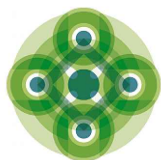




Comune di Bologna



Sostenibilità
è Bologna



PUMS
BOLOGNA
METROPOLITANA

RTI Progettisti:

SYSTRA SOTECNI
SYSTRA GROUP



STUDIO MATTIOLI
Ambiente - Ingegneria - Energia



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE - DIRETTRICE CORTICELLA-CASTEL MAGGIORE)

FSC

Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 - Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017



STUDI SPECIALISTICI Studio trasportistico Analisi di dettaglio dei nodi viari

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE

ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ING. BARBARA BARALDI

GEOM. AGNESE FERO

ARCH. VIRGINIA BORRELLO

RESPONSABILE DI COMMESSA

ING. PAOLO MARCHETTI

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. SANTI CAMINITI

Gruppo di Progettazione:

Ing. Alessandro Piazza (Coordinatore Tecnico)
Ing. Santi Caminiti (Progetto sistemi tranviari)
Ing. Andrea Spinosa (Studi Trasportistici)
Arch. Sebastiano Fulci De Sarno (Prog. Architettonico e Inser. Urbanistico)
Ing. Sergio Di Nicola (Sovrastruttura Tranviaria)
Ing. Jeremie Wajs (Impianti Tecnologici)
Ing. Maurizio Falzea (Esperto Armamento)
Ing. Giorgio Coletti (Progettazione Funzionale Depositi)
Ing. Pietro Caminiti (Viabilità Interferente)
Ing. Stefano Tortella (Opere Strutturali)
Ing. Andrea Carlucci (Esperto Impianti Elettro-ferroviari)
Ing. Domenico D'Apollonio (Impianti di Trazione Elettrica)
Ing. Matteo Mariotti (Impianti Meccanici)
Arch. Sergio Moscheo (Prime Disposizioni per la Sicurezza)
Ing. Boris. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)
Prof. Matteo Mattioli (Valutazione impatto ambientale e impatto acustico)

COMMESSA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381-C	SF	GPR	RT002	B		B381-C-SF-GPR-RT002B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Giugno 2019	EMISSIONE	BENETTI	PIAZZA	S. CAMINITI
1	Lug. 2022	AGGIORNAMENTO PER ITER SCREENING AMBIENTALE	BENETTI	SPINOSA	S. CAMINITI
2					

Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	CONTENUTI E SINTESI DEI RISULTATI DELLO STUDIO.....	6
2.1	PRINCIPALI RISULTATI DELL'ANALISI NELL'AMBITO DELLA BOLOGNINA	6
2.2	PRINCIPALI RISULTATI DELL'ANALISI NELL'AMBITO DI VIA CORTICELLA	10
3	LA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE TRAMITE IL MODELLO DI MICROSIMULAZIONE ...	12
4	LA MICROSIMULAZIONE DELL'AREA DELLA BOLOGNINA.....	19
4.1	LA RETE SOTTOPOSTA A VALUTAZIONE	19
4.2	LA CALIBRAZIONE NELLA SITUAZIONE ATTUALE	21
4.3	GLI SCENARI DI PROGETTO	22
4.3.1	<i>La nuova configurazione della rete</i>	<i>22</i>
4.3.2	<i>La domanda assegnata.....</i>	<i>30</i>
4.3.3	<i>Valutazione delle prestazioni del sistema</i>	<i>32</i>
4.4	INDICAZIONI DAL MODELLO.....	46
5	LA MICROSIMULAZIONE DEL SOTTOPASSO DI VIA DI CORTICELLA	52
5.1	LA RETE SOTTOPOSTA A VALUTAZIONE	52
5.2	LA CALIBRAZIONE NELLA SITUAZIONE ATTUALE	53
5.3	SCENARI DI PROGETTO	53
5.3.1	<i>La nuova configurazione della rete</i>	<i>53</i>
5.3.2	<i>La domanda assegnata.....</i>	<i>56</i>
5.3.3	<i>Valutazione delle prestazioni del sistema</i>	<i>57</i>
5.4	INDICAZIONI DAL MODELLO.....	66

APPENDICE.....	68
ANALISI DA HCM DELLA LUNGHEZZA DELLE CODE SU VIA MAZZA NELLO SCENARIO SENZA SOTTOPASSO	69
PIANI SEMAFORICI DI PROGETTO AMBITO BOLOGNINA	73
PIANI SEMAFORICI DI PROGETTO - AMBITO VIA DI CORTICELLA	79

Lista delle abbreviazioni

LOS	Level Of Service, Livello di servizio
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i> , pubblicazione del Transportation Research Board della <i>National Academies of Science</i> negli Stati Uniti
TPL	Trasporto Pubblico Locale
veic*km	misura delle percorrenze effettuate dai veicoli sulla rete
veic*h	misura del tempo speso dai veicoli sulla rete

1 INTRODUZIONE

Il presente documento espone le risultanze di alcune analisi di dettaglio svolte al fine di valutare gli effetti dell'inserimento della diramazione della linea rossa del tram verso Corticella, su alcuni nodi e tratti potenzialmente critici.

Nello specifico gli ambiti oggetto di verifica sono:

- l'area della Bolognina, con particolare riferimento all'allaccio della diramazione verso Via di Corticella all'altezza di P.za dell'Unità;
- Via di Corticella all'altezza dello svincolo con la Tangenziale di Bologna.

A questo scopo, sono stati implementati specifici modelli di microsimulazione dinamica utilizzando il software PTV VISSIM 2020 (SP07). Tali modelli sono stati implementati a partire dalle risultanze, in termini di relazioni origine e destinazione e percorsi utilizzati, del modello di macrosimulazione realizzato tramite il software PTV VISUM 2020, riferito all'ambito della città metropolitana di Bologna (cfr. elaborato B381-C-SF-GPR-RT001A – Relazione trasportistica).

La microsimulazione permette di riprodurre gli spostamenti dei singoli veicoli in modo dinamico per verificare le condizioni di deflusso veicolare, in particolare nei nodi della rete, e simulare il funzionamento della priorità al tram alle intersezioni semaforizzate.

L'intervallo temporale simulato è quello relativo all'ora di punta della mattina che nell'area di studio si colloca tra le 8:00 e le 9:00, così come emerso dall'analisi dei rilievi di traffico effettuati attraverso spire magnetiche presenti nell'area di studio.

In entrambi i casi è stata individuata come soluzione progettuale per dare soluzione alle criticità presenti, la realizzazione di un sottopasso che, nel caso della **Bolognina** è utilizzato dalle manovre di attraversamento veicolare mentre nel caso di Via di Corticella dal tram stesso.

In particolare, per l'area di intervento di P.za dell'Unità è stata effettuata un'analisi preliminare per stimare la lunghezza della coda sull'approccio di Via Mazza tramite le procedure di calcolo suggerite dall'*Highway Capacity Manual* (HCM), senza ricorrere alla microsimulazione. Emersa la necessità di realizzare un sottopasso, sono state analizzate tramite microsimulazione due configurazioni di progetto: la prima denominata "**sottopasso corto**", in cui la rampa di ingresso è localizzata su via Ferrarese (ramo Nord-Est), nel tratto compreso tra Via Saliceto e Via

Franceschini; la seconda denominata “**sottopasso lungo**”, che prevede, invece, due canne di ingresso rispettivamente su Via Ferrarese e su Via della Liberazione.

Il modello di P.za dell'Unità, inoltre, prendendo in esame un'area piuttosto ampia che rappresenta gran parte del quartiere della Bolognina, è stato utilizzato anche per verificare:

- l'effetto dell'inserimento della linea verso Corticella su via Matteotti, sulla quale l'intertempo tra le vetture tranviarie raggiunge i 2,5 minuti per direzione (Nord o Sud);
- gli adeguamenti degli schemi di circolazione nell'area;
- il funzionamento degli impianti semaforizzati.

Anche per l'ambito di Via di Corticella all'altezza dello svincolo con la Tangenziale di Bologna sono stati simulati due scenari di progetto che prevedono la realizzazione di un sottopasso tranviario su via di Corticella che bypassa le due rotatorie a Sud e a Nord della Tangenziale e il potenziamento della capacità delle stesse. Le due soluzioni progettuali simulate si differenziano per la configurazione della rampa di uscita dalla Tangenziale Nord in direzione Nord.

2 CONTENUTI E SINTESI DEI RISULTATI DELLO STUDIO

Le valutazioni delle configurazioni di progetto riportate in questo documento trattano gli aspetti trasportistici. In particolare, è stata effettuata sia un'analisi di tipo qualitativo, attraverso l'osservazione delle dinamiche della circolazione durante la simulazione, che quantitativo attraverso la definizione e la valorizzazione di indicatori sintetici.

In particolare, l'obiettivo della microsimulazione è verificare che la riduzione della capacità stradale per il traffico privato e la priorità al tram alle intersezioni non comportino una condizione di criticità per il deflusso stradale significativamente peggiore rispetto allo stato attuale e soprattutto tale da avere effetto anche sulla regolarità dell'esercizio della linea tranviaria. Al contempo l'osservazione della simulazione degli scenari di progetto permette di fornire alcune indicazioni progettuali per risolvere eventuali criticità o migliorare le condizioni di circolazione.

Nel seguito di questo documento si riportano:

- la descrizione della metodologia utilizzata (Cap. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**);
- i dettagli del modello, gli scenari simulati e i risultati dell'analisi per l'ambito della Bolognina (Cap. 0);
- i dettagli del modello, gli scenari simulati e i risultati dell'analisi per l'ambito di Via di Corticella (Cap. 5);
- un'appendice contenente:
 - i dettagli di calcolo per la valutazione della lunghezza della coda su via Mazza tramite procedura HCM nello scenario senza sottopasso;
 - l'indicazione dei piani semaforici considerati negli scenari di progetto.

2.1 PRINCIPALI RISULTATI DELL'ANALISI NELL'AMBITO DELLA BOLOGNINA

Come già esposto, nel caso dell'ambito di P.za dell'Unità, l'area oggetto di simulazione comprende quasi completamente il quartiere della Bolognina.

I dati di input relativi alla domanda (ingressi nell'ambito di studio e percorsi utilizzati) sono stati importati a partire dal modello di macrosimulazione che ha supportato lo svolgimento di tutta l'analisi trasportistica.

Le verifiche sono state effettuate per l'intervallo di punta della mattina che si colloca tra le 8:00 e le 9:00 così come risulta dai dati di traffico registrati dalle spire presenti nell'area.

Per quanto riguarda l'esercizio della linea rossa e della diramazione verso Corticella, è stato considerato un intertempo di 5 minuti per direzione tra le vetture tranviarie della linea rossa e 5 minuti direzione tra le vetture della diramazione verso Corticella. Su via Matteotti, quindi, l'intertempo tra le vetture è di circa 2,5 minuti per direzione. Il tempo di sosta medio alle fermate è di 20 s. e la velocità del veicolo in attraversamento è pari a 25 km/h.

Nell'area di analisi, l'inserimento dell'infrastruttura tranviaria comporta:

- la **riduzione della capacità stradale** per i veicoli privati lungo tutto il tracciato;
- le seguenti **modifiche agli schemi di circolazione**:
 - *l'inversione del senso di marcia di Via Raimondi* nel tratto compreso tra Via Ferrarese e Via Creti (nello scenario di progetto la direzione ammessa è verso via Creti);
 - *la chiusura dell'accesso di Via Bigari da Via della Liberazione* utilizzato per gli spostamenti di scambio in ingresso all'area orientale della Bolognina.
- la semaforizzazione di tutti i nodi attraversati dal tram, con sistemi per garantire la **priorità tranviaria**.

Obiettivo specifico della microsimulazione è stato quello di valutare quale fosse la configurazione migliore per l'area di P.za dell'Unità, all'altezza della quale si innesta la diramazione per Corticella della linea tranviaria.

I risultati delle analisi effettuate forniscono le seguenti principali indicazioni:

- A. L'inserimento della nuova diramazione tranviaria verso Corticella all'altezza di P.za dell'Unità, considerata:
 - la rilevante riduzione di capacità che si genera su Via Mazza;

- l'importanza dell'itinerario Via Liberazione/ Via Ferrarese – Via Bolognese per la mobilità privata. Allo stato attuale si tratta dell'unico itinerario diretto di attraversamento Est-Ovest del quartiere della Bolognina,
- la necessità di non compromettere la qualità del deflusso veicolare e di conseguenza di non generare ripercussioni sulla regolarità dell'esercizio del TPL.

Richiede la realizzazione di un sottopasso per le manovre di attraversamento del nodo di P.za dell'Unità.

- B. Sono state analizzate tramite microsimulazione due differenti configurazioni del sottopasso: la prima denominata “**sottopasso corto**”, in cui la rampa di ingresso è localizzata su Via Ferrarese, nel tratto compreso tra Via Saliceto e Via Franceschini; la seconda denominata “**sottopasso lungo**”, che prevede, invece, due canne di ingresso, una su Via Ferrarese (ramo Nord-Est) e una su Via della Liberazione.
- C. La soluzione con **sottopasso lungo** presenta indicatori di valutazione leggermente migliori di quella con sottopasso corto, ma comporta un importante allungamento di percorso per i flussi in ingresso all'area della Bolognina Est e soprattutto costi di realizzazione maggiori (estensione maggiore delle opere in sotterranea, realizzazione del collegamento tra Via Parri e Via Ferrarese, nuovo impianto semaforizzato su Via Ferrarese) oltre che difficoltà di inserimento delle rampe per la presenza di passi carrabili su Via della Liberazione.
- D. La soluzione con **sottopasso corto** presenta indicatori di rete in leggero miglioramento rispetto a quelli osservati nella configurazione attuale, con una significativa riduzione dei tempi di percorrenze per gli itinerari di attraversamento di P.za dell'Unità e un miglioramento del livello di servizio dei nodi. **Si ritiene, quindi, che la soluzione con sottopasso corto sia configurazione progettuale da preferire.**
- E. Per quanto riguarda la **configurazione del tratto di Via Ferrarese** compreso tra Via Franceschini e Via di Saliceto, sono state valutate due configurazioni per la viabilità di superficie, vale a dire la realizzazione di due corsie o di una sola corsia sul lato nord della Piazza. Quest'ultima soluzione, che permette di recuperare spazio per la

mobilità dolce, presenta dal punto di vista trasportistico delle criticità. E' molto importante assicurare un deflusso scorrevole all'approccio della piazza, con una lunghezza delle code che deve essere contenuta nell'estensione dell'arco. Perché, nel caso in cui si verifichi il fenomeno dello spillback (la coda risalga al nodo precedente), possono subire ritardo anche i flussi in attraversamento diretti nel sottopasso. La simulazione mostra che localmente la coda raggiunge l'intersezione a monte, si suggerisce, quindi, di progettare la piazza con **due corsie per i veicoli privati**.

- F. La chiusura dell'accesso da Via Bigari all'area della Bolognina ad Est di Via Matteotti, genera, per gli utenti provenienti da Via Stalingrado, un significativo allungamento di percorso per raggiungere la destinazione e, allo stesso tempo, un incremento del traffico sulla viabilità di superficie di Via Ferrarese. Per ovviare a questa problematica, è stato definito un **nuovo itinerario per gli spostamenti in ingresso all'area** (Figura 2.1) da Via Stalingrado attraverso Via Pietro Lianori e Via Serlio, grazie all'eliminazione di 50 m di corsia preferenziale su quest'ultima, nel tratto compreso tra Via Pietro Lianori e l'ingresso al parcheggio P1 della Stazione di Bologna Centrale (che in questo modo risulterà accessibile anche da Est). Si suggerisce, infine, di effettuare un intervento di segnaletica a terra per incanalare i flussi su via Jacopo della Quercia che da entrambe le direzioni confluiscono su Via Franceschini.



Figura 2.1: Proposta per un nuovo itinerario di accesso all'area

- G. Per quanto riguarda la **regolazione delle intersezioni semaforizzate** si osserva che su Via Matteotti l'intertempo tra le vetture tranviarie è di circa 2,5 minuti per direzione.

Per non creare troppe perturbazioni al traffico privato (piuttosto intenso nel tratto tra via Pietramellara e via Jacopo della Quercia) che, a loro volta, potrebbero avere ripercussioni anche sulla regolarità del servizio di trasporto pubblico, si suggerisce di **inserire la fase tranviaria all'interno del ciclo semaforico** senza assicurare la priorità ma minimizzando il tempo di fermo del tram presso i nodi (assicurando "un'onda verde").

2.2 PRINCIPALI RISULTATI DELL'ANALISI NELL'AMBITO DI VIA CORTICELLA

In corrispondenza dell'intersezione tra Via di Corticella e lo svincolo della Tangenziale Nord, il progetto prevede che l'infrastruttura tranviaria venga inserita al centro tra le due carreggiate di via di Corticella la cui sezione si riduce ad una corsia per senso di marcia in entrambe le direzioni. In corrispondenza del suddetto svincolo è risultato necessario introdurre un **sottopasso per la linea tranviaria** al fine di non compromettere il deflusso dei veicoli in ingresso ed uscita dalla Tangenziale che si svolge attraverso le due rotatorie poste rispettivamente a Sud (rotonda Consiglio d'Europa) e a Nord dell'asse Autostrada/Tangenziale.

La configurazione dello svincolo con la Tangenziale Nord è quella proposta da ASPI nell'ambito del progetto del Passante di Bologna e prevede il potenziamento della capacità delle due rotatorie (aumentandone il raggio) e la modifica della rampa in uscita dalla Tangenziale sul lato Nord che, nella configurazione di progetto, si innesta direttamente su Via di Corticella nel tratto di collegamento tra le due rotatorie in direzione Sud.

