



Città
di Lucca

La casa
della Città

il Piano Operativo

Quadro conoscitivo

**Studio per la verifica di fattibilità
nuovo casello autostradale (A11)
in località Mugnano**

ASSESSORE ALL'URBANISTICA
Serena Mammini

SINDACO DI LUCCA
Alessandro Tambellini

QC.Sa.1



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Accordo di collaborazione tra il Comune di Lucca ed il Centro di Servizi Polo Universitario
"Sistemi di Trasporto e Logistica" dell'Università di Pisa, per la verifica di fattibilità, la
valutazione e la programmazione di un eventuale progetto per un nuovo casello autostradale in
località Mugnano.

Valutazione e programmazione di livello regionale e intercomunale di un possibile nuovo casello autostradale (A11) in località Mugnano

RELAZIONE TECNICA



Responsabile scientifico:

Prof. Ing. Antonio PRATELLI

Collaboratori:

Dott. Ing. Lorenzo BROCCINI

Dott. Ing. Chiara PRATELLI



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. STATO ATTUALE	6
2.1 RILIEVI DI TRAFFICO- LUCCA OVEST	6
2.2 ANALISI FLUSSI DI TRAFFICO- LUCCA EST	10
2.3 SIMULAZIONE DINAMICA DELLO STATO ATTUALE CON AIMSUN	12
2.4 ANALISI SICUREZZA SURROGATA	14
2.5 STIMA LOS CON HCS+	19
3. STATO DI PROGETTO	23
3.1 NUOVO CASELLO MUGNANO	23
3.1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	23
3.1.2 PROGETTO PRELIMINARE	26
3.2 PARCHEGGIO SCAMBIATORE LUCCA EST	35
3.2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	35
3.2.2 PROGETTO PRELIMINARE	37
3.3 ANALISI SICUREZZA E PRESTAZIONI DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO	43
3.3.1 ANALISI FLUSSI DI TRAFFICO- STATO DI PROGETTO	43
3.3.2 SIMULAZIONE DINAMICA DELLO STATO DI PROGETTO CON AIMSUN	44
3.3.3 ANALISI SICUREZZA SURROGATA	46
4. CONCLUSIONI	51
5. ALLEGATI	54



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di **LOGI**stica della Toscana



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



1. PREMESSA

La presente relazione tecnica è parte del <<Accordo di collaborazione tra il Comune di Lucca ed il Centro di Servizi Polo Universitario "Sistemi di Trasporto e Logistica" dell'Università di Pisa, per la verifica di fattibilità, la valutazione e la programmazione di un eventuale progetto per un nuovo casello autostradale in località Mugnano>>.

Nel Piano Strutturale (PS) del Comune di Lucca, approvato con deliberazione di Consiglio Comunale n. 39 del 24 aprile 2017, tra gli obiettivi di orientamento strategico per la rete infrastrutturale e la mobilità, è prevista anche la definizione di un corridoio di salvaguardia infrastrutturale, riferito ad aree non edificate poste in fregio all'autostrada. Per la verifica di fattibilità, la valutazione e la programmazione di livello regionale e intercomunale di un possibile nuovo casello autostradale (A11), in località Mugnano, ai confini con il Comune di Capannori da raccordarsi con le previsioni di programmazione infrastrutturale poste in altre UTOE (progetto assi viari); il Comune di Lucca, con Deliberazione di Consiglio Comunale n.16 del 13 marzo 2018 ha approvato le "Linee di indirizzo per la formazione del Piano Operativo", la cui redazione è stata avviata con Deliberazione di Consiglio Comunale n.109 del 17 dicembre 2019.

Nella relazione di avvio del Procedimento del Piano Operativo (PO), relativamente all'obiettivo di orientamento del PS di cui al precedente punto, viene delineata, quale conseguente azione correlata, la definizione dello stesso Corridoio per la tutela delle aree poste in fregio all'autostrada A11, ai fini di una analisi di fattibilità per la localizzazione di un nuovo casello autostradale in località Mugnano.

Si rende, quindi, necessario per una futura eventuale progettazione di un nuovo casello autostradale (A11) in località Mugnano, la realizzazione di una analisi della fattibilità che sarà particolarmente utile nel momento in cui il PO dovrà procedere alle "determinazioni spaziali finalizzate a previsioni, azioni e interventi necessari alla individuazione di nuove infrastrutture viarie e per la mobilità generalmente di ruolo e livello sovralocale".



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Il suddetto accordo tra le parti prevede lo sviluppo dei seguenti punti:

- Reperimento, proiezione ed analisi dei dati di traffico dei caselli autostradali di Capannori, Lucca est e Lucca ovest, oltre che nelle tratte ivi comprese;
- Valutazione della sicurezza della circolazione dei due nodi di traffico, attuale e previsione Piano Strutturale, mediante un modello di simulazione dinamica;
- Analisi del grado di compatibilità dello Stato Attuale e di quello previsto di PS con il progetto definitivo Anas della Tangenziale Nord-Sud di Lucca;
- Stima dei benefici diretti, positivi e negativi, che si potrebbero aspettare dallo spostamento del casello di Lucca Est;
- Esame descrittivo dei benefici di tipo indiretto e delle esternalità che potrebbero derivare dallo spostamento del casello.

Oltre ai suddetti punti, è stato redatto un progetto preliminare per la realizzazione del nuovo casello di Mugnano nonché per la trasformazione dell'attuale casello di Lucca Est in un parcheggio scambiatore autostradale, a servizio dei soli mezzi provenienti dall'autostrada.

L'autostrada A11 (E76), nota anche come Firenze-Mare, costruita a cavallo tra il 1928 e il 1932, è gestita da Autostrade per l'Italia. Costituisce l'arteria più trafficata della Regione Toscana e, con i suoi 81.2 km di lunghezza, collega Firenze al litorale tirrenico centro settentrionale (Pisa Nord), attraversando la pianura dell'Arno, la piana industrializzata di Prato e Pistoia, la Valdinievole e la piana di Lucca.

In corrispondenza della Città di Lucca, una diramazione di 18 km, la cosiddetta bretella Lucca-Viareggio, agevola il collegamento con l'autostrada A12 in direzione Genova. Su quest'ultima, gestita dalla società SALT-Società Autostrada Ligure Toscana S.p.A., si trova il Casello di Lucca Ovest.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana



Figura 1- Autostrada A11 e diramazione bretella Lucca-Viareggio- A12.

Il tratto dell’A11 oggetto di questo studio si trova all’interno dei confini del Comune di Lucca, ed in particolare, tra lo svincolo in direzione Lucca Ovest-A12 e la località Mugnano, localizzata al confine con il Comune di Capannori.

Lo studio è motivato dalla presenza, allo Stato Attuale, sul tratto tra gli svincoli di Lucca Est e Lucca Ovest, di un elevato traffico, in gran parte pesante, che, unitamente alla sua ridotta lunghezza, comporta un alto tasso di incidentalità.

La presente relazione si articola quindi in due parti:

- la prima parte riguarda l’indagine delle criticità esistenti allo Stato Attuale nello specifico tratto dell’A11 compreso tra lo svincolo del Casello di Lucca Est e lo svincolo in direzione Casello di Lucca Ovest-A12;
- la seconda parte riguarda invece la proposta di una soluzione progettuale che vede la realizzazione di un nuovo casello autostradale in località Mugnano (LU), alternativo all’attuale casello di Lucca Est, nonché la trasformazione di quest’ultimo in un parcheggio scambiatore autostradale. La progettazione è seguita poi da una valutazione dei benefici, in termini di sicurezza surrogata, dello Stato di Progetto a confronto con lo Stato Attuale.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

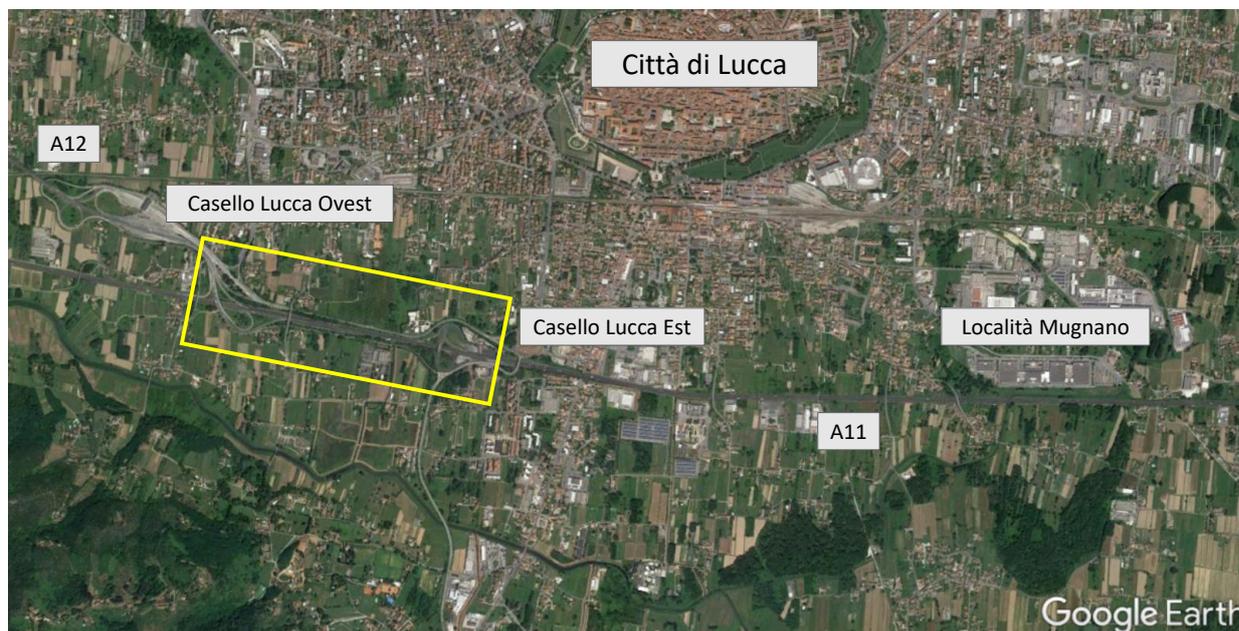


Figura 2- Inquadramento generale dello Stato Attuale.



Figura 3- Ingrandimento del tratto autostradale in oggetto allo Stato Attuale.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

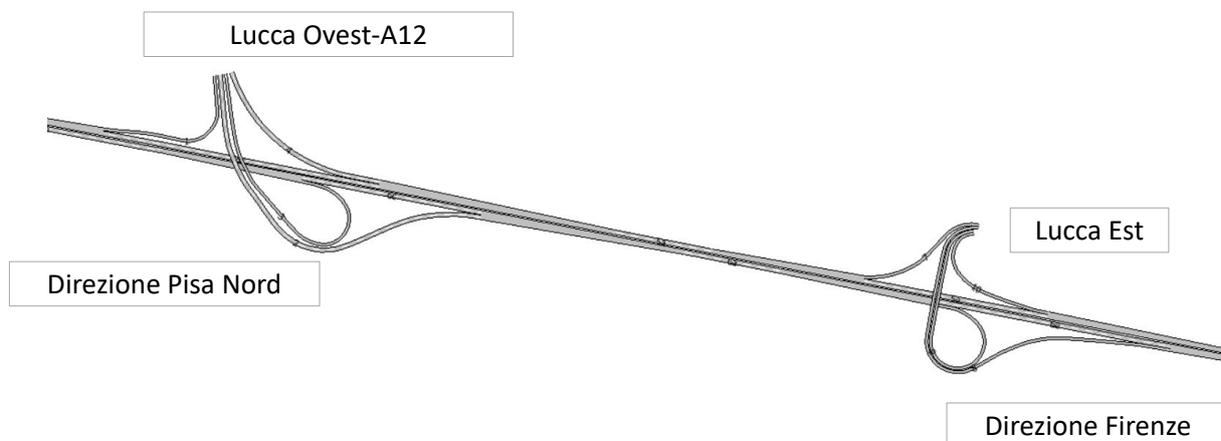


Figura 4- Schematizzazione del tratto autostradale in oggetto allo Stato Attuale.



Figura 5- Schematizzazione del tratto autostradale in oggetto allo Stato di Progetto.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

2. STATO ATTUALE

La prima parte del presente elaborato tratta lo studio e l'analisi dello Stato Attuale del tratto autostradale in oggetto.

In particolare, a seguito dello studio dei flussi e della modellazione dinamica del tratto, sono stati analizzati:

- La sicurezza surrogata, con riferimento al numero di incidenti che possono verificarsi sul tratto;
- Il livello di Servizio dei tratti dell'infrastruttura.

2.1 RILIEVI DI TRAFFICO- LUCCA OVEST

In questo paragrafo sono riportati i risultati delle misure di traffico effettuate dai tecnici sperimentatori nel giorno 25 giugno 2020 all'incrocio sul tratto Autostrada A11- Firenze Mare tra il Casello Lucca Est e quello dalla diramazione A11-A12 Lucca Ovest, presso il Comune di Lucca.

Tali misure sono state eseguite con strumentazioni specifiche, quali:

- Telecamere digitali SONY DCR-SX 34;
- Cavalletti treppiede.

Sono stati individuate due postazioni di misura, adatte allo scopo del rilievo, localizzate in:

- Postazione 1: Cavalcavia di Via di Ponte Salissimo;
- Postazione 2: Cavalcavia di Via di Villa Altieri.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

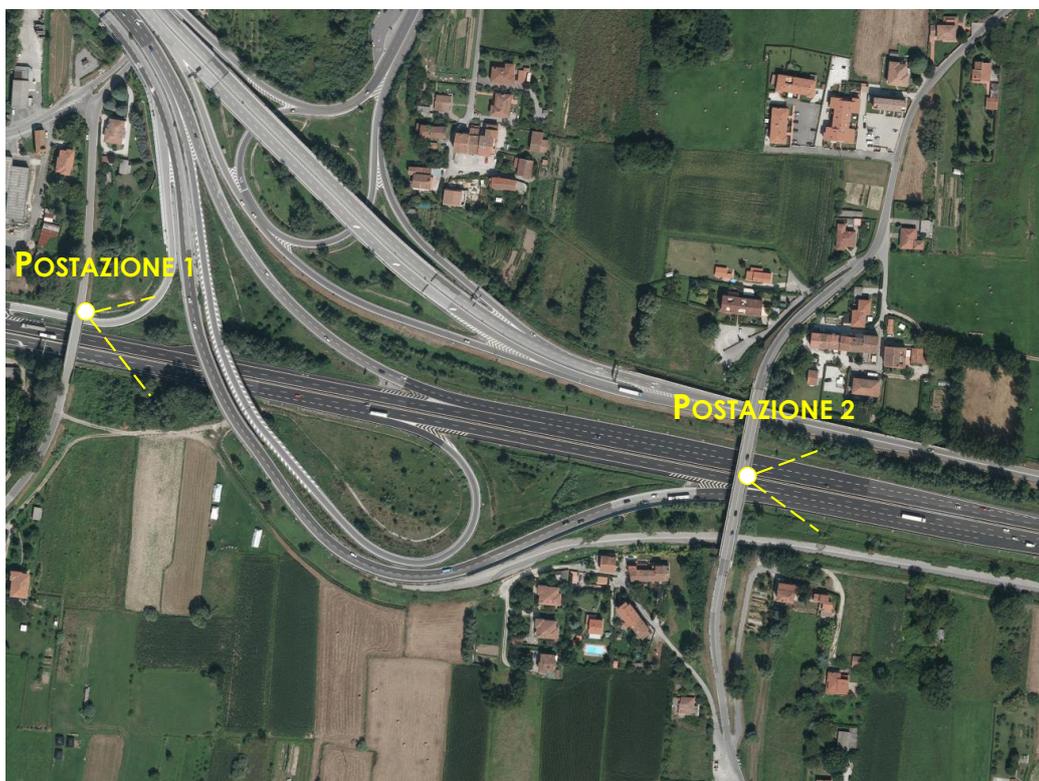


Figura 6- Postazioni di rilievo.

I rilievi di traffico sono stati effettuati dai tecnici sperimentatori nel giorno feriale di giovedì 25 giugno 2020, nel periodo di punta della sera (ore 18:15– 19:15) in condizioni di meteo sereno, nel Comune di Lucca in corrispondenza dell'incrocio sul tratto dell'Autostrada A11- Firenze Mare tra il Casello di Lucca Est (Postazione 2) e quello dalla diramazione A11-A12 di Lucca Ovest (Postazione 1).

A seguire si riporta lo schema dei rilievi. A ciascun ramo (rampa o tratto autostradale) oggetto di rilievo è stato assegnato un numero corrispondente per facilità di lettura, di cui:

RAMO 1: Rampa in ingresso su A11 da Lucca Ovest- A12 in direzione Pisa Nord;

RAMO 2: Rampa in ingresso su A11 da Lucca Ovest- A12 in direzione Firenze;

RAMO 3: Rampa in uscita da A11- Pisa Nord verso Lucca Ovest- A12;

RAMO 4: Rampa in uscita da A11- Firenze verso Lucca Ovest- A12;



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

RAMO 5a: Tratto autostradale da A11-Firenze verso Pisa Nord- prima dell'incrocio con Lucca Ovest- A12;

RAMO 5b: Tratto autostradale da A11-Firenze verso Pisa Nord- dopo l'incrocio con Lucca Ovest- A12;

RAMO 6a: Tratto autostradale da A11-Pisa Nord verso Firenze- dopo l'incrocio con Lucca Ovest- A12;

RAMO 6b: Tratto autostradale da A11-Pisa Nord verso Firenze- prima dell'incrocio con Lucca Ovest- A12.

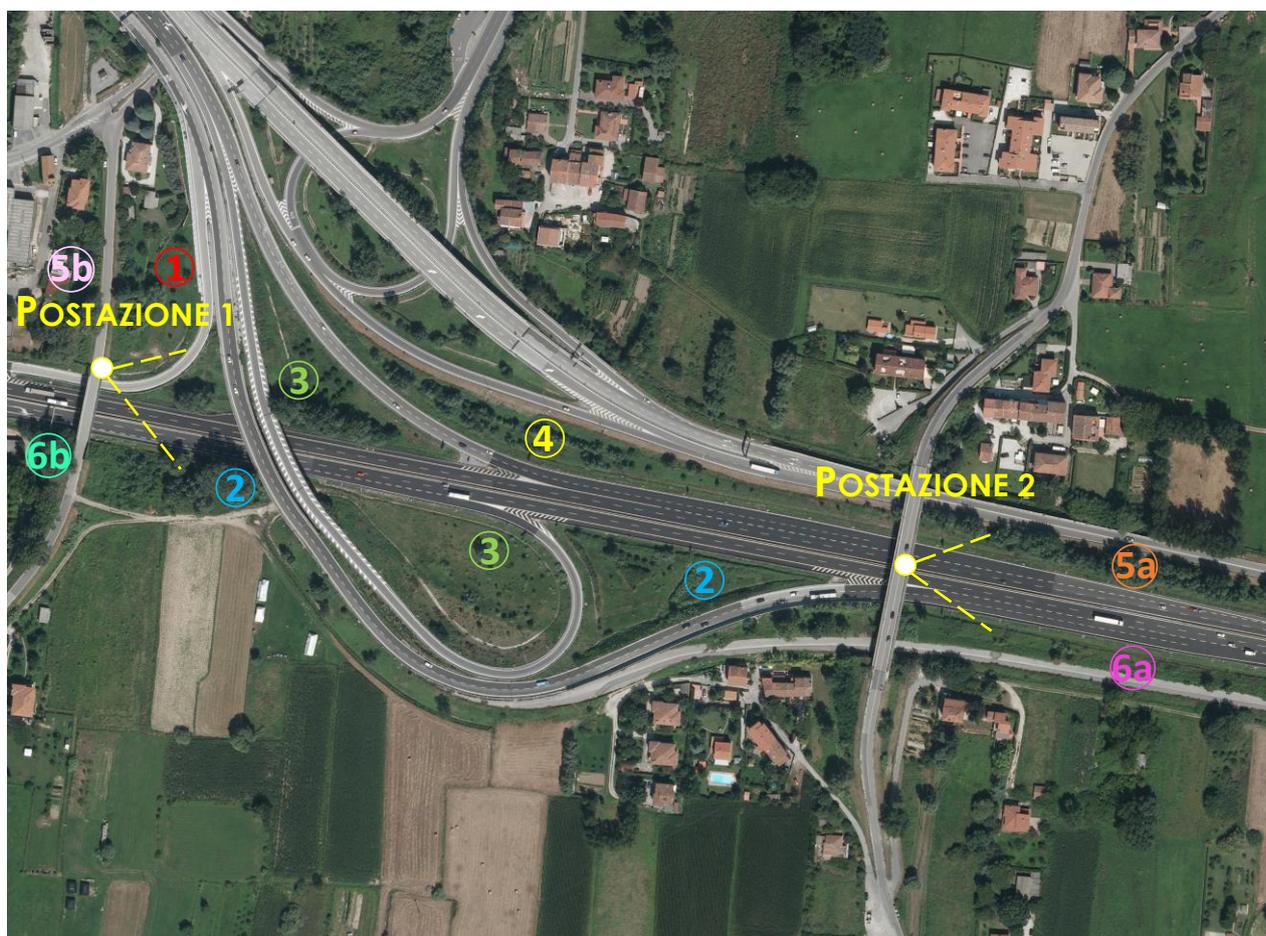


Figura 7- Nomenclatura dei rami considerati in corrispondenza dello svincolo di Lucca Ovest-A12.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Nello specifico dalla Postazione 1, sono stati rilevati i flussi di traffico dei rami:

- Ramo 1,
- Ramo 2,
- Ramo 3,
- Ramo 6b.

