€ 21.255.508	
2	€ 31.500.834								-€ 25.497.547	-€ 46.753.056
3	€ 23.625.625								-€ 17.204.729	-€ 63.957.785
4		€ 290.000	€ 11.934.083	-€ 31.040	-€ 1.083.065	-€ 39.094	-€ 247.117	-€ 31.255	€ 6.690.911	-€ 57.266.874
5		€ 290.000	€ 11.961.532	-€ 31.112	-€ 1.085.556	-€ 39.184	-€ 247.685	-€ 31.327	€ 6.033.919	-€ 51.232.955
6		€ 290.000	€ 11.989.043	-€ 31.183	-€ 1.088.053	-€ 39.274	-€ 248.255	-€ 31.399	€ 5.441.437	-€ 45.791.517
7		€ 290.000	€ 12.016.618	-€ 31.255	-€ 1.090.556	-€ 39.364	-€ 248.826	-€ 31.471	€ 4.907.131	-€ 40.884.386
8		€ 290.000	€ 12.044.256	-€ 31.327	-€ 1.093.064	-€ 39.455	-€ 249.398	-€ 31.544	€ 4.425.290	-€ 36.459.096
9		€ 290.000	€ 12.071.958	-€ 31.399	-€ 1.095.578	-€ 39.546	-€ 249.972	-€ 31.616	€ 3.990.760	-€ 32.468.336
10		€ 290.000	€ 12.099.724	-€ 31.471	-€ 1.098.098	-€ 39.637	-€ 250.547	-€ 31.689	€ 3.598.898	-€ 28.869.438
11		€ 290.000	€ 12.127.553	-€ 31.544	-€ 1.100.623	-€ 39.728	-€ 251.123	-€ 31.762	€ 3.245.513	-€ 25.623.925
12		€ 290.000	€ 12.155.446	-€ 31.616	-€ 1.103.155	-€ 39.819	-€ 251.701	-€ 31.835	€ 2.926.827	-€ 22.697.098
13		€ 290.000	€ 12.183.404	-€ 31.689	-€ 1.105.692	-€ 39.911	-€ 252.280	-€ 31.908	€ 2.639.434	-€ 20.057.665
14		€ 290.000	€ 12.211.426	-€ 31.762	-€ 1.108.235	-€ 40.003	-€ 252.860	-€ 31.981	€ 2.380.260	-€ 17.677.405
15		€ 290.000	€ 12.239.512	-€ 31.835	-€ 1.110.784	-€ 40.095	-€ 253.441	-€ 32.055	€ 2.146.535	-€ 15.530.870
16		€ 290.000	€ 12.267.663	-€ 31.908	-€ 1.113.339	-€ 40.187	-€ 254.024	-€ 32.129	€ 1.935.759	-€ 13.595.111
17		€ 290.000	€ 12.295.878	-€ 31.982	-€ 1.115.900	-€ 40.279	-€ 254.609	-€ 32.203	€ 1.745.681	-€ 11.849.430
18		€ 290.000	€ 12.324.159	-€ 32.055	-€ 1.118.466	-€ 40.372	-€ 255.194	-€ 32.277	€ 1.574.266	-€ 10.275.164
19		€ 290.000	€ 12.352.505	-€ 32.129	-€ 1.121.039	-€ 40.465	-€ 255.781	-€ 32.351	€ 1.419.683	-€ 8.855.481
20		€ 290.000	€ 12.380.915	-€ 32.203	-€ 1.123.617	-€ 40.558	-€ 256.369	-€ 32.425	€ 1.280.279	-€ 7.575.202
21		€ 290.000	€ 12.409.391	-€ 32.277	-€ 1.126.201	-€ 40.651	-€ 256.959	-€ 32.500	€ 1.154.563	-€ 6.420.638
22		€ 290.000	€ 12.437.933	-€ 32.351	-€ 1.128.792	-€ 40.745	-€ 257.550	-€ 32.575	€ 1.041.192	-€ 5.379.446
23		€ 290.000	€ 12.466.540	-€ 32.425	-€ 1.131.388	-€ 40.838	-€ 258.142	-€ 32.649	€ 938.953	-€ 4.440.493
24		€ 290.000	€ 12.495.213	-€ 32.500	-€ 1.133.990	-€ 40.932	-€ 258.736	-€ 32.725	€ 846.753	-€ 3.593.739
25		€ 290.000	€ 12.523.952	-€ 32.575	-€ 1.136.598	-€ 41.026	-€ 259.331	-€ 32.800	€ 763.607	-€ 2.830.133
26		€ 290.000	€ 12.552.757	-€ 32.650	-€ 1.139.212	-€ 41.121	-€ 259.928	-€ 32.875	€ 688.625	-€ 2.141.508
27		€ 290.000	€ 12.581.629	-€ 32.725	-€ 1.141.833	-€ 41.215	-€ 260.525	-€ 32.951	€ 621.005	-€ 1.520.502
28		€ 290.000	€ 12.610.566	-€ 32.800	-€ 1.144.459	-€ 41.310	-€ 261.125	-€ 33.027	€ 560.026	-€ 960.476
29		€ 290.000	€ 12.639.571	-€ 32.875	-€ 1.147.091	-€ 41.405	-€ 261.725	-€ 33.103	€ 505.034	-€ 455.442
30		€ 290.000	€ 12.668.642	-€ 32.951	-€ 1.149.729	-€ 41.500	-€ 262.327	-€ 33.179	€ 455.442	-€ 0

Tabella 73 - TIRE Scenario 1 - Tasso 11,15%

Anno	Costi		Benefici						Valore VANE annuale	VANE
	Costo di costruzione	Costo di Manutenzione	Risparmio di tempo di viaggio monetizzato	Congestione	Incidentalità	Emissioni inquinanti	Inquinamento acustico	Riscaldamento globale		
1	€ 23.662.046								-€ 20.396.889	
2	€ 31.549.394								-€ 23.443.060	-€ 43.839.949
3	€ 23.662.046								-€ 15.156.091	-€ 58.996.040
4		€ 290.000	€ 14.196.250	€ 19.575	€ 688.195	€ 24.736	€ 156.359	€ 19.776	€ 8.179.844	-€ 50.816.196
5		€ 290.000	€ 14.228.901	€ 19.620	€ 689.778	€ 24.793	€ 156.719	€ 19.822	€ 7.067.632	-€ 43.748.565
6		€ 290.000	€ 14.261.628	€ 19.665	€ 691.364	€ 24.850	€ 157.079	€ 19.867	€ 6.106.646	-€ 37.641.919
7		€ 290.000	€ 14.294.430	€ 19.710	€ 692.954	€ 24.907	€ 157.441	€ 19.913	€ 5.276.325	-€ 32.365.594
8		€ 290.000	€ 14.327.307	€ 19.756	€ 694.548	€ 24.965	€ 157.803	€ 19.959	€ 4.558.902	-€ 27.806.692
9		€ 290.000	€ 14.360.260	€ 19.801	€ 696.146	€ 25.022	€ 158.166	€ 20.005	€ 3.939.027	-€ 23.867.665
10		€ 290.000	€ 14.393.288	€ 19.847	€ 697.747	€ 25.079	€ 158.530	€ 20.051	€ 3.403.436	-€ 20.464.229
11		€ 290.000	€ 14.426.393	€ 19.892	€ 699.352	€ 25.137	€ 158.894	€ 20.097	€ 2.940.669	-€ 17.523.560
12		€ 290.000	€ 14.459.573	€ 19.938	€ 700.960	€ 25.195	€ 159.260	€ 20.143	€ 2.540.825	-€ 14.982.735
13		€ 290.000	€ 14.492.830	€ 19.984	€ 702.572	€ 25.253	€ 159.626	€ 20.189	€ 2.195.348	-€ 12.787.387
14		€ 290.000	€ 14.526.164	€ 20.030	€ 704.188	€ 25.311	€ 159.993	€ 20.236	€ 1.896.845	-€ 10.890.542
15		€ 290.000	€ 14.559.574	€ 20.076	€ 705.808	€ 25.369	€ 160.361	€ 20.282	€ 1.638.929	-€ 9.251.613
16		€ 290.000	€ 14.593.061	€ 20.122	€ 707.431	€ 25.428	€ 160.730	€ 20.329	€ 1.416.082	-€ 7.835.531
17		€ 290.000	€ 14.626.625	€ 20.168	€ 709.058	€ 25.486	€ 161.100	€ 20.376	€ 1.223.536	-€ 6.611.994
18		€ 290.000	€ 14.660.266	€ 20.215	€ 710.689	€ 25.545	€ 161.470	€ 20.423	€ 1.057.171	-€ 5.554.824
19		€ 290.000	€ 14.693.985	€ 20.261	€ 712.324	€ 25.603	€ 161.841	€ 20.469	€ 913.426	-€ 4.641.397
20		€ 290.000	€ 14.727.781	€ 20.308	€ 713.962	€ 25.662	€ 162.214	€ 20.517	€ 789.226	-€ 3.852.171
21		€ 290.000	€ 14.761.655	€ 20.355	€ 715.604	€ 25.721	€ 162.587	€ 20.564	€ 681.914	-€ 3.170.257
22		€ 290.000	€ 14.795.607	€ 20.401	€ 717.250	€ 25.780	€ 162.961	€ 20.611	€ 589.193	-€ 2.581.063
23		€ 290.000	€ 14.829.637	€ 20.448	€ 718.900	€ 25.840	€ 163.336	€ 20.658	€ 509.080	-€ 2.071.983
24		€ 290.000	€ 14.863.745	€ 20.495	€ 720.553	€ 25.899	€ 163.711	€ 20.706	€ 439.860	-€ 1.632.124
25		€ 290.000	€ 14.897.932	€ 20.542	€ 722.210	€ 25.959	€ 164.088	€ 20.754	€ 380.051	-€ 1.252.073
26		€ 290.000	€ 14.932.197	€ 20.590	€ 723.872	€ 26.018	€ 164.465	€ 20.801	€ 328.375	-€ 923.698
27		€ 290.000	€ 14.966.541	€ 20.637	€ 725.536	€ 26.078	€ 164.843	€ 20.849	€ 283.725	-€ 639.973
28		€ 290.000	€ 15.000.964	€ 20.684	€ 727.205	€ 26.138	€ 165.223	€ 20.897	€ 245.146	-€ 394.826
29		€ 290.000	€ 15.035.466	€ 20.732	€ 728.878	€ 26.198	€ 165.603	€ 20.945	€ 211.813	-€ 183.013
30		€ 290.000	€ 15.070.048	€ 20.780	€ 730.554	€ 26.259	€ 165.983	€ 20.993	€ 183.013	€ 0