Si osserva, infatti, che l'inserimento dell'infrastruttura tranviaria in superficie comporterebbe la semaforizzazione delle rotatorie e la riduzione ad un'unica corsia di marcia per il tratto di Via di Corticella tra le due rotatorie. Non sarebbe, inoltre, possibile realizzare la rampa della Tangenziale così come proposto da ASPI.

Nel corso dell'analisi si è ritenuto utile valutare anche uno scenario in cui viene ripristinato l'innesto della rampa dello svincolo all'interno della rotatoria a Nord della Tangenziale. Questo per evitare l'allungamento di percorso di circa 500 m a cui sarebbero obbligati i flussi in uscita dalla Tangenziale provenienti da Est e diretti a Nord.

I risultati delle simulazioni evidenziano:

- A. Un incremento delle manovre di accesso alla Tangenziale Nord, che grazie all'intervento del Passante risulta più attrattiva.
- B. Nel modello macroscopico, che riguarda un'area più ampia, risulta che quota parte dei flussi diretti verso la Tangenziale, percorrono viabilità alternative a Via di Corticella, che vista la riduzione della sezione stradale a disposizione del traffico veicolare non presenta capacità residua, quali Via Arcoveggio per poi immettersi nuovamente su Via di Corticella da Via Giuriolo.
- C. Un leggero peggioramento (8%) delle prestazioni della rete nello scenario di progetto rispetto allo scenario attuale, con una **velocità media** di rete che si mantiene tuttavia buona e pari a circa **30 km/h**.
- D. Un **allungamento delle percorrenze** dovuto oltre che all'incremento dei flussi all'impedimento di alcune svolte a sinistra.
- E. Un **buon livello di servizio** dei nodi nella tratta simulata;
- F. La necessità di prevedere una corretta ed attenta programmazione del ciclo semaforico del nodo di **Via di Corticella/ Via Giuriolo/ Via Saliceto** che costituisce il **nodo critico** della rete in questa area. La buona regolazione di questo nodo risulta è importante anche per il corretto funzionamento della rotonda Consiglio d'Europa posta a sud della Tangenziale. Infatti, **flussi correttamente plotonizzati** in arrivo da tale intersezione permettono un **buon deflusso** per i **veicoli provenienti dalla tangenziale** e consentono di evitare fenomeni di accodamento sulla rampa.

3 LA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE TRAMITE IL MODELLO DI MICROSIMULAZIONE

La microsimulazione è uno strumento che permette di riprodurre gli spostamenti dei singoli veicoli in modo dinamico.

Il modello stocastico di microsimulazione, sviluppato nel software, Vissim cerca di replicare la variabilità delle condizioni di traffico dovute ai comportamenti casuali dei guidatori che determinano, ad esempio: la scelta della velocità, il cambio della corsia, ecc. A tal fine, il software, associa le decisioni dei singoli conducenti basandosi su numeri casuali, generati da un seme ("seed") iniziale definito dal modellista tra i parametri di simulazione.

I risultati presentati sono determinati come valori medi di cinque simulazioni per ogni scenario, così come raccomandato nelle principali linee guida del settore.

Il microsimulatore, nei diversi scenari analizzati, è stato implementato a partire dal modello macroscopico, in particolare per la definizione della domanda, sia come entità dei flussi tra le relazioni origine-destinazione sia per i percorsi effettuati.

Il **modello di rete** dello stato di fatto, importato direttamente dal modello macroscopico, è stato dettagliato con le informazioni sul numero e la larghezza delle corsie, sulle discipline di circolazione, sulle caratteristiche degli impianti semaforici, ecc.

Riguardo agli **impianti semaforici**, si precisa che la Città di Bologna dispone, dal 1998, di un sistema di controllo semaforico, denominato UTOPIA (Urban Traffic Optimisation by Integrated Automation). Il Centro di Controllo e Regolazione del Traffico, ha una gestione telecontrollata del 78% degli impianti semaforici siti nel territorio comunale (aggiornamento Febbraio 2020), ma è in corso un'ulteriore ampliamento per centralizzare altri 26 impianti attualmente in funzionamento cosiddetto "Locale".

Questi impianti semaforici, denominati "intelligenti", sono caratterizzati dal fatto che la durata delle fasi dei cicli semaforici, cioè la durata dei tempi di verde e di rosso, variano in tempo reale in funzione dell'intensità del traffico rilevata da appositi sensori posizionati sotto la pavimentazione stradale (spire induttive). La regolazione degli impianti semaforizzati è detta di tipo "adattativo a generazione dinamica di piano" in grado cioè di determinare ed attuare le più

efficaci strategie di regolazione semaforica del traffico urbano, rispondendo velocemente alle criticità Locali e di Area.

L'architettura del sistema UTOPIA è di tipo gerarchica e decentralizzata: le strategie di controllo ottimo vengono determinate a livello superiore sulla base delle previsioni di traffico per l'Area controllata, mentre, il controllo semaforico viene attuato a livello locale con un apparato denominato "PC Spot" e connesso alla CPU del regolatore semaforico.

In pratica i sensori provvedono ad informare lo Spot sulle previsioni di arrivo dei mezzi; tutte le direzioni equipaggiate con sensori concorrono a modificare la durata delle fasi di verde e di rosso secondo criteri stabiliti dall'algoritmo di controllo.

All'interno della rete controllata, i sensori in uscita da una intersezione servono per informare l'impianto a valle dei flussi in arrivo. Ai margini della rete, i sensori sono posti nelle corsie d'ingresso alla rete, tra i 50 e 100 metri prima della linea d'arresto.

L'aggiornamento continuo dei tempi dei piani semaforici avviene anche attraverso il collegamento con la Centrale di Telecontrollo Bus dell'Azienda di Trasporto Pubblico (TPER) che, attraverso un sistema di localizzazione GPS, monitorizza la posizione della flotta dei bus sul territorio ed invia le relative coordinate ai controllori locali i quali predispongono le fasi semaforiche in modo da favorire il preferenziamento del mezzo nell'attraversamento degli incroci telecontrollati. Tale preferenziamento non è mai assoluto ma sempre bilanciato con le altre direzioni controllate e configurabile con appositi parametri.

Per ogni impianto, nello schema di piano è indicata una durata minima e massima delle fasi variabili in base ai dati di traffico. Tuttavia, nella pianificazione viene anche indicata la presenza di uno o più piani a tempi fissi programmati per il funzionamento "locale" che saranno eseguiti qualora non sia possibile il funzionamento "Centralizzato".

Nel modello di microsimulazione non essendo possibile riprodurre un sistema di regolazione così complesso è stato implementato il piano locale attivo nell'intervallo di punta.

Negli scenari di progetto la simulazione della priorità tranviaria è stata modellizzata attraverso un approccio semplificato, vale a dire interrompendo le fasi di verde delle manovre in conflitto

con la traiettoria del tram per la durata dell'attraversamento del tram mantenendo la stessa durata del ciclo.

Per alcune intersezioni sono state proposte delle variazioni al piano semaforico a causa della modificata configurazione dell'intersezione nel progetto ovvero per ottimizzare le condizioni di deflusso del nodo. In Appendice, per completezza, si riportano i piani implementati negli scenari progettuali.

Sono, inoltre, state definite le caratteristiche di comportamento dei conducenti (ad esempio; il distanziamento medio longitudinale e trasversale tra i veicoli in moto e da fermi, il comportamento al semaforo, le velocità desiderate etc.), così da riprodurre in modo realistico le condizioni di circolazione sulla rete.

Per ottenere una corretta valorizzazione degli indicatori trasportistici, è necessario che all'inizio del periodo di simulazione vera e propria, la rete risulti già attraversata da un congruo numero di veicoli. Per questa ragione si introduce un intervallo temporale di "precarico", la cui durata dipende dall'estensione della rete oggetto di simulazione. Per le caratteristiche degli ambiti trattati in questa analisi, si è ritenuto adeguato utilizzare un tempo di precarico della rete di 15 min per l'ambito della Bolognina e di 5 min per l'ambito di Corticella, mentre il flusso in ingresso nella rete nell'intervallo di precarico è stato stimato pari all'80% del flusso dell'ora di punta.

La **domanda** simulata è stata importata dal modello macroscopico, così come descritto di seguito. In primo luogo è stato calibrato un modello macroscopico multimodale relativo all'intervallo di punta per lo stato attuale dal quale sono state estratte le matrici delle subaree oggetto di micro-simulazione.

Anche i modelli microscopici relativi agli ambiti oggetto di verifica vengono calibrati attraverso un processo iterativo, modificando caratteristiche della rete ed il comportamento dei conducenti al fine di riprodurre non solo i flussi di traffico rilevati sul campo tramite le spire magnetiche, ma anche le condizioni di deflusso (valutate da dati storici di Google Maps).

La bontà della calibrazione di un modello è solitamente valutata sulla base dei seguenti parametri:

- corrispondenza dei flussi di traffico simulati con i flussi rilevati;
- corrispondenza dei tempi di percorrenza sui principali itinerari con quelli “tipici” forniti ad es. da Google Maps;
- corrispondenza della lunghezza delle code simulate con quelle osservate durante il rilievo e/o dall’informazione storica fornita da Google Maps sulle condizioni di traffico.

Purtroppo l’emergenza Covid19 non ha permesso di effettuare rilievi sul campo per misurare tempi di percorrenza e lunghezza delle code e anche i dati di Google Maps risultano poco attendibili.

La buona corrispondenza tra flussi simulati e quelli osservati sul campo è stata valutata sulla base dei due metodi più diffusi in letteratura: lo scattergram e l’indice GEH.

Lo scattergram mette a confronto in modo diretto i valori conteggiati e quelli simulati. Si tratta di una rappresentazione grafica dei punti determinati dall’accoppiamento delle due variabili. La misura della bontà del modello è data dal valore del coefficiente angolare della retta di regressione che deve essere prossimo all’unità (la pendenza della retta deve avere una giacitura vicina ai 45 gradi) ed un coefficiente di determinazione R^2 superiore a 0,85.

La formula del GEH¹, utilizzata nel campo dell’ingegneria dei trasporti per confrontare i volumi di traffico rilevati con quelli simulati, ha la seguente forma funzionale:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Dove, con M si indicano i flussi simulati e con C i flussi rilevati per una specifica corrente/manovra. L’indicatore permette di definire il modello come ben calibrato allorquando assume, nella generalità dei casi, un valore inferiore 5 ed inferiore a 3 per gli *archi critici* (ad esempio quelli di ingresso/uscita dalla rete o che presentano flussi elevati).

Per valutare l’impatto dell’intervento nei diversi scenari e permettere un confronto quantitativo, il software consente di calcolare differenti tipologie di indicatori classificabili come:

- indicatori di rete (Tabella 3.1);

¹ Da Geoffrey E. Havers che l’ha inventata nel 1970.

indicatori di itinerario (Tabella 3.2: Indicatori sintetici di itinerario)

-);
- indicatori di nodo (Tabella 3.3). In questo caso il software permette di esporre i risultati anche in formato grafico.

Tabella 3.1: Indicatori sintetici di rete

Indicatore	Descrizione
Tempo totale di percorrenza [veic*h]	Tempo totale di percorrenza di tutti i veicoli che sono nella rete o di quelli già usciti dalla rete.
Distanza totale [veic*km]	Distanza totale percorsa da tutti i veicoli che sono nella rete o di quelli già usciti dalla rete.
Velocità media [km/h]	Rapporto tra Distanza totale e Tempo totale di percorrenza.
Num. di veicoli usciti dalla rete	Numero di veicoli usciti dalla rete (domanda servita) durante l'intervallo di valutazione.
Num. di stop	Numero totale di stop di tutti i veicoli che sono nella rete o che sono già arrivati. Si conta uno stop quando la velocità del veicolo alla fine del time step precedente è maggiore di 0 ed è pari a 0 al termine del corrente time step.
Num. medio di fermate per veicolo	Numero medio di fermate per veicolo. Rapporto tra numero di stop e somma dei veicoli nella rete e di quelli usciti dalla rete.
Totale tempo a fermo [h]	Totale tempo a fermo (velocità=0 km/h) di tutti i veicoli che sono nella rete o che sono già arrivati.
Tempo a fermo medio per veicolo [s]	Tempo medio in cui il veicolo è fermo (velocità=0 km/h). Rapporto tra Totale tempo a fermo e la somma di tutti i veicoli nella rete e di quelli usciti dalla rete.
Totale ritardo [h]	Ritardo totale di tutti i veicoli che sono della rete o che sono già arrivati. Il ritardo di un veicolo in un time step è la parte del time step che deve essere usata perché la velocità è inferiore alla velocità desiderata. Per il calcolo, il risultato si ottiene sottraendo il rapporto tra la distanza effettiva percorsa in questo time step e la velocità desiderata dalla durata del time step.
Perditempo medio per veicolo [s]	Rapporto tra Totale Ritardo e la somma dei veicoli nella rete e di quelli usciti dalla rete.

Tabella 3.2: Indicatori sintetici di itinerario

Indicatore	Descrizione
Totale veicoli sull'itinerario	Numero di veicoli registrati sull'itinerario (per convenzione, i dati sono registrati una volta che il veicolo ha oltrepassato la sezione di fine itinerario).
Tempo di percorrenza [s]	Tempo di percorrenza medio dei veicoli nella rete tra la sezione di inizio itinerario e la sezione di fine itinerario

Tabella 3.3: Indicatori di nodo

Indicatore	Descrizione
Totale veicoli transitati per manovra	Numero di veicoli che hanno effettuato la manovra
LOS (Level of Service) per manovra	Misura qualitativa che descrive le condizioni operative di deflusso per manovra a partire dal ritardo medio a veicolo in base all'Highway Capacity Manual 2010 a
Lunghezza media della coda [m] per manovra	E' la massima distanza tra il contatore di coda (posizionato sulla linea di arresto) e l'ultimo veicolo che si trova nella condizione di "coda" (lo stato di coda è stato definito con inizio quando un veicolo ha velocità inferiore a 5 km/h e termine quando ha velocità superiore ai 10 km/h sotto la condizione di uno spazio tra i veicoli inferiore ai 20 m.), è misurata in ogni intervallo temporale della simulazione e poi è restituito il valore medio

Per quanto riguarda il **Livello di Servizio (LOS)**, l'HCM definisce sei livelli di servizio dal tipo LOS A al tipo LOS F, che caratterizzano condizioni di circolazione dalla migliore, in cui gran parte dei veicoli che attraversano il nodo non devono fermarsi (ritardo medio molto basso), alla peggiore, ovvero il nodo è in sovrasaturazione poiché il numero di veicoli che chiedono di attraversarlo supera la capacità dell'intersezione stessa producendo ritardi elevati (Tabella 3.4)

Tabella 3.4: Definizione dei livelli di servizio alle intersezioni in base al ritardo medio in secondi (HCM)

Livello di servizio	Intersezione semaforizzata		Intersezione non semaforizzata	
	Ritardo	Ritardo	Ritardo	Ritardo
LOS A	0	10	0	10
LOS B	10	20	10	15
LOS C	20	35	15	25
LOS D	35	55	25	35
LOS E	55	80	35	50
LOS F	80	>80	50	>50

Oltre agli indicatori quantitativi sino ad ora descritti, lo strumento permette di visualizzare la simulazione per tutta la durata dell'intervallo di punta e di verificare in modo immediato la presenza di situazioni critiche nelle condizioni di circolazione.



Figura 3.1: Cattura dal modello di micro-simulazione

4 LA MICROSIMULAZIONE DELL'AREA DELLA BOLOGNINA

4.1 LA RETE SOTTOPOSTA A VALUTAZIONE

Il modello di micro-simulazione è stato implementato per l'area compresa tra il fascio di binari ferroviari a Sud, Via Lombardi - Via Barbieri a Nord, Via Fioravanti ad Ovest e Via Stalingrado ad Est (quest'ultima non rappresentata), che corrisponde a gran parte del quartiere della Bolognina. E' stata definita un'area così ampia considerando le peculiarità degli schemi di circolazione della Bolognina. Quest'area è caratterizzata, infatti, da:

- due importanti viabilità di attraversamento parallele, Via Liberazione - Via Bolognese e Via Tibaldi- Via Creti, rispettivamente per gli spostamenti verso Ovest e verso Est;
- Via Fioravanti che prosegue l'itinerario di Via Liberazione- Via Bolognese verso Sud e il centro città;
- Via Matteotti che distribuisce il traffico privato verso Nord ed è caratterizzata per gran parte da corsie preferenziali percorse dalle principali linee da e verso la stazione, l'autostazione e il centro;
- un articolato sistema di circolazione a maglie costituito da sensi unici;
- 17 intersezioni gestite tramite 9 impianti semaforici centralizzati con UTOPIA.