Mentre dalla Postazione 2, sono stati rilevati i flussi di traffico dei rami:

- Ramo 4,
- Ramo 5,
- Ramo 6.

Le misure sono state effettuate mediante analisi delle osservazioni dirette registrate con telecamere digitali.

Il flusso di traffico sul Ramo 5b è stato ottenuto per differenza tra i flussi che interessano il Ramo 5 con i flussi che si incanalano nel Ramo 4, a cui si sommano invece i flussi di traffico provenienti dal Ramo 1.

Nella seguente Tabella sono riportati i flussi registrati e i flussi ricavati, in veic/h, durante l'ora di rilievi per ciascun ramo.

Tabella 1- Flussi di traffico sui rami in corrispondenza dello svincolo di Lucca Ovest-A12, suddivisi in Auto, Mezzi Pesanti e Veicoli Equivalenti.

	RAMO							
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b
Q auto [veic/h]	36	888	84	584	1472	916	1836	1088
Q mezzi pesanti [veic/h]	0	80	12	44	88	88	120	72
Q equivalenti [veic/h]	36	1028	92	666	1636	1080	2032	1198



I veicoli equivalenti riportati sono stati ricavati considerando dei coefficienti moltiplicativi pari a 2 per i mezzi pesanti e pari a 0.5 per i motocicli. Questi ultimi non sono riportati in Tabella in quanto trascurabili.

2.2 ANALISI FLUSSI DI TRAFFICO- LUCCA EST

Data l'impossibilità di effettuare rilievi di traffico diretti in prossimità del casello di Lucca Est, per l'analisi dei flussi di traffico si è fatto riferimento ai rilievi effettuati dall' Ing. Francesco Sansone nel 2010.

Si precisa che i valori del 2010 sono da considerarsi validi alla data odierna, poiché a seguito della crisi economica del 2009, il tasso di crescita di traffico autostradale sulla rete nazionale (in accordo con il rapporto SD&G, 2015) si è arrestato.

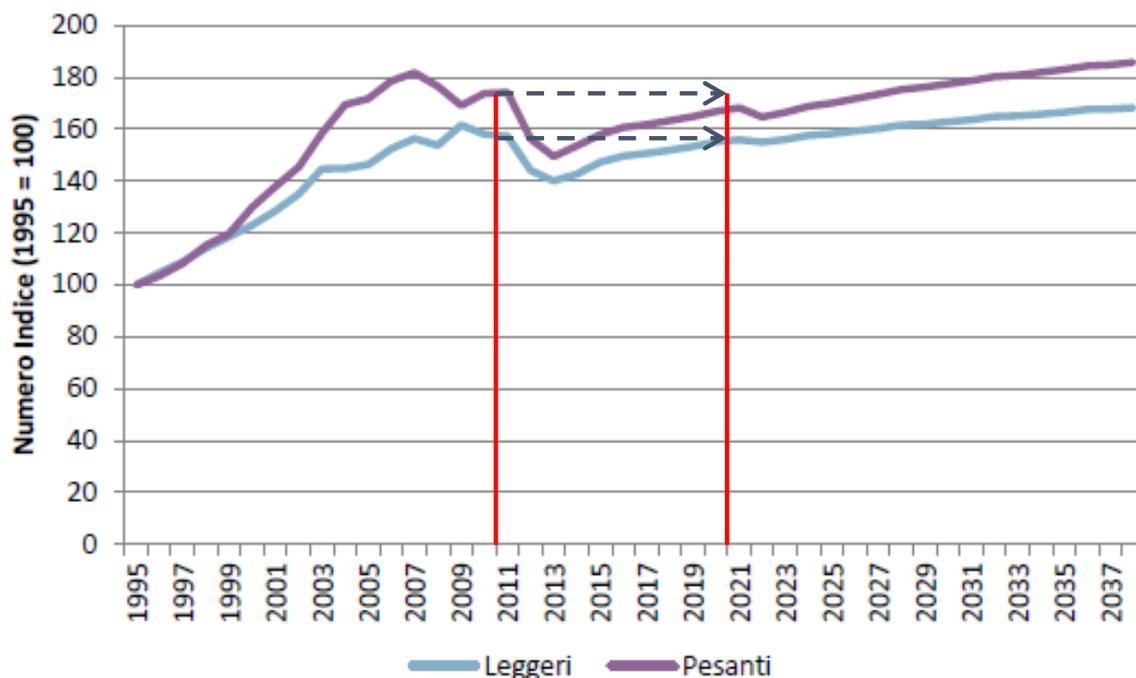


Figura 8- Andamento della crescita 1995-2038 del traffico autostradale sulla rete Nazionale (dal Rapporto SD&G, 2015).



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



A ciascun ramo (rampa o tratto autostradale) oggetto di rilievo è stato assegnato un numero corrispondente per facilità di lettura, di cui:

RAMO 5: Tratto autostradale da A11-Firenze verso Pisa Nord-dopo l'incrocio con Lucca Est;

RAMO 5d: Tratto autostradale da A11-Firenze verso Pisa Nord-prima dell'incrocio con Lucca Est;

RAMO 6: Tratto autostradale da A11-Pisa Nord verso Firenze- prima dell'incrocio con Lucca Est;

RAMO 6d: Tratto autostradale da A11-Pisa Nord verso Firenze- dopo l'incrocio con Lucca Est.

RAMO 7: Rampa in ingresso su A11 da Lucca Est in direzione Pisa Nord;

RAMO 8: Rampa in ingresso su A11 da Lucca Est in direzione Firenze;

RAMO 9: Rampa in uscita da A11- Pisa Nord verso Lucca Est;

RAMO 10: Rampa in uscita da A11- Firenze verso Lucca Est.



Figura 9- Nomenclatura dei rami considerati in corrispondenza dello svincolo di Lucca Est.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Tabella 2- Flussi di traffico sui rami in corrispondenza dello svincolo di Lucca Est, suddivisi in Auto, Mezzi Pesanti e Veicoli Equivalenti.

	RAMO							
	7	8	9	10	5a	5d	6a	6d
Q auto [veic/h]	10	267	101	701	1472	2162	1836	2002
Q mezzi pesanti [veic/h]	0	15	9	34	88	122	120	125
Q equivalenti [veic/h]	10	297	108	780	1636	2405	2032	2221

I veicoli equivalenti riportati sono stati ricavati considerando dei coefficienti moltiplicativi pari a 2 per i mezzi pesanti e pari a 0.5 per i motocicli. Questi ultimi non sono riportati in Tabella in quanto trascurabili.

2.3 SIMULAZIONE DINAMICA DELLO STATO ATTUALE CON AIMSUN

Il modello di simulazione dinamica dello Stato di Progetto è stato eseguito con il software Aimsun™ 8.1.4. Il programma permette di modellare il comportamento degli utenti in strada su scala microscopica. L'analisi mediante AIMSUN ha permesso quindi la simulazione dello Stato Attuale del tratto autostradale d'interesse, nello specifico localizzato tra lo svincolo del Casello di Lucca Est e lo svincolo del Casello Lucca Ovest- A12.

Lo scenario di simulazione viene realizzato sagomando il tratto in esame, considerandone le caratteristiche geometriche e le velocità caratteristiche delle rampe e dei tratti autostradali, ed implementando i flussi di traffico (Traffic State), sia in termini di veicoli leggeri che di veicoli pesanti, per ciascun tratto analizzato (Paragrafi 2.1 e 2.2).

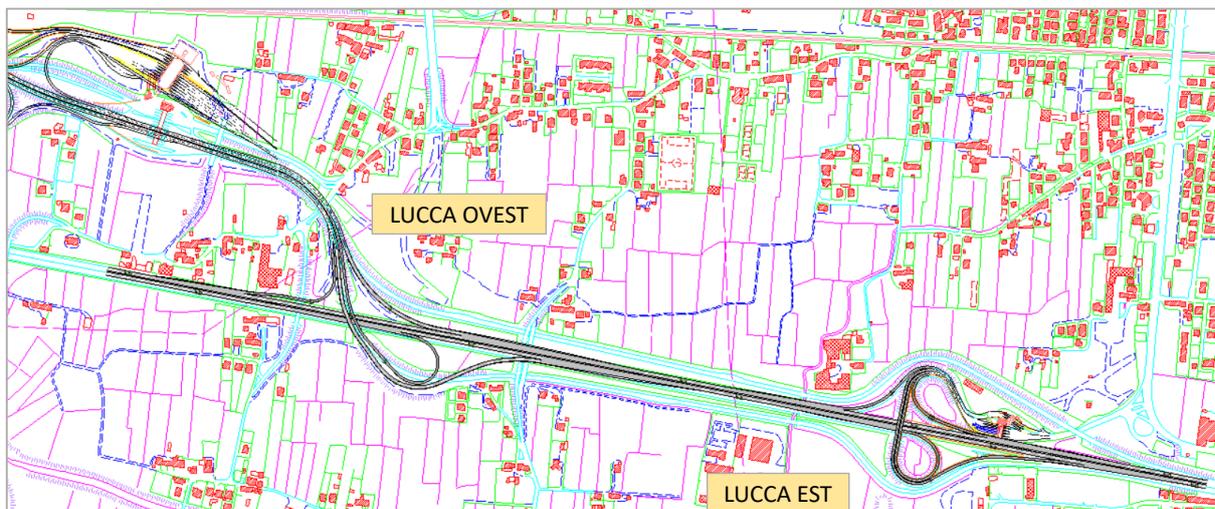


Figura 10- Modello del tratto dell'A11, in prossimità degli svincoli di Lucca Est e Lucca Ovest, studiato attraverso il software Aimsun di simulazione dinamica del traffico; in colore azzurro si distinguono gli autoveicoli, mentre invece i veicoli pesanti sono di colore rosa.

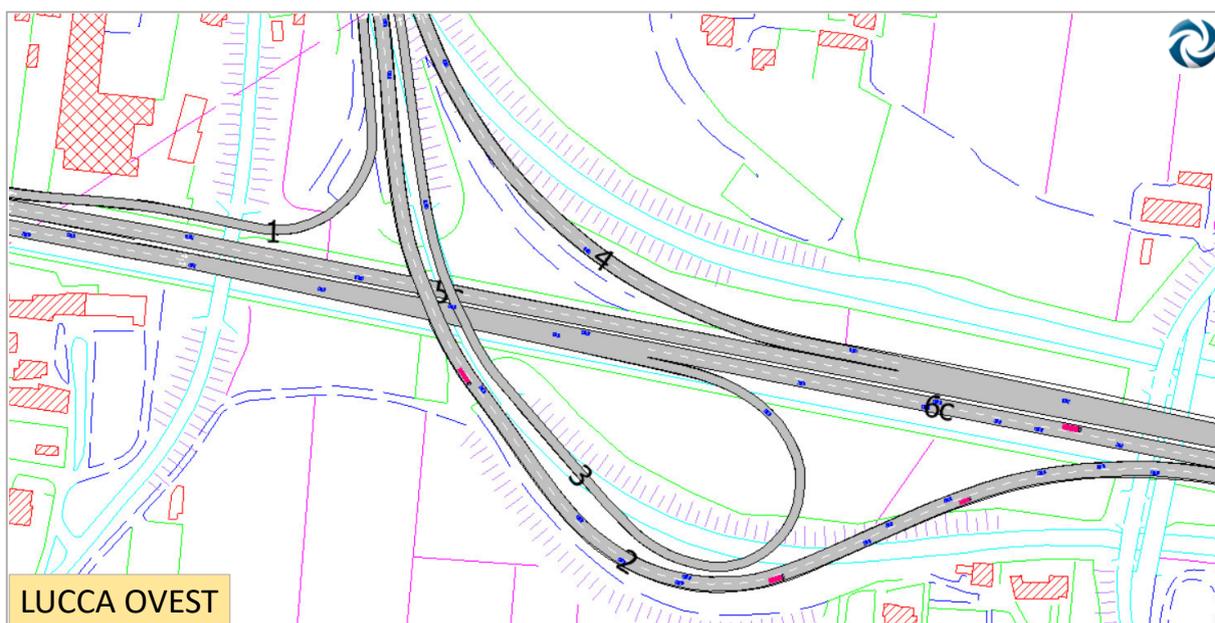


Figura 11- Dettaglio del modello su Aimsun in corrispondenza dello svincolo del Casello Lucca Ovest- A12. In colore azzurro si distinguono gli autoveicoli, mentre invece i veicoli pesanti sono di colore rosa.

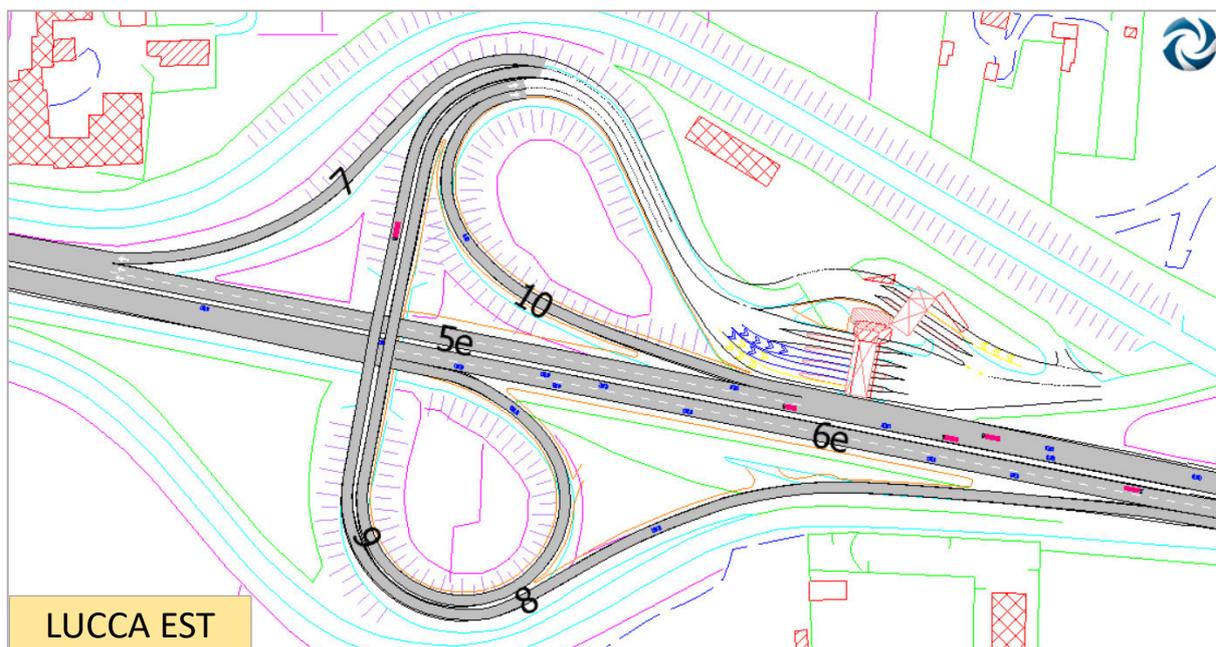


Figura 12- Dettaglio del modello su Aimsun in corrispondenza dello svincolo del Casello Lucca Est. In colore azzurro si distinguono gli autoveicoli, mentre invece i veicoli pesanti sono di colore rosa.

Con le simulazioni di AIMSUN 8.1.4 è stato generato il file delle traiettorie dei veicoli (file .trj) che costituisce l'input per il software SSAM della FHWA., utilizzato per l'analisi della sicurezza surrogata sul tratto oggetto di studio.

2.4 ANALISI SICUREZZA SURROGATA

Nel tratto autostradale (A11) localizzato tra lo svincolo Lucca Est e lo svincolo Lucca Ovest-A12 è stata effettuata un'analisi della sicurezza surrogata, poiché essa costituisce un aspetto prioritario nella valutazione dello Stato Attuale, in accordo con quanto disposto all'Art. 4 del Decreto del 22 Aprile 2004 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per i progetti di adeguamento delle strade esistenti.

Il concetto di Surrogate Safety Assessment, o valutazione della sicurezza surrogata, è stato messo a punto dalla FHWA-Federal Highway Administration nel corso dell'ultimo decennio.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Il risultato è una applicazione software denominata SSAM, da Surrogate Safety Assessment Model, finalizzata a identificare, classificare e valutare automaticamente i conflitti di traffico, in termini di frequenza e gravità, nell'output dei dati di traiettoria del veicolo ottenuti in precedenza attraverso modelli di simulazione dinamica del traffico.

Il file traiettoria (.trj) contiene infatti le informazioni sulle traiettorie di ciascun veicolo generato in ogni simulazione eseguita con AIMSUN e memorizzando velocità, traiettoria e posizione del singolo al termine di ogni ciclo di calcolo, o simulation step.

Come risultato finale dell'analisi della sicurezza surrogata con SSAM si ottengono, per l'infrastruttura rappresentata dal modello, la frequenza e la tipologia dei punti di conflitto in funzione dell'angolo di incidenza θ che si determina tra le traiettorie incidenti di una coppia qualsiasi di veicoli.

Per quanto riguarda la classificazione il software SSAM contempla quattro tipologie di conflitti classificati in base all'angolo di incrocio delle traiettorie θ (vedi Figura), qua riportate in ordine crescente di gravità:

- Rear end (conflitti sulla stessa corsia),
- Lane Changing (conflitti per cambio di corsia),
- Crossing (conflitti per attraversamento o invasione di corsia)
- Unclassified (conflitti impropri, non classificati).

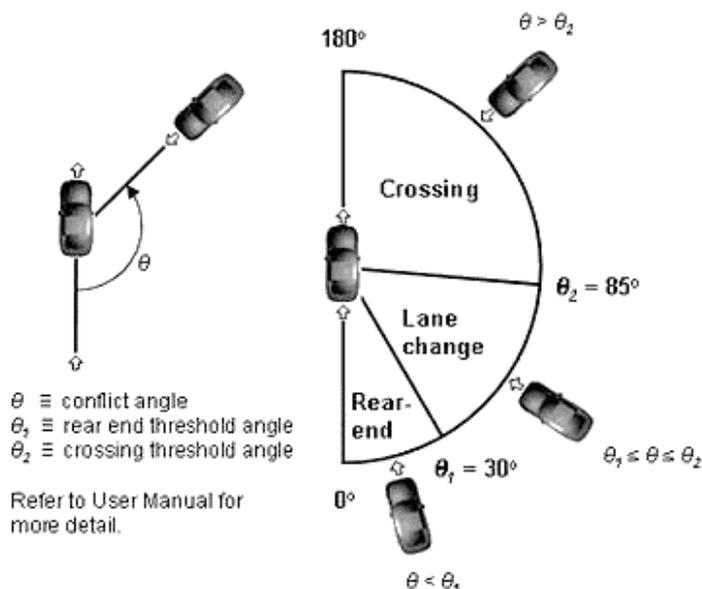


Figura 13- Classificazione del software SSAM dei conflitti sulla base dell'angolo di incidenza delle traiettorie di una coppia di veicoli.