Tabella 74 - TIRE Scenario 2 - Tasso 16,01%

Anno	Costi		Benefici						Valore VANE annuale	VANE
	Costo di costruzione	Costo di Manutenzione	Risparmio di tempo di viaggio monetizzato	Congestione	Incidentalità	Emissioni inquinanti	Inquinamento acustico	Riscaldamento globale		
1	€ 28.093.325								-€ 26.449.226	
2	€ 37.457.766								-€ 33.201.792	-€ 59.651.018
3	€ 28.093.325								-€ 23.444.049	-€ 83.095.067
4		€ 295.000	€ 9.879.667	-€ 44.601	-€ 1.555.151	-€ 56.329	-€ 356.060	-€ 45.034	€ 5.914.113	-€ 77.180.954
5		€ 295.000	€ 9.902.390	-€ 44.703	-€ 1.558.728	-€ 56.458	-€ 356.879	-€ 45.138	€ 5.581.311	-€ 71.599.643
6		€ 295.000	€ 9.925.165	-€ 44.806	-€ 1.562.313	-€ 56.588	-€ 357.700	-€ 45.241	€ 5.267.236	-€ 66.332.407
7		€ 295.000	€ 9.947.993	-€ 44.909	-€ 1.565.906	-€ 56.718	-€ 358.522	-€ 45.345	€ 4.970.833	-€ 61.361.574
8		€ 295.000	€ 9.970.874	-€ 45.013	-€ 1.569.508	-€ 56.849	-€ 359.347	-€ 45.450	€ 4.691.109	-€ 56.670.465
9		€ 295.000	€ 9.993.807	-€ 45.116	-€ 1.573.118	-€ 56.980	-€ 360.173	-€ 45.554	€ 4.427.125	-€ 52.243.341
10		€ 295.000	€ 10.016.792	-€ 45.220	-€ 1.576.736	-€ 57.111	-€ 361.002	-€ 45.659	€ 4.177.995	-€ 48.065.346
11		€ 295.000	€ 10.039.831	-€ 45.324	-€ 1.580.362	-€ 57.242	-€ 361.832	-€ 45.764	€ 3.942.884	-€ 44.122.462
12		€ 295.000	€ 10.062.923	-€ 45.428	-€ 1.583.997	-€ 57.374	-€ 362.664	-€ 45.869	€ 3.721.002	-€ 40.401.460
13		€ 295.000	€ 10.086.067	-€ 45.533	-€ 1.587.640	-€ 57.506	-€ 363.498	-€ 45.975	€ 3.511.606	-€ 36.889.854
14		€ 295.000	€ 10.109.265	-€ 45.637	-€ 1.591.292	-€ 57.638	-€ 364.334	-€ 46.081	€ 3.313.993	-€ 33.575.861
15		€ 295.000	€ 10.132.517	-€ 45.742	-€ 1.594.952	-€ 57.771	-€ 365.172	-€ 46.187	€ 3.127.500	-€ 30.448.361
16		€ 295.000	€ 10.155.821	-€ 45.847	-€ 1.598.620	-€ 57.903	-€ 366.012	-€ 46.293	€ 2.951.501	-€ 27.496.861
17		€ 295.000	€ 10.179.180	-€ 45.953	-€ 1.602.297	-€ 58.037	-€ 366.854	-€ 46.399	€ 2.785.405	-€ 24.711.456
18		€ 295.000	€ 10.202.592	-€ 46.059	-€ 1.605.982	-€ 58.170	-€ 367.698	-€ 46.506	€ 2.628.656	-€ 22.082.800
19		€ 295.000	€ 10.226.058	-€ 46.165	-€ 1.609.676	-€ 58.304	-€ 368.544	-€ 46.613	€ 2.480.728	-€ 19.602.072
20		€ 295.000	€ 10.249.578	-€ 46.271	-€ 1.613.378	-€ 58.438	-€ 369.391	-€ 46.720	€ 2.341.124	-€ 17.260.948
21		€ 295.000	€ 10.273.152	-€ 46.377	-€ 1.617.089	-€ 58.572	-€ 370.241	-€ 46.828	€ 2.209.375	-€ 15.051.573
22		€ 295.000	€ 10.296.780	-€ 46.484	-€ 1.620.808	-€ 58.707	-€ 371.092	-€ 46.935	€ 2.085.041	-€ 12.966.532
23		€ 295.000	€ 10.320.463	-€ 46.591	-€ 1.624.536	-€ 58.842	-€ 371.946	-€ 47.043	€ 1.967.703	-€ 10.998.829
24		€ 295.000	€ 10.344.200	-€ 46.698	-€ 1.628.273	-€ 58.977	-€ 372.801	-€ 47.151	€ 1.856.968	-€ 9.141.861
25		€ 295.000	€ 10.367.991	-€ 46.805	-€ 1.632.018	-€ 59.113	-€ 373.659	-€ 47.260	€ 1.752.464	-€ 7.389.397
26		€ 295.000	€ 10.391.838	-€ 46.913	-€ 1.635.771	-€ 59.249	-€ 374.518	-€ 47.369	€ 1.653.842	-€ 5.735.555
27		€ 295.000	€ 10.415.739	-€ 47.021	-€ 1.639.534	-€ 59.385	-€ 375.380	-€ 47.478	€ 1.560.769	-€ 4.174.786
28		€ 295.000	€ 10.439.695	-€ 47.129	-€ 1.643.305	-€ 59.522	-€ 376.243	-€ 47.587	€ 1.472.933	-€ 2.701.853
29		€ 295.000	€ 10.463.707	-€ 47.237	-€ 1.647.084	-€ 59.659	-€ 377.108	-€ 47.696	€ 1.390.041	-€ 1.311.813
30		€ 295.000	€ 10.487.773	-€ 47.346	-€ 1.650.872	-€ 59.796	-€ 377.976	-€ 47.806	€ 1.311.813	€ 0

Tabella 75 - TIRE scenario 3 - Tasso 6,22%

6. Analisi dei rischi

L'analisi dei rischi ha lo scopo di identificare gli eventi sfavorevoli che possono incidere sulle condizioni di fattibilità dell'opera (realizzazione e gestione). Il fine è poi quello di valutare entro quali limiti i rischi insiti nel progetto possano, eventualmente, influenzare i risultati economici e finanziari dell'opera. Le condizioni di incertezza che il progetto deve affrontare (in particolare le situazioni "peggiorative" rispetto a quanto previsto) possono riguardare una gamma molto vasta di aspetti: i tempi di realizzazione, gli impatti ambientali, la variabilità della domanda, l'evoluzione tecnologica, la partnership, il modello di gestione, i costi, etc.

In particolare, nella tipologia di progetto di cui si sta valutando la fattibilità, le condizioni di incertezza possono ascrivere a:

- fattori di costo
- variazioni nel tasso di sconto;
- variazioni nella valutazione della domanda
- combinazione (contemporaneità) dei precedenti fattori di incertezza.

L'analisi di sensitività consiste nell'esaminare la variazione dei risultati finanziari ed economici in relazione a variazioni derivanti dall'analisi di rischio dei costi, dei rientri e dei benefici. Lo scopo è quello di verificare la validità e stabilità delle ipotesi e dei valori assunti e di identificare le aree di maggiore incertezza (variabili critiche), prevedendo apposite misure per minimizzarne gli effetti negativi. L'analisi di sensitività viene condotta ipotizzando di norma delle variazioni percentuali +/- 10% e +/- 25% delle variabili critiche.

Si può affermare che, nello studio di fattibilità in esame, le variabili più significative, in termini di influenza economica, siano i costi di costruzione e l'impatto del risparmio di tempo monetizzato.

Per i tre scenari considerati, verranno analizzati delle ipotesi peggiorative, con costi di investimento pari a + 10% e + 25%; le stesse percentuali saranno applicate, in modo peggiorativo, ai $vei \cdot h$ e ai $vei \cdot km$, nell'ipotesi che il modello abbia sovrastimato gli impatti, che sono calcolati in base al risparmio di tempo e alle distanze percorse.

6.1. Ipotesi 1 – Aumento 10%

In questo scenario di rischio, i costi di costruzione aumentano del 10% rispetto a quanto stimato, mentre gli impatti presentano un peggioramento del 10%.

Scenario	Costo di investimento [€]
Scenario 1 - Ipotesi A - Variante Stretta	€ 86.627.293,4
Scenario 2 - Ipotesi B - Variante Larga	€ 86.760.834,8
Scenario 3 - Ipotesi C - Adeguamento SS125	€ 103.008.857,9

Tabella 76 - Aumento Costi 10%

Impatto	Variazione tempo di viaggio	-€ 10.740.675,00	-€ 12.776.625,00	-€ 8.891.700,00
	Congestione	€ 34.144,55	-€ 17.617,39	€ 49.060,87
	Incidentalità	€ 1.191.371,74	-€ 619.375,39	€ 1.710.665,94
	Emissioni Inquinanti	€ 43.003,46	-€ 22.262,54	€ 61.961,79
	Inquinamento acustico	€ 271.828,57	-€ 140.723,40	€ 391.665,74
	Riscaldamento Globale	€ 34.380,51	-€ 17.798,51	€ 49.537,35
	Totale impatti	-€ 9.165.946,18	-€ 13.594.402,22	-€ 6.628.808,31

Tabella 77 - riepilogo impatti 10%

Scenario	Anno VANE positivo	VANE 30° anno	TIRE
1	15	€ 71.230.547,64	8,56%
2	11	€ 147.330.147,52	13,21%
3	26	€ 12.030.553,62	3,92%

Tabella 78 - Riepilogo VANE, TIRE

Ipotizzando uno scenario di questo tipo, lo scenario 2, il migliore, subisce una lieve diminuzione degli indicatori, andandosi a ripagare all' 11° anno invece che al 10°. Lo scenario 3 invece si ripagherebbe 6 anni dopo (26° invece che 20°), con un TIRE di poco superiore al tasso di rendimento interno al 3%.