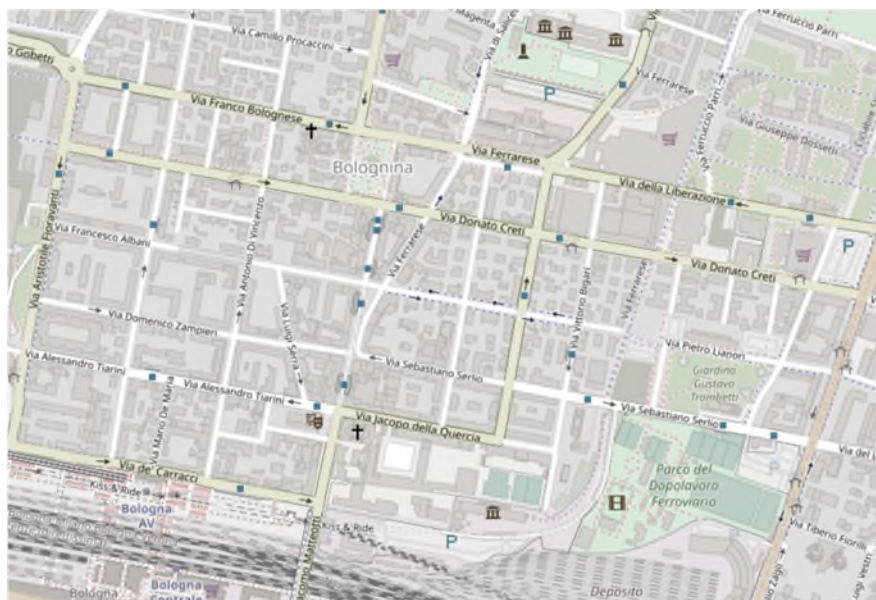


Figura 4.1: L'area della Bolognina

Si è ritenuto, quindi, opportuno valutare l'impatto dell'inserimento del tram su tutta l'area perché i benefici o le criticità di un intervento anche puntuale possono avere effetto su tutta la viabilità dell'area.

La definizione di un'area così ampia ha permesso:

- la verifica della configurazione migliore (sottopasso "corto" vs sottopasso "lungo") che assicuri un buon livello di servizio per il traffico privato e la regolarità del servizio pubblico a seguito dell'inserimento dell'infrastruttura tranviaria della diramazione verso Corticella all'altezza di P.za dell'Unità (principale oggetto di verifica);
- la simulazione del sistema di priorità semaforica al tram lungo le intersezioni semaforizzate di Via Matteotti, P.za dell'Unità, Via Ferrarese e Via di Corticella fino a Via Lombardi;
- la valutazione di alcune modifiche allo schema di circolazione dell'area.

In Figura 4.2 si riporta una rappresentazione dello schema di circolazione nella situazione attuale.



Figura 4.2: Configurazione di rete nello scenario attuale

4.2 LA CALIBRAZIONE NELLA SITUAZIONE ATTUALE

La procedura di calibrazione di un modello micro consiste in un **processo iterativo** in cui si riproducono le caratteristiche della rete stradale e delle regole di circolazione e si variano i parametri che descrivono il comportamento di guida, al fine di ottenere non solo una buona corrispondenza tra flussi conteggiati su strada e flussi determinati dalla modellazione ma di riprodurre le condizioni di circolazione in termini di code e tempi di percorrenza.

Per verificare la corrispondenza dei flussi è stato utilizzato il metodo dello scattergram e del GEH come raccomandato da linee guida del settore.

Sono state verificate 19 sezioni di conteggio (monodirezionali) e l'analisi ha restituito ottimi risultati in entrambi i casi.

Lo scattergram è caratterizzato da valori del coefficiente angolare della retta di regressione e del coefficiente di determinazione R^2 entrambi prossimi all'unità (Figura 4.3)

L'indicatore GEH è sempre inferiore a 3 e di poco superiore solo nel caso di tre sezioni localizzate su Via Pietramellara e sul ponte di Via Matteotti in direzione Nord (lontane quindi da P.za dell'Unità).

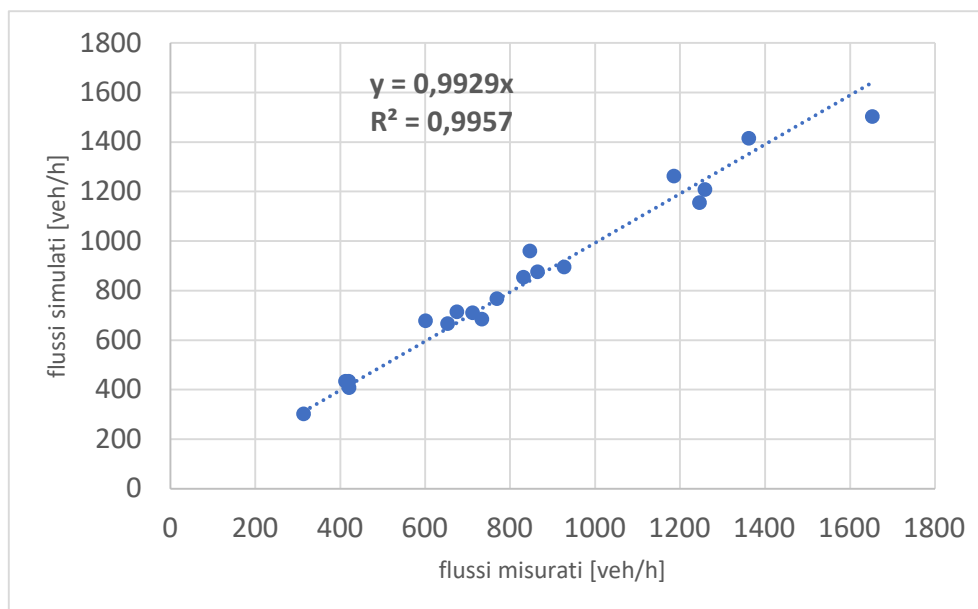


Figura 4.3: Scattergram flussi misurati e simulati

4.3 GLI SCENARI DI PROGETTO

4.3.1 LA NUOVA CONFIGURAZIONE DELLA RETE

La diramazione per Corticella si innesterà sulla linea rossa all'altezza di Piazza dell'Unità.

Il deflusso al nodo di via di Corticella - P.za dell'Unità – Via Mazza è regolato da un impianto semaforico, che regola anche il nodo a monte di via Ferrarese-via Saliceto, centralizzato con sistema UTOPIA.

Il piano locale attivo nell'ora di punta, che risulta collocarsi tra le 8:00 e le 9:00 dall'analisi dei dati di traffico su Via Mazza (da spire magnetiche per il rilievo dei veicoli e l'attuazione degli impianti semaforici), è caratterizzato da un ciclo di 120 s con il verde per Via Mazza di durata pari a 60 s.

L'approccio di via Mazza è quello che risulta essere il più penalizzato dall'inserimento del tram sia per riduzione della sezione stradale per il deflusso veicolare sia dalla regolazione semaforica che prevede di offrire la priorità di passaggio al tram.

Allo stato attuale Via Mazza si presenta con stalli di sosta in linea su entrambi i lati e un'ampia corsia per la marcia che permette l'affiancamento in movimento di almeno due veicoli e in accodamento anche di tre (Figura 4.4).



Figura 4.4: Immagine aerea dello stato attuale di P.za dell'Unità – Via Mazza – Via Ferrarese

L'infrastruttura tranviaria consiste in due binari affiancati sul lato destro di via Mazza, uno per il servizio verso Corticella e uno che proviene da Michelino-Fiera e Facoltà di Agraria verso Emilio Lepido. La sede stradale viene quindi ridotta ad una corsia per il traffico veicolare larga circa 4m e agli stalli di sosta in linea sul lato sud (Figura 4.5).

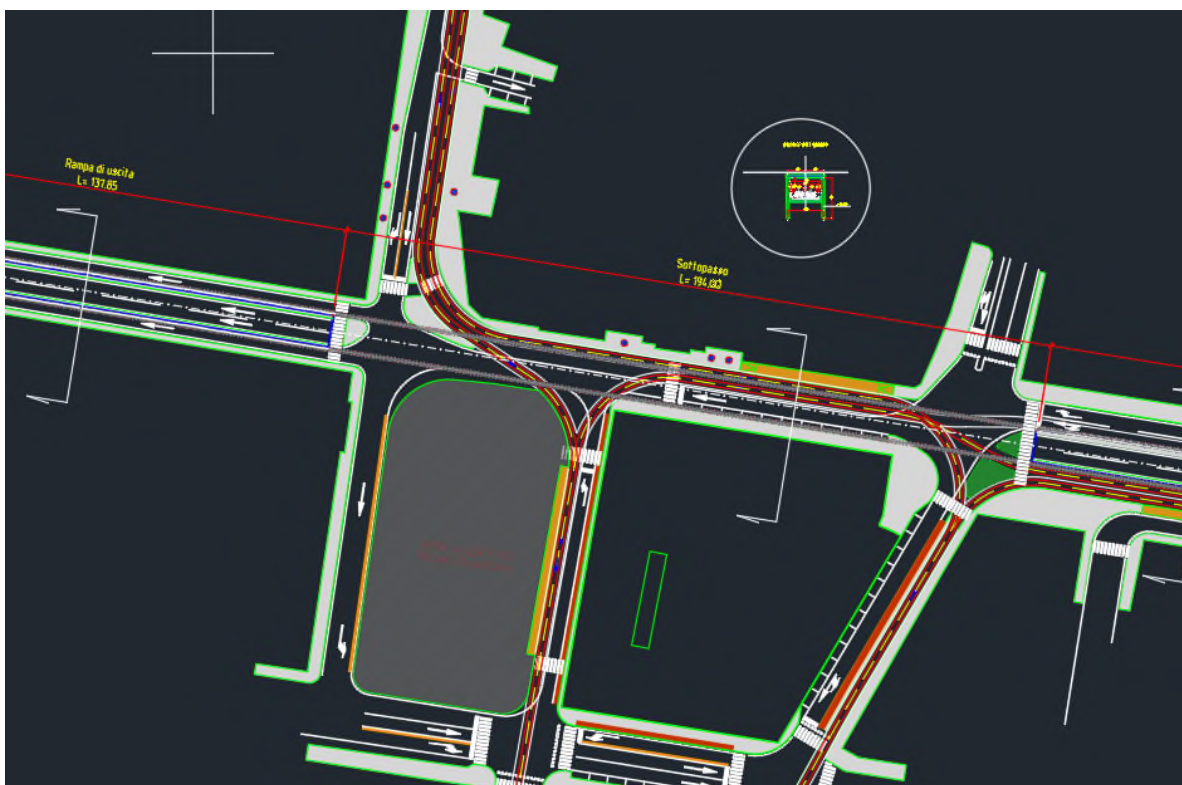


Figura 4.5: Configurazione di via Mazza nello scenario di progetto

Al fine di individuare la configurazione di progetto sia della sede tranviaria che di quella stradale tale da garantire buone condizioni di deflusso per la mobilità privata e al contempo la regolarità dei servizi di trasporto pubblico sono state effettuate alcune verifiche preliminari al modello di microsimulazione.

In primo luogo sono stati analizzati l'entità dei flussi e il loro andamento giornaliero (Figura 4.6). Il carico di punta si osserva nell'ora di punta della mattina, tra le 8:00 e le 9:00, con oltre 900 veicoli/ora totali (si tratta di numero di veicoli, esclusi cicli e motocicli, e non di autovetture equivalenti). Si evidenzia una seconda punta nel pomeriggio tra le 17:00 e le 18:00 con circa 800

veicoli/ora. Nell'ora di punta della mattina si possono considerare circa 1000 autovetture equivalenti/ora.

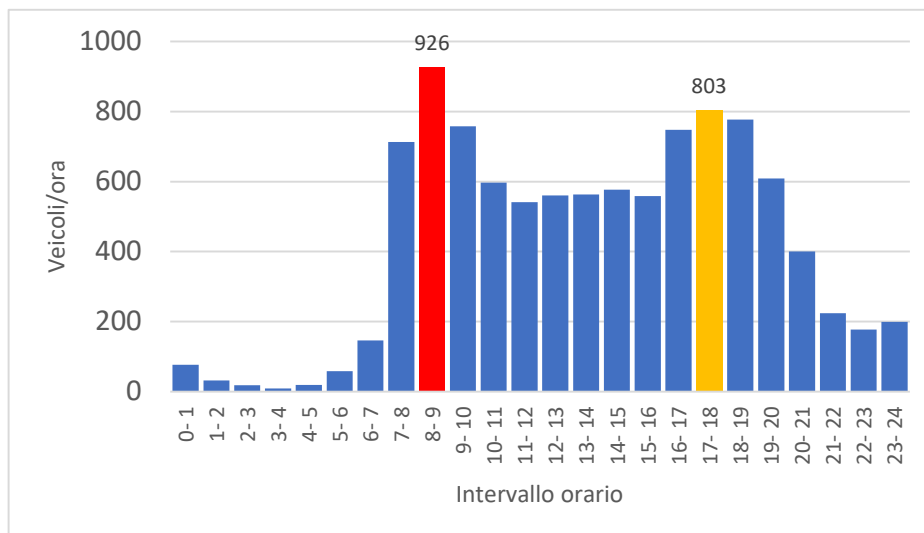


Figura 4.6: Analisi dell'andamento giornaliero dei flussi su Via Mazza².

Per completare l'analisi preliminare è stata effettuata una simulazione sul modello macro avente le seguenti caratteristiche:

- domanda prevista all'anno 2030 (evoluzione demografica e nuove urbanizzazioni);
- presenza di tutta la rete tranviaria (linea rossa e diramazione verso Corticella);
- applicazione del modello di ripartizione modale;
- riduzione delle capacità di deflusso per gli archi stradali interessati dalla rete tranviaria.

La simulazione mostra che nella subarea della Bolognina si registra una riduzione media dei flussi pari a circa il 6-7%. Su via Mazza si osserva, tuttavia, una riduzione maggiore pari a circa il 12%, corrispondente alla presenza di a circa 880 autovetture equivalenti/ora.

Utilizzando i risultati forniti da questa analisi, è stata applicata la procedura dell'Highway Capacity Manual per determinare la lunghezza della coda media.

² Rilevo da spire in un giorno feriale medio di Novembre 2019. Le spire magnetiche sono annegate nell'asfalto e non rilevano cicli e motocicli.

Per brevità di narrazione, i dettagli del modello di calcolo utilizzato e i risultati ottenuti sono riportati in Appendice, tuttavia si osserva che pur considerando una qualità di progressione dei plotoni piuttosto favorevole, vale a dire che oltre l'80% dei veicoli in arrivo transiti con il verde grazie al coordinamento con l'intersezione a monte (Via Ferrarese - Via Saliceto), **la coda media stimata supera la lunghezza dell'arco di Via Mazza** (appena 90 m), rigurgitando sull'intersezione a monte. Questo fenomeno, noto come spill-back, genera un decadimento della capacità dell'intersezione a monte, che a sua volta non è più in grado di smaltire la coda che risale all'indietro.

La soluzione individuata dai progettisti per superare questa criticità sul nodo di P.za dell'Unità è quella di realizzare un sottopasso dedicato alle manovre di attraversamento per il traffico privato.

Due sono le configurazioni ipotizzate:

- soluzione **“sottopasso corto”**, in cui la rampa di ingresso è localizzata su Via Ferrarese (ramo Nord-Est), nel tratto compreso tra Via Saliceto e Via Franceschini (Figura 4.7);
- soluzione **“sottopasso lungo”**, che prevede, invece, due canne di ingresso rispettivamente su Via Ferrarese e su Via della Liberazione (Figura 4.8).

In entrambi i casi il sottopasso termina su Via Bolognese oltrepassata l'intersezione con Via Antonio Di Vincenzo.



Figura 4.7: Soluzione sottopasso corto

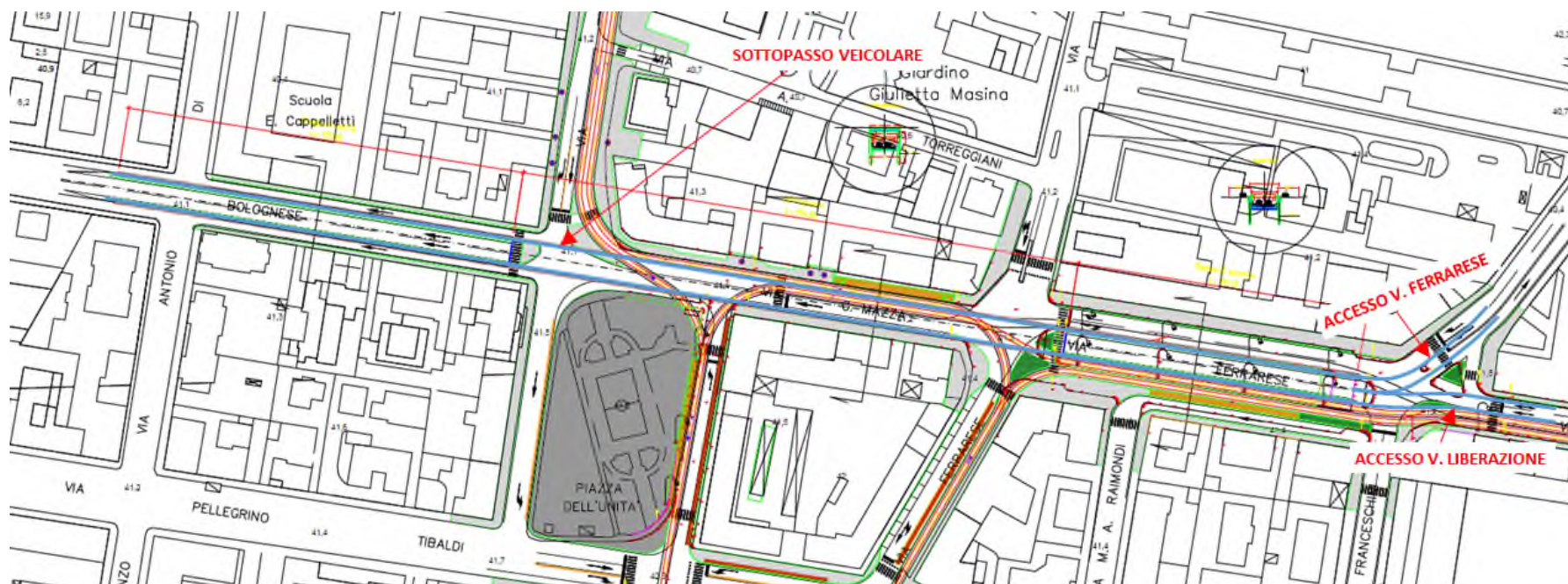


Figura 4.8: Soluzione sottopasso lungo (da sostituire)

Per la soluzione “**sottopasso corto**”, inoltre, sono state valutate due configurazioni della viabilità di superficie del tratto di Via Ferrarese compreso tra Via della Liberazione e Via di Saliceto. L'intervento prevede, infatti, il consumo dell'area a verde per la realizzazione della rampa di accesso al sottopasso. Sono stati quindi valutati gli scenari:

- “**corto B**” in cui in superficie sul lato Nord è presente una sola corsia così da restituire spazio al verde e/o alla mobilità dolce;
- “**corto A**” che nello stesso tratto presenta due corsie.