Nel caso in esame sulle rampe in entrata e in uscita del tratto autostradale e sui tratti di scambio, si potranno avere, verosimilmente, conflitti di tipo Rear End (tamponamenti) sulla rampa, oppure conflitti cosiddetti di Lane Change, dovuti alla manovra di immissione dalla rampa.

SSAM richiede anche dei valori di input, proponendone di default e che sono stati quelli assunti per il caso in esame:

- Time to Collision, o TTC, che è il tempo minimo di collisione, $TTC = 1.5$ sec;
- Post Encroachment Time, o PET, tempo successivo all'invasione di corsia, $PET = 5$ sec;
- Angolo limite superiore per conflitti di tipo Rear End: 30° ;
- Angolo limite inferiore per conflitti di tipo Crossing: 80° .

È stata inoltre svolta una analisi di sensibilità calcolando le frequenze e le tipologie di conflitto per TTC massimi differenti, pari a 0 s, 1.5 s e 5 s al fine di osservarne gli effetti sulla frequenza dei conflitti.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



I valori di TTC pari a 0 e 5 secondi sono stati scelti per considerare nell'analisi i valori estremi del parametro Time to Collision, dove 0 secondi è il valore minimo teorico da assegnare per valutare i conflitti che certamente si verificheranno, mentre il valore TTC=5 s permette di valutare anche le situazioni di potenziale rischio di incidentalità.

Nel caso del progetto in esame, per una riduzione del TTC si è avuto una significativa corrispondente riduzione della frequenza dei conflitti (cfr. Tabella seguente).

Tabella 3- Tipo numero e di conflitti per il calcolo della sicurezza surrogata allo Stato Attuale del tratto autostradale (A11) in esame.

STATO ATTUALE			
TYPE OF CONFLICT	TTC 5 [s]	TTC 1.5 [s]	TTC 0 [s]
UNCLASSIFIED	0	0	0
CROSSING	0	0	0
LANE CHANGE	0	0	0
REAR END	185	30	7
TOTALE	185	30	7

I dati dell'analisi di sicurezza surrogata ottenuti con SSAM possono essere inoltre geolocalizzati sulla planimetria di progetto importando il file output (.csv) su un software di tipo GIS unitamente al file .dxf della Carta Tecnica Regionale (CTR), in scala 1:1000 (dal sito Geoscopio della Regione Toscana).

GIS è l'acronimo di Geographic Information System (sistema informativo geografico o anche sistema informativo territoriale); esso è un software in grado di associare ai dati di input la loro posizione geografica sulla superficie terrestre per poi elaborarli ed estrarne informazioni. Nel caso in esame è stato utilizzato il software open source QGIS, in quanto ritenuto il più idoneo, facendo riferimento al sistema Roma Monte Mario, EPSG:3003.

Di seguito si riportano le 3 situazioni dove al variare del TTC (0, 1.5 e 5 secondi) si possono notare il numero di incidenti crescente e la loro posizione.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

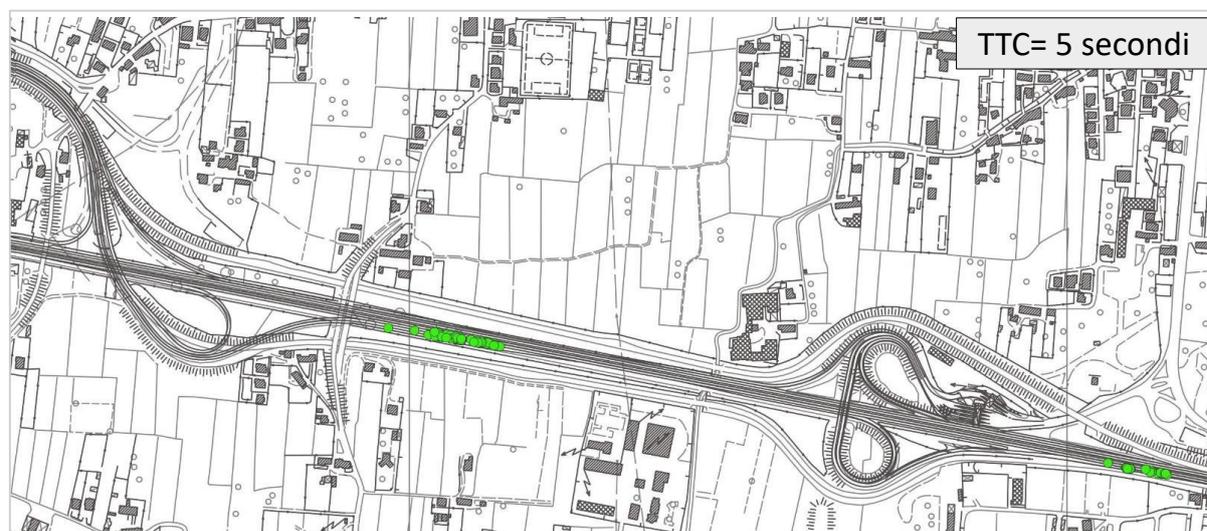
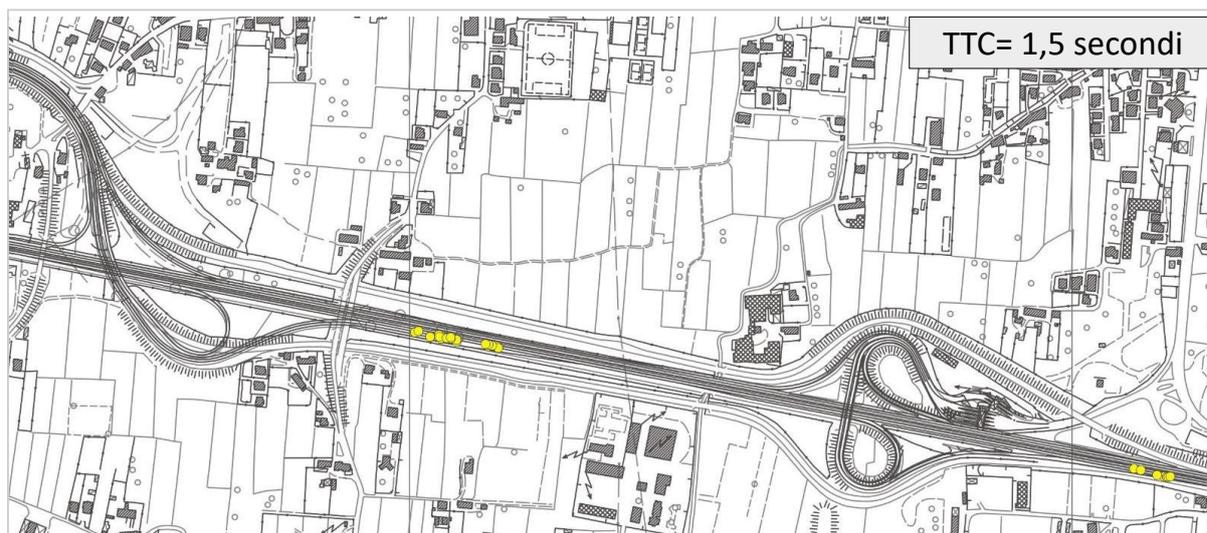
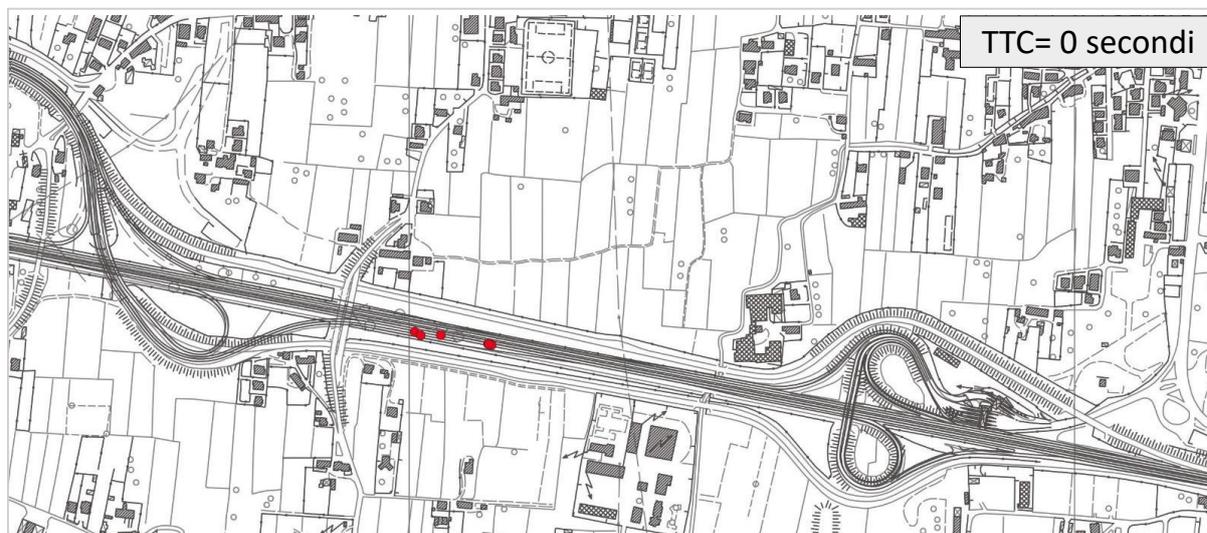


Figura 14- Geolocalizzazione dei conflitti ricavati con SSAM con diversi valori di TTC.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Dai risultati dell'analisi di sicurezza surrogata del tratto d'interesse si osserva che la probabilità che avvenga un incidente è piuttosto elevata, soprattutto nel tratto di raccordo terminale della corsia di immissione dei veicoli che da Lucca Ovest entrano in A11 in direzione Firenze, ciò può essere in gran parte ricondotto alle manovre cosiddette di "weaving" che si verificano nel breve tratto di interscambio (circa 190 m) che separa le rampe, rispettivamente in ingresso ed in uscita, dei caselli di Lucca Est e Lucca Ovest, queste comportano rallentamenti, distrazioni e conseguentemente un numero elevato di conflitti. A conferma di ciò i conflitti risultano tutti di tipo Rear End, cioè conflitti con un angolo di reciproca incidenza molto ridotto, ossia i cosiddetti "tamponamenti", che possono avvenire per una distrazione del conducente all'ingresso, ma avendo una bassa velocità relativa ed un limitato angolo di impatto (compreso tra 0 e 30°) sono da ritenere comunque dei casi di conflitto caratterizzati da una ridotta pericolosità.

2.5 STIMA LOS CON HCS+

In questo paragrafo sono riportati i risultati delle analisi puntuali effettuate secondo la metodologia del Manuale Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) che permettono il calcolo del Livello di Servizio (LoS) di ciascun tratto in esame.

L'analisi è stata condotta facendo riferimento nello specifico ai capitoli:

- "Freeway Weaving" – cap. 24 HCM2000 per i tratti di scambio;
- "Ramps and Ramps Junctions" - cap. 25 HCM2000 per le rampe di immissione (Merge ramps) e di uscita (Diverge ramps) dal tratto autostradale.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

L'output di maggiore interesse è il valore del LoS dell'infrastruttura in esame, che rappresenta una misura della qualità della circolazione in corrispondenza di un determinato flusso. La scala di valori del LoS è suddivisa in sei livelli, dalla condizione migliore alla peggiore, indicati con le lettere A, B, C, D, E, F.

Si riportano per completezza sia le tabelle utilizzate come valori di input per il software per le manovre di weaving, sia le immagini che indicano le manovre stesse e le loro aree di influenza.

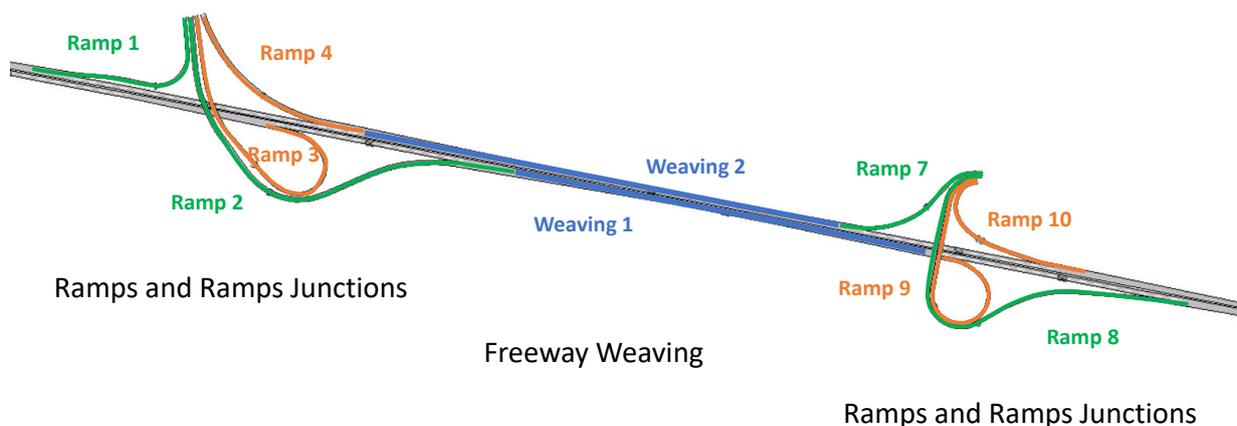
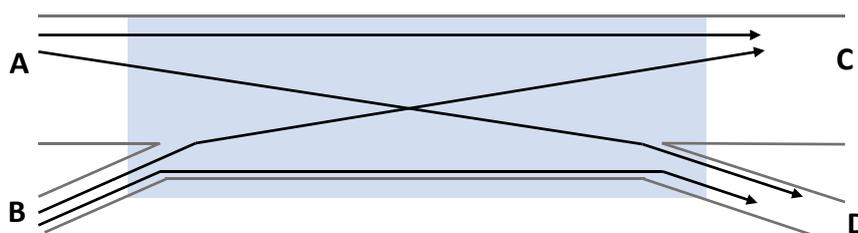


Figura 15- Suddivisione in Ramps (merge and diverge) e tratti di Weaving.



Area di influenza del tratto di scambio

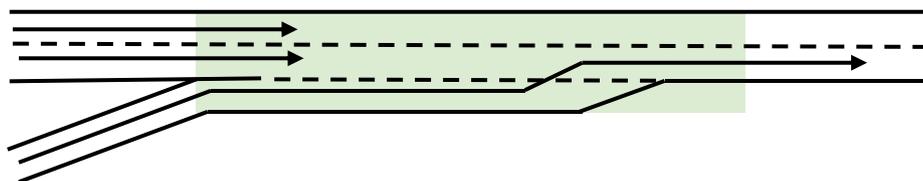
Figura 16- Schematizzazione della manovra di Weaving secondo HCM 2000.

Tabella 4- Flussi di traffico per la manovra di Weaving in direzione Ovest-Est.

Weaving 1 - Ovest --> Est			
AC	da 6c a 6e	905	veic
AD	da 6c a 9	51	veic
BC	da 2 a 6e	942	veic
BD	da 2 a 9	52	veic
Lunghezza tratto weaving		190	m

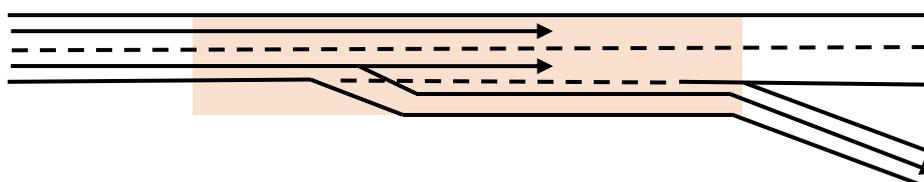
Tabella 5- Flussi di traffico per la manovra di Weaving in direzione Est-Ovest.

Weaving 2 - Est --> Ovest			
AC	da 5e a 5c	922	veic
AD	da 5e a 4	633	veic
BC	da 7 a 5c	9	veic
BD	da 7 a 4	6	veic
Lunghezza tratto weaving		250	m



Area di influenza della rampa di immissione

Figura 17- Schematizzazione della manovra di immissione.



Area di influenza della rampa di uscita

Figura 18- Schematizzazione della manovra di uscita.

I risultati dell'analisi sono stati riportati sulle schede generate tramite il software e allegati alla presente relazione (vedi sez. Allegati).

A seguire si riporta una Tabella riassuntiva con i LoS risultanti per ciascun tratto analizzato:

Tabella 6- Tabella riassuntiva dei Livelli di Servizio sui tratti analizzati.

Tabella Riassuntiva LoS HCS+	
Ramp	LoS
1	B
2	C
3	B
4	A
7	B
8	C
9	B
10	C
Weaving	LoS
1 (O --> E)	C
2 (E --> O)	B

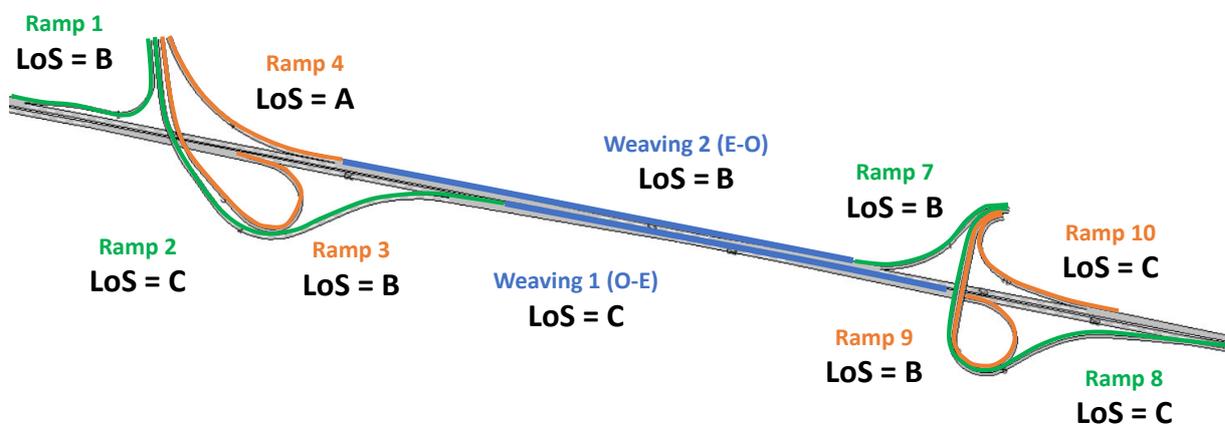


Figura 19- Schema riassuntivo dei LoS per i tratti analizzati.

Come si può osservare dalla Tabella 6 e dalla Figura 19, il LoS minimo riscontrato è il C (su Ramp 2, Ramp 8 e Ramp 10 e Weaving 1- Ovest-Est) che corrisponde anche al limite minimo accettabile in ambito extraurbano. Quindi, ciò comporta che un eventuale futuro aumento dei flussi possa rendere inaccettabile i livelli di servizio dei tratti.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



3. STATO DI PROGETTO

Dall'analisi dello Stato Attuale sono emerse alcune criticità, sia in termini di sicurezza surrogata del tratto, sia in termini di livello di servizio. Per far fronte a ciò, è stata studiata una soluzione progettuale (Stato di Progetto) che prevede:

- Il progetto di un nuovo casello autostradale in località Mugnano (Lucca)- denominato Nuovo Casello Mugnano;
- La trasformazione dell'attuale casello di Lucca Est in un parcheggio scambiatore autostradale a servizio della Città di Lucca.

3.1 NUOVO CASELLO MUGNANO

3.1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Mugnano è una frazione del Comune di Lucca localizzata al confine con l'adiacente Comune di Capannori.

La scelta di posizionare il nuovo casello a Mugnano è dovuta essenzialmente alla stessa localizzazione della zona, in quanto situata nella parte più ad Est del Comune di Lucca ed inoltre è in posizione baricentrica tra lo svincolo per il casello di Lucca Ovest ed il casello di Capannori; ciò determinerebbe una distribuzione verosimilmente più uniforme dei flussi di traffico che interessano i tre caselli, mentre allo Stato Attuale, essendo il casello di Lucca Est decentrato verso il casello di Lucca Ovest, si hanno dei flussi notevolmente sbilanciati.