6.2. Ipotesi 2 – Aumento 25%

Lo scenario ipotizza un aumento dei costi di costruzione pari al 25% e una riduzione del 25% degli impatti positivi (e un maggiore aggravio del 25% per quelli già negativi).

Come si può notare dalle tabelle positive, le condizioni peggiorano nettamente per lo scenario 1 (che si ripaga al 25° anno), mentre lo scenario 3 presenta un VAN negativo al 30° anno. Lo scenario 2 continua ad essere ampiamente positivo, ripagandosi al 14 anno, con un TIRE superiore al 9%.

Scenario	Costo di investimento [€]
Scenario 1 - Ipotesi A - Variante Stretta	€ 98.440.106,2
Scenario 2 - Ipotesi B - Variante Larga	€ 98.591.857,7
Scenario 3 - Ipotesi C - Adeguamento SS125	€ 117.055.520,3

Tabella 79 - Aumento Costi 25%

		Scenario		
		1	2	3
Impatto	Variazione tempo di viaggio	-€ 8.950.562,50	-€ 10.647.187,50	-€ 7.409.750,00
	Congestione	€ 38.800,62	-€ 14.681,16	€ 55.750,99
	Incidentalità	€ 1.692.289,40	-€ 387.109,62	€ 2.429.923,21
	Emissioni Inquinanti	€ 61.084,47	-€ 13.914,09	€ 88.013,90
	Inquinamento acustico	€ 386.120,13	-€ 87.952,13	€ 556.343,38
	Riscaldamento Globale	€ 48.835,95	-€ 11.124,07	€ 70.365,56
	Totale impatti	-€ 6.723.431,94	-€ 11.161.968,56	-€ 4.209.352,96

Tabella 80 - Riepilogo impatti 25%

1	25	€ 18.050.752,70	4,42%
2	14	€ 94.306.696,61	9,33%
3	-	-€ 42.858.506,11	-0,46%

Tabella 81 - Riepilogo VANE, TIRE

7. Considerazioni conclusive

Lo studio di fattibilità, attraverso l'analisi economica delle alternative di progetto individuate, ha consentito di stimare che il nuovo collegamento a completamento della nuova SS554 nella sua configurazione infrastrutturale sviluppata nella soluzione 2 (Variante Larga) contribuisce a generare un soddisfacente miglioramento del benessere della collettività, sia di quella direttamente influenzata ed in stretto rapporto con il corridoio servito, sia quella sull'intera rete dei collegamenti stradali della Città Metropolitana di Cagliari e del versante costiero sud-occidentale del Golfo di Cagliari, raggiungendo valori di VANE positivi dopo 10 anni di esercizio.

Inoltre l'alternativa 2 presenta sempre VANE positivi, anche nelle situazioni peggiorative in relazione ai fattori di incertezza e rischio, che a questo livello di studio sono sempre presenti. L'analisi consente di poter affermare con una più che sufficiente probabilità, che il progetto di realizzazione del nuovo collegamento stradale di completamento della nuova SS554 risulta economicamente valido ed efficace nel raggiungimento degli obiettivi voluti. Questo è ulteriormente avvalorato dai buoni risultati di fattibilità economica raggiunti anche dalle altre soluzioni alternative di progetto analizzate.

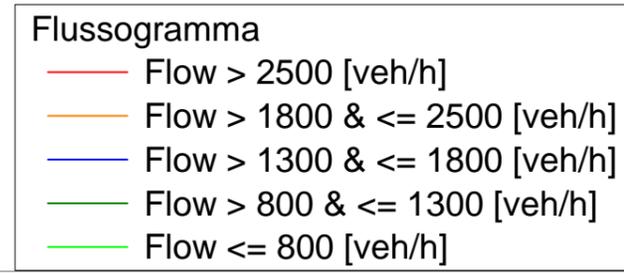
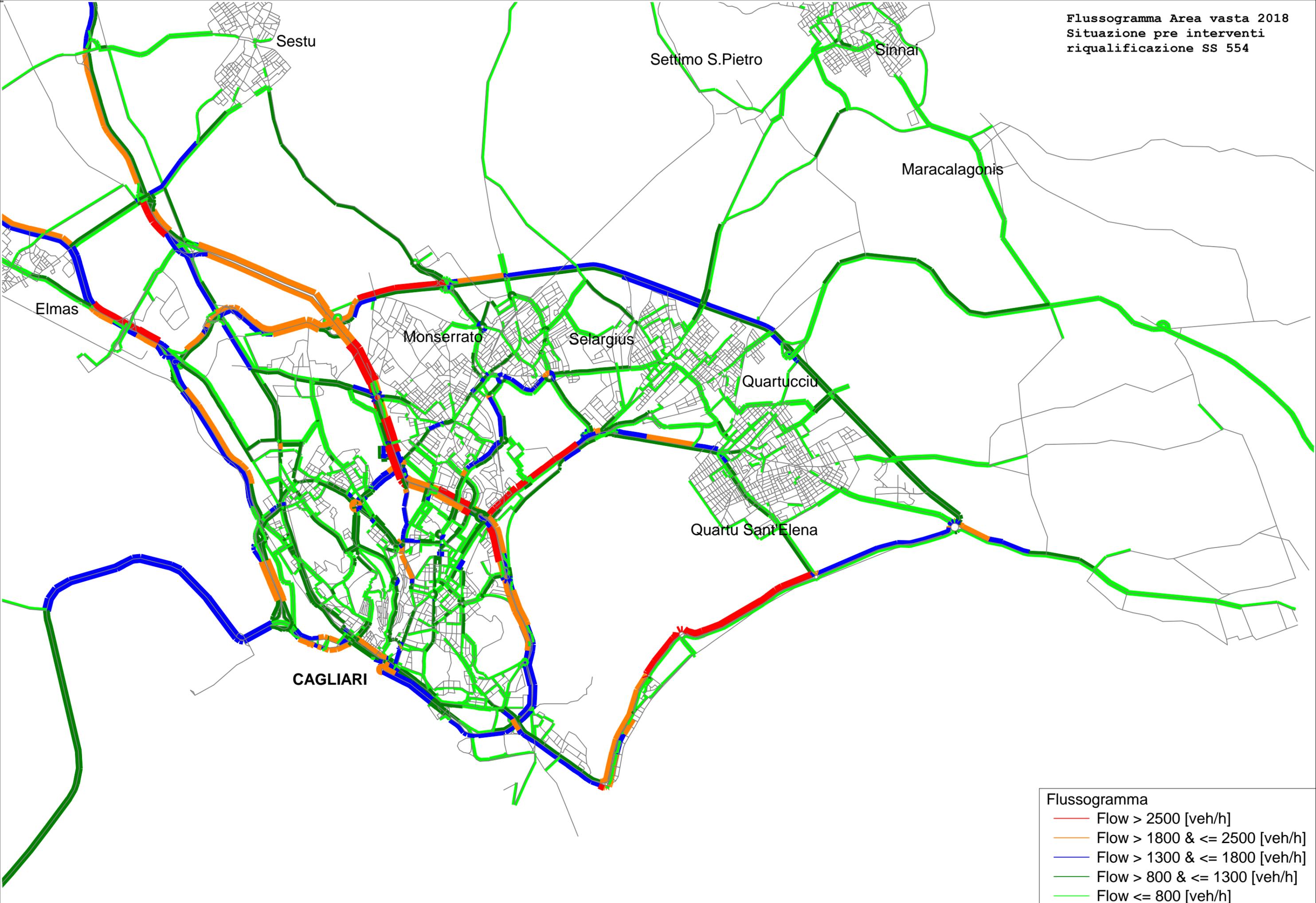
ANAS SpA