L'inserimento dell'infrastruttura tranviaria comporta, inoltre, le seguenti **modifiche agli schemi di circolazione** (Figura 4.9):

- *inversione del senso di marcia di Via Raimondi* (nello scenario di progetto la direzione ammessa è quella verso Via Creti);
- *chiusura dell'accesso di Via Bigari da Via della Liberazione*, utilizzato per gli spostamenti di scambio in ingresso all'area orientale della Bolognina.

Con riferimento a questa seconda modifica, si consideri che l'accesso di Via Bigari viene utilizzato dai flussi diretti all'area della Bolognina ad Est di Via Matteotti e che non hanno altri itinerari di accesso da Via Stalingrado (nella situazione attuale circa 400 veicoli nell'ora di punta). Tali flussi sarebbero, quindi, costretti ad un allungamento di percorso che comporta l'attraversamento di almeno tre intersezioni semaforizzate (Via della Liberazione-Via Ferrarese-Via Franceschini, Via Ferrarese-Via Saliceto, Via Ferrarese-Via Creti) con un incremento dei flussi su Via Ferrarese.

Per ovviare almeno in parte a questo problema, si è ritenuto opportuno introdurre nello scenario di progetto anche la seguente misura:

- *definizione di un nuovo itinerario per gli spostamenti di scambio in ingresso nell'area* provenendo da Via Stalingrado, attraverso Via Pietro Lianori e Via Serlio, grazie all'eliminazione di 50 m di corsia preferenziale su quest'ultima, nel tratto compreso tra Via Pietro Lianori e l'ingresso al parcheggio P1 della Stazione di Bologna Centrale, che in questo modo risulterà accessibile anche da Est.

E' opportuno inoltre specificare che nel modello macroscopico è stato considerato anche l'intervento di realizzazione del *sottopasso della ferrovia tra Via de' Carracci e Via Paolo Bovi*

Campeggi, la domanda importata sul modello microscopico tiene conto, quindi, anche degli effetti di questo intervento che permette agli automobilisti di individuare degli itinerari alternativi di ingresso ed uscita dall'area di analisi.

Per quanto riguarda **la regolazione semaforica**, la realizzazione della linea tranviaria comporta:

- l'inserimento di un nuovo impianto semaforizzato che regoli le intersezioni di Via Matteotti-Via Algardi-Via Albani e di Via Algardi-Via Ferrarese;
- l'inserimento di impianti semaforizzati su Via di Corticella per consentire la gestione in sicurezza di immissioni ed emissioni con svolta in sinistra.

I piani semaforici delle intersezioni attraversate dalla linea tranviaria prevedono la priorità al tram, a meno degli impianti su Via Matteotti (cfr. Capitolo 4.4).

In Appendice si riportano le descrizioni dei piani semaforici di progetto considerati nel modello di micro-simulazione.



Figura 4.9: Configurazione della rete nello scenario di progetto

4.3.2 LA DOMANDA ASSEGNATA

Nell'area della Bolognina, in cui era attesa una riduzione della domanda di traffico privato negli scenari di progetto e trattandosi di un'area molto ampia, è stato utilizzato l'approccio metodologico di seguito descritto.

Per gli scenari di progetto l'assegnazione sul modello macroscopico, in via preliminare e cautelativa, è stata effettuata a parità di matrice di domanda attuale (senza considerare l'effetto di nuove urbanizzazioni e crescita demografica e di variazioni della ripartizione modale a seguito dell'inserimento della linea tranviaria e della riorganizzazione del TPL) e considerando le seguenti modifiche sull'offerta di rete:

- riduzione della capacità degli archi in cui è inserita l'infrastruttura tranviaria;
- interventi infrastrutturali di progetto sul trasporto privato (sottopasso di P.za dell'Unità nelle diverse configurazioni);
- modifiche agli schemi di circolazione dovuti all'inserimento dell'infrastruttura tranviaria;
- variazione del perditempo alle intersezioni semaforizzate dovuta alla priorità tranviaria;
- altri interventi infrastrutturali prossimi all'ambito di studio con impatto sullo stesso: nuovo sottopasso tra via de' Carracci e via Paolo Bovi Campeggi.

Nel modello di microsimulazione i flussi caricati sulla rete, per tutti gli scenari di progetto, sono quelli risultanti dall'assegnazione tramite il modello macroscopico (ben calibrato nella subarea di analisi) della matrice di domanda attuale nell'ora di punta della mattina.

Per lo scenario di "sottopasso corto", inoltre, è stata effettuata una ulteriore verifica assegnando la matrice 2030 che presenta una ripartizione modale che considera l'inserimento del tram e della riorganizzazione del TPL, l'evoluzione demografica, la presenza dei nuovi insediamenti ed altri interventi infrastrutturali.

In particolare, relativamente alla sub-rete modellizzata in Vissim, dal modello macro è stata, quindi, esportata sia la domanda generata/attratta dall'area della Bolognina sia i percorsi effettuati.

Le classi veicolari considerate sono: autovetture, commerciali leggeri e commerciali pesanti. A queste si aggiungono i mezzi del trasporto pubblico locale sulla base della frequenza programmata del servizio.

Nella Tabella 4.1 si osserva che negli scenari di progetto relativi alla domanda attuale è presente una leggera diminuzione dei flussi (circa 1%) la cui causa è da attribuirsi a una redistribuzione dei flussi sulla rete a seguito della riduzione della capacità degli archi stradali in cui si inserisce l'infrastruttura tranviaria. Nello scenario che considera la domanda 2030 si osserva una diminuzione media dei flussi superiore al 6%. Ciò a conferma del fatto che l'approccio di analisi utilizzato risulta effettivamente cautelativo al fine di valutare le caratteristiche del deflusso per il traffico privato.

Tabella 4.1: Domanda assegnata al modello di microsimulazione

Scenario	Totale dei veicoli	Var. % vs Scen. Attuale
Attuale	10.935	-
Sottopasso corto – Domanda attuale	10.820	-1,05
Sottopasso lungo – Domanda attuale	10.860	-0,69
Sottopasso corto – Domanda 2030	10.250	-6,26

In particolare, rispetto allo scenario attuale negli scenari di progetto con matrice di domanda attuale si osservano le seguenti variazioni rispetto agli itinerari più significativi:

- una riduzione del flusso di traffico su Via di Corticella per effetto della riduzione di capacità sulla stessa;
- un incremento del traffico di attraversamento verso Via Bolognese;
- l'utilizzo del nuovo itinerario di accesso di Via Stalingrado-Via Lianori-Via Serlio all'area della Bolognina ad Est di Via Matteotti da circa 200 veicoli/h nello scenario "sottopasso corto" e circa 300 nello scenario "sottopasso lungo".

- una riduzione dei flussi che effettuano la svolta in destra da Via Matteotti a Via Pietramellara perchè attratti dal nuovo sottopasso tra Via de' Carraci e Via Paolo Bovi Campeggi.

4.3.3 VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEL SISTEMA

Come precedentemente esposto, l'applicazione del modello di microsimulazione dinamica consente di analizzare le performance dell'area esaminata attraverso tre differenti tipologie di indicatori: di rete; di itinerario; di nodo.

Di seguito si riportano, per ciascuna tipologia, i principali risultati ottenuti.

Indicatori di rete

L'analisi degli indicatori sintetici della rete permette di valutare gli effetti dell'intervento su tutta l'area della Bolognina e di confrontare tra loro i diversi scenari.

Nello scenario attuale si osserva una velocità media di rete pari a circa 20-21 km/h, con un perditempo medio a veicolo di un minuto.

In tutti gli scenari di progetto non si osservano peggioramenti degli indicatori di rete rispetto allo scenario attuale ma si rilevano, invece, lievi miglioramenti, più evidenti nello scenario con sottopasso lungo o in quello con sottopasso corto con domanda 2030.

A livello di rete, le differenze tra lo scenario "sottopasso corto A" (due corsie sulla viabilità di superficie di via Ferrarese tra via Liberazione e via Saliceto) e "sottopasso corto B" non sono rilevanti, gli scostamenti sono compresi nella deviazione standard dei valori ottenuti da simulazioni con diverso random seed dello stesso scenario.

Tabella 4.2: Indicatori sintetici di rete

Indicatore	Attuale	Sott. corto A*	Sott. corto B*	Sott. lungo*	Sott. corto A* domanda 2030
Tempo totale di percorrenza [h]	517,3	486,7	483,8	434,6	421,6
Distanza totale [km]	10.652,2	10.437,4	10.435,3	9.828,2	9.724,0
Velocità media [km/h]	20,6	21,5	21,6	22,6	23,1

Indicatore	Attuale	Sott. corto A*	Sott. corto B*	Sott. lungo*	Sott. corto A* domanda 2030
Num. di veicoli usciti dalla rete	10.977	10.703	10.697	10.722	10.050
Num. di stop	26.430	24.548	24.314	17.877	17.685
Num. medio di fermate per veicolo	2,3	2,2	2,2	1,6	1,7
Totale tempo a fermo [h]	116,2	110,6	108,5	95,1	84,4
Tempo a fermo medio per veicolo [s]	36,6	35,7	35,0	30,7	29,1
Totale ritardo [h]	192,0	188,9	186,1	154,8	144,2
Perditempo medio per veicolo[s]	60,4	60,9	60,0	49,9	49,7

Indicatori di itinerario

Per il sottoinsieme di itinerari indicati di seguito (in Figura 4.10 si riporta l'indicazione delle sezioni di inizio e fine), è stato valutato il loro utilizzo in termini di flussi e di tempo di percorrenza:

1. attraversamento Via Liberazione – Via Bolognese (A-D);
2. attraversamento Via Ferrarese – Via Bolognese (B-D);
3. Via Ferrarese – Via Ferrarese (B-C);
4. Via Liberazione – Via Ferrarese (A-C).

I risultati forniti dal modello di micro-simulazione sono esposti in Tabella 4.3 in valore assoluto mentre in Tabella 4.4 sono esposte le variazioni percentuali rispetto alla situazione attuale.



Figura 4.10: Localizzazione delle sezioni di inizio e termine dell'itinerario

Nello scenario attuale si osserva che il tempo di percorrenza dell'asse Liberazione-Bolognese (itinerario 1) è di oltre 3 minuti.

Negli scenari con sottopasso si osserva un incremento dei flussi sugli itinerari di attraversamento che diventano più attrattivi e al contempo una riduzione dei tempi di percorrenza sugli stessi (40 s circa). Questi effetti sono accentuati nello scenario con sottopasso lungo (-80 s circa); ciò è da attribuire al fatto che i flussi di attraversamento entrano nel sottopasso prima di incontrare il semaforo dell'intersezione Via Liberazione-Via Ferrarese. In questo scenario si osserva, tuttavia, che l'itinerario Via Liberazione-Via Ferrarese che comporta un allungamento di percorso è utilizzato da poche unità di veicoli. Il modello macro mostra che questi flussi preferiscono utilizzare il nuovo itinerario di ingresso da Est per raggiungere l'area della Bolognina attraverso Via Serlio.

Tabella 4.3: Indicatori di itinerario. Valori assoluti

	Itinerario	Denominazione	Attuale	Sott. Corto A	Sott. Corto B	Sott. Lungo	Sott. Corto A domanda 2030
FLUSSI [veic/h]	A-D	Attr. Via Liberazione - Via Bolognese	681	739	733	857	636
	B-D	Attr. Via Ferrarese - Via Bolognese	99	229	229	165	202
	B-C	Via Ferrarese - Via Ferrarese	74	53	53	26	53
	A-C	Via Liberazione - Via Ferrarese	87	113	113	12	109
	Itinerario	Denominazione	Attuale	Sott. Corto A	Sott. Corto B	Sott. Lungo	Sott. Corto A domanda 2030
TEMPI [s]	A-D	Attr. Via Liberazione - Via Bolognese	190	150	145	108	125
	B-D	Attr. Via Ferrarese - Via Bolognese	164	150	147	83	136
	B-C	Via Ferrarese - Via Ferrarese	120	106	115	58	101
	A-C	Via Liberazione - Via Ferrarese	141	129	135	129	121

Tabella 4.4: Indicatori di itinerario. Variazioni % VS Situazione attuale

	Itinerario	Denominazione	Attuale	Sott. Corto A	Sott. Corto B	Sott. Lungo	Sott. Corto A domanda 2030
FLUSSI [veic/h]	A-D	Attr. Via Liberazione - Via Bolognese	-	8,5%	7,6%	25,8%	-6,6%
	B-D	Attr. Via Ferrarese - Via Bolognese	-	131,3%	131,3%	66,7%	104,0%
	B-C	Via Ferrarese - Via Ferrarese	-	-28,4%	-28,4%	-64,9%	-28,4%
	A-C	Via Liberazione - Via Ferrarese	-	29,9%	29,9%	-86,2%	25,3%
	Itinerario	Denominazione	Attuale	Sott. Corto A	Sott. Corto B	Sott. Lungo	Sott. Corto A domanda 2030
TEMPI [s]	A-D	Attr. Via Liberazione - Via Bolognese	-	-21,1%	-23,7%	-43,2%	-34,2%
	B-D	Attr. Via Ferrarese - Via Bolognese	-	-8,5%	-10,4%	-49,4%	-17,1%
	B-C	Via Ferrarese - Via Ferrarese	-	-11,7%	-4,2%	-51,7%	-15,8%
	A-C	Via Liberazione - Via Ferrarese	-	-8,5%	-4,3%	-8,5%	-14,2%

Indicatori di nodo

Sono state valutate le prestazioni dei principali nodi interessati dall'intervento. Per brevità di narrazione si riportano soltanto le rappresentazioni dei nodi nei quali si osservano delle differenze significative tra i diversi scenari simulati.

Il nodo di **Via Ferrarese-Via della Liberazione-Via Franceschini** nello scenario attuale è attraversato da circa 2.100 veicoli nell'ora di punta della mattina un **livello di servizio D** (o Level of Service, LOS) con circa 47 s di ritardo medio a veicolo (Figura 4.11).



Figura 4.11: Situazione attuale. Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Liberazione-Via Franceschini

Nello scenario con *“sottopasso corto”*, il livello di servizio del nodo resta D con circa 45 s di ritardo medio a veicolo, si osserva tuttavia una riduzione della coda media su via della Liberazione che da circa 160 m passa a circa 60 m (Figura 4.12).

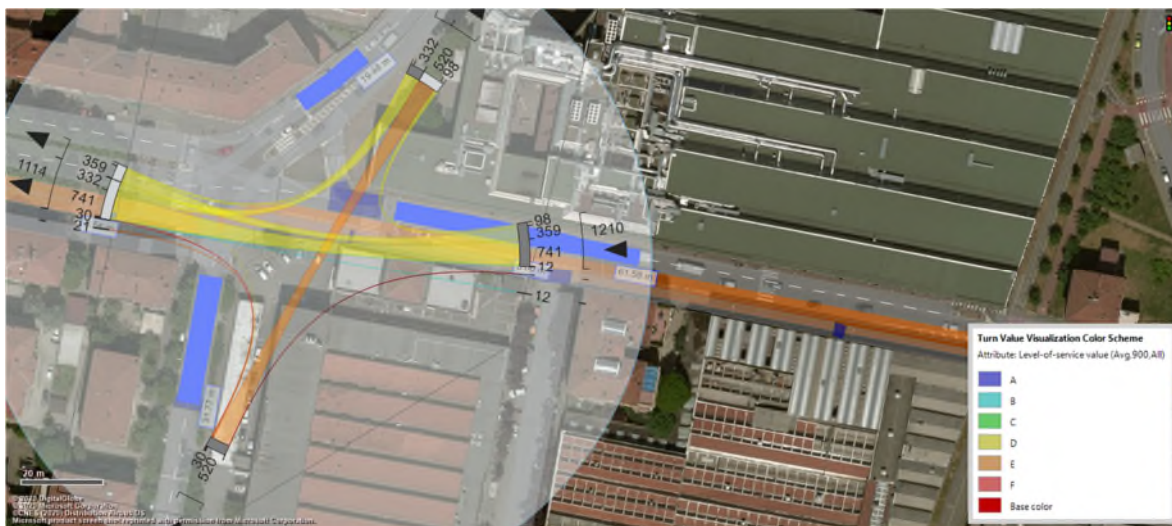


Figura 4.12: Scenario *“sottopasso corto”*. Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Liberazione-Via Franceschini

Nello scenario *“sottopasso lungo”*, come atteso, si evidenzia un LOS A per le manovre di attraversamento che avvengono in sottopasso, un LOS B per la manovra di svolta in destra da via Ferrarese, mentre l’approccio di via Franceschini presenta un LOS E in quanto è l’unico approccio il cui deflusso è interrotto dal passaggio del tram. Il ritardo medio al nodo è per veicolo risulta essere di circa 20 s al limite quindi tra il LOS B e il LOS C (Figura 4.13).