È importante inoltre notare che allo Stato Attuale, i flussi di traffico che interessano entrambi i caselli di Lucca vanno ad impegnare la zona della circonvallazione, mentre l'ipotesi di progetto permetterebbe di ridurre il carico di traffico intorno alla città, poiché, in accordo con l'attuale Piano Operativo, che vede la realizzazione dell'asse viario Sud-Nord di collegamento con il Brennero, parte del traffico andrebbe ad incanalarsi sulla nuova viabilità. Lo stesso Piano Operativo prevede inoltre la progettazione di un nuovo collegamento diretto tra la suddetta zona di Mugnano e la circonvallazione della Città di Lucca nella parte Est, andandone a migliorare l'interconnessione senza gravare sull'attuale viabilità locale.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGistica della Toscana

Per la corretta progettazione del nuovo casello si è dovuto tener di conto dei vincoli territoriali della zona, in particolare a quelli di tipo urbanistico e a quelli di tipo idraulico, essendo la zona ad Est di Lucca interessata sia dall'antico acquedotto del Nottolini, sia da un esteso reticolo idrografico. Il progetto del nuovo casello è stato perciò studiato tenendo di conto di tali vincoli e rispettandoli.

Infine, durante la progettazione si è tenuto di conto del rispetto del confine con l'adiacente Comune di Capannori. Ovvero, il progetto è stato studiato in modo da essere interamente compreso all'interno dei confini del Comune di Lucca.

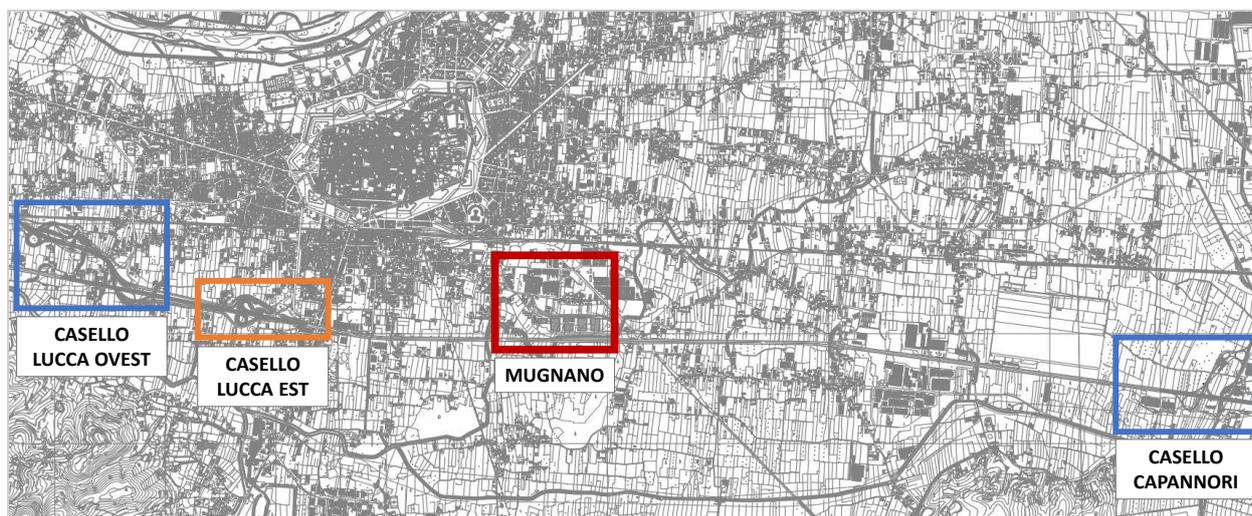


Figura 20- Inquadramento territoriale della zona di Mugnano in relazione ai caselli attualmente esistenti.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

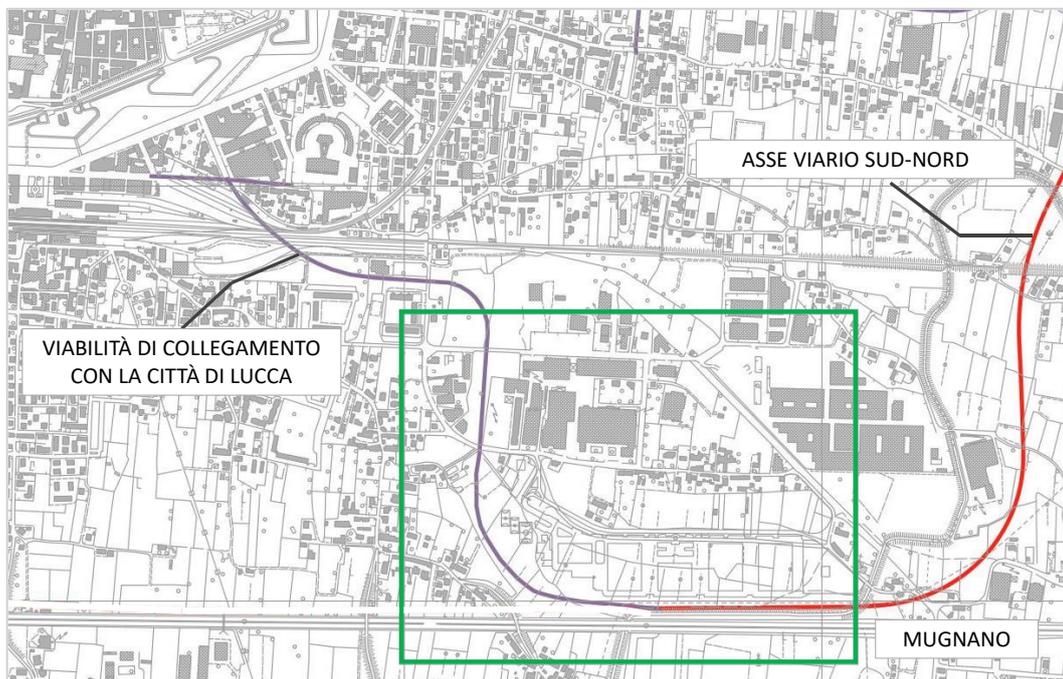


Figura 21- Inquadramento territoriale della zona di Mugnano in relazione alla nuova viabilità prevista dal Piano Operativo.

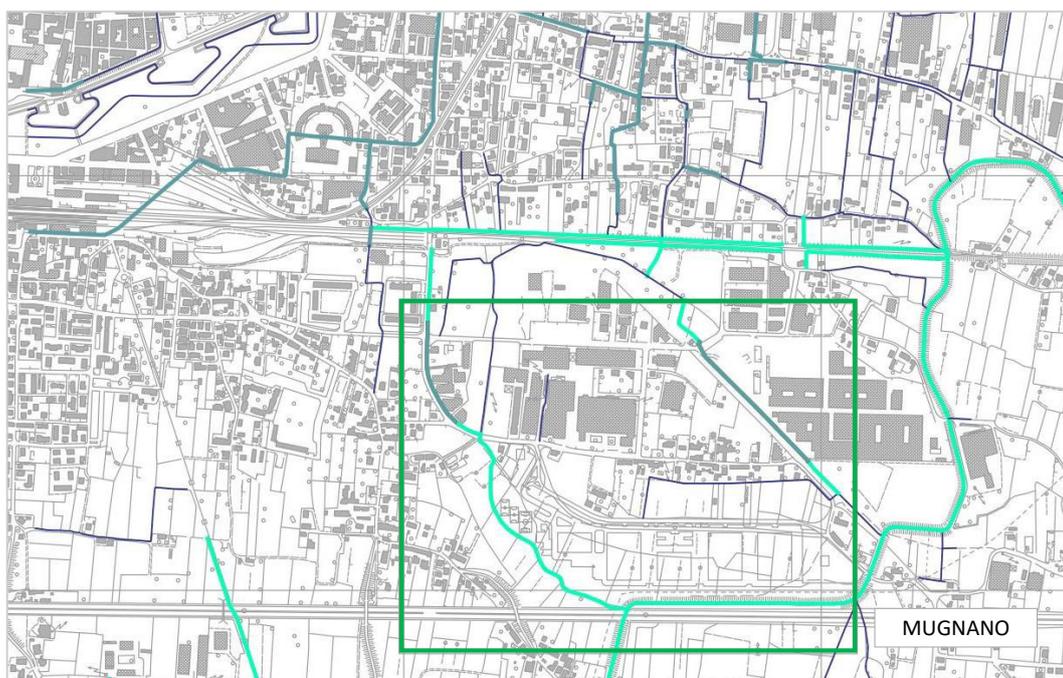


Figura 22- Inquadramento territoriale della zona di Mugnano in relazione ai vincoli idrografici.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana



Figura 23- Inquadratura territoriale della zona di Mugnano in relazione ai confini comunali- in giallo il Comune di Lucca, in bianco il Comune di Capannori.

3.1.2 PROGETTO PRELIMINARE

Analizzando l'andamento planimetrico dell'Autostrada-A11 e tenendo di conto dei suddetti vincoli presenti nella zona di Mugnano sono state valutate due possibili ipotesi di localizzazione del nuovo casello.

La prima ipotesi considerata ne vedeva il posizionamento nella parte Sud-Est (in rosso nelle Figure 22-24), nello specifico nell'area compresa tra l'Autostrada-A11 (a Nord), Via dei Boschi (ad Est) e Via di Sorbano del Vescovo (a Sud), tuttavia, da un'iniziale valutazione dei costi necessari per il collegamento del nuovo casello con il reticolo viario della Città di Lucca (posta al di là dell'autostrada), nonché di quelli per la realizzazione delle rampe in ingresso ed in uscita, questa ipotesi è stata poi scartata.

La seconda ipotesi considerata ha previsto il posizionamento del nuovo casello a Nord dell'Autostrada- A11, favorendone quindi il collegamento alla città di Lucca e riducendo conseguentemente il costo delle opere a contorno. Nello specifico, la seconda ipotesi ha visto il progetto del nuovo casello nell'area a Ovest dello stabilimento "Fabio Perini Spa". Questa



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



seconda ipotesi ha permesso inoltre il rispetto sia dei vincoli territoriali (idraulico e urbanistico) nonché dei limiti comunali per l'intero del progetto.

Dopo aver scelto l'area di posizionamento del casello si è passati al progetto delle rampe di collegamento, in ingresso ed in uscita, dell'autostrada, facendo riferimento alle attuali norme.

Per la progettazione della stazione autostradale e del piazzale adiacente al casello si è fatto riferimento alle più recenti disposizioni in merito, considerando come riferimento progettuale il casello di Capannori di nuova realizzazione. La stazione ipotizzata si compone di 5 corsie in ingresso all'autostrada (di cui 2 con dispositivo di tipo Telepass), e di altrettante corsie in uscita (di cui una con dispositivo di tipo Telepass, una per il pagamento con le carte e una di tipo misto). Si precisa che essendo in una fase preliminare di progettazione, questa suddivisione potrà subire poi variazioni successive.

Infine, si è studiato il collegamento del nuovo casello con la viabilità ordinaria, facendo riferimento non solo allo Stato Attuale ma anche ai progetti di viabilità urbana e sovra urbana previsti dal Piano Operativo della Città di Lucca.

In particolare, è stata progettata una rotatoria a quattro rami con un diametro pari a 40 m che con il ramo Sud si collega appunto al casello autostradale, con i rami Est-Ovest alla viabilità esistente (Via di Mugnano) ed infine con il ramo Nord si collega con la nuova viabilità locale prevista.

Inoltre, poiché la realizzazione del nuovo casello determinerà un forte incremento del traffico in tale zona, è stata ipotizzata la riqualifica delle strade esistenti, nonché la progettazione di tre ulteriori rotatorie lungo Via di Mugnano e a seguire Via Giovanni Diodati. Esse hanno una doppia funzionalità; migliorano la sicurezza delle intersezioni esistenti e permettono un più efficiente smaltimento del traffico che si andrà a generare dall'inserimento del nuovo casello.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

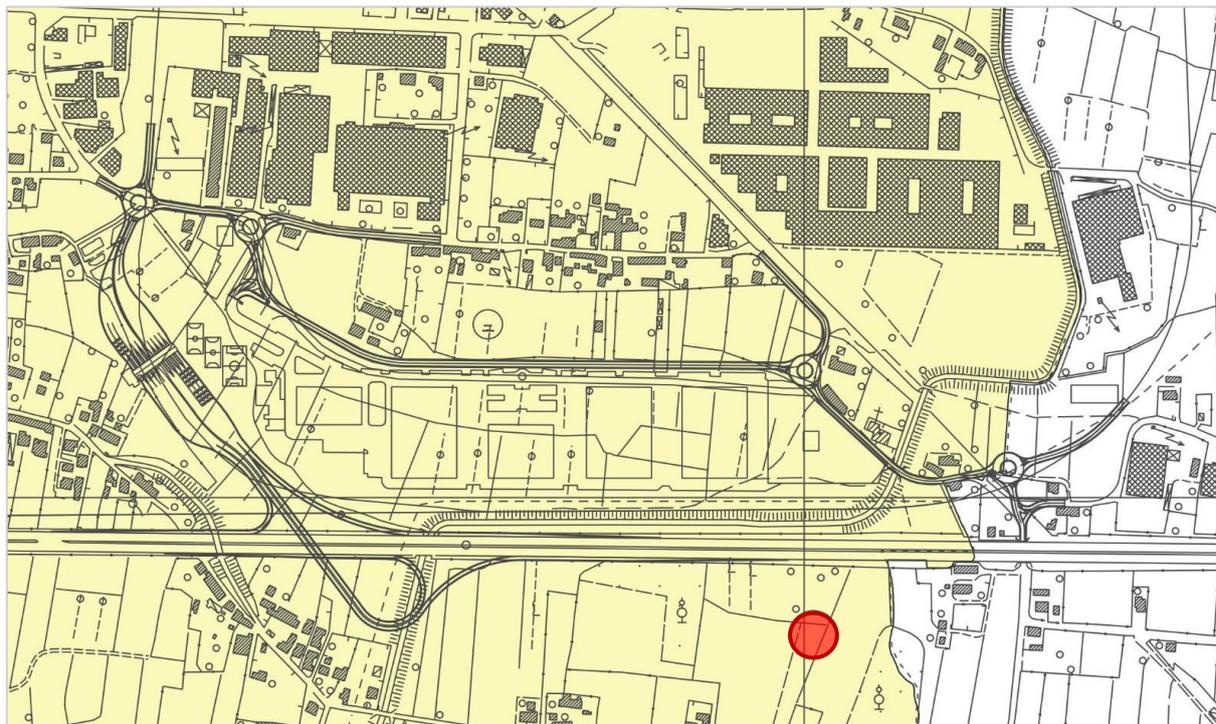


Figura 24- Localizzazione del progetto del nuovo casello Mugnano con rispetto del vincolo dei confini comunali.



Figura 25- Localizzazione del progetto del nuovo casello Mugnano con rispetto del vincolo idraulico.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

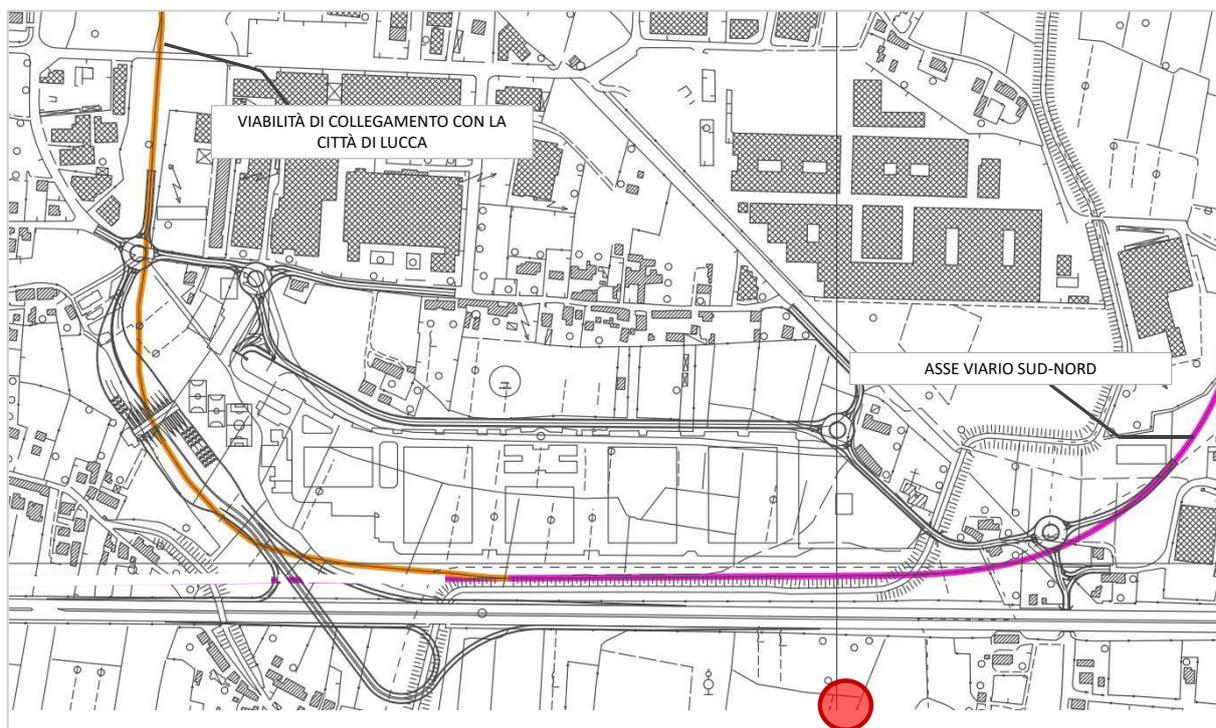


Figura 26- Localizzazione del progetto del nuovo casello Mugnano considerando la nuova viabilità prevista dal Piano Operativo del Comune di Lucca.