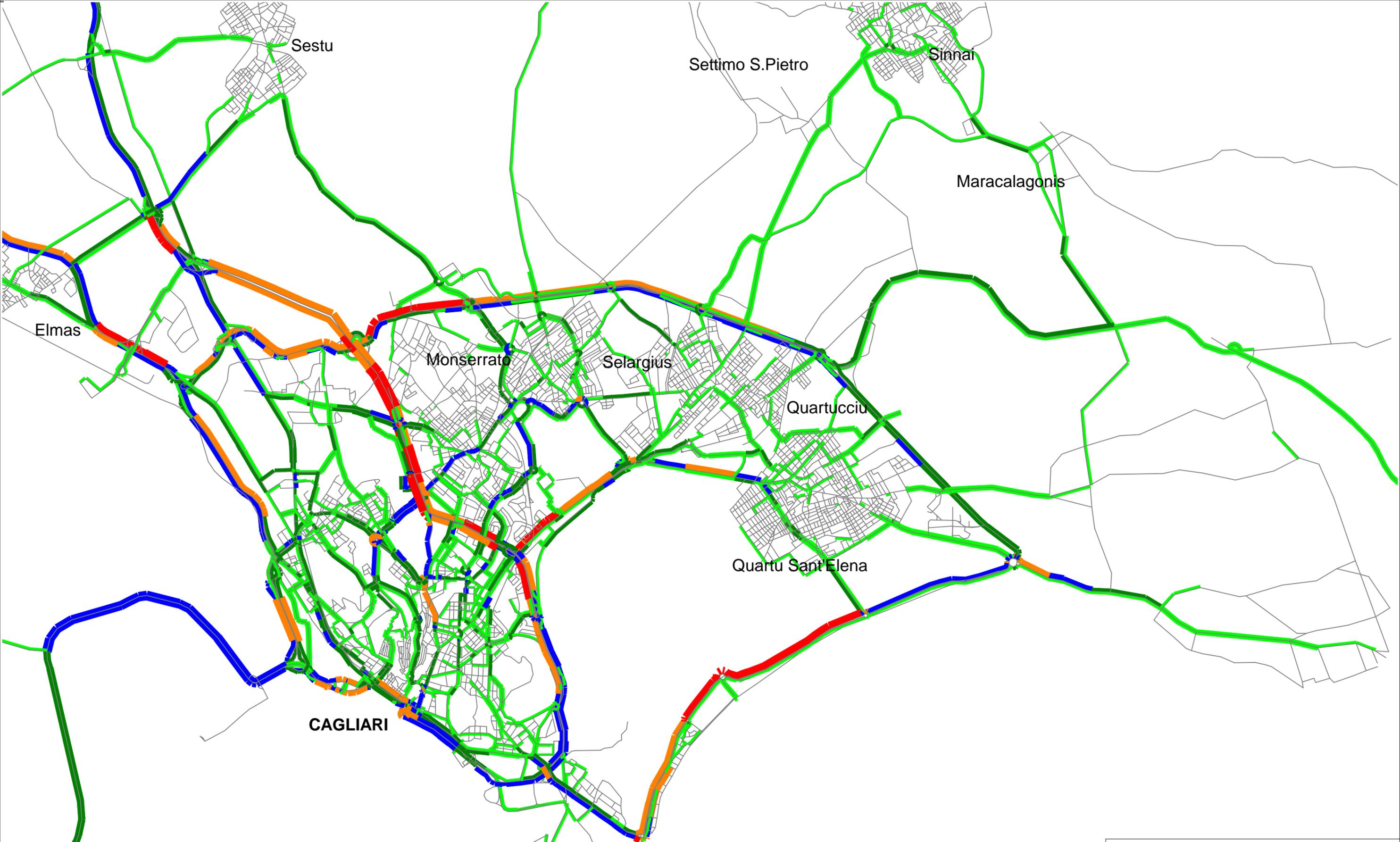
Studio di traffico e analisi costi-benefici del progetto di Fattibilità tecnico-economica dell'intervento CA352 – “SS125 Orientale Sarda – Connessione tra la SS554 e la nuova SS 554”



Allegato 1 - Flussogrammi

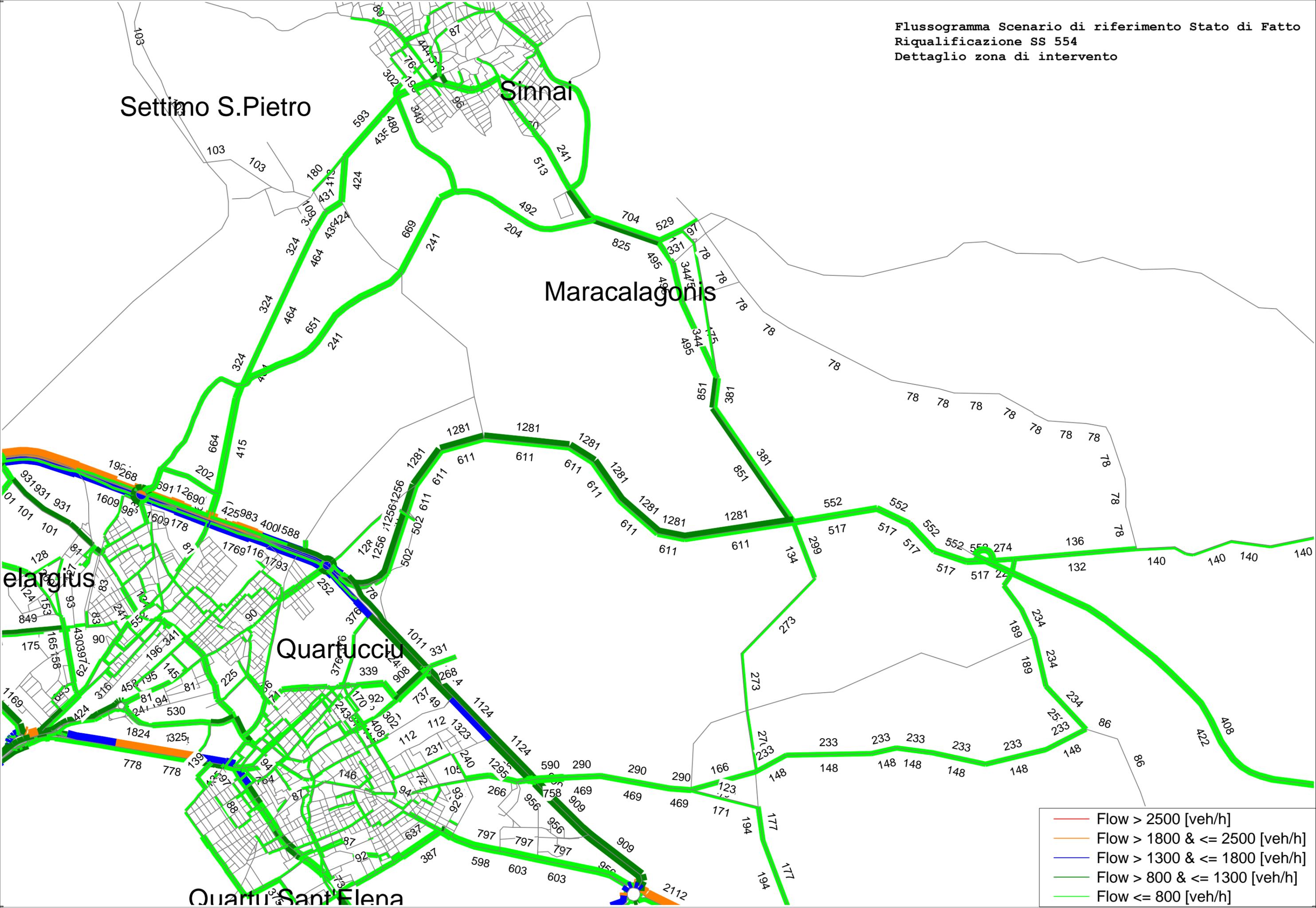
Luglio 2018



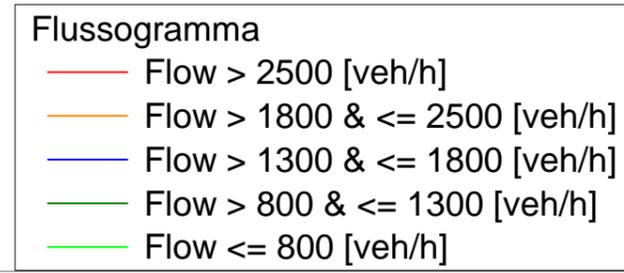
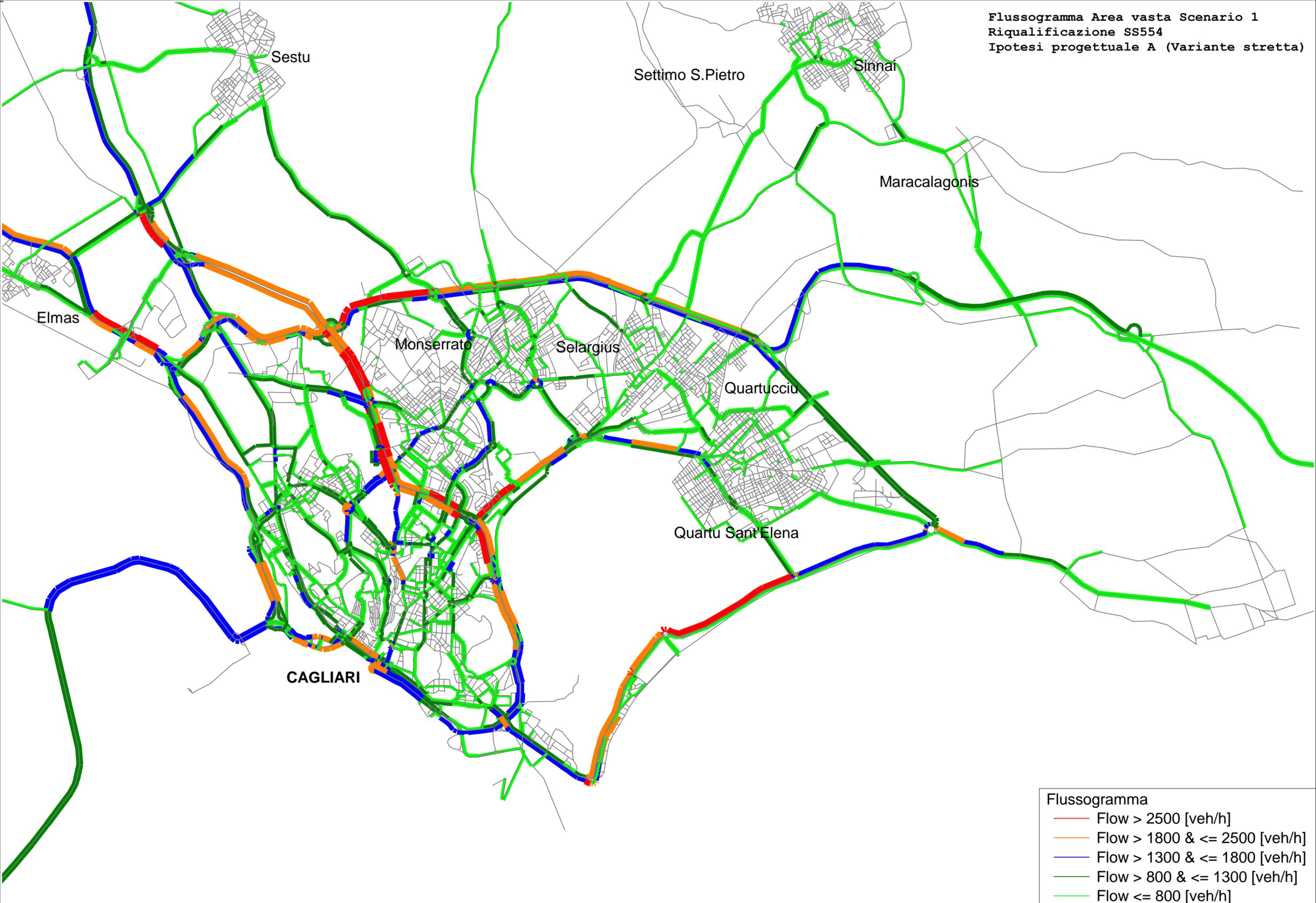