Figura 4.13: Scenario "sottopasso lungo". Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Liberazione-Via Franceschini

Nello scenario "sottopasso lungo", per permettere le svolte da Via della Liberazione verso Via Ferrarese (direzione centro) o Via Saliceto è stato ipotizzato un nuovo itinerario di connessione tra Via della Liberazione e Via Ferrarese (ramo Nord-Est) tramite Via Parri. Questo itinerario comporta l'apertura del tratto di Via Ferrarese (trasversale all'asse principale) il cui accesso da Via Parri attualmente è impedito ai veicoli.

Il nodo di Via Ferrarese (asse principale)-Via Ferrarese (trasversale) presenta un LOS B con un ritardo medio a veicolo pari a 18 s, al limite del livello di servizio C (Figura 4.14).



Figura 4.14: Scenario "sottopasso lungo". Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Ferrarese (trasv)

Il nodo di **Via Ferrarese-Via Saliceto-Via Mazza** nella **situazione attuale** è attraversato da circa 1600 veicoli nell'ora di punta della mattina e presenta un **LOS B** con circa 10 s di ritardo medio a veicolo (Figura 4.15). Il livello di servizio è basso grazie ad una buona coordinazione con la fase di verde di Via Mazza.



Figura 4.15: Situazione attuale. Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Saliceto-Via Mazza

Nello scenario di progetto per la **configurazione del tratto di Via Ferrarese** compreso tra Via Franceschini e Via di Saliceto sono state valutate due configurazioni per la viabilità di superficie; vale a dire la realizzazione di due corsie o di una sola corsia sul lato nord della Piazza.

Nella configurazione con sottopasso corto e due corsie sulla piazza, si registra un ritardo di servizio medio inferiore ed il livello di servizio si attesta al limite superiore del **LOS A** (Figura 4.15).

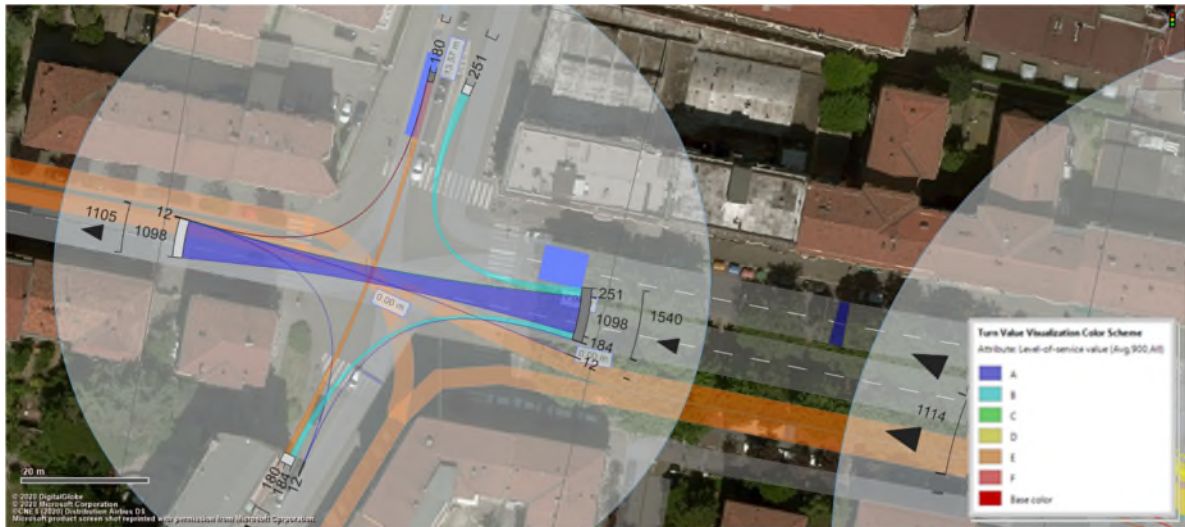


Figura 4.16: Scenario “sottopasso corto”. Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Saliceto (due corsie)

La soluzione con una sola corsia permette di recuperare spazio per la mobilità dolce ma presenta dal punto di vista trasportistico delle criticità potenziali.

L’attestamento all’intersezione con Via Saliceto di un’unica corsia comporta che in caso di passaggio del tram debba essere interrotto anche il deflusso della manovra di svolta in destra verso Via Saliceto, la cui traiettoria non è in conflitto con quella del tram.

Inoltre, la fermata del TPL su gomma che ad oggi si trova sul lato sud della piazza dovrebbe essere inserita sul lato nord; e ciò può generare ulteriore ostacolo al corretto deflusso dei veicoli privati, per limitare il quale sarebbe necessario prevedere una baia per la fermata bus.

E’ necessario porre particolare attenzione a queste criticità, perché è molto importante assicurare un deflusso scorrevole all’approccio della piazza, con una lunghezza delle code che deve essere necessariamente contenuta nell’estensione dell’arco. Infatti, nel caso in cui si verifichi il fenomeno dello spillback (la coda risalga al nodo precedente), possono subire ritardo anche i flussi in attraversamento diretti nel sottopasso generando così problemi di congestione che si possono velocemente estendersi a monte dell’intersezione.

I risultati della microsimulazione mostrano che, con la configurazione ad una corsia, il livello di servizio dell’approccio di Via Ferrarese passa da A a C, ma resta comunque accettabile. Tuttavia, si osserva un incremento della lunghezza della coda e quella massima arriva ad occupare l’intero

arco (cfr. Figura 4.18 e Figura 4.19). E' elevato il rischio che possano verificarsi fenomeni di spillback.

Nello scenario con "sottopasso lungo" non si evidenziano variazioni rilevanti delle prestazioni del nodo.



Figura 4.17: Scenario "sottopasso corto". Valutazione del nodo: Via Ferrarese-Via Saliceto (una corsie)



Figura 4.18: Estensione della coda massima nello scenario di sottopasso corto con due corsie



Figura 4.19: Estensione della coda massima nello scenario di sottopasso corto con una corsia

Il nodo di **P.za dell'Unità** è interessato nello **scenario attuale** dal passaggio di circa 1200 veicoli nell'ora di punta della mattina e presenta un **LOS B** al limite con il **LOS C** con circa 20 s di ritardo medio a veicolo (Figura 4.20).

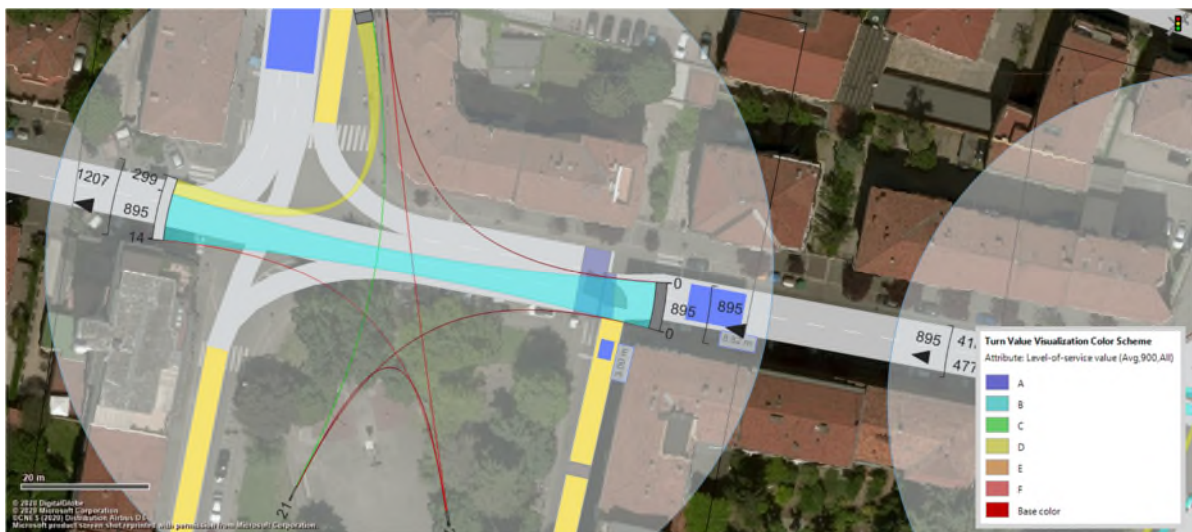


Figura 4.20: Situazione attuale. Valutazione del nodo: P.za dell'Unità

Nello scenario di progetto con il **"sottopasso corto"** il livello di servizio migliora passando a **LOS A** con un ritardo medio a veicolo di circa 5 s (Figura 4.21). Non si evidenziano differenze rilevanti delle prestazioni del nodo tra le diverse configurazioni di progetto.

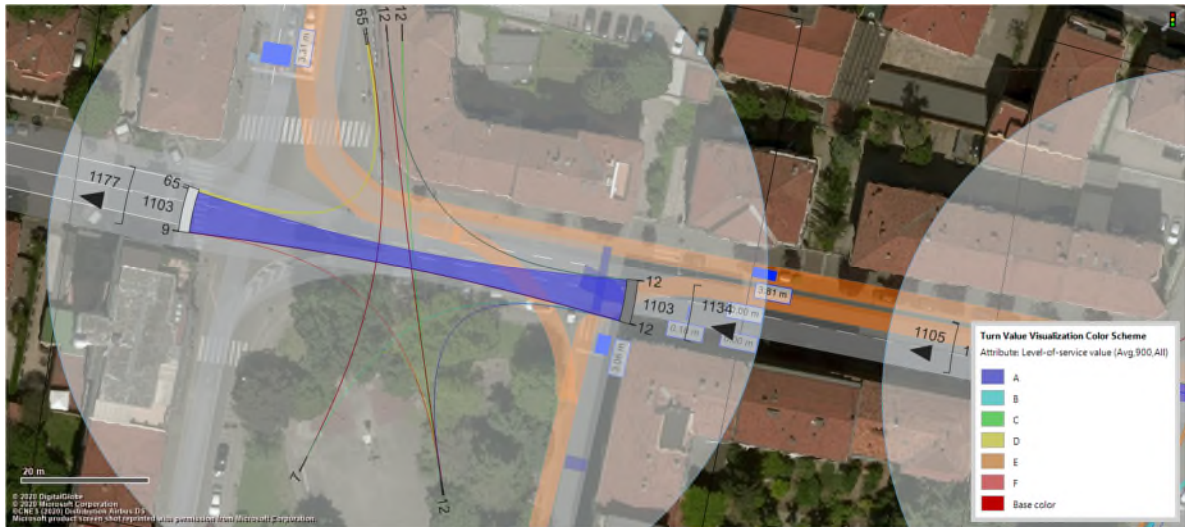


Figura 4.21: Scenario "sottopasso corto". Valutazione de nodo: P.za dell'Unità

Un altro nodo interessato dal progetto è quello di **Via Matteotti - Via Tiarini – Via della Quercia**. Nella **configurazione attuale** questo nodo è presenta un LOS C con un ritardo medio a veicolo di circa 25 s.

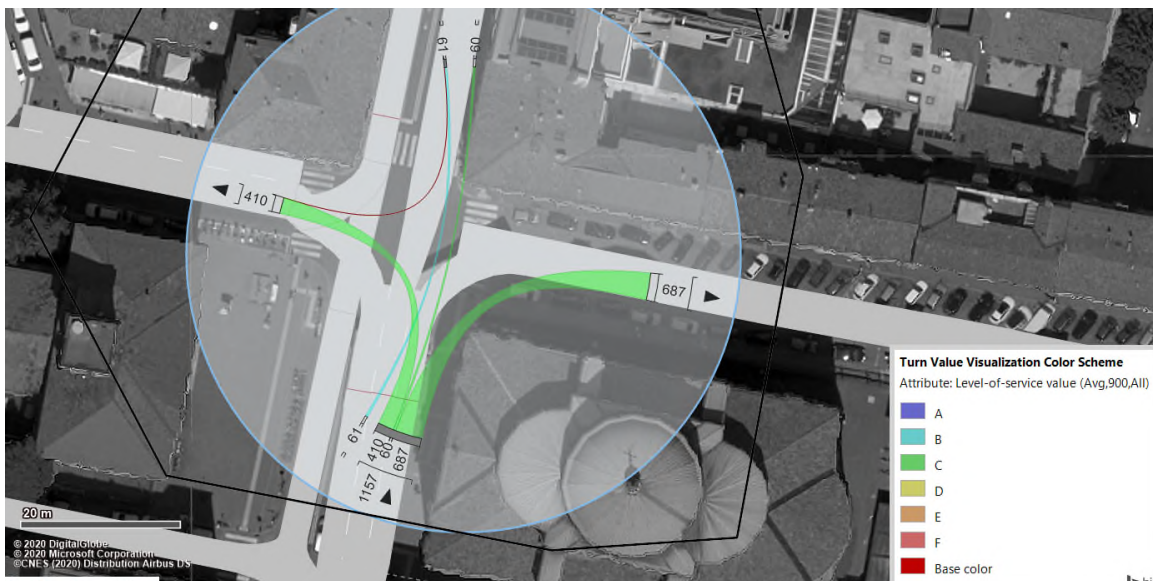


Figura 4.22: Situazione attuale: Valutazione del nodo: Via Matteotti – Via Tiarini – Via Della Quercia

Nello **scenario di progetto**, modificando il piano semaforico, così come riportato in appendice, risulta ancora un **LOS C**, pur con un incremento del ritardo medio a veicolo. Non si osservano variazioni rilevanti tra i diversi scenario di progetto.

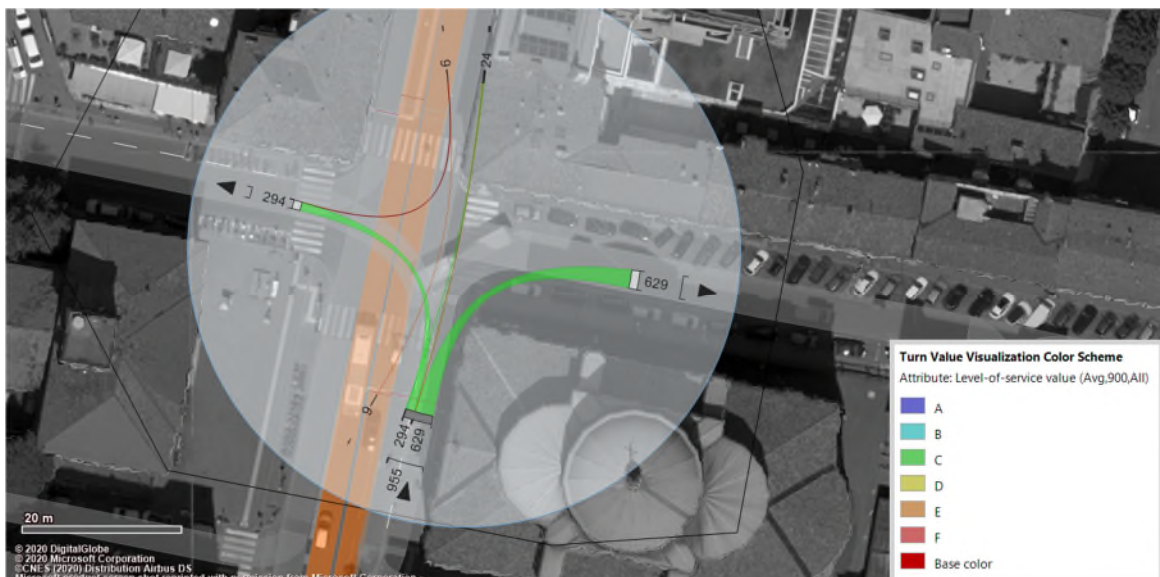


Figura 4.23: Scenario "sottopasso corto". Valutazione de nodo: Via Matteotti – Via Tiarini – Via Della Quercia
Nella Tabella 4.5 si riporta una sintesi dei risultati degli indicatori di nodo.

Tabella 4.5: Indicatori di nodo. Riepilogo dei risultati

Intersezione	Indicatore	Sit. Att.	Sottopasso corto	Sottopasso lungo	Sottopasso corto 2030
Via Ferrarese-Via della Liberazione-Via Franceschini	LOS	D	D	B/C	D
	Rit. medio (sec)	47	45	20	38
Via Ferrarese-Via Saliceto-Via Mazza	LOS	B	A	A	A
	Rit. medio (sec)	10	9	9	8
P.zza dell'Unità	LOS	B	A	A	A
	Rit. medio (sec)	19	5	5	5
Via Matteotti – Via Tiarini – Via della Quercia	LOS	C	C	C	C
	Rit. medio (sec)	25	30	30	28
Via Ferrarese – Via Ferrarese (trasv.)	LOS	-	-	B	-
	Rit. medio (sec)	-	-	18	-

Si riportano di seguito alcune fermo immagini dalla simulazione al termine dell'intervallo di punta relative allo scenario attuale e allo scenario di progetto con sottopasso corto e domanda al 2030.

Nello scenario di progetto con sottopasso corto al 2030 non si osserva un leggero miglioramento delle condizioni di deflusso.



Figura 4.24: Scenario attuale cattura prossima al termine dell'intervallo di simulazione – inquadratura aerea



Figura 4.25: Scenario attuale cattura prossima al termine dell'intervallo di simulazione – inquadratura aerea 3D



Figura 4.26: Scenario sottopasso corto 2030 cattura al termine dell'intervallo di simulazione – inquadratura aerea



Figura 4.27: Scenario sottopasso corto 2030 cattura al termine dell'intervallo di simulazione – inquad. aerea 3D

4.4 INDICAZIONI DAL MODELLO

La soluzione con sottopasso lungo presenta indicatori di valutazioni migliori di quella con sottopasso corto, ma comporta un importante allungamento di percorso per i flussi in ingresso all'area della Bolognina Est e soprattutto costi di realizzazione maggiori (estensione maggiore delle opere in sotterranea, realizzazione del collegamento tra Via Parri e Via Ferrarese, nuovo impianto semaforizzato su Via Ferrarese) oltre che difficoltà di inserimento delle rampe per la presenza di passi carrabili su Via della Liberazione.