Si riportano infine le tavole principali che illustrano la progettazione del progetto del nuovo casello Mugnano:

- Stato Attuale;
- Stato di Progetto;
- Stato Sovrapposto;
- Particolare A- Nuovo Casello di Mugnano;
- Particolare B- Rotatorie a Ovest- di collegamento con la nuova viabilità locale;
- Particolare C- Rotatorie a Est- di collegamento con la nuova viabilità sovralocale.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

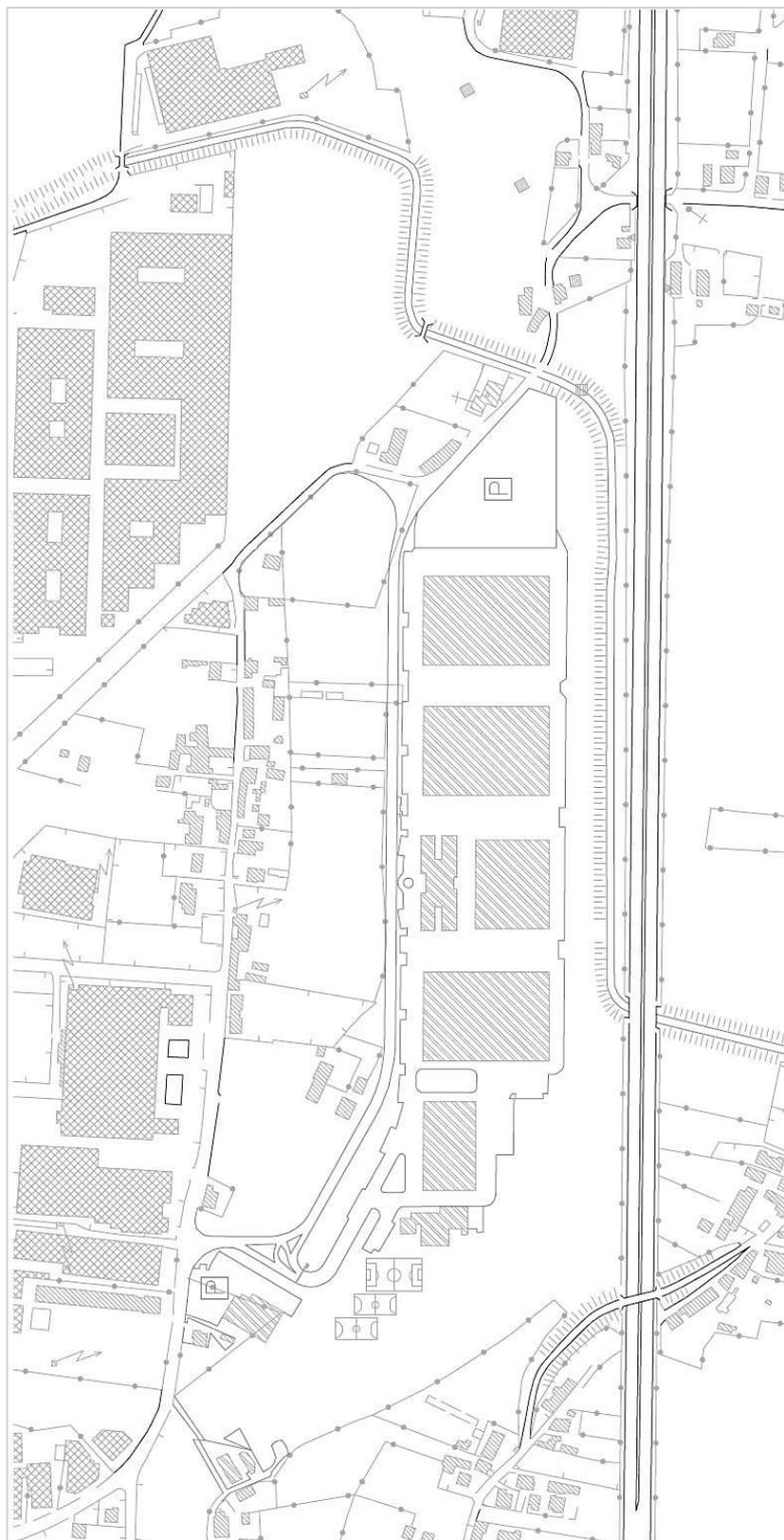


Figura 27- Tavola dello Stato Attuale della località Mugnano.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

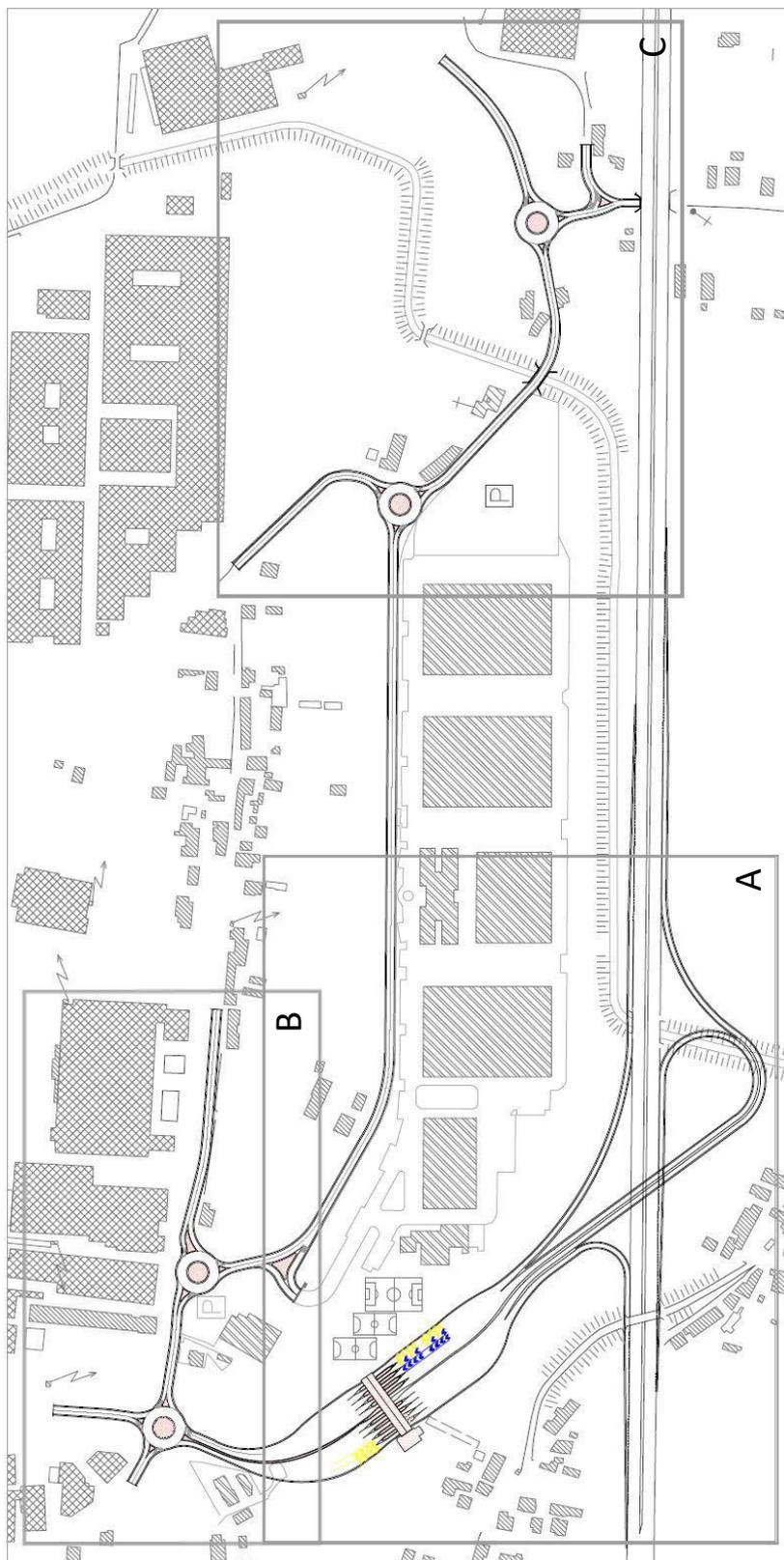


Figura 28- Tavola dello Stato di Progetto del nuovo Casello Mugnano.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

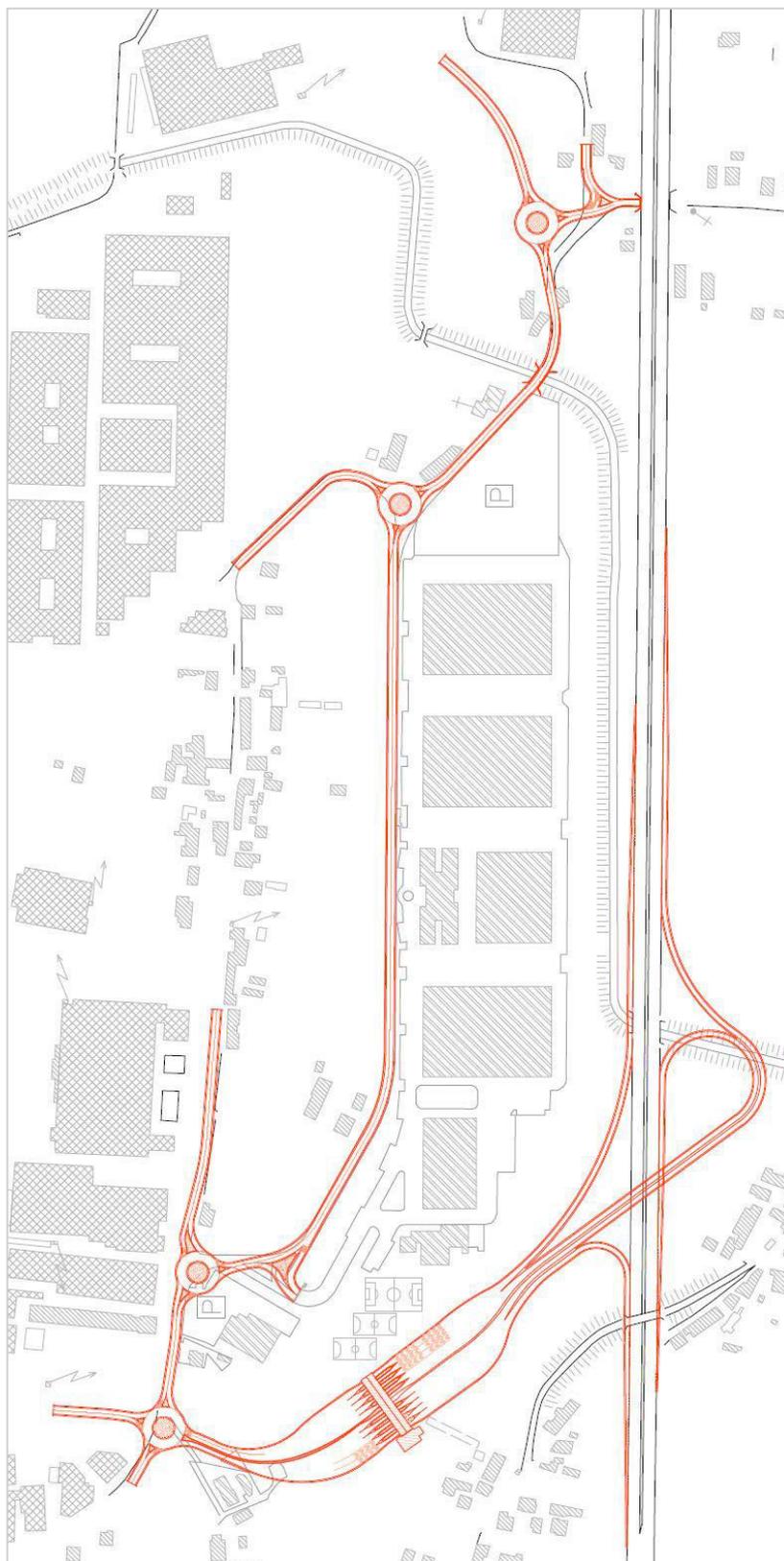


Figura 29- Tavola dello Stato Sovrapposto del nuovo Casello Mugnano.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

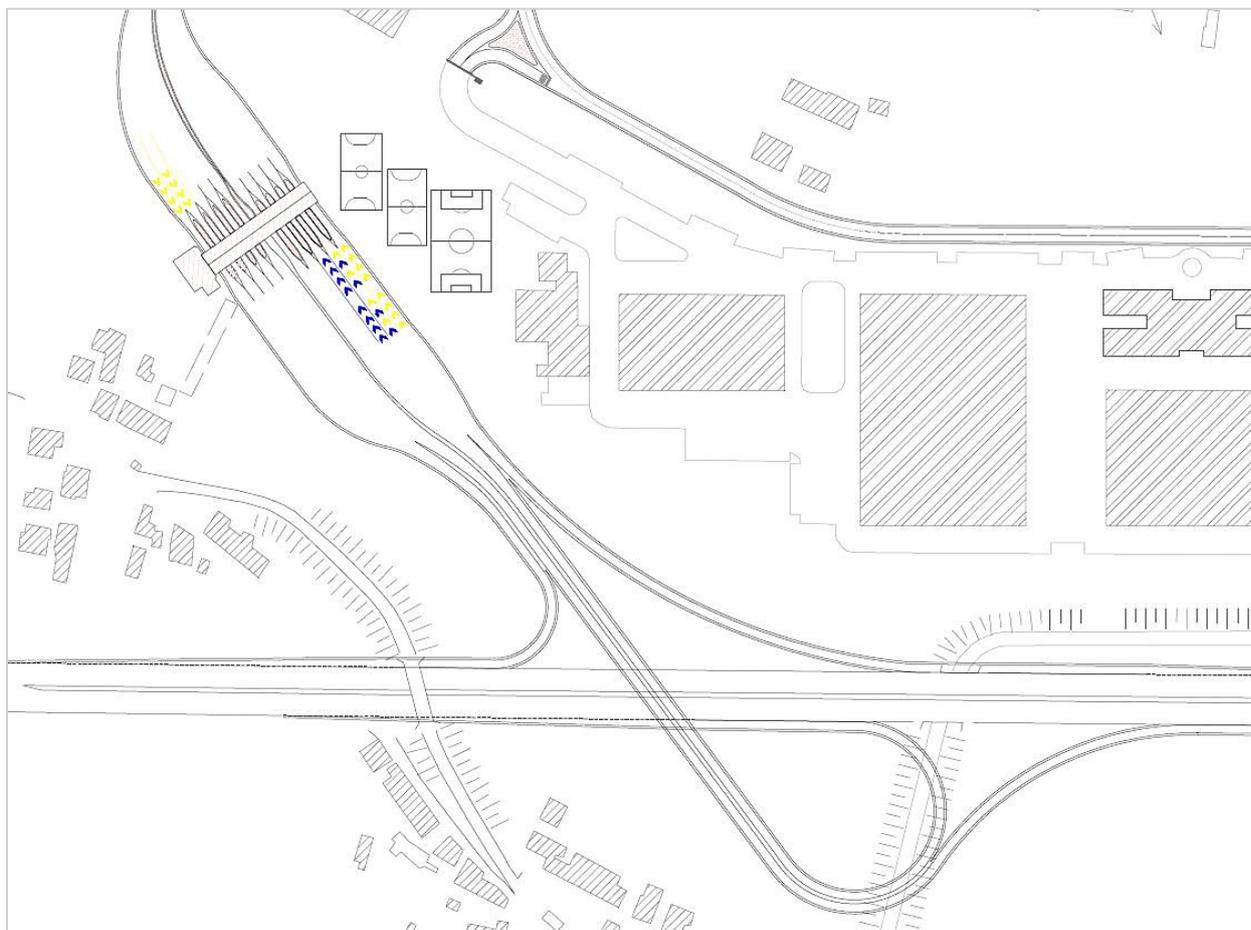


Figura 30- Particolare A: Rampe e Stazione del nuovo Casello Mugnano.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501

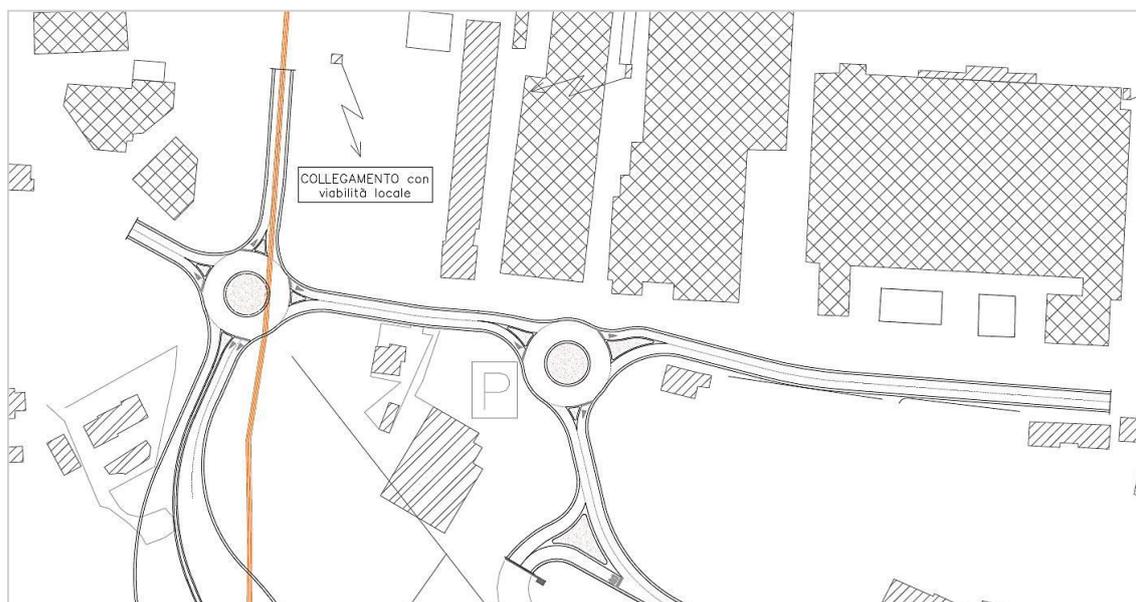


Figura 31- Particolare B: Rotatorie a Ovest, di collegamento con il nuovo Casello di Mugnano e con la futura viabilità locale secondo il Piano Operativo.

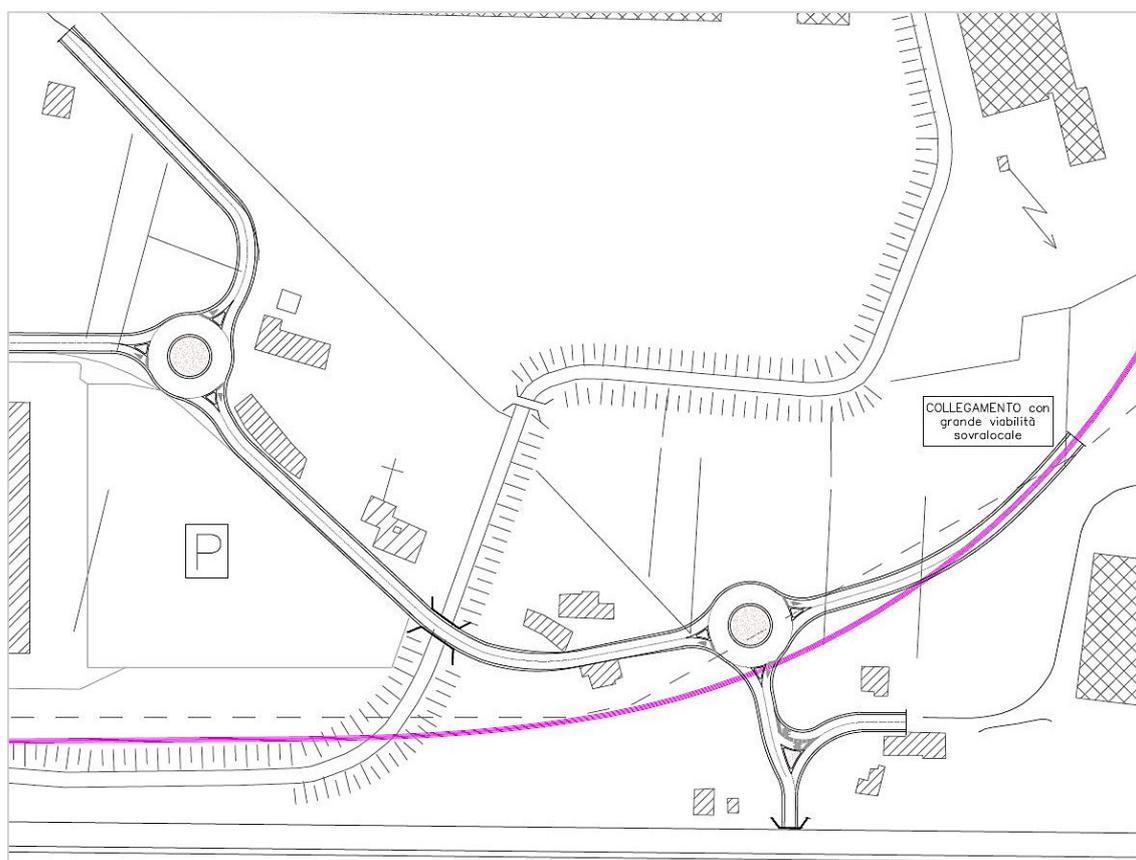


Figura 32- Particolare C: Rotatorie ad Est, di collegamento con la futura viabilità sovralocale secondo il Piano Operativo.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



3.2 PARCHEGGIO SCAMBIATORE LUCCA EST

3.2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il casello autostradale di Lucca Est, realizzato nei primi anni '60, in occasione del raddoppio dell'Autostrada A11- Firenze-Mare, costituisce, insieme a Lucca Ovest uno dei due caselli a servizio della Città di Lucca.

A differenza del Casello di Lucca Ovest, che collega l'A11 con lo svincolo della bretella in direzione A12, ed il cui progetto e tracciato iniziale ha subito alcune modifiche nei primi anni 2000, il Casello di Lucca Est mantiene ancora l'originale geometria e posizione.

Nello specifico esso si geolocalizza a soli 2 km dalle Mura Storiche di Lucca collegandosi alla viabilità locale e sovralocale grazie alla circonvallazione della città e perciò, il traffico (pesante e leggero) che interessa il Casello grava in gran parte attorno a essa. In particolare, una parte del traffico è riconducibile a quello turistico (bus ed auto private), ed un'altra parte a quello generato dai pendolari in ingresso ed in uscita dalla città. Per quanto riguarda infine il traffico pesante, essendo il casello il primo incontrato venendo dalla direzione di Firenze-Roma, è utilizzato largamente anche dai mezzi pesanti diretti verso il bacino industriale della Garfagnana, e che gravano ulteriormente intorno alla città.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana



Figura 33- Inquadramento territoriale del Casello di Lucca Est rispetto alla Centro Storico di Lucca.



Figura 34- Stato Attuale del Casello di Lucca Est.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



3.2.2 PROGETTO PRELIMINARE

A seguito della realizzazione del nuovo casello Mugnano, il Casello di Lucca Est dovrà essere chiuso. Tuttavia, per non lasciare in disuso e/o non smantellare le relative opere civili, come ad esempio le rampe in ingresso ed in uscita dall'autostrada, nonché la stazione stessa, è stata ipotizzata una soluzione progettuale alternativa. Questa soluzione prevede la realizzazione di un parcheggio scambiatore ad uso esclusivo dei mezzi provenienti dall'autostrada (bus turistici ed auto private), un cosiddetto "parcheggio autostradale".