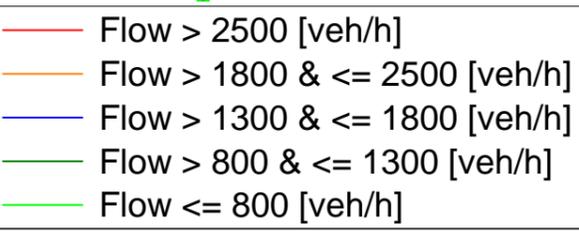
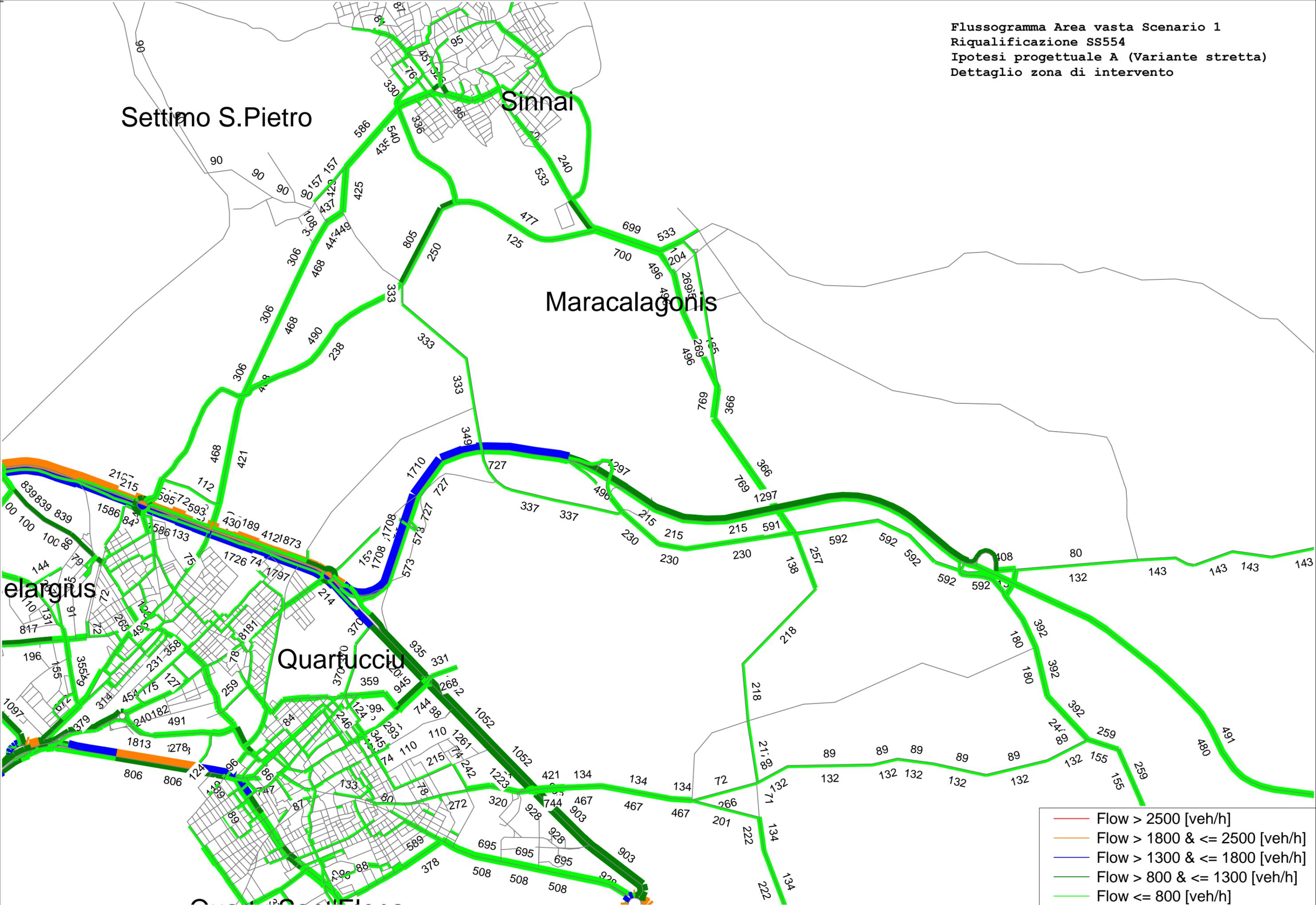
Flussogramma Scenario di riferimento Stato di Fatto
 Riqualificazione SS 554

- Flussogramma**
- Flow > 2500 [veh/h]
 - Flow > 1800 & <= 2500 [veh/h]
 - Flow > 1300 & <= 1800 [veh/h]
 - Flow > 800 & <= 1300 [veh/h]
 - Flow <= 800 [veh/h]



- Flow > 2500 [veh/h]
- Flow > 1800 & <= 2500 [veh/h]
- Flow > 1300 & <= 1800 [veh/h]
- Flow > 800 & <= 1300 [veh/h]
- Flow <= 800 [veh/h]