La soluzione con **sottopasso corto** presenta indicatori di rete in leggero miglioramento rispetto a quelli osservati per lo scenario attuale, con una significativa riduzione dei tempi di percorrenze per gli itinerari di attraversamento di P.za dell'Unità e un miglioramento del livello di servizio dei nodi. **Si ritiene, quindi, che la soluzione con sottopasso corto sia la configurazione progettuale da preferire.**

Per quanto riguarda la valutazione relativa al tratto di **Via Ferrarese** compreso tra Via Franceschini e Via di Saliceto (realizzazione di una o due corsie), si ribadisce l'importanza di assicurare un deflusso scorrevole all'approccio della piazza, con una lunghezza delle code che deve essere contenuta nell'estensione dell'arco; perché, nel caso in cui si verifichi il fenomeno dello spillback (la coda risalga al nodo precedente), possono subire ritardo anche i flussi in attraversamento diretti nel sottopasso. Si osserva, quindi, che:

- l'attestamento all'intersezione con Via Saliceto di un'unica corsia comporta che in caso di passaggio del tram debba essere interrotto anche il deflusso della manovra di svolta in destra verso Via Saliceto, la cui traiettoria non è in conflitto con quella del tram;
- la fermata del TPL su gomma che ad oggi si trova sul lato sud della piazza dovrebbe essere inserita sul lato nord; sarebbe quindi necessario inserire almeno una baia per limitare l'impatto della fermata del TPL sul traffico veicolare.
- i risultati della microsimulazione mostrano che la coda massima sull'approccio raggiunge l'intersezione a monte.

Alla luce di ciò **si consiglia di realizzare su questo tratto una sezione stradale a due corsie.**

Al fine di garantire buone condizioni di circolazione del traffico privato e al contempo la regolarità del servizio tramviario, l'osservazione delle simulazioni e la valutazione degli indicatori quantitativi, suggeriscono di mettere in campo alcune misure (che sono state integrate negli scenari di simulazione dei quali sono stati presentati i risultati) esposte di seguito:

- nel tratto di Via Matteotti compreso tra Via Pietramellara e Via Tiarini, il modello di esercizio prevede il passaggio di un veicolo ogni 2,5 minuti per direzione. Questo comporta il passaggio di un tram ad ogni intersezione mediamente ogni 75 s (150 s in caso di perfetto sincronismo tra le due direzioni). L'impatto di chiamate di priorità così frequenti alle intersezioni semaforizzate può comportare criticità di deflusso sul trasporto privato che possono poi indurre irregolarità anche sul servizio di trasporto pubblico. Per le **intersezioni di Via Matteotti con Via Tiarini e con Via dei Carracci** (ad oggi regolate con un unico impianto, ciclo medio locale 90 s) **è opportuno inserire la fase tramviaria**

all'interno del piano senza assicurare la priorità, coordinando le fasi di attraversamento del tram in modo da minimizzarne l'attesa alle intersezioni.

- si suggerisce di regolare in modo analogo anche **l'intersezione con Via Pietramellara**. Si tratta, in questo caso, di una intersezione posta all'estremità della rete simulata per cui è stato possibile rappresentare in modo realistico soltanto l'approccio di Via Matteotti. Approccio al quale è stata assegnata una fase di verde di 35 s e una fase dedicata all'attraversamento tranviario (su un ciclo da 120 s ad oggi coordinato con quello di Piazza delle Medaglie D'Oro, Stazione FS). Tale regolazione garantisce una buona condizione di deflusso sul ponte ed evita situazioni di spill-back che possono limitare la capacità del nodo a monte con Via de' Carracci e avere ripercussioni sulla regolarità del servizio di trasporto pubblico. Si osserva, tuttavia, che mettere in fase il tram in un piano con ciclo di 120 s comporta il rischio di accodamento tra le vetture tramviarie. Si suggerisce, quindi, di valutare la possibilità di impedire la svolta in destra da Via Matteotti verso Via Pietramellara e permetterla indirettamente svoltando a sinistra per poi effettuare inversione sui viali (manovra già possibile, Figura 4.28). Per le linee di TPL su gomma che, allo stato attuale, effettuano l'attraversamento o la svolta in destra, si suggerisce di valutare una deviazione del percorso attraverso il nuovo sottopasso tra Via dei Carracci e Via Polo Bovi Campeggi.

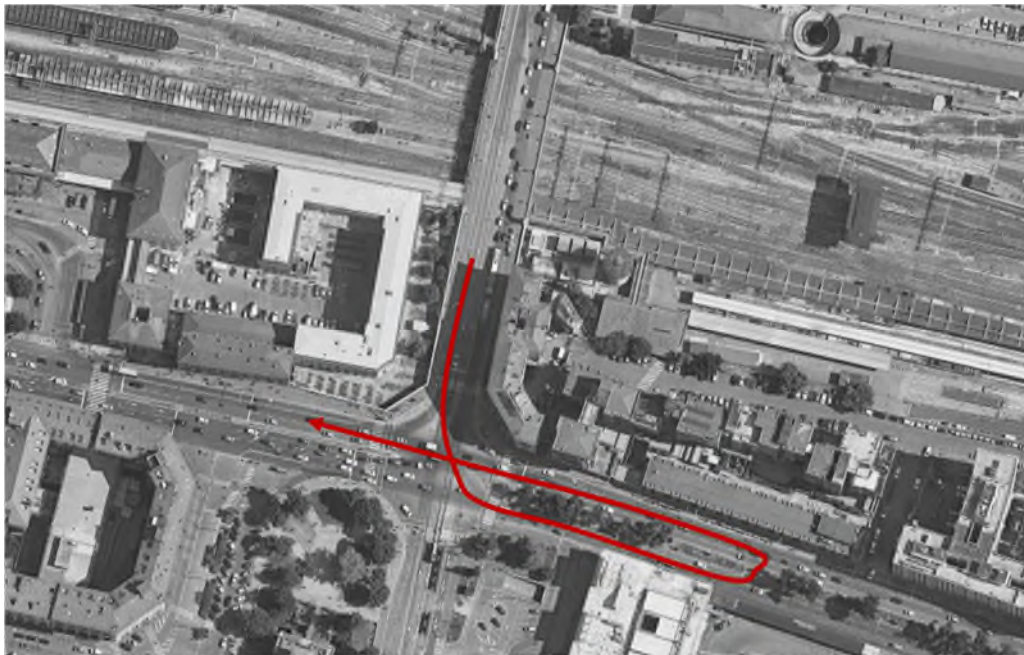


Figura 4.28: Rappresentazione della svolta a destra indiretta da via Matteotti a via Pietramellara

- la definizione del **nuovo itinerario di ingresso alla Bolognina da Est**, da Via Stalingrado a Via Franceschini attraverso Via Pietro Lianori - Via Sebastiano Serlio – Via Bigari – Via Jacopo della Quercia, che comporta l'eliminazione di 50 m di corsia preferenziale su Via Serlio, tra Via Pietro Lianori e l'ingresso al Parcheggio 1 della Stazione Centrale di Bologna (permettendo, inoltre, l'accesso a quest'ultimo anche da Est) può essere completata con un piccolo intervento di segnaletica a terra per incanalare i flussi su Via Jacopo della Quercia che da entrambe le direzioni confluiscono su via Franceschini.



Figura 4.29: Rappresentazione del nuovo itinerario di ingresso alla Bolognina da Est

Altri due elementi della porzione di rete analizzata sui quali porre attenzione sono la rotatoria Alex Lamberg e l'intersezione semaforizzata all'altezza di Via Nicolò Dall'Arca. Per questi elementi le soluzioni proposte di seguito non sono state implementate nel modello.

- la rotatoria **Alex Lamberg** tra Via Bolognese, Via Fioravanti e Via Pietro Gobetti è un'elemento che, anche allo stato attuale, risulta essere "potenzialmente critico" per l'entità dei flussi che vi insistono e per il fatto che non sono molto bilanciati (da modello risultano, nell'ora di punta della mattina, circa 1.360 veicoli da Via Bolognese, 980 da Via Gobetti e 350 da Via Fioravanti). La ripartizione della matrice O/D della rotatoria risultante dal modello indica che oltre il 40% dei flussi su Via Bolognese svolta su Via Fioravanti, percorrendo tre quarti della rotatoria ed entrando in conflitto con gli ingressi da Via Gobetti) e il 60% dei flussi da Via Gobetti svolta su Via Tibaldi dovendo ancora scambiare su Via Fioravanti con i flussi provenienti da Via Bolognese. Per riequilibrare i flussi in accesso alla rotatoria tra i due approcci principali e ridurre i flussi che insistono sulla stessa si suggerisce di creare un percorso di bypass della rotatoria per i flussi su Via Bolognese diretti a Via Fioravanti, istituendo una circolazione «all'inglese» su Via Tibaldi (Figura 4.30). La circolazione al nodo Via Fioravanti – Via Tibaldi può essere regolata da segnaletica a terra per canalizzare i flussi evitando traiettorie di conflitto con l'attraversamento di Via Fioravanti. Gli impianti semaforici di Via Dall'Arca dovrebbero essere coordinati per garantire un itinerario «veloce». **Questa soluzione potrebbe essere implementata anche successivamente in seguito all'osservazioni della presenza di criticità sull'asse di Via Bolognese.**

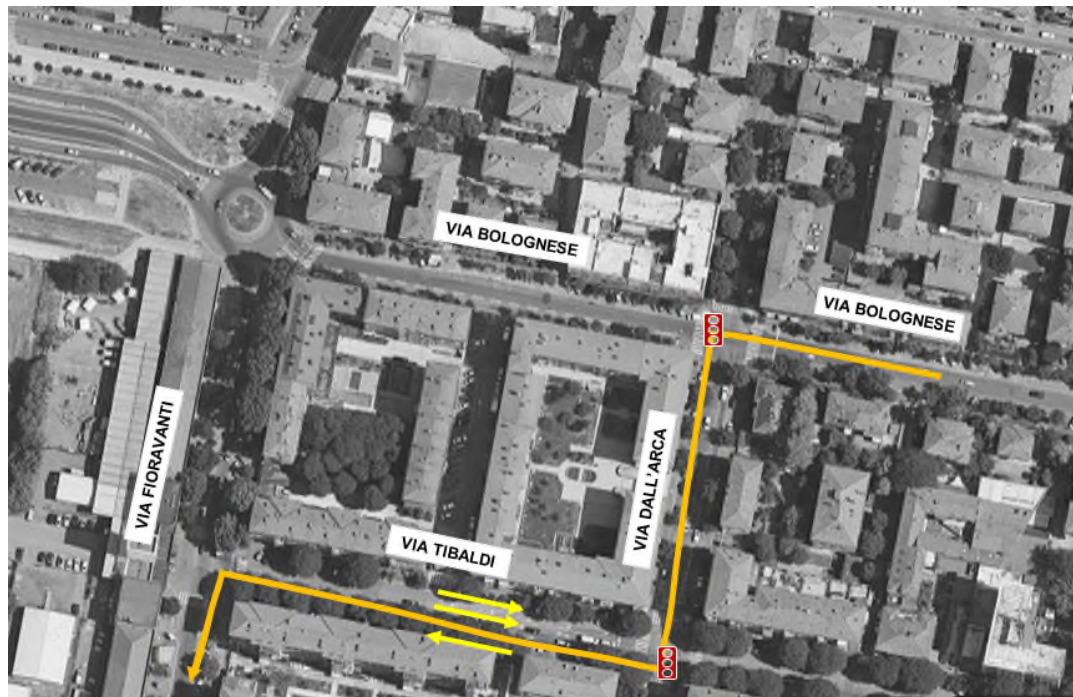


Figura 4.30: Proposta di percorso Via Bolognese - Via Fioravanti alternativo alla rotatoria

5 LA MICROSIMULAZIONE DEL SOTTOPASSO DI VIA DI CORTICELLA

5.1 LA RETE SOTTOPOSTA A VALUTAZIONE

La rete oggetto di micro-simulazione è il tratto di Via di Corticella compreso tra Via Francesca Edera De Giovanni (non inclusa nel modello) e Via Stendhal (Figura 5.1).

Allo stato attuale, la sezione stradale è costituita da carreggiate separate ognuna delle quali presenta due corsie per la marcia. In direzione sud (centro) dallo svincolo della Tangenziale Nord di Bologna e il limite della rete analizzata è presente una corsia riservata al trasporto pubblico. Lo svincolo con la Tangenziale è realizzato attraverso un sistema di due rotatorie, una a Nord e una a Sud della Tangenziale stessa.

Per quanto riguarda la rotatoria a Sud (Rotonda Consiglio d'Europa), l'immissione da Via di Corticella in direzione Nord verso la Tangenziale è realizzata attraverso un braccio esterno alla rotatoria così come l'immissione dalla Tangenziale su Via di Corticella in direzione Nord per i flussi provenienti da Ovest.

Nella porzione di rete rappresentata nel modello sono, inoltre, presenti tre intersezioni semaforizzate: Via di Corticella – Via Saliceto – Via Giuriolo; Via di Corticella – Via di Carlo Porta e Via di Corticella – Via Marziale – Via di Croce Coperta (unico impianto).



Figura 5.1: La rete oggetto di valutazione

5.2 LA CALIBRAZIONE NELLA SITUAZIONE ATTUALE

La procedura di calibrazione di un modello micro consiste in un **processo iterativo** in cui si riproducono le caratteristiche della rete stradale e delle regole di circolazione e si variano i parametri che descrivono il comportamento di guida, al fine di ottenere non solo una buona corrispondenza tra flussi conteggiati su strada e flussi determinati dalla modellazione ma anche di riprodurre le condizioni di circolazione.

Per verificare la corrispondenza dei flussi è stato utilizzato il metodo della retta di regressione e dell'indicatore statistico GEH, come raccomandato da linee guida del settore.

Sono state verificate 3 sezioni di conteggio (monodirezionali) e l'analisi ha restituito buoni risultati in entrambi i casi.

Il coefficiente angolare della retta di regressione è pari a 0.9 ed il coefficiente di determinazione R^2 è prossimo all'unità (0.99)

L'indicatore GEH risulta per tutte le sezioni inferiore a 5.

E' stato inoltre verificato che tutti i flussi, importati dal modello macro, siano stati correttamente processati nel modello micro, in termini di flussi di ingresso e manovre di svolta, controllando il deflusso veicolare di rete.

Il modello è risultato ben calibrato.

5.3 SCENARI DI PROGETTO

5.3.1 LA NUOVA CONFIGURAZIONE DELLA RETE

Nello scenario di progetto l'infrastruttura tranviaria viene inserita al centro tra le due carreggiate di Via di Corticella la cui sezione si riduce ad una corsia per senso di marcia in entrambe le direzioni.

In corrispondenza dello svincolo con la Tangenziale è risultato necessario introdurre un **sottopasso per la linea tranviaria** al fine di non compromettere il deflusso dei veicoli in ingresso ed uscita dalla Tangenziale che si svolge attraverso le due rotatorie poste rispettivamente a Sud (rotonda Consiglio d'Europa) e a Nord dell'asse Autostrada/Tangenziale (Figura 5.2).



Figura 5.2: Configurazione della rete di progetto

La configurazione dello svincolo con la Tangenziale Nord è quella proposta da ASPI nell'ambito del progetto del Passante di Bologna e prevede il potenziamento della capacità delle due rotatorie (aumentandone il raggio) e la modifica della rampa in uscita dalla Tangenziale sul lato Nord che, nella configurazione di progetto, si innesta direttamente su Via di Corticella nel tratto di collegamento tra le due rotatorie in direzione Sud (Figura 5.3).

In questa configurazione dello scenario di progetto i flussi uscenti dalla Tangenziale da Est e diretti a Nord sono obbligati ad un allungamento di percorso di circa 500 m. E' stato, quindi, simulato uno scenario in cui oltre alla rampa con immissione diretta verso Sud permane anche la rampa che si innesta sulla rotatoria a Nord della Tangenziale. Tale scenario è stato definito "Prog. 2030 con rampa".



Figura 5.3: Particolare del progetto dello svincolo della tangenziale Nord su Via di Corticella.

La necessità di realizzare il sottopasso risulta evidente se si considera che l'inserimento dell'infrastruttura tranviaria in superficie comporterebbe la semaforizzazione delle rotatorie e la riduzione ad un'unica corsia di marcia anche per il tratto di Via di Corticella tra le due rotatorie. Non sarebbe, inoltre, possibile realizzare la rampa dalla Tangenziale così come proposto da ASPI. La presenza del tram comporta, inoltre, l'impedimento di alcune manovre di svolta in sinistra in particolare: da Via di Corticella (dir. nord) a Via C. Porta; da Via C. Porta a Via di Corticella (dir. Nord); da Via di Corticella (dir. Nord) a Via Marziale; da Via Marziale a Via di Corticella (dir. Nord). A tutte le intersezioni semaforizzate è assicurata la priorità alla linea tranviaria, il cui intertempo tra le vetture è di 5 min per direzione.

In Appendice si riporta il dettaglio dei piani semaforici di progetto considerati nella simulazione.

5.3.2 LA DOMANDA ASSEGNATA

La domanda assegnata sul modello di microsimulazione negli scenari di progetto deriva dal modello di macro-simulazione secondo la procedura descritta nel capitolo 3 (metodologia).