Un'applicazione simile esiste già nella Regione Toscana. Il parcheggio autostradale di Villa Costanza, lungo l'A1 Milano-Napoli, permette l'accesso ai soli mezzi provenienti dall'autostrada (in direzione Nord o Sud), nonché la sosta di questi ed il collegamento degli utenti con la Città di Firenze tramite tramvia.

In similitudine a questo modello è stato progettato il nuovo parcheggio autostradale di Lucca Est, che potrà essere utilizzato soprattutto dai turisti e dai pendolari attratti dalla Città di Lucca.

Andando ad analizzare nel dettaglio le caratteristiche del progetto del parcheggio autostradale, si è previsto, innanzitutto, il mantenimento allo Stato Attuale delle rampe in ingresso ed in uscita dall'autostrada. Per quanto riguarda la stazione, invece, la parte a Nord, attualmente adibita all'ingresso in autostrada, è demolita, mentre la parte a Sud è resa a doppio senso (per i flussi in ingresso ed in uscita dall'autostrada). La zona attualmente adibita a ricovero merci e mezzi di Autostrade per l'Italia, è stata destinata alla zona parcheggio, con stalli sia per bus turistici che per auto e moto. All'uscita della stazione è stata prevista la realizzazione di una rotatoria a "goccia", che consenta l'ingresso al parcheggio o il rientro in autostrada.

Nello specifico il parcheggio, ad una prima progettazione, si compone di:

- 125 stalli auto (di cui 5 riservati ai disabili);
- 11 stalli per bus turistici;
- 19 stalli per motocicli.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



L'area è completamente contornata da marciapiedi che consentono una sicura viabilità pedonale interna. Nella progettazione è stato inoltre tenuto di conto della realizzazione di ulteriori opere a completamento del parcheggio, come degli spazi riservati per il pagamento dei ticket, wc ed info point.

È interessante osservare che il parcheggio, così progettato, rimane nei confini delimitati dai rilevati esistenti, ma che può essere in seguito ulteriormente ampliato, in base alla necessità, andando ad occupare zone limitrofe.

Per quanto riguarda il collegamento con la città di Lucca, il progetto del nuovo parcheggio autostradale di Lucca Est, vede anche la realizzazione di un percorso pedonale (eventualmente coperto) che dal parcheggio accede al capolinea di una stazione autobus. Tale percorso ricalca l'attuale tracciato di collegamento del casello autostradale con la viabilità locale.

Nello spazio adibito per la fermata degli autobus è possibile, inoltre, la realizzazione di bar, ristoranti, wc, nonché di stalli per mezzi elettrici e green, come bici o monopattini, che permettano anch'essi il collegamento alla città.

Infine, è stata riprogettata la viabilità di collegamento tra la nuova stazione autobus con l'SS12 radd- Viale Europa, che allo Stato Attuale vede l'immissione del traffico proveniente dall'autostrada verso la città, predisponendola per il solo traffico autobus.

Si riportano a seguire le tavole principali che illustrano la progettazione del progetto scambiatore di Lucca Est:

- Stato Attuale;
- Stato di Progetto;
- Stato Sovrapposto;
- Particolare del parcheggio scambiatore autostradale.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

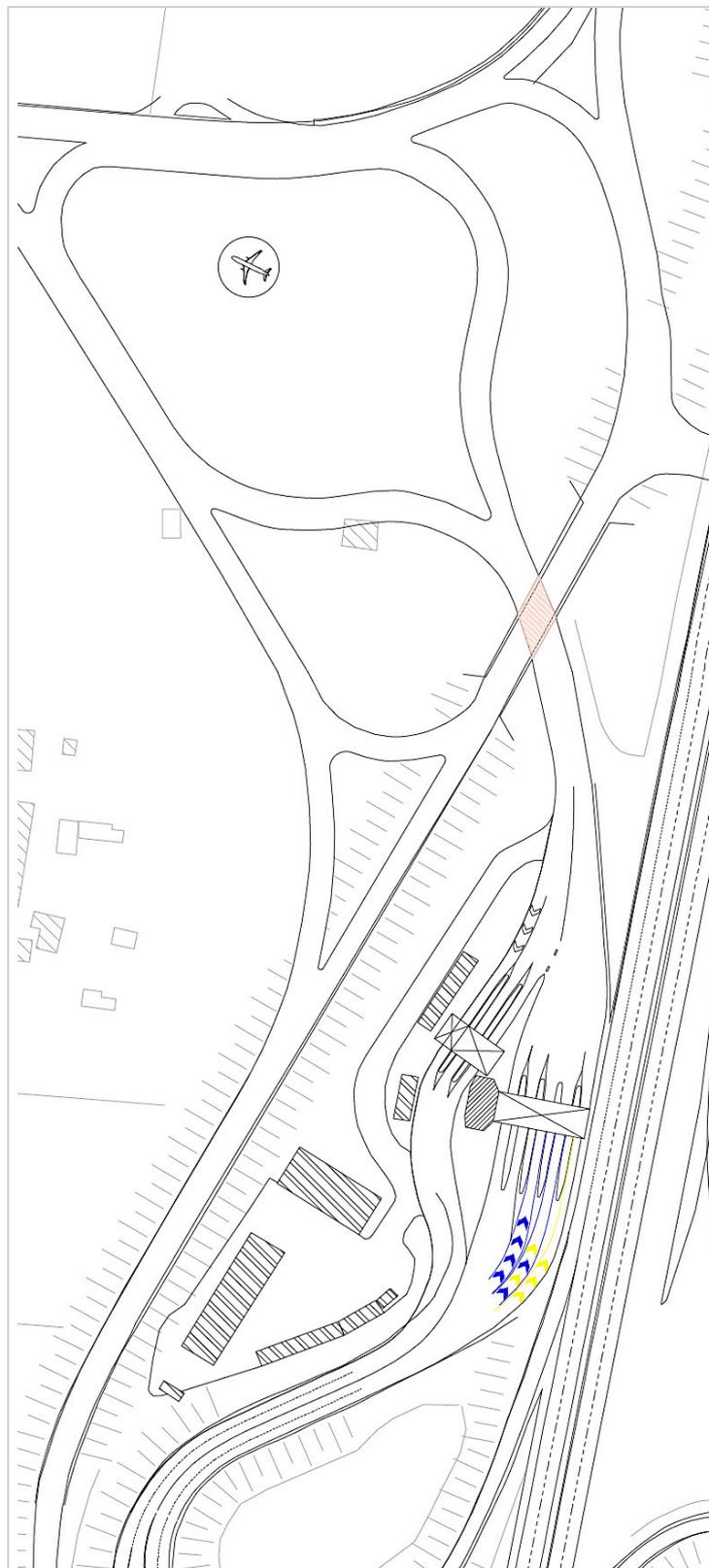


Figura 35- Tavola dello Stato Attuale del Casello di Lucca Est.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

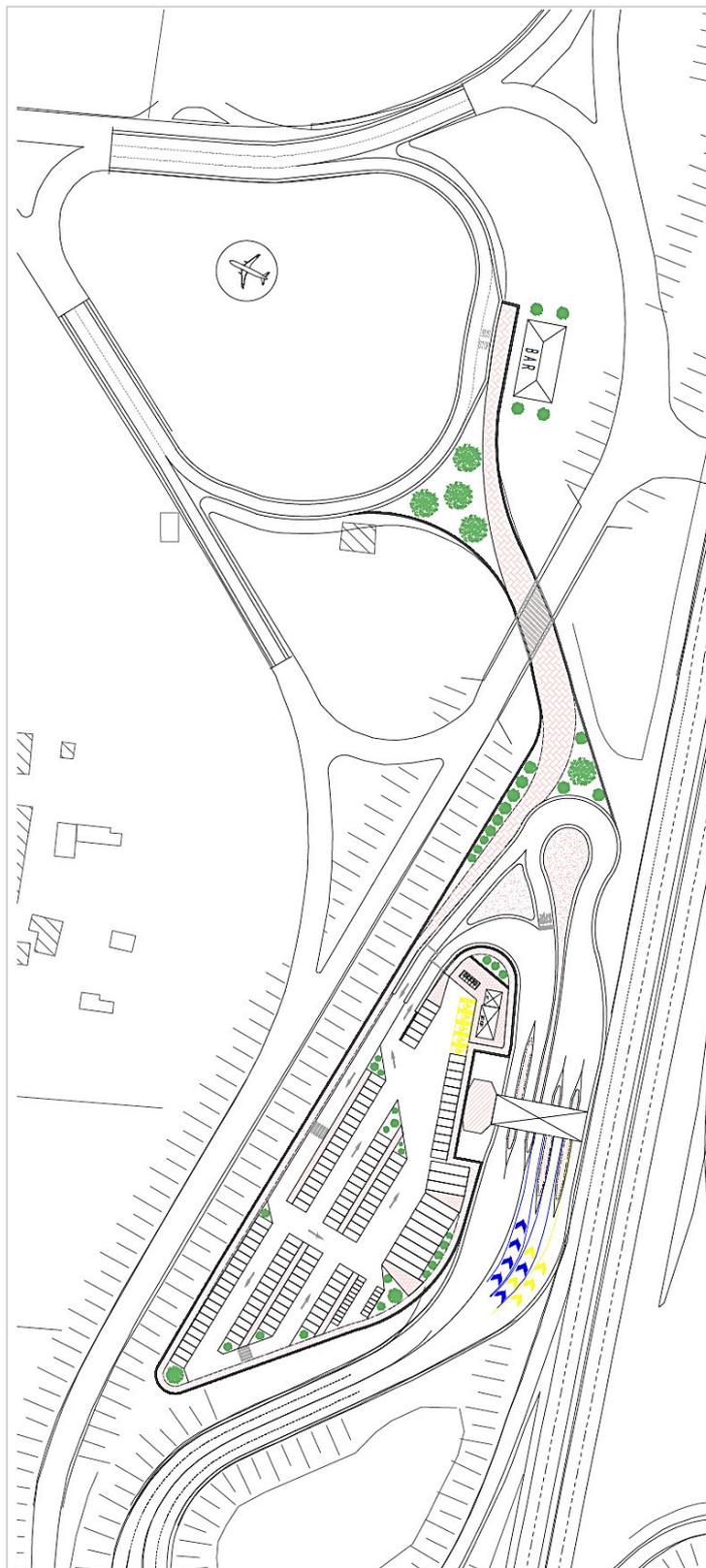


Figura 36- Tavola dello Stato di Progetto del parcheggio scambiatore autostradale del Casello di Lucca Est.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

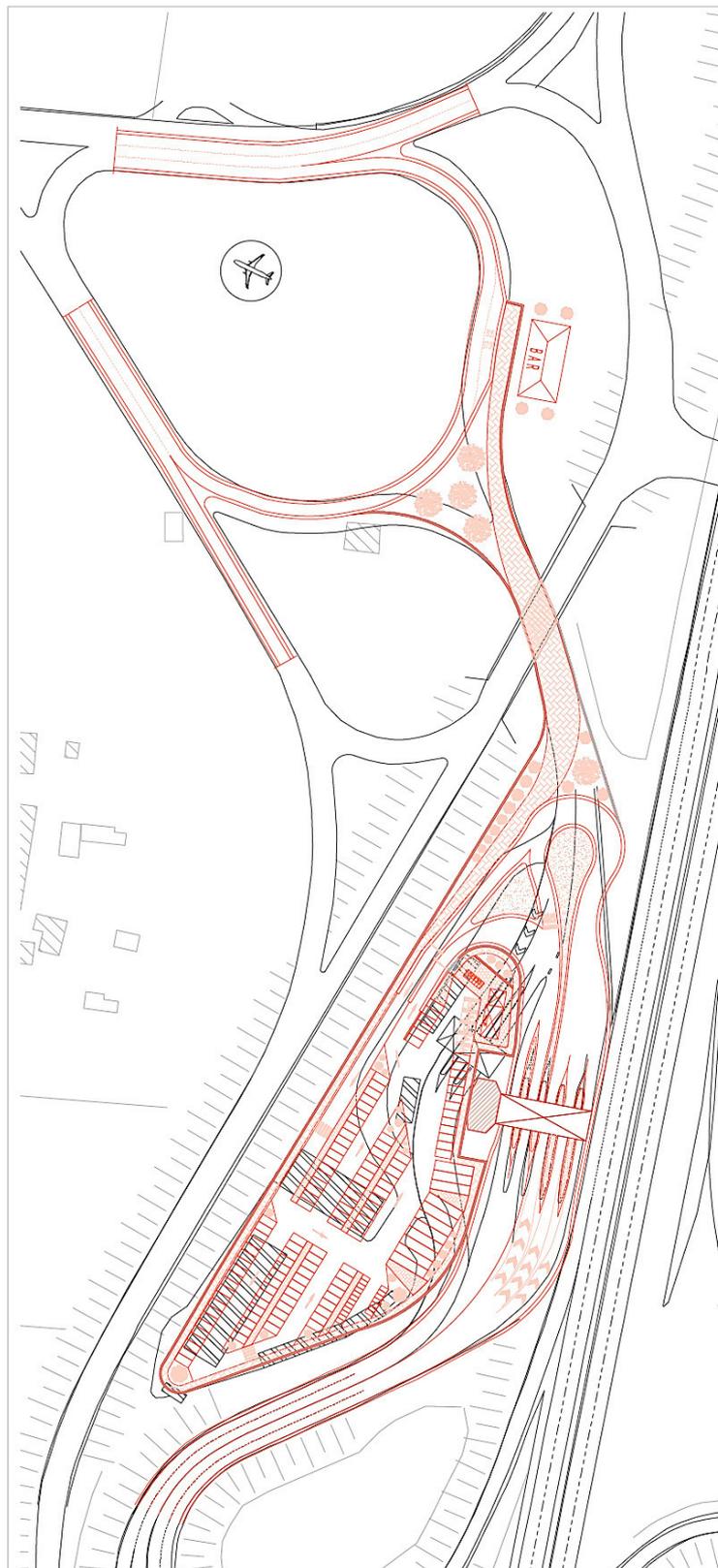


Figura 37- Tavola dello Stato Sovrapposto del parcheggio scambiatore autostradale del Casello di Lucca Est.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana



Figura 38- Tavola del particolare del parcheggio scambiatore autostradale del Casello di Lucca Est.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

3.3 ANALISI SICUREZZA E PRESTAZIONI DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO

3.3.1 ANALISI FLUSSI DI TRAFFICO- STATO DI PROGETTO

Per poter effettuare la simulazione dinamica dello Stato di Progetto e l'analisi di sicurezza surrogata del tratto in esame si è proceduto innanzitutto alla stima dei flussi di traffico e alla loro redistribuzione sui tre svincoli.

Lo svincolo di Lucca Ovest-A12 è rimasto invariato tra lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto.

Per quanto riguarda invece i flussi che allo Stato Attuale interessano lo svincolo di Lucca Est in prima approssimazione sono stati "trasferiti" al Nuovo Casello di Mugnano.

Infine, per i flussi di traffico relativi allo svincolo di Lucca Est, trasformato in parcheggio scambiatore autostradale, con riferimento alla letteratura sono state fatte le seguenti considerazioni:

- Si è considerato un CR (Coefficiente di Riempimento) pari a 0.85, che permette la stima del numero di veicoli (divisi in veicoli leggeri e pesanti) in entrata (70%) e in uscita (30%) nell'ora di punta in relazione al numero di stalli disponibili nell'area di parcheggio;
- I flussi di traffico in ingresso ed in uscita dal parcheggio scambiatore così calcolati sono poi stati moltiplicati per le percentuali di distribuzione dei flussi di traffico sulle rampe allo Stato Attuale in base alle due direzioni: Firenze e Pisa Nord.

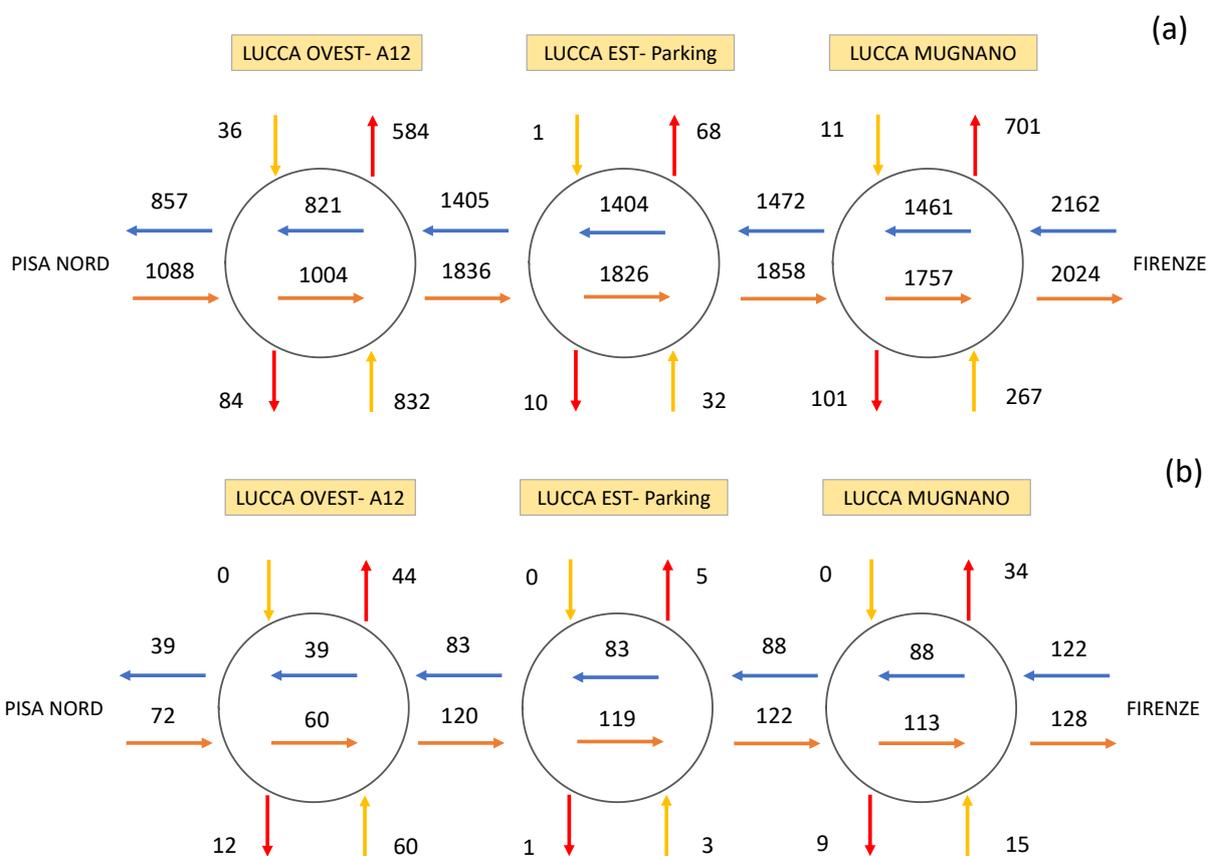


Figura 39- Schema delle ridistribuzioni dei flussi di traffico (in veic/h) leggeri (a) e pesanti (b) allo Stato di Progetto.

3.3.2 SIMULAZIONE DINAMICA DELLO STATO DI PROGETTO CON AIMSUN

Il modello di simulazione dinamica dello Stato di Progetto è stato eseguito con il software Aimsun™ 8.1.4. L'analisi mediante AIMSUN ha permesso la simulazione dello Stato di Progetto del tratto autostradale d'interesse, nello specifico localizzato tra lo svincolo del Casello di Lucca Ovest e lo svincolo del Nuovo Casello Mugnano.

Lo scenario di simulazione viene realizzato sagomando il tratto in esame, considerandone le caratteristiche geometriche e le velocità caratteristiche delle rampe e dei tratti autostradali, ed implementando i flussi di traffico (Traffic State), sia in termini di veicoli leggeri che di veicoli pesanti, per ciascun tratto analizzato (Paragrafo 3.3.1).