Sestu

Settimo S.Pietro

Sinnai

Maracalagonis

Monserato

Selargius

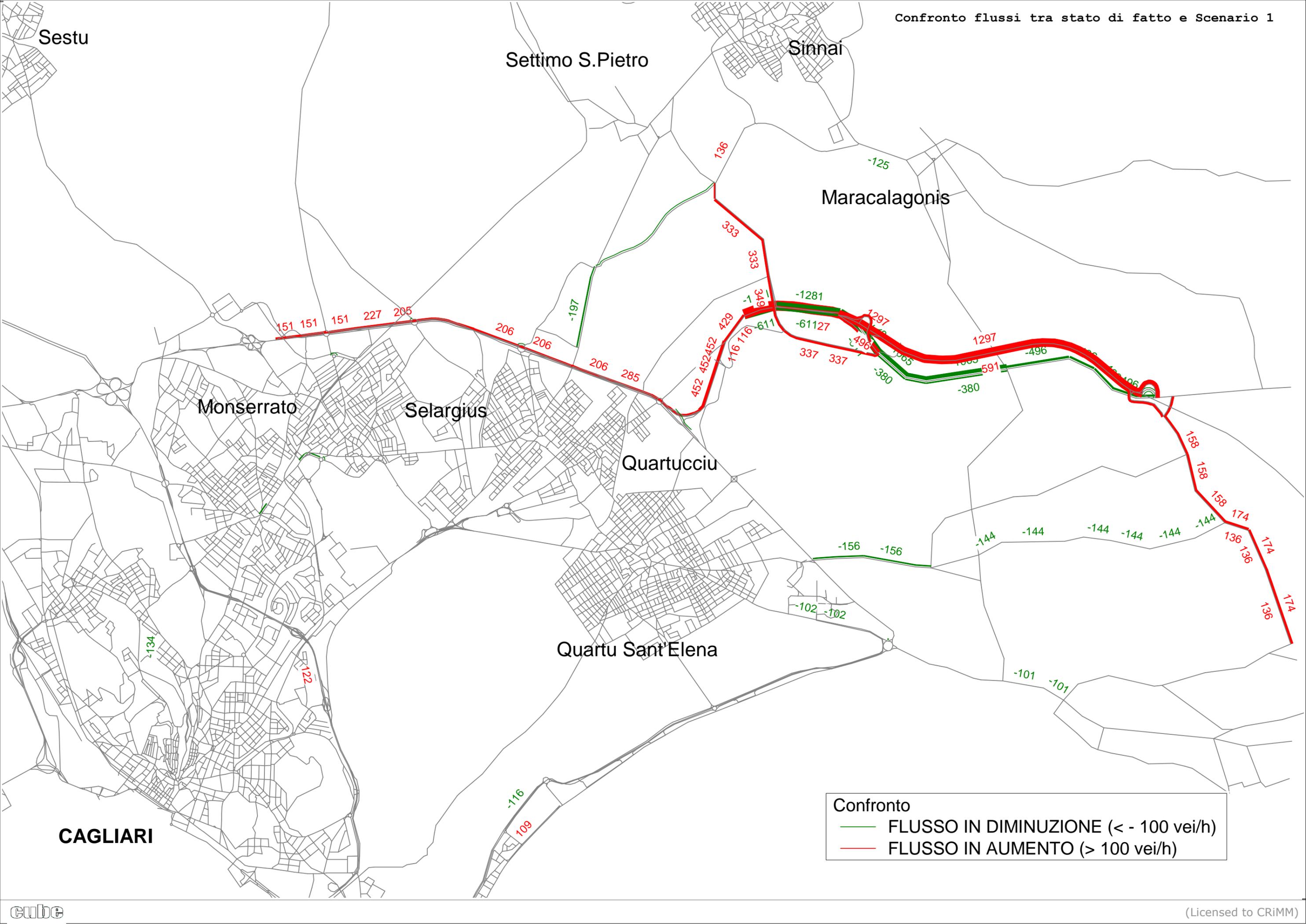
Quartucciu

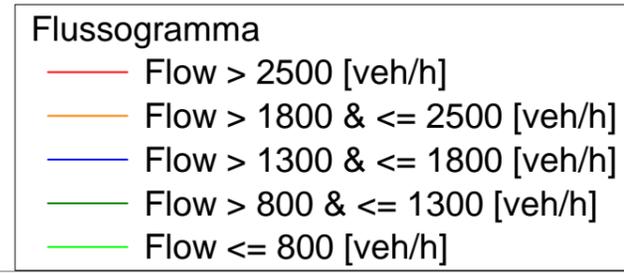
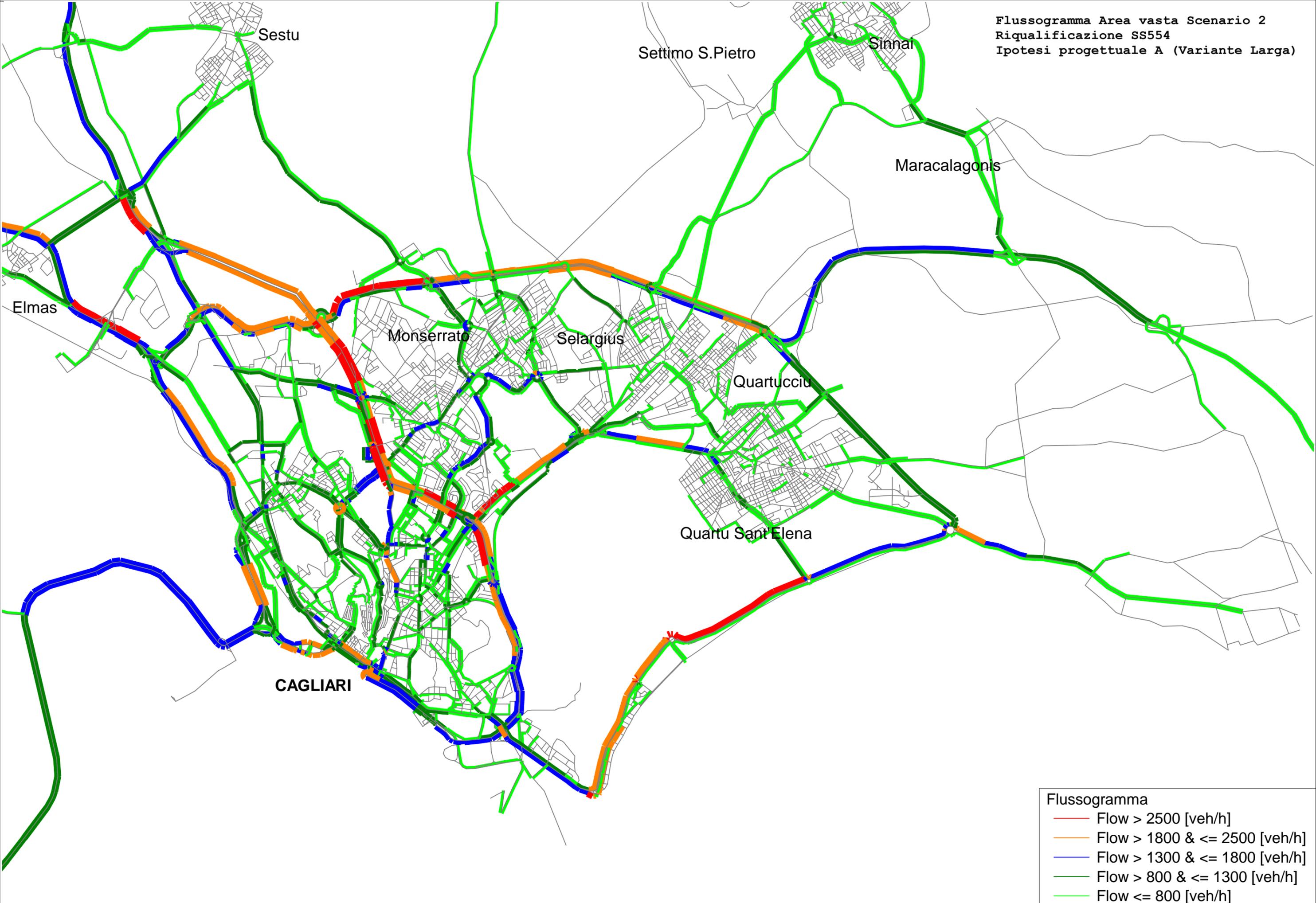
Quartu Sant'Elena

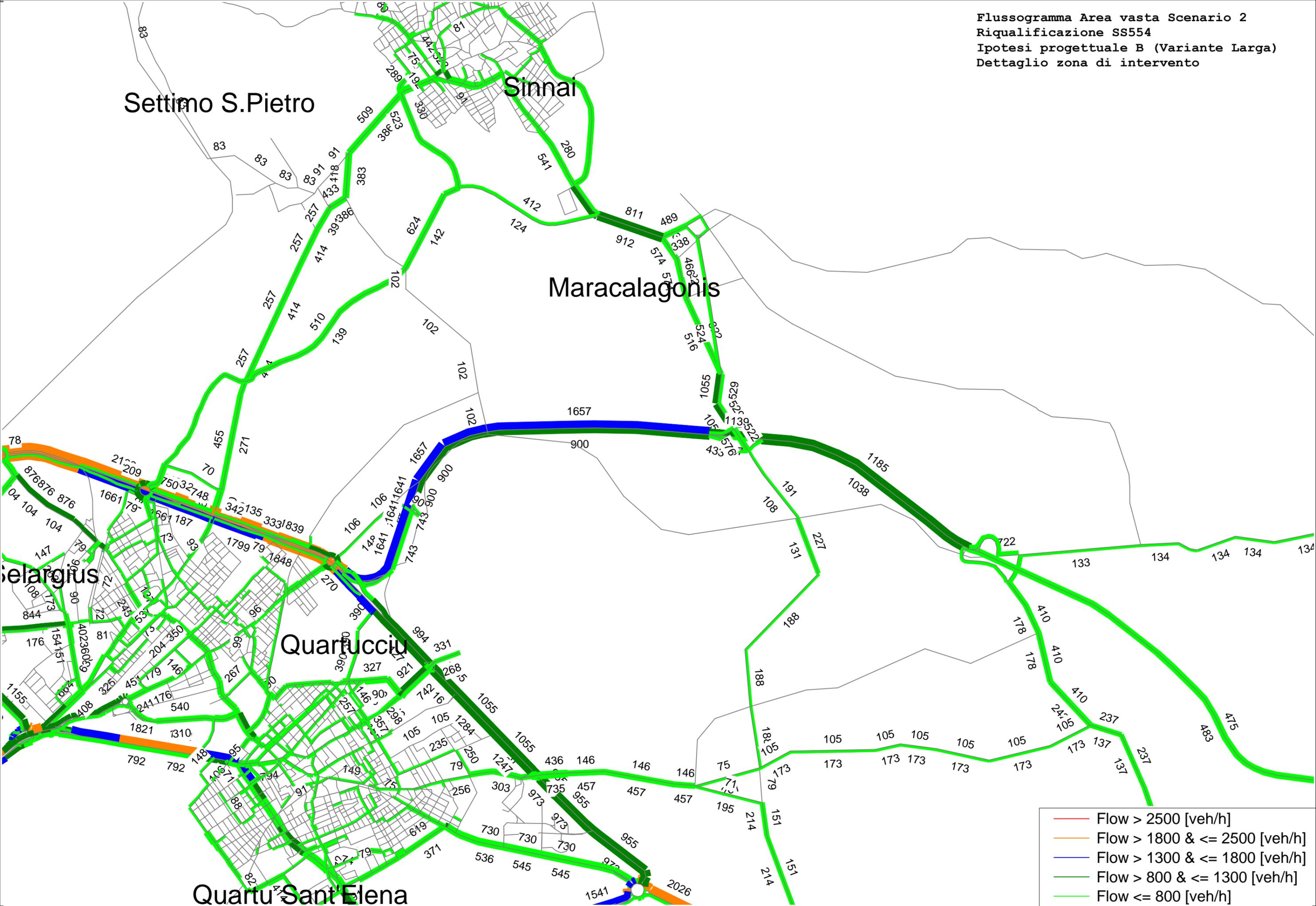
CAGLIARI

Confronto

- FLUSSO IN DIMINUZIONE (< - 100 vei/h)
- FLUSSO IN AUMENTO (> 100 vei/h)