Nell'ora di punta della mattina la domanda dello scenario di progetto (2030) risulta più elevata rispetto alla situazione attuale di circa 500 veicoli.

Tale incremento di domanda, nell'area oggetto di studio, è da attribuirsi da un lato dall'evoluzione demografica prevista e dalla realizzazione di nuovi insediamenti e dall'altro lato da una maggiore attrattività della Tangenziale Nord a seguito dell'incremento di capacità dovuto alla realizzazione del progetto del Passante di Bologna.

Sulla Tangenziale Nord, nel tratto compreso nella simulazione, si osserva, infatti, un incremento della capacità residua dovuto sia alla realizzazione del Passante, sia ad una leggera diminuzione dei flussi in attraversamento dovuta al trasferimento modale dall'auto al Park&Ride realizzato presso i capolinea Est della linea rossa.

Su Via di Corticella si osserva un incremento dei flussi in direzione Nord tra l'area della Bolognina e la Tangenziale in ingresso su quest'ultima.

Si osserva, inoltre, un incremento dei flussi su Via Arcoveggio, in quanto su Via di Corticella in direzione Sud non vi è margine di capacità e l'incremento di domanda dovuto alla maggiore

attrattività della Tangenziale Nord è servito attraverso viabilità parallela che rientra su Via di Corticella da Via Giuriolo.

5.3.3 VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEL SISTEMA

Indicatori di rete

Gli indicatori sintetici di rete riportati nella Tabella 5.1 non tengono conto dei dati sviluppati dal Tram e dei veicoli che percorrono la tangenziale. Si evidenzia, negli scenari di progetto, un peggioramento degli indicatori di rete rispetto alla situazione attuale, tuttavia le condizioni della rete sono buone con una **velocità media di rete di circa 30 km/h** (-2,4 km/h rispetto allo stato attuale che equivale ad un -7%).

Negli scenari di progetto l'incremento della congestione su Via di Corticella, dovuto sia alla diminuzione della capacità degli archi stradali sia all'incremento dei flussi diretti alla Tangenziale Nord, comporta un incremento del numero di fermati e del tempo medio a fermo che passa da circa 11 s a circa 16-17 s per un ritardo complessivo medio a veicolo che passa da circa 30 s a circa 45 s.

Confrontando gli indicatori delle due configurazioni di progetto si osserva che nello scenario con rampa diminuiscono sia le percorrenze in km sia il tempo speso sulla rete, tuttavia, non si evidenzia un beneficio sulla velocità media di rete che si attesta ancora a circa 30 km/h. Si registra, infatti, una lieve riduzione del numero di fermate totali e medie a veicolo ma anche un incremento del tempo medio a fermo, tale da far registrare solo una lieve riduzione del ritardo medio a veicoli (inferiore a 1 s).

Tali variazioni si ritengono, tuttavia, poco significative in quanto sono inferiori alla deviazione standard registrata tra più simulazioni dello stesso scenario.

Si osserva che l'intervallo temporale simulato è relativo all'ora di punta della mattina, quindi non sono da escludersi variazioni più significative degli indicatori relativi alle due configurazioni di progetto nell'ora di punta del pomeriggio in cui è atteso un incremento dei flussi diretti verso Nord.

Tabella 5.1: Indicatori sintetici di rete

Indicatore	Attuale	Scenario di progetto		Scenario di progetto con rampa	
	V.A.	V.A.	Var.% vs Att.	V.A.	Var.% vs Att.
Tempo totale di percorrenza [h]	93	121	30,1%	118	26,9%
Distanza totale [km]	3.017	3.625	20,2%	3.507	16,2%
Velocità media [km/h]	32,3	29,9	-7,4%	29,9	-7,4%
Num. di veicoli usciti dalla rete	4.140	4.642	12,1%	4.588	10,8%
Num. di stop	4.094	6.038	47,5%	5.556	35,7%
Num. medio di fermate per veicolo	1,0	1,3	30,0%	1,2	20,0%
Totale tempo a fermo [h]	12,77	21,79	70,6%	22,75	78,2%
Tempo a fermo medio per veicolo [s]	10,9	16,5	51,4%	17,3	58,7%
Totale ritardo [h]	30,3	44,6	47,2%	43,9	44,9%
Perditempo medio per veicolo[s]	25,8	33,7	30,6%	33,4	29,5%

Indicatori di itinerario

Gli itinerari per i quali sono stati misurati da simulazione flussi e tempi di percorrenza sono (Figura 5.4):

- attraversamento Via di Corticella in direzione Nord (1-2);
- attraversamento Via di Corticella in direzione Sud (2-1);
- Tangenziale da Ovest - Via di Corticella in direzione Sud (3-1);
- Tangenziale da Ovest – Via di Corticella in direzione Nord (3-2);
- Tangenziale da Est - Via di Corticella in direzione Sud (4-1);
- Tangenziale da Est - Via di Corticella in direzione Nord (4-2);
- Via Giuriolo – Tangenziale verso Est (5-4);
- Via Giuriolo – Via di Corticella in direzione Nord (5-2);
- Via Giuriolo – Tangenziale verso Ovest (5-3).



Figura 5.4: Posizione delle sezioni di inizio e fine dei percorsi analizzati

Negli scenari di progetto si registra un incremento dei flussi sugli itinerari in ingresso alla Tangenziale, incrementi contenuti dei tempi di percorrenza sugli altri itinerari ad eccezione dell'itinerario Tangenziale da Est verso Via di Corticella in direzione Nord.

Nella configurazione del progetto standard, i tempi di percorrenza per i flussi che dalla Tangenziale sono diretti a Nord si incrementano di quasi un minuto.

Tabella 5.2: Flussi e Tempi di percorrenza sui principali itinerari

DA	A	Attuale		Scenario di progetto		Scenario di progetto con rampa	
		Flusso	Tempo [s]	Flusso	Tempo [s]	Flusso	Tempo [s]
1	2	58	126,3	72	120,1	72	120,8
2	1	148	132,3	152	149,3	151	153,6
3	1	181	95,0	182	107,1	181	110,7
3	2	175	69,8	227	125,2	226	66,7
4	1	356	76,4	335	98,1	335	98,9

DA	A	Attuale		Scenario di progetto		Scenario di progetto con rampa	
		Flusso	Tempo [s]	Flusso	Tempo [s]	Flusso	Tempo [s]
4	2	347	80,1	379	77,8	374	79,2
5	4	381	80,4	595	90,6	596	90,5
5	2	11	130,5	22	146,3	22	149,2
5	3	114	119,6	174	133,1	171	135,1

Indicatori di nodo

E' stato valutato il livello di servizio (LOS) di tutte le intersezioni semaforizzate e non su Via di Corticella nella tratta oggetto di microsimulazione.

Partendo da Nord, il livello di servizio del nodo di **Via Croce Coperta – Via Carlo Porta -Via Marziale** allo **stato attuale** è buono, con un ritardo medio di circa 22 s che corrisponde ad un **LOS C** in base all'HCM 2010 (Figura 5.5). Nello scenario 2030, in entrambe le **configurazioni di progetto**, **non si registra una significativa variazione del livello di servizio** di nodo (Figura 5.6). Tuttavia, si osservano:

- un miglioramento del livello di servizio dell'approccio di Via C. Porta, che passa da C ad A, passando da approccio semaforizzato a non semaforizzato;
- un miglioramento del LOS dell'approccio di Via di Corticella in direzione Nord, che passa da C a B;
- un peggioramento dell'approccio di Via di Corticella in direzione Sud, che passa da LOS B a LOS C, che comunque rappresenta ancora una buona condizione di deflusso;
- un peggioramento dell'approccio di Via Marziale che passa da LOS D ad E. Si osserva che la priorità tranviaria è stata modellizzata interrompendo le fasi in conflitto. Poiché il verde assegnato a Via Marziale ha una durata paragonabile a quella dell'attraversamento tranviario, è possibile che, qualora il tram si presenti all'intersezione all'inizio della fase di verde assegnata a via Marziale, di fatto nel ciclo sia bypassata la fase di via Marziale. Il valore del ritardo calcolato potrebbe essere, quindi, sovrastimato in quanto nella operatività reale sarà possibile recuperare la fase.

- un allungamento delle code su Via di Corticella. Tuttavia, nella direzione più carica, verso il centro, la coda media è di circa 50 m.

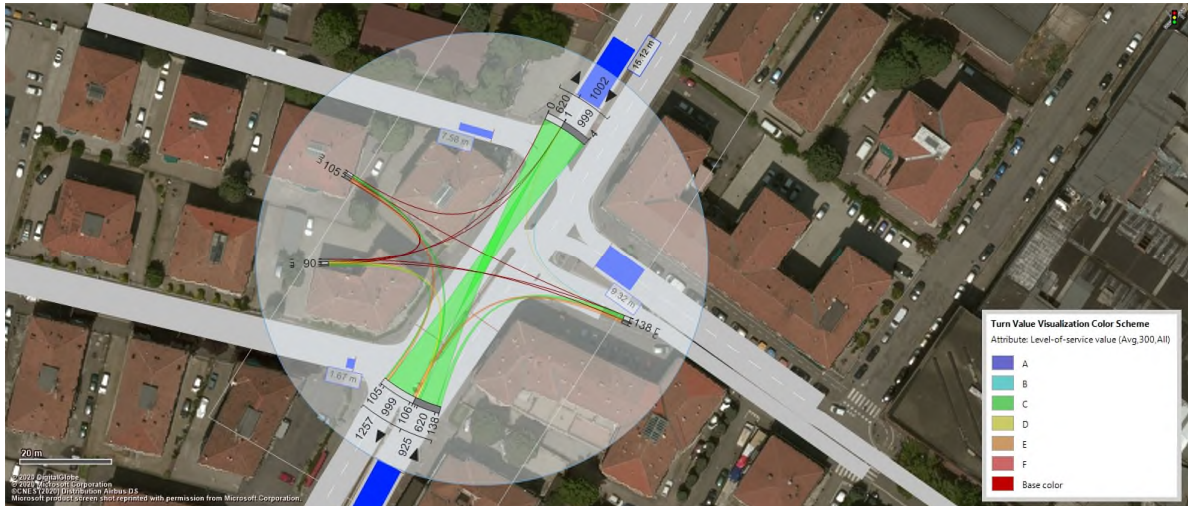


Figura 5.5: Situazione attuale. Valutazione del nodo: Via Marziale – Via Croce Coperta



Figura 5.6: Scenario di progetto. Valutazione del nodo: Via Marziale – Via Croce Coperta

La **rotatoria a nord della Tangenziale** presenta nella **configurazione attuale** un **LOS A**, con un ritardo medio a veicoli pari a circa 8 s (Figura 5.7). Nello **scenario di progetto** l'insieme del nodo presenta ancora un **LOS A** (Figura 5.8). L'approccio di Via di Corticella in direzione sud presenta un livello di servizio B/C in entrambe le configurazioni di progetto perché cresce il traffico in ingresso alla Tangenziale da Sud.

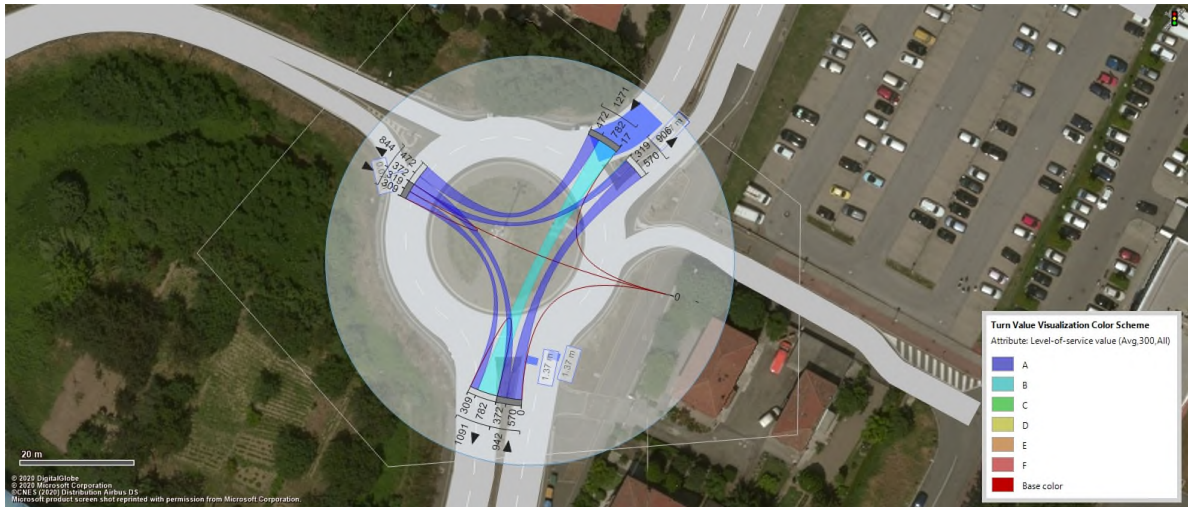


Figura 5.7: Situazione attuale. Valutazione del nodo: Rotatoria a Nord della tangenziale

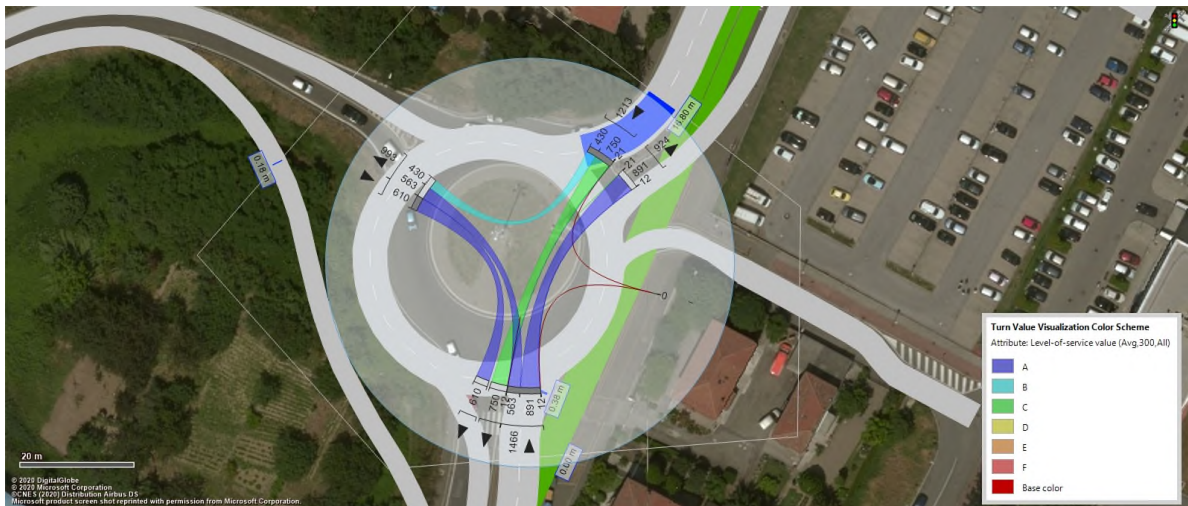


Figura 5.8: Scenario di progetto. Valutazione del nodo: Rotatoria a Nord della tangenziale

Il livello di servizio della **rotatoria Consiglio d'Europa** (a sud della tangenziale) è ottimo nella **situazione attuale**, pari a LOS A (Figura 5.9) e si mantiene più che buono negli **scenari di progetto** pari a LOS B (Figura 5.10 e Figura 5.11).

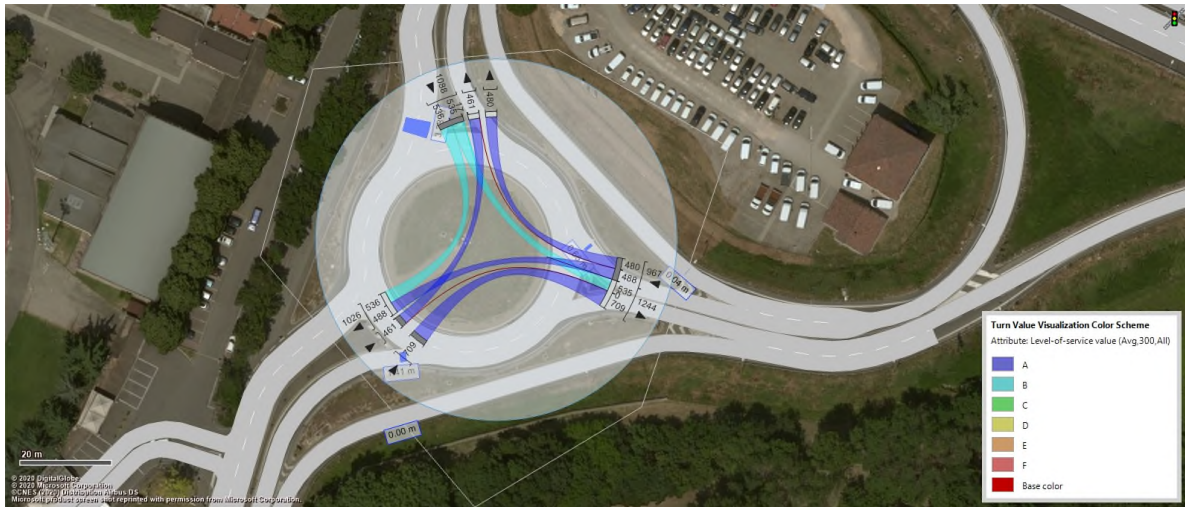


Figura 5.9: Situazione attuale. Valutazione del nodo: Rotatoria Consiglio d'Europa



Figura 5.10: Scenario di progetto. Valutazione del nodo: Rotatoria Consiglio d'Europa



Figura 5.11: Scenario di progetto con rampa in rotatoria Nord. Valutazione del nodo: Rotatoria Consiglio d'Europa

Il nodo di Via di Corticella – Via Saliceto – Via Giuriolo presenta nella situazione attuale un LOS C con circa 23 s di ritardo medio a veicolo (Figura 5.12). Nello scenario al 2030 il livello di servizio si mantiene LOS C ma con un ritardo di circa 33 s al limite del livello di servizio D (Figura 5.13).