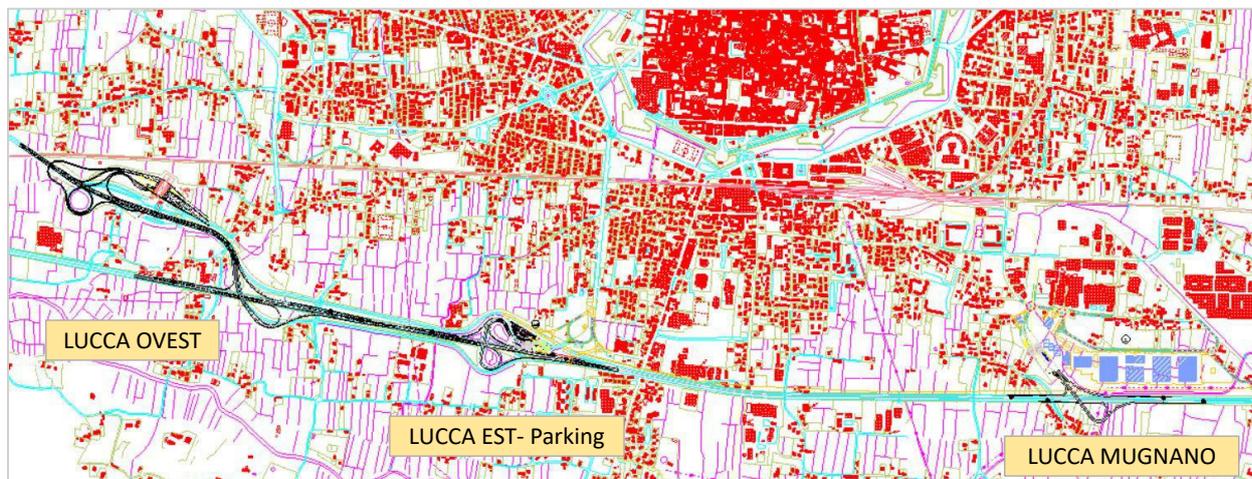


Figura 40- Modello del tratto dell'A11 allo Stato di Progetto, in prossimità dei tre svincoli esaminati, studiato attraverso il software Aimsun di simulazione dinamica del traffico; in colore azzurro si distinguono gli autoveicoli, mentre invece i veicoli pesanti sono di colore rosa.

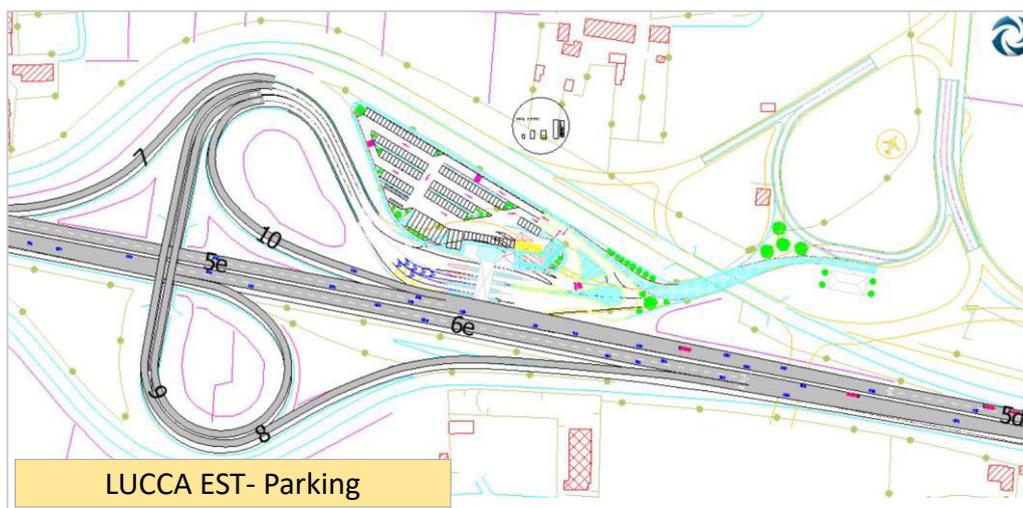


Figura 41- Dettaglio del modello su Aimsun in corrispondenza dello svincolo del Casello Lucca Est allo Stato di Progetto, che vede la realizzazione del parcheggio autostradale scambiatore. In colore azzurro si distinguono gli autoveicoli, mentre invece i veicoli pesanti sono di colore rosa.



Figura 42- Dettaglio del modello su Aimsun in corrispondenza dello svincolo del Nuovo Casello Mugnano allo Stato di Progetto. In colore azzurro si distinguono gli autoveicoli, mentre invece i veicoli pesanti sono di colore rosa.

Con le simulazioni di AIMSUN 8.1.4 è stato generato il file delle traiettorie dei veicoli (file .trj) che costituisce l'input per il software SSAM della FHWA., utilizzato per l'analisi della sicurezza surrogata sullo Stato di Progetto del tratto oggetto di studio.

3.3.3 ANALISI SICUREZZA SURROGATA

Nel tratto autostradale (A11) localizzato tra lo svincolo Lucca Ovest e lo svincolo del Nuovo Casello Lucca Mugnano è stata effettuata un'analisi della sicurezza surrogata dello Stato di Progetto, andando a confrontare i risultati ottenuti con quelli dello Stato Attuale.

Come valori input per l'analisi con SSAM allo Stato di Progetto sono stati assunti quelli assegnati di default:

- Time to Collision, o TTC, che è il tempo minimo di collisione, $TTC = 1.5$ sec;
- Post Encroachment Time, o PET, tempo successivo all'invasione di corsia, $PET = 5$ sec;
- Angolo limite superiore per conflitti di tipo Rear End: 30° ;
- Angolo limite inferiore per conflitti di tipo Crossing: 80° .



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Tabella 7- Tipo numero e di conflitti per il calcolo della sicurezza surrogata allo Stato di Progetto del tratto autostradale (A11) in esame.

STATO DI PROGETTO	
TYPE OF CONFLICT	TTC 1.5 [s]
UNCLASSIFIED	0
CROSSING	0
LANE CHANGE	0
REAR END	22
TOTALE	22

I dati dell'analisi di sicurezza surrogata ottenuti con SSAM possono essere geolocalizzati sulla planimetria di progetto importando il file output (.csv) su un software di tipo GIS unitamente al file .dxf della Carta Tecnica Regionale (CTR), in scala 1:1000 (dal sito Geoscopio della Regione Toscana).

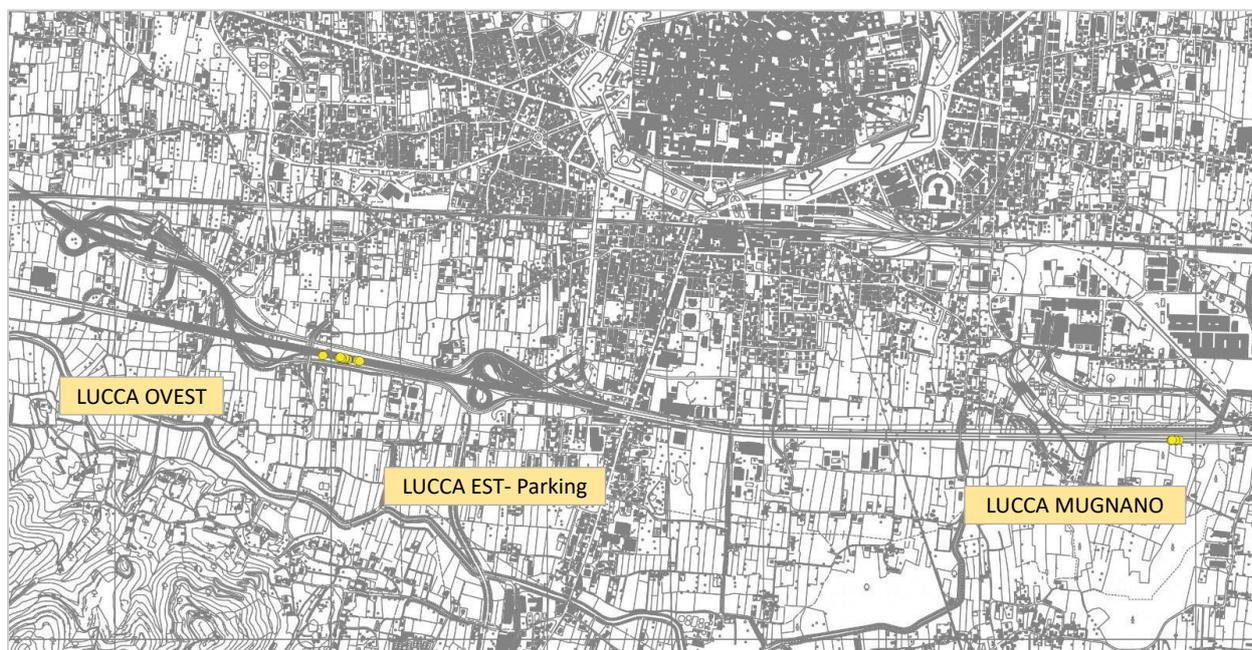


Figura 43- Geolocalizzazione dei conflitti ricavati con SSAM con TTC=1.5 secondi.

L'analisi della sicurezza surrogata allo Stato di Progetto è stata confrontata con quella eseguita allo Stato Attuale, comparando in primo luogo la riduzione del numero di incidenti possibili con



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGistica della Toscana

TTC = 1.5 secondi (valore standard) sia in termini assoluti sia in termini percentuali. Inoltre, grazie alla geolocalizzazione degli incidenti su di un software GIS, è stato possibile andare a comparare nello specifico il numero di incidenti che si possono avere nelle tre zone di svincolo studiate (svincolo di Lucca Ovest, svincolo del parcheggio scambiatore autostradale di Lucca Est e svincolo del Nuovo Casello Mugnano); calcolando per ciascuna di esse la diminuzione del numero di incidenti sia in termini assoluti sia in termini percentuali (vedi Tabella).

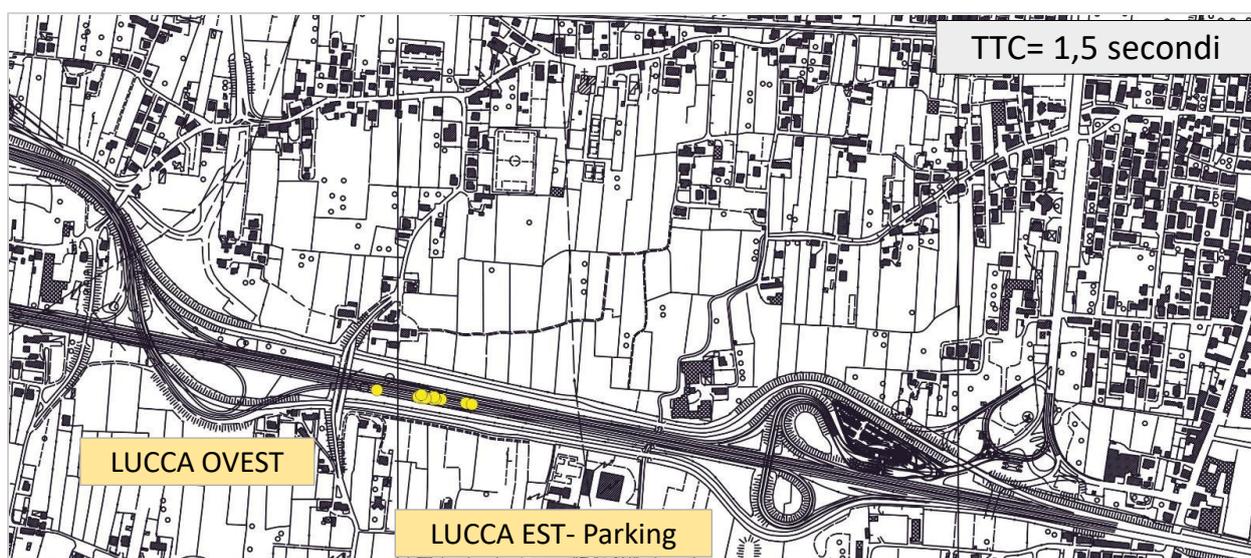


Figura 44- Dettaglio della geolocalizzazione dei conflitti su QGIS nel tratto compreso tra lo svincolo di Lucca Ovest-A12 e lo svincolo Lucca Est allo Stato di Progetto.

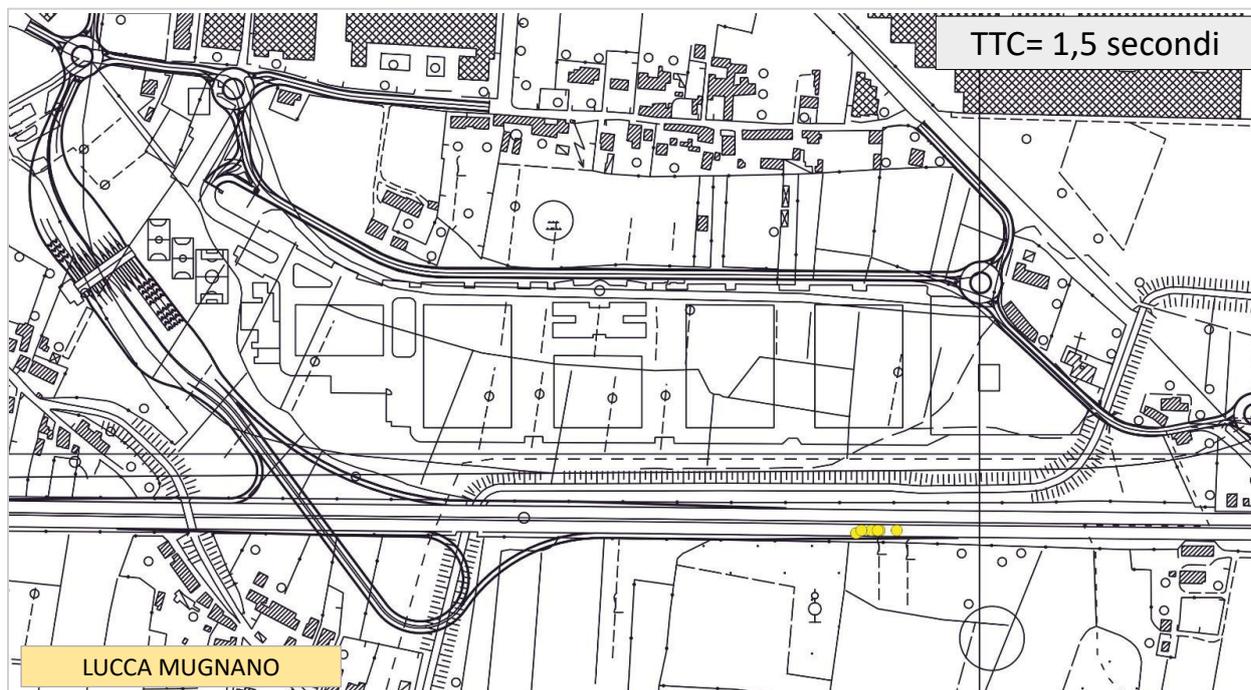


Figura 45- Dettaglio della geolocalizzazione dei conflitti su QGIS nel tratto dell’A11 in corrispondenza del Nuovo Casello Mugnano allo Stato di Progetto.

Tabella 8- Confronto dell’analisi della sicurezza surrogata tra lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto con TTC=1.5 secondi.

CONFRONTO DELL’ANALISI DELLA SICUREZZA SURROGATA				
	Svincolo Lucca Ovest-A12	Svincolo Lucca Est	Svincolo Nuovo Casello Mugnano	TOTALE
STATO ATTUALE	23	7	-	30
STATO DI PROGETTO	15	0	7	22
Riduzione incidenti	8	7	-	8
Riduzione percentuale	35%	100%	-	27%

Osservando la Tabella 8 si può notare che:

- In corrispondenza dello svincolo di Lucca Ovest- A 12 si ha una riduzione del numero di possibili conflitti (-35%) dovuta allo spostamento dei flussi veicolari, diretti nella parte Est della Città di Lucca, verso il Nuovo Casello di Mugnano; il che comporta anche una riduzione delle manovre di “weaving” nel tratto;



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

- In corrispondenza dello svincolo di Lucca Est, trasformato in parcheggio scambiatore autostradale, si osserva un annullamento dei possibili conflitti in ingresso ed in uscita da e verso esso, dovuto al cambio di destinazione dello stesso e conseguentemente ai minori flussi veicolari che vi circolano.
- Per lo svincolo del nuovo Casello di Mugnano si nota che il numero di conflitti che allo Stato Attuale riguardavano lo svincolo del Casello di Lucca Est si sono "spostati" in corrispondenza del suddetto.

In termini di numero di possibili conflitti che si possono verificare sul tratto in esame si osserva una riduzione complessiva del 27%.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

4. CONCLUSIONI

La presente relazione ha riguardato lo studio del tratto dell'Autostrada A11 localizzato tra lo svincolo in direzione Lucca Ovest-A12 e la località Mugnano, localizzata al confine con il Comune di Capannori.

Come già anticipato nella premessa, lo studio è stato motivato dalla presenza sul tratto tra gli svincoli di Lucca Est e Lucca Ovest, allo Stato Attuale, di un elevato traffico, che, unitamente alla ridotta lunghezza del tracciato, comporta un alto tasso di incidentalità.

L'obiettivo dello studio è stato quindi di valutazione e progettare un possibile nuovo casello autostradale (A11) in località Mugnano, nonché la sistemazione del suddetto tratto.

Per cui la presente relazione tecnica è stata suddivisa in due parti:

- Nel Capitolo 2 è stata trattata l'indagine delle criticità esistenti nello specifico tratto dell'A11 compreso tra lo svincolo del Casello di Lucca Est e lo svincolo in direzione Casello di Lucca Ovest-A12, allo Stato Attuale;
- Nel Capitolo 3 invece è stata illustrata la proposta progettuale della realizzazione di un nuovo casello autostradale in località Mugnano (LU), alternativo all'attuale casello di Lucca Est, nonché la trasformazione di quest'ultimo in un parcheggio scambiatore autostradale. Inoltre, si è provveduto allo studio dei benefici di questa soluzione, in termini di sicurezza surrogata, confrontandone i risultati ottenuti con quelli dello Stato Attuale.

Nello specifico nel Capitolo 2, a seguito dello studio dei flussi e della modellazione dinamica del tratto, sono stati analizzati:

- La sicurezza surrogata, con riferimento al numero di incidenti che possono verificarsi sul tratto;
- Il Livello di Servizio (LoS) dei tratti dell'infrastruttura.

Per quanto riguarda la sicurezza surrogata, dai risultati dell'analisi del tratto si è osservato che la probabilità che avvenga un incidente risulta, come preventivato, piuttosto elevata, soprattutto nel tratto di raccordo terminale della corsia di immissione dei veicoli che da Lucca Ovest-A12



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



entrano in A11 in direzione Firenze. Tali risultati possono essere in gran parte ricondotti alle manovre "weaving", o di intreccio, che si verificano nel breve tratto di interscambio (circa 190 m) che separa le rampe in ingresso ed in uscita, degli svincoli dei caselli di Lucca Est e Lucca Ovest.

A conferma di ciò i conflitti risultano tutti di tipo Rear End, cioè conflitti con un angolo di reciproca incidenza ridotto, ovvero sia i "tamponamenti", che possono avvenire, ad esempio, per una distrazione del conducente all'ingresso del tratto.

Oltre all'analisi della sicurezza surrogata è stata eseguita la stima del Livello di Servizio- LoS, sia delle rampe sia dei tratti di weaving (tratti di scambio), utilizzando il software HCS+. Il LoS minimo riscontrato nel tratto in esame risulta essere C che corrisponde al limite minimo accettabile in ambito extraurbano. Questo comporta che un eventuale futuro aumento dei flussi possa rendere inaccettabile i livelli di servizio dei tratti, ovvero la loro efficienza.

Tutte le simulazioni e i conseguenti risultati così ottenuti, sia in termini di sicurezza surrogata del tratto sia in termini di livello di servizio, hanno portato alla redazione del Capitolo 3 dove sono state illustrate due proposte progettuali dipendenti l'una dall'altra:

- Il progetto di un nuovo casello autostradale in località Mugnano (Lucca)- denominato Nuovo Casello Mugnano, che andrebbe a sostituirsi all'attuale Casello di Lucca Est;
- La trasformazione dell'attuale casello di Lucca Est in un parcheggio scambiatore autostradale a servizio della Città di Lucca.