Sestu

Settimo S.Pietro

Sinnai

Maracalagonis

Monserato

Selargius

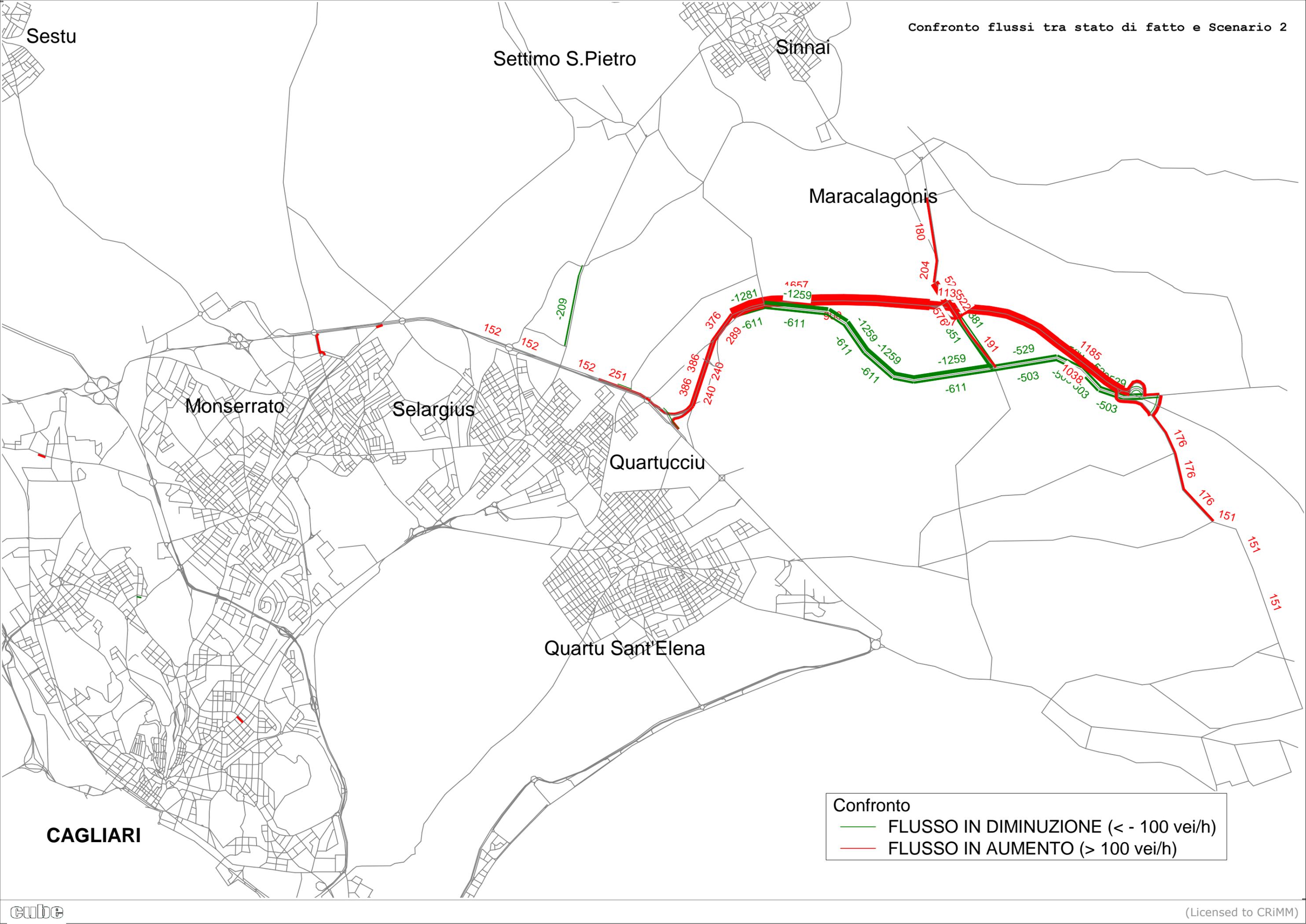
Quartucciu

Quartu Sant'Elena

CAGLIARI

Confronto

- FLUSSO IN DIMINUZIONE (< - 100 vei/h)
- FLUSSO IN AUMENTO (> 100 vei/h)



Settimo S. Pietro

Sinnai

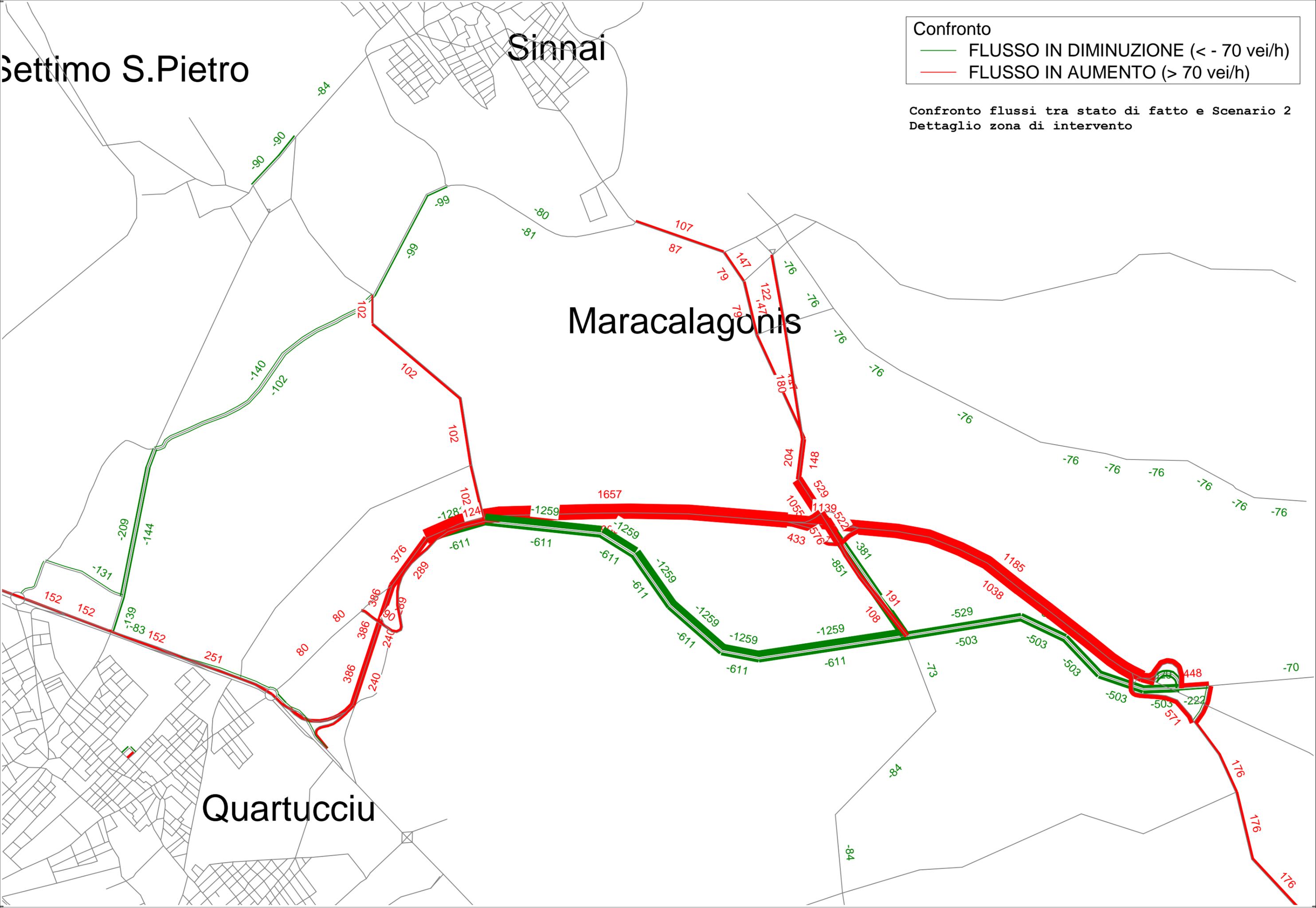
Maracalagonis

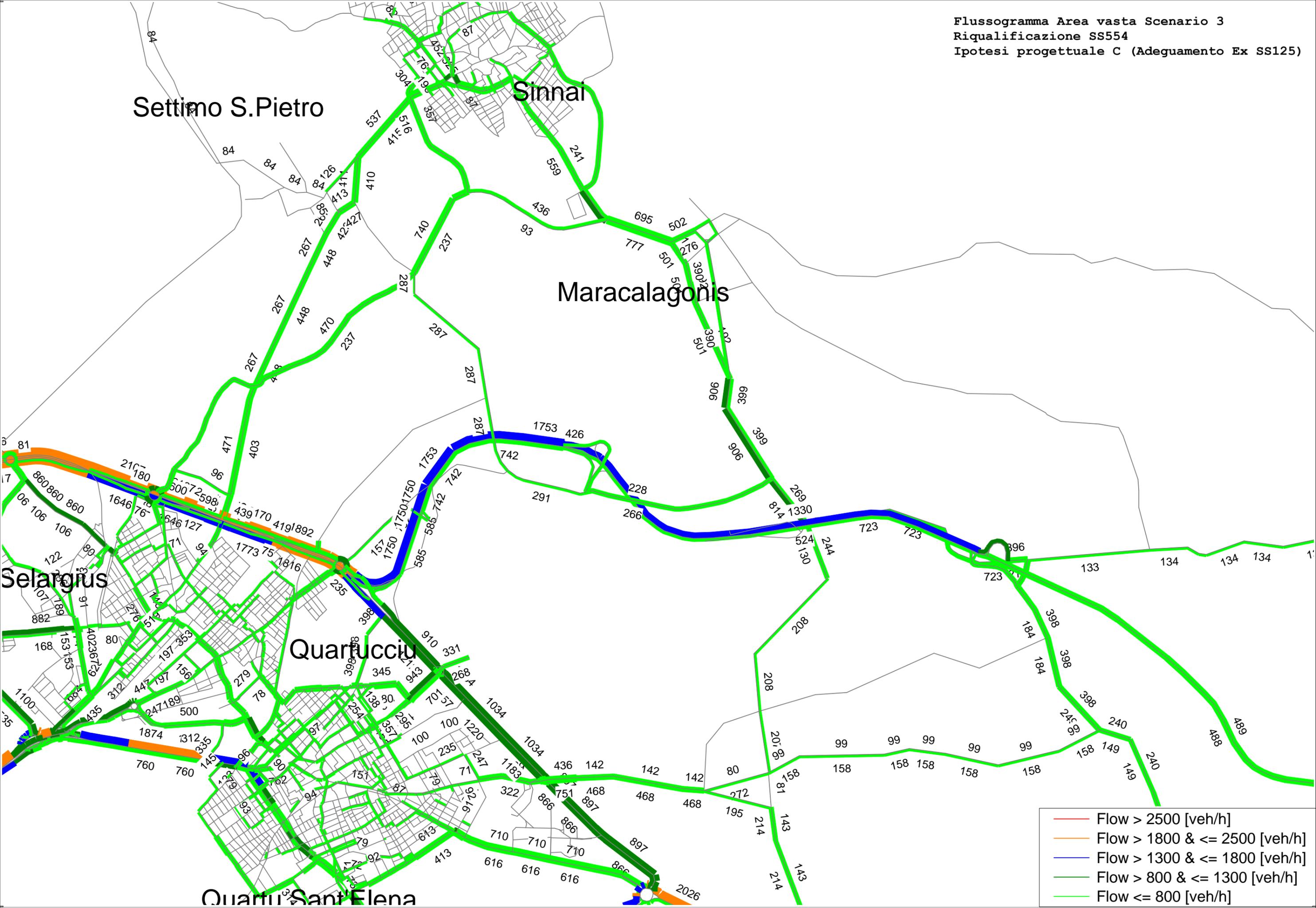
Quartucciu

Confronto

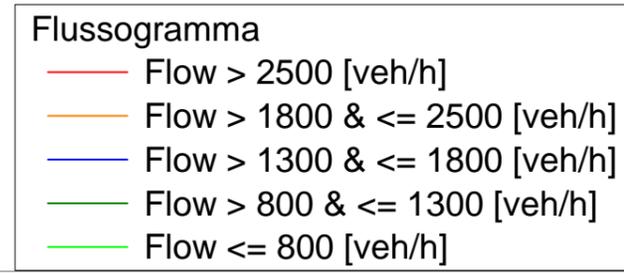
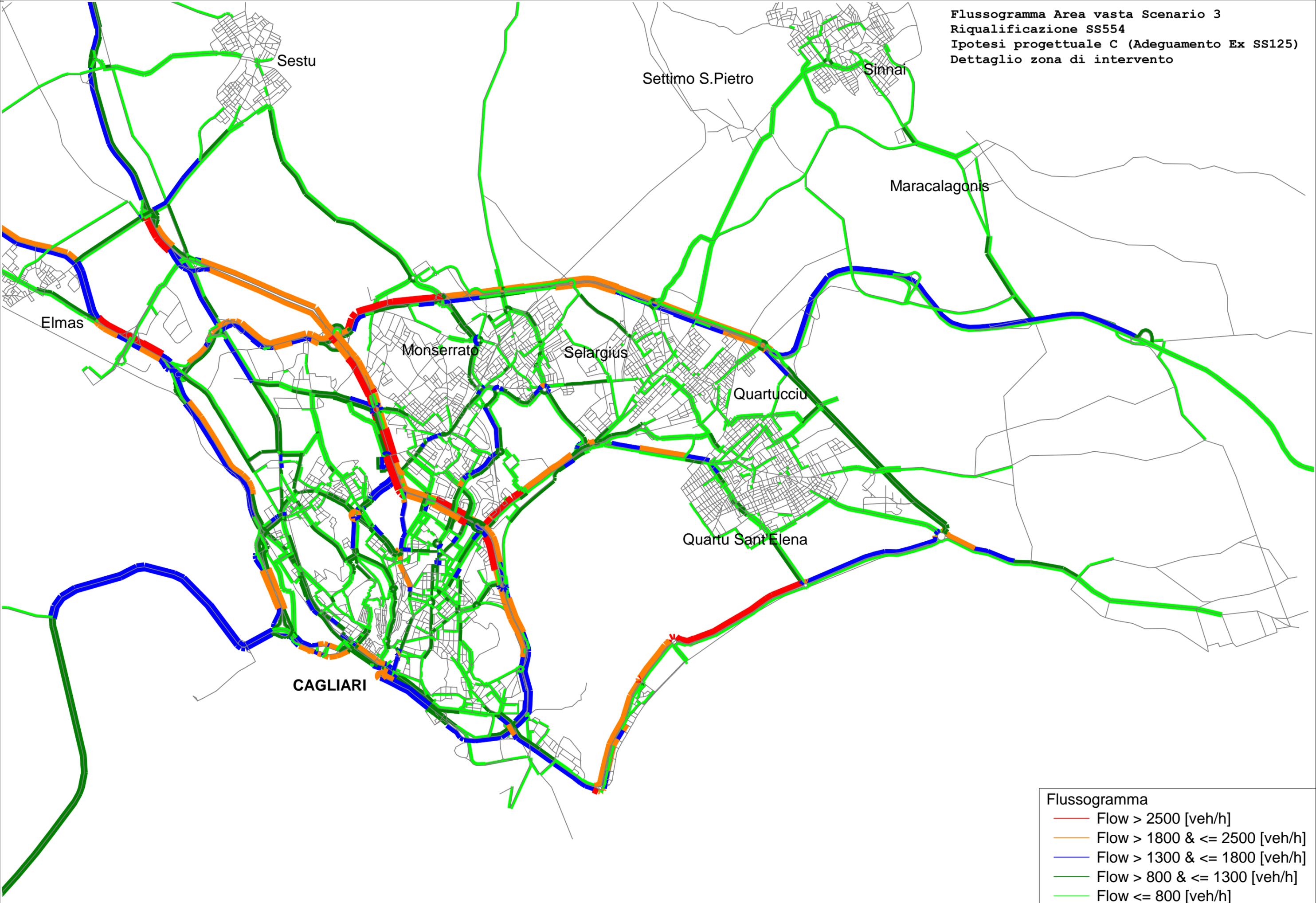
- FLUSSO IN DIMINUZIONE (< - 70 vei/h)
- FLUSSO IN AUMENTO (> 70 vei/h)

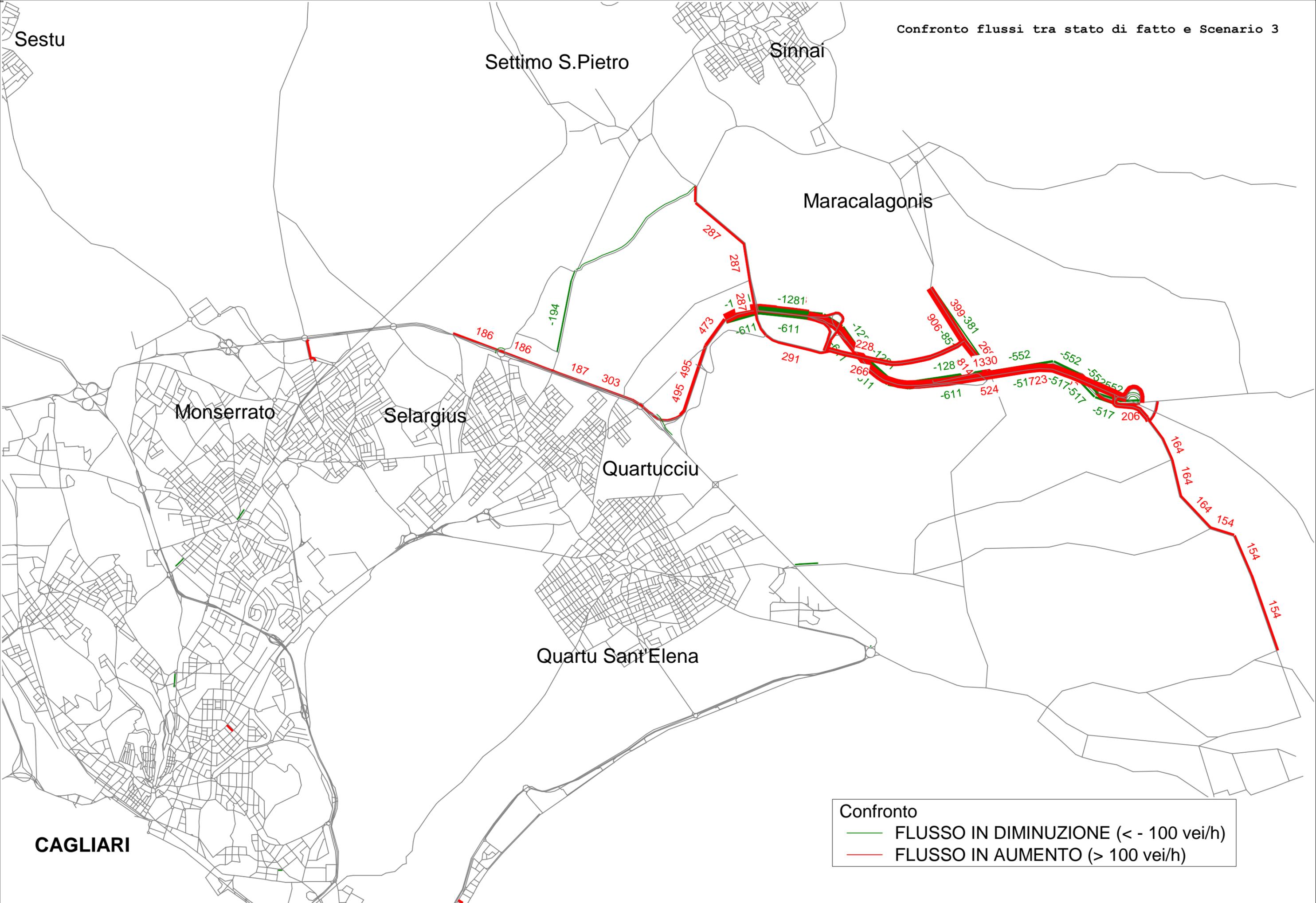
Confronto flussi tra stato di fatto e Scenario 2
Dettaglio zona di intervento





- Flow > 2500 [veh/h]
- Flow > 1800 & <= 2500 [veh/h]
- Flow > 1300 & <= 1800 [veh/h]
- Flow > 800 & <= 1300 [veh/h]
- Flow <= 800 [veh/h]





Confronto
— FLUSSO IN DIMINUZIONE (< - 100 vei/h)
— FLUSSO IN AUMENTO (> 100 vei/h)

Settimo S. Pietro

Sinnai

Maracalagonis

Quartucciu

Confronto

- FLUSSO IN DIMINUZIONE (< - 70 vei/h)
- FLUSSO IN AUMENTO (> 70 vei/h)

Confronto flussi tra stato di fatto e Scenario 3
 Dettaglio zona di intervento