Infine, per analizzare i benefici ottenuti allo Stato di Progetto ne è stata studiata la sicurezza surrogata, andandola quindi a confrontare con l'analisi della sicurezza surrogata realizzata nel Capitolo 2 per lo Stato Attuale. Il numero di possibili conflitti che si possono verificare sul tratto in esame si è ridotto del 27%, e nello specifico tratto di raccordo terminale della corsia di immissione dei veicoli che da Lucca Ovest-A12 entrano in A11 in direzione Firenze, laddove si sono osservati il maggior numero di conflitti allo Stato Attuale, si osserva una riduzione del 35%.

Si può quindi concludere che tale relazione tecnica è incentrata sulle verifiche di fattibilità, sulle valutazioni e sullo studio del progetto di un nuovo casello autostradale in località Mugnano.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

In particolare, è stato analizzato lo Stato Attuale del tratto di interesse, il quale ha portato alla luce diverse criticità, sia in ambito di sicurezza, sia in ambito di efficienza. Per far fronte a tali criticità è stato quindi studiato il successivo Stato di Progetto che ha riguardato sia la progettazione vera e propria del Nuovo Casello Mugnano, sia la trasformazione dell'attuale casello di Lucca Est in un parcheggio scambiatore autostradale.

...--+°*°+--...



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

5. ALLEGATI

Scheda output HCS+ per Rampa 1 di immissione da Lucca Ovest su A11 in direzione Pisa Nord

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:

Fax:

E-mail:

Merge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
 Agency/Co.:
 Date performed: 28/07/2020
 Analysis time period:
 Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 1_ Lucca Ovest
 Junction:
 Jurisdiction:
 Analysis Year: 2020
 Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Merge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	966	vph

On Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	1	
Free-flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	35	vph
Length of first accel/decel lane	100	m
Length of second accel/decel lane		m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent Ramp		vph
Position of adjacent Ramp		
Type of adjacent Ramp		
Distance to adjacent Ramp		m



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	966	35		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	252	9		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade		%	%	%
Length		km	km	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	1006	36		pcph

Estimation of V12 Merge Areas

$$L = \text{EQ} \quad (\text{Equation 25-2 or 25-3})$$

$$P = 1.000 \quad \text{Using Equation } \theta$$

$$FM$$

$$v_{12} = v_F (P_{FM}) = 1006 \quad \text{pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
v _{FO}	1042	4800	No
v _{R12}	1042	4600	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 3.402 + 0.00456 v_R + 0.0048 v_{12} - 0.01278 L_A = 7.1 \quad \text{pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence B

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	M = 0.312	
Space mean speed in ramp influence area,	S = 103.5	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 103.5	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 2 di immissione da Lucca Ovest su A11 in direzione Firenze

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:
E-mail:

Fax:

Merge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
 Agency/Co.:
 Date performed: 28/07/2020
 Analysis time period:
 Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 2_ Lucca Ovest
 Junction:
 Jurisdiction:
 Analysis Year: 2020
 Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Merge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	1951	vph

On Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	2	
Free-flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	987	vph
Length of first accel/decel lane	140	m
Length of second accel/decel lane	140	m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent Ramp		vph
Position of adjacent Ramp		
Type of adjacent Ramp		
Distance to adjacent Ramp		m



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di Logistica della Toscana

Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	1951	987		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	508	257		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade		%	%	%
Length		km	km	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	2032	1028		pcph

Estimation of V12 Merge Areas

$$L = \text{(Equation 25-2 or 25-3)}$$

$$EQ$$

$$P = 1.000 \text{ Using Equation } \emptyset$$

$$FM$$

$$v_{12} = v_F (P_{FM}) = 2032 \text{ pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
v _{FO}	3060	4800	No
v _{R12}	3060	4600	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 3.402 + 0.00456 v_R + 0.0048 v_{12} - 0.01278 L_A = 12.5 \text{ pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence C

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	M = 0.320	
Space mean speed in ramp influence area,	S = 103.0	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 103.0	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 3 di uscita da A11-Pisa Nord verso Lucca Ovest-A12

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:
E-mail:

Fax:

_____Diverge Analysis_____

Analyst: Brocchini - Pratelli
Agency/Co.:
Date performed: 28/07/2020
Analysis time period:
Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 3_ Lucca Ovest
Junction:
Jurisdiction:
Analysis Year: 2020
Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

_____Freeway Data_____

Type of analysis	Diverge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	1052	vph

_____Off Ramp Data_____

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	1	
Free-Flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	88	vph
Length of first accel/decel lane	100	m
Length of second accel/decel lane		m

_____Adjacent Ramp Data (if one exists)_____

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent ramp		vph
Position of adjacent ramp		
Type of adjacent ramp		
Distance to adjacent ramp		m



Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	1052	88		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	274	23		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade	0.00	%	0.00	%
Length	0.00	km	0.00	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	1096	92		pcph

Estimation of V12 Diverge Areas

$$L = \text{EQ} \quad (\text{Equation 25-8 or 25-9})$$

$$P = 1.000 \quad \text{Using Equation } \emptyset$$

$$FD$$

$$v_{12R} = v_{FR} + (v_{FR} - v_{FR}) P = 1096 \quad \text{pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
v_{FR}	1096	4800	No
v_{12R}	1096	4400	No
$v_{FR} - v_{FR}$	1004	4800	No
v_{FR}	92	2000	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 2.642 + 0.0053 v_{12R} - 0.0183 L = 6.6 \quad \text{pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence B

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	D = 0.491	
Space mean speed in ramp influence area,	S = 94.0	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 94.0	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 4 di uscita da A11-Firenze verso Lucca Ovest-A12

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:

Fax:

E-mail:

Diverge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
 Agency/Co.:
 Date performed: 21/07/2020
 Analysis time period:
 Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 4_ Lucca Ovest
 Junction:
 Jurisdiction:
 Analysis Year: 2020
 Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Diverge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	1571	vph

Off Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	2	
Free-Flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	639	vph
Length of first accel/decel lane	180	m
Length of second accel/decel lane	180	m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent ramp		vph
Position of adjacent ramp		
Type of adjacent ramp		
Distance to adjacent ramp		m



Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	1571	639		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	409	166		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade	0.00	%	0.00	%
Length	0.00	km	0.00	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	1636	666		pcph

Estimation of V12 Diverge Areas

$$L = \text{(Equation 25-8 or 25-9)}$$

$$EQ$$

$$P = 1.000 \text{ Using Equation } \emptyset$$

$$FD$$

$$v_{12} = v_R + (v_F - v_R) P = 1636 \text{ pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
$v_{12} = v_{12}$	1636	4800	No
$v_{12} = v_{12}$	1636	4400	No
$v_{12} = v_{12} - v_{12}$	970	4800	No
$v_{12} = v_{12}$	666	3800	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 2.642 + 0.0053 v_{12} - 0.0183 L = 1.4 \text{ pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence A

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	$D = 0.543$	
Space mean speed in ramp influence area,	$S = 91.2$	km/h
Space mean speed in outer lanes,	$S = N/A$	km/h
Space mean speed for all vehicles,	$S = 91.2$	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 7 di immissione da Lucca Est su A11 in direzione Pisa Nord

1

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:

Fax:

E-mail:

Merge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
 Agency/Co.:
 Date performed: 28/07/2020
 Analysis time period:
 Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 7_ Lucca Est
 Junction:
 Jurisdiction:
 Analysis Year: 2020
 Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Merge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	1571	vph

On Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	1	
Free-flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	10	vph
Length of first accel/decel lane	120	m
Length of second accel/decel lane		m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent Ramp		vph
Position of adjacent Ramp		
Type of adjacent Ramp		
Distance to adjacent Ramp		m



Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	1571	10		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	409	3		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade		%	%	%
Length		km	km	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	1636	10		pcph

Estimation of V12 Merge Areas

$$L = \text{EQ} \quad (\text{Equation 25-2 or 25-3})$$

$$P = 1.000 \quad \text{Using Equation } \emptyset$$

$$v_{12} = v_F (P_{FM}) = 1636 \text{ pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
v _{F0}	1646	4800	No
v _{R12}	1646	4600	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 3.402 + 0.00456 v_R + 0.0048 v_{12} - 0.01278 L_A = 9.8 \text{ pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence B

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	M = 0.317	
Space mean speed in ramp influence area,	S _R = 103.2	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S ₀ = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 103.2	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 8 di immissione da Lucca Est su A11 in direzione Firenze

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone: Fax:
E-mail:

Merge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
Agency/Co.:
Date performed: 28/07/2020
Analysis time period:
Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 8_ Lucca Est
Junction:
Jurisdiction:
Analysis Year: 2020
Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Merge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	2132	vph

On Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	1	
Free-flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	285	vph
Length of first accel/decel lane	80	m
Length of second accel/decel lane		m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent Ramp		vph
Position of adjacent Ramp		
Type of adjacent Ramp		
Distance to adjacent Ramp		m



Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	2132	285		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	555	74		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Rolling	Level		
Grade	%		%	%
Length	km		km	km
Trucks and buses PCE, ET	2.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	2.0	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	2221	297		pcph

Estimation of V12 Merge Areas

$$L = \text{EQ} \quad (\text{Equation 25-2 or 25-3})$$

$$P = 1.000 \quad \text{Using Equation } \emptyset$$

$$v_{12} = v_F (P_{FM}) = 2221 \quad \text{pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
v _{F0}	2518	4800	No
v _{R12}	2518	4600	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 3.402 + 0.00456 v_R + 0.0048 v_{12} - 0.01278 L_A = 14.4 \quad \text{pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence C

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	M = 0.353	
Space mean speed in ramp influence area,	S _R = 101.3	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S ₀ = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 101.3	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 9 di uscita da A11-Pisa Nord verso Lucca Est

|

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:

Fax:

E-mail:

Diverge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
 Agency/Co.:
 Date performed: 21/07/2020
 Analysis time period:
 Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 9_ Lucca Est
 Junction:
 Jurisdiction:
 Analysis Year: 2020
 Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Diverge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	1951	vph

Off Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	1	
Free-Flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	103	vph
Length of first accel/decel lane	80	m
Length of second accel/decel lane		m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent ramp		vph
Position of adjacent ramp		
Type of adjacent ramp		
Distance to adjacent ramp		m



Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	1951	103		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	508	27		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade	0.00	%	0.00	%
Length	0.00	km	0.00	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	2032	107		pcph

Estimation of V12 Diverge Areas

$$L = \text{(Equation 25-8 or 25-9)}$$

$$EQ$$

$$P = 1.000 \text{ Using Equation } \emptyset$$

$$FD$$

$$v_{12} = v_{12R} + (v_{12F} - v_{12R}) P = 2032 \text{ pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
$v_{12} = v_{12R}$	2032	4800	No
$v_{12} = v_{12R}$	2032	4400	No
$v_{12} = v_{12F} - v_{12R}$	1925	4800	No
$v_{12} = v_{12R}$	107	2000	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 2.642 + 0.0053 v_{12} - 0.0183 L = 11.9 \text{ pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence B

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	D = 0.493	
Space mean speed in ramp influence area,	S _R = 93.9	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S _F = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 93.9	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per Rampa 10 di uscita da A11-Firenze verso Lucca Est

HCS+: Ramps and Ramp Junctions Release 5.2

Phone:
E-mail:

Fax:

Diverge Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
Agency/Co.:
Date performed: 21/07/2020
Analysis time period:
Freeway/Dir of Travel: A11_ RAMPA 10_ Lucca Est
Junction:
Jurisdiction:
Analysis Year: 2020
Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Freeway Data

Type of analysis	Diverge	
Number of lanes in freeway	2	
Free-flow speed on freeway	120.0	km/h
Volume on freeway	2309	vph

Off Ramp Data

Side of freeway	Right	
Number of lanes in ramp	1	
Free-Flow speed on ramp	50.0	km/h
Volume on ramp	749	vph
Length of first accel/decel lane	180	m
Length of second accel/decel lane		m

Adjacent Ramp Data (if one exists)

Does adjacent ramp exist?	No	
Volume on adjacent ramp		vph
Position of adjacent ramp		
Type of adjacent ramp		
Distance to adjacent ramp		m



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Conversion to pc/h Under Base Conditions

Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, V (vph)	2309	749		vph
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96		
Peak 15-min volume, v15	601	195		v
Trucks and buses	0	0		%
Recreational vehicles	0	0		%
Terrain type:	Level	Level		
Grade	0.00	% 0.00	%	%
Length	0.00	km 0.00	km	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5		
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2		
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000		
Driver population factor, fP	1.00	1.00		
Flow rate, vp	2405	780		pcph

Estimation of V12 Diverge Areas

$$L = \text{(Equation 25-8 or 25-9)}$$

$$EQ$$

$$P = 1.000 \text{ Using Equation } \emptyset$$

$$FD$$

$$v = v_{12} + (v_F - v_R) P = 2405 \text{ pcph}$$

Capacity Checks

	Actual	Maximum	LOS F?
$v = v_{12}$	2405	4800	No
F_i			
v_{12}	2405	4400	No
$v_F = v_F - v_R$	1625	4800	No
F_O			
v_R	780	2000	No

Level of Service Determination (if not F)

$$\text{Density, } D = 2.642 + 0.0053 v_R - 0.0183 L_{12} = 12.1 \text{ pc/km/ln}$$

Level of service for ramp-freeway junction areas of influence C

Speed Estimation

Intermediate speed variable,	D = 0.553	
Space mean speed in ramp influence area,	S = 90.7	km/h
Space mean speed in outer lanes,	S = N/A	km/h
Space mean speed for all vehicles,	S = 90.7	km/h



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI
LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per tratto di Interscambio 1- direzione Ovest-Est

HCS+: Freeway Weaving Release 5.2

Phone: _____ Fax: _____
E-mail: _____

Operational Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
Agency/Co.: _____
Date Performed: 28/07/2020
Analysis Time Period: _____
Freeway/Dir of Travel: A11_ MANOVRA WEAVING_Ovest-Est
Weaving Location: _____
Jurisdiction: _____
Analysis Year: 2020
Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Inputs

Freeway free-flow speed, SFF	120	km/h
Weaving number of lanes, N	2	
Weaving segment length, L	190	m
Terrain type	Level	
Grade		%
Length		km
Weaving type	A	Multilane or C-D
Volume ratio, VR	0.51	
Weaving ratio, R	0.05	

Conversion to pc/h Under Base Conditions

	Non-Weaving		Weaving		
	V	V	V	V	
	A-C	B-D	A-D	B-C	
Volume, V	905	52	51	942	veh/h
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96	0.96	0.96	
Peak 15-min volume, v15	236	14	13	245	v
Trucks and buses	0	0	0	0	%
Recreational vehicles	0	0	0	0	%
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5	1.5	1.5	
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2	1.2	1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000	1.000	1.000	
Driver population factor, fP	1.00	1.00	1.00	1.00	
Flow rate, v	942	54	53	981	pc/h



Weaving and Non-Weaving Speeds

	Weaving	Non-Weaving
a (Exhibit 24-6)	0.15	0.00
b (Exhibit 24-6)	2.20	4.00
c (Exhibit 24-6)	0.97	1.30
d (Exhibit 24-6)	0.80	0.75
Weaving intensity factor, W_i	1.78	1.18
Weaving and non-weaving speeds, S_i	61.43	71.72
Number of lanes required for unconstrained operation, N_w (Exhibit 24-7)		0.93
Maximum number of lanes, N_w (max) (Exhibit 24-7)		1.40
Type of operation is		Unconstrained

Weaving Segment Speed, Density, Level of Service and Capacity

Weaving segment speed, S	66.08	km/h
Weaving segment density, D	15.36	pc/km/ln
Level of service, LOS	C	
Capacity of base condition, c_b		pc/h
Capacity as a 15-minute flow rate, c		pc/h
Capacity as a full-hour volume, c_h		pc/h

Limitations on Weaving Segments

	Analyzed	If Max Exceeded	See Note
Weaving flow rate, V_w	1034	2800	a
Average flow rate (pc/h/ln)	1015	2400	b
Volume ratio, VR	0.51	1.00	c
Weaving ratio, R	0.05	N/A	d
Weaving length (m)	190	750	e

Notes:

- a. Weaving segments longer than 750 m. are treated as isolated merge and diverge areas using the procedures of Chapter 25, "Ramps and Ramp Junctions".
- b. Capacity constrained by basic freeway capacity.
- c. Capacity occurs under constrained operating conditions.
- d. Three-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.45. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- e. Four-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.35. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- f. Capacity constrained by maximum allowable weaving flow rate: 2,800 pc/h (Type A), 4,000 (Type B), 3,500 (Type C).
- g. Five-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.20. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- h. Type B weaving segments do not operate well at volume ratios greater than 0.80. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- i. Type C weaving segments do not operate well at volume ratios greater than 0.50. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.



UNIVERSITÀ DI PISA

POLO UNIVERSITARIO SISTEMI LOGISTICI

LABORATORIO "LOGIT"

Villa Letizia, Via dei Pensieri 60 – 57128 Livorno

c.f. 80003670504 - p.IVA IT00286820501



Laboratorio di LOGISTICA della Toscana

Scheda output HCS+ per tratto di Interscambio 2- direzione Est-Ovest

HCS+: Freeway Weaving Release 5.2

Phone: _____ Fax: _____
E-mail: _____

Operational Analysis

Analyst: Brocchini - Pratelli
Agency/Co.: _____
Date Performed: 28/07/2020
Analysis Time Period: _____
Freeway/Dir of Travel: A11_ MANOVRA WEAVING_Est-Ovest
Weaving Location: _____
Jurisdiction: _____
Analysis Year: 2020
Description: Analisi Casello Lucca Est- Lucca Ovest

Inputs

Freeway free-flow speed, SFF	120	km/h
Weaving number of lanes, N	2	
Weaving segment length, L	250	m
Terrain type	Level	
Grade		%
Length		km
Weaving type	A	Multilane or C-D
Volume ratio, VR	0.41	
Weaving ratio, R	0.01	

Conversion to pc/h Under Base Conditions

	Non-Weaving		Weaving		
	V	V	V	V	
	A-C	B-D	A-D	B-C	
Volume, V	922	6	633	9	veh/h
Peak-hour factor, PHF	0.96	0.96	0.96	0.96	
Peak 15-min volume, v15	240	2	165	3	v
Trucks and buses	0	0	0	0	%
Recreational vehicles	0	0	0	0	%
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5	1.5	1.5	
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2	1.2	1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	1.000	1.000	1.000	1.000	
Driver population factor, fP	1.00	1.00	1.00	1.00	
Flow rate, v	960	6	659	9	pc/h



Weaving and Non-Weaving Speeds

	Weaving	Non-Weaving
a (Exhibit 24-6)	0.15	0.00
b (Exhibit 24-6)	2.20	4.00
c (Exhibit 24-6)	0.97	1.30
d (Exhibit 24-6)	0.80	0.75
Weaving intensity factor, W_i	0.99	0.55
Weaving and non-weaving speeds, S_i	76.16	91.12
Number of lanes required for unconstrained operation, N_w (Exhibit 24-7)		0.79
Maximum number of lanes, N_w (max) (Exhibit 24-7)		1.40
Type of operation is		Unconstrained

Weaving Segment Speed, Density, Level of Service and Capacity

Weaving segment speed, S	84.34	km/h
Weaving segment density, D	9.69	pc/km/ln
Level of service, LOS	B	
Capacity at base condition, c_0		pc/h
Capacity as a 15-minute flow rate, c		pc/h
Capacity as a full-hour volume, ch		pc/h

Limitations on Weaving Segments

	Analyzed	If Max Exceeded	See Note
Weaving flow rate, V_w	668	2800	a
Average flow rate (pc/h/ln)	817	2400	b
Volume ratio, VR	0.41	1.00	c
Weaving ratio, R	0.01	N/A	d
Weaving length (m)	250	750	e

Notes:

- a. Weaving segments longer than 750 m. are treated as isolated merge and diverge areas using the procedures of Chapter 25, "Ramps and Ramp Junctions".
- b. Capacity constrained by basic freeway capacity.
- c. Capacity occurs under constrained operating conditions.
- d. Three-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.45. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- e. Four-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.35. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- f. Capacity constrained by maximum allowable weaving flow rate: 2,800 pc/h (Type A), 4,000 (Type B), 3,500 (Type C).
- g. Five-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.20. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- h. Type B weaving segments do not operate well at volume ratios greater than 0.80. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.
- i. Type C weaving segments do not operate well at volume ratios greater than 0.50. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.