Figura 5.12: Valutazione nodo Via Saliceto nello scenario attuale

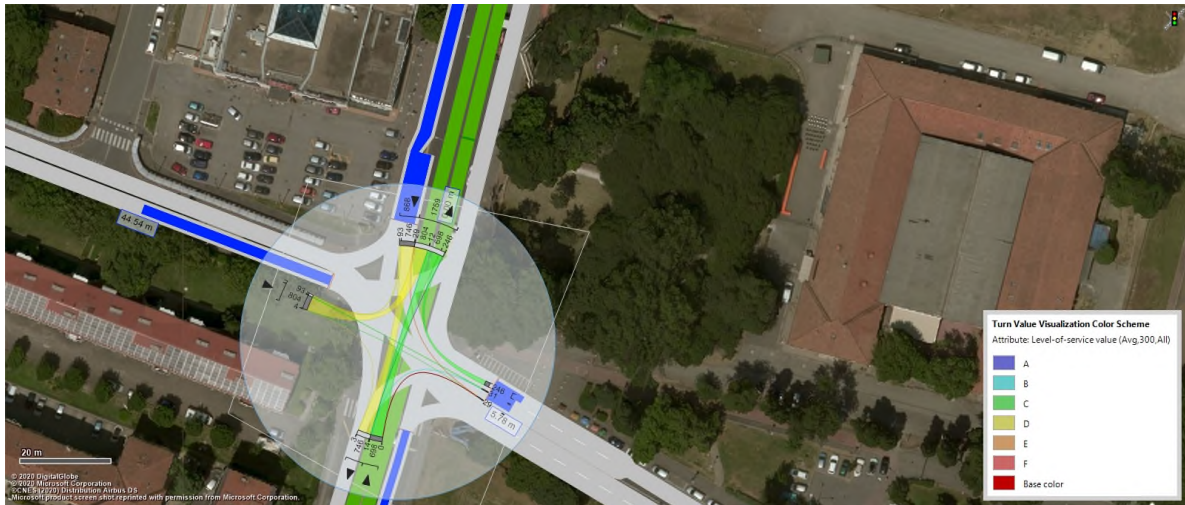


Figura 5.13: Valutazione nodo Via Saliceto nello scenario di progetto

Di seguito si riporta una tabella con il riepilogo dei principali risultati forniti dal modello per le intersezioni presenti nella porzione di rete sottoposta a microsimulazione.

Tabella 5.3: Indicatori di nodo. Riepilogo dei risultati

INTERSEZIONE		Sit. Att.	Scen. progetto	Scen. progetto con rampa
Via Croce Coperta – Via Carlo Porta - Via Marziale	LOS	C	C	C
	Rit. medio (sec)	22	22	22
Rotatoria a Nord della tangenziale	LOS	A	A	A
	Rit. medio (sec)	8	8	9
Rotatoria Consiglio d'Europa	LOS	A	B	B
	Rit. medio (sec)	5	12	12
Via Corticella – Via Giuriolo – Via Saliceto	LOS	C	C	C
	Rit. Medio (sec)	23	33	34

Si riportano alcune fermo immagini dalla simulazione al termine dell'intervallo di punta.



Figura 5.14: Scenario attuale



Figura 5.15: Scenario Progetto



Figura 5.16: Scenario Progetto con Rampa



Figura 5.17: Scenario attuale



Figura 5.18: Scenario Progetto



Figura 5.19: Scenario Progetto con Rampa

5.4 INDICAZIONI DAL MODELLO

Di seguito sono espone, in forma sintetica, le principali evidenze fornite dall'analisi svolta con la tecnica della microsimulazione dinamica:

- l'inserimento del tram, con relative manovre vietate, comporta un aumento della **distanza totale** percorsa dai veicoli del **+20%** rispetto all'attuale;
- le prestazioni della rete rimangono soddisfacenti, la **velocità media** di rete diminuisce di circa il **-8%** rispetto allo stato attuale;
- il nodo 104 – **Via di Corticella/Via Giuriolo/Via Saliceto** costituisce il **nodo critico** della rete, una non corretta programmazione del ciclo semaforico potrebbe comportare un innalzamento del LOS;
- il nodo 104 - **Via di Corticella/Via Giuriolo/Via Saliceto** è importante anche per il corretto funzionamento della rotonda Consiglio d'Europa posta a sud della tangenziale (nodo 103). Infatti, **flussi correttamente plotonizzati** in arrivo da tale intersezione permettono un **buon deflusso** per i **veicoli provenienti dalla tangenziale**. Se ciò non accade potrebbero generarsi dei fenomeni di accodamento sulla rampa.

APPENDICE

ANALISI DA HCM DELLA LUNGHEZZA DELLE CODE SU VIA MAZZA NELLO SCENARIO SENZA SOTTOPASSO

Via Mazza è considerato l'elemento critico della rete in quanto, nello scenario di progetto, l'inserimento della linea tranviaria verso Corticella rende necessaria una riduzione della sezione stradale per il traffico veicolare da 3 a 1 corsia.

Prima di procedere con la simulazione degli scenari di progetto è stata effettuata una verifica analitica utilizzando il metodo dell'Highway Capacity Manual (HCM) per determinare la lunghezza della coda sull'approccio e verificare che non superi la lunghezza dell'arco. Lo spillback della coda, infatti, potrebbe determinare un decadimento della capacità delle intersezioni a monte con impatto anche sulla regolarità dell'esercizio delle linee tranviarie.

In particolare, è stata seguita la procedura riportata nell'Appendice G dell'HCM 2000.

In una intersezione semaforizzata, la coda è costituita dai veicoli che si fermano al semaforo in funzione delle loro distribuzione di arrivo e da quelli che non riescono a liberare l'incrocio durante la fase di verde. Il modello stima la coda media e la coda al 70esimo, 85esimo, 90esimo, 95esimo e 98esimo percentile.

Il modello è valido per una singola corsia, in caso di gruppo di corsie è necessario convertire i principali dati di input (flusso, flusso di saturazione, capacità) dividendo i valori totali per il numero di corsie costituenti il gruppo. Per determinare il flusso in arrivo su ogni corsia il manuale suggerisce anche altre formule in funzione dell'utilizzo delle corsie. In questa applicazione si ritiene che la coda sia equamente distribuita su tutte le corsie così come si evince da immagini Google Maps.



Immagine Streetview da Google Maps



Immagine aerea da Google Maps

La coda media è determinata dalla somma di due componenti Q_1 e Q_2 .

La prima componente Q_1 , che rappresenta il numero di veicoli che arrivano durante la fase di rosso e durante la fase di verde finché la coda si esaurisce, è calcolata ipotizzando in primo luogo che la distribuzione degli arrivi sia uniforme e poi utilizzando un fattore di correzione che tiene conto della progressione del plotone. Poiché l'impianto semaforico di Via Mazza – P.za dell'Unità gestisce anche l'intersezione a monte di Via Ferrarese – Via Saliceto, è stata ipotizzata sia nello scenario attuale che nello scenario di progetto una progressione dei veicoli molto favorevole.

Il secondo termine Q_2 rappresenta la coda di overflow, vale a dire quella costituita dai veicoli che non riescono a liberare l'approccio durante la fase di verde e che a causa dell'aleatorietà degli arrivi può verificarsi anche nel caso in cui la domanda non ecceda la capacità.

A partire dalla coda media, tramite un fattore di correzione, si determina la lunghezza della coda al percentile desiderato (si riportano i risultati per l'85esimo percentile).

La procedura permette di calcolare anche il rapporto tra la lunghezza della coda e lo spazio di accumulo disponibile. Qualora questo rapporto superi l'unità si verifica il blocco dell'intersezione a monte.

Di seguito si riportano i fogli di calcolo utilizzati per la verifica.

Nello scenario attuale (3 corsie) il numero medio di veicoli in coda risulta essere di circa 4 veicoli per corsia e circa 6 all'85esimo percentile, mediamente lo spazio di accumulo (90 m) risulta occupato per un quarto e per circa il 40% all'85percentile.

Nello scenario di progetto (1 corsie), pur considerando una riduzione di oltre il 30% dei flussi sull'approccio rispetto allo stato attuale, la riduzione del numero di corsie determina che il numero medio di veicoli in coda risulta essere di circa 26 veicoli per corsia e circa 37 all'85esimo percentile e il rapporto tra la lunghezza della coda e lo spazio di accumulo disponibile eccede di molto l'unità.

Da qui la necessità di intervenire attraverso la realizzazione di un sottopasso in grado di liberare la viabilità di superficie dagli attraversamenti Est-Ovest lungo l'asse Via della Liberazione Via Ferrarese-Via Mazza-Via Bolognese.

BACK-OF-QUEUE WORKSHEET												
General Information												
Project Description <u>via Mazza - SCENARIO ATTUALE</u>												
Average Back of Queue												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Lane group												
Initial queue per lane at the start of analysis period, Q_{0i}					0							
Flow rate per lane, v_i (veh/h)					400							
Saturation flow rate per lane, s_i (veh/h)					1800							
Capacity per lane, c_i (veh/h)					900							
Flow ratio, $X_i = v_i/s_i$					0.222							
v/c ratio, $X_i = v_i/c_i$					0.444							
Effective green time, g (s)					60							
Green ratio, g/C					0.5							
Upstream filtering factor, I					0.793							
Proportion of vehicles arriving on green, P					0.834							
Platoon ratio, R_p $R_p = \left(\frac{P}{g/C}\right)$					1.667							
Effects of progression adjustment factor, PF_2 $PF_2 = \frac{(1 - R_p \frac{g}{C})(1 - \frac{v_i}{c_i})}{(1 - \frac{g}{C})(1 - R_p (\frac{v_i}{c_i}))}$					0.411							
First-term queued vehicles, Q_1 (veh) $Q_1 = PF_2 \frac{v_i C}{3600} \left(1 - \frac{g}{C}\right) \left[1 - \min\left(1.0, X_i \left(\frac{g}{C}\right)\right)\right]$					3.526							
Second-term adjustment factor, k_B $k_B = 0.12 I \left(\frac{v_i g}{3600}\right)$ (pre-timed signals) $k_B = 0.10 I \left(\frac{v_i g}{3600}\right)$ (actuated signals)					0.61							
Second-term queued vehicles, Q_2 $Q_2 = 0.25 c_i T \left[(X_i - 1) \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 k_B X_i}{c_i T} + \frac{16 k_B Q_{0i}}{(c_i T)^2}} \right]$					0.487							
Average number of queued vehicles, Q $Q = Q_1 + Q_2$					4.013							
Percentile Back of Queue	<input type="checkbox"/> 70% <input checked="" type="checkbox"/> 85% <input type="checkbox"/> 90% <input type="checkbox"/> 95% <input type="checkbox"/> 98%											
Percentile back-of-queue factor, $f_{B\%}$					1.562							
Percentile back-of-queue, $Q_{B\%}$ (veh), $Q_{B\%} = Q f_{B\%}$					6.271							
Queue Storage Ratio												
Average queue spacing, L_h (m)					5.6							
Available queue storage, L_a (m)					90							
Average queue storage ratio, $R_Q = \frac{L_h Q}{L_a}$					0.25							
Percentile queue storage ratio, $R_{Q\%} = \frac{L_h Q_{B\%}}{L_a}$					0.39							
Notes												
1. $f_{B\%} = p_1 + p_2 e^{\left(\frac{p_3}{p_1 + p_2}\right)}$, where p_1 , p_2 , and p_3 are obtained from Exhibit G16-5.												
Chapter 16 - Signalized Intersections												
SIGNAL (PRETIMED or ACTUATED)				ACTUATED								
C durata del ciclo [s]				120								
T Intervallo di analisi [h]				1								

Situazione Attuale. Foglio di calcolo per stima della lunghezza della coda.

BACK-OF-QUEUE WORKSHEET												
General Information												
Project Description: via Mazza - SCENARIO DI PROGETTO												
Average Back of Queue												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Lane group												
Initial queue per lane at the start of analysis period, Q_{0i}					0							
Flow rate per lane, v_i (veh/h)					830							
Saturation flow rate per lane, s_i (veh/h)					1800							
Capacity per lane, c_i (veh/h)					900							
Flow ratio, v_i/s_i					0.461							
v/c ratio, $X_i = v_i/c_i$					0.922							
Effective green time, g (s)					60							
Green ratio, g/C					0.5							
Upstream filtering factor, I					0.793							
Proportion of vehicles arriving on green, P					0.834							
Platoon ratio, $R_p = \frac{P}{g/C}$					1.667							
Effects of progression adjustment factor, PF_2 $PF_2 = \frac{(1 - R_p \frac{g}{C})(1 - \frac{g}{C})}{(1 - \frac{g}{C})(1 - R_p \frac{g}{C})}$					0.776							
First-term queued vehicles, Q_1 (veh) $Q_1 = PF_2 \frac{v_i C}{3600} \left(1 - \frac{g}{C}\right) \left[1 - \min\left(1.0, X_i \left(\frac{g}{C}\right)\right)\right]$					19.91							
Second-term adjustment factor, k_B $k_B = 0.12 \left(1 - \frac{v_i g}{3600}\right)$ (pre-timed signals) $k_B = 0.10 \left(1 - \frac{v_i g}{3600}\right)$ (actuated signals)					0.61							
Second-term queued vehicles, Q_2 $Q_2 = 0.25 c_i T \left[(X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{B k_B X_i}{c_i T} + \frac{16 k_B Q_{0i}}{(c_i T)^2}} \right]$					6.151							
Average number of queued vehicles, Q $Q = Q_1 + Q_2$					26.06							
Percentile Back of Queue	<input type="checkbox"/> 70% <input checked="" type="checkbox"/> 85% <input type="checkbox"/> 90% <input type="checkbox"/> 95% <input type="checkbox"/> 98%											
Percentile back-of-queue factor, $f_{B\%}$					1.426							
Percentile back-of-queue, $Q_{B\%}$ (veh), $Q_{B\%} = Q f_{B\%}$					37.16							
Queue Storage Ratio												
Average queue spacing, L_q (m)					5.6							
Available queue storage, L_a (m)					90							
Average queue storage ratio, $R_Q = \frac{L_q}{L_a}$					1.622							
Percentile queue storage ratio, $R_{Q\%} = \frac{L_q}{L_a} \frac{Q_{B\%}}{Q}$					2.312							
Notes												
1. $f_{B\%} = p_1 + p_2 e^{\left(\frac{-Q}{Q_{B\%}}\right)}$, where p_1 , p_2 , and p_3 are obtained from Exhibit G16-5.												

Chapter 16 - Signalized Intersections

SIGNAL (PRETIMED or ACTUATED)	ACTUATED
C durata del ciclo [s]	120
T Intervallo di analisi [h]	1

Scenario di progetto. Foglio di calcolo per stima della lunghezza della coda.

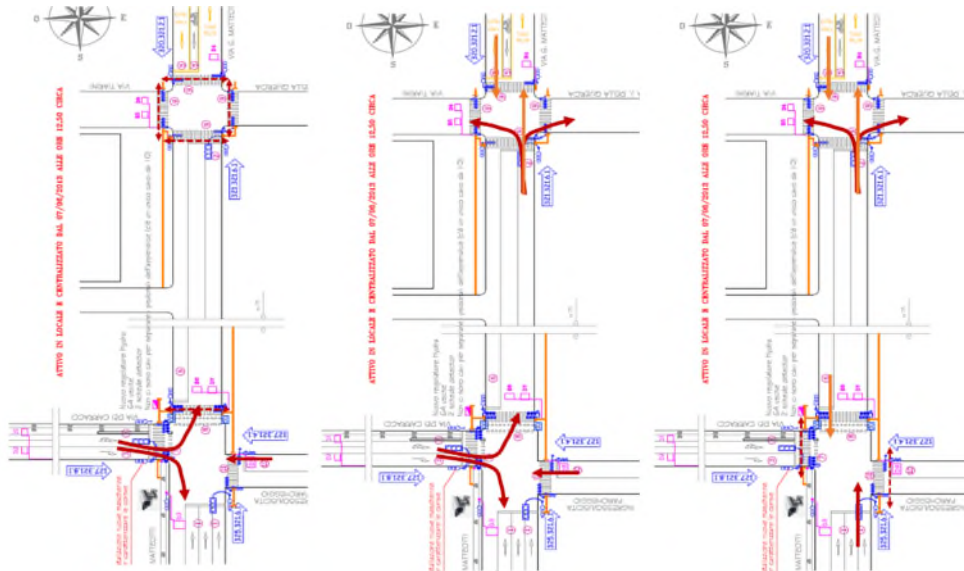
PIANI SEMAFORICI DI PROGETTO AMBITO BOLOGNINA

Nell'ambito della Bolognina il tracciato del tram interessa i seguenti impianti semaforici esistenti:

- impianto 321, che regola le intersezioni di Via Matteotti-Via de' Carracci e Via Matteotti – Via J. Della Quercia – Via Tiarini;
- impianto 365 , che regola le intersezioni di Via Matteotti- P.za dell'Unità e di Via Ferrarese-Via Creti;
- impianto 320, che regola le intersezioni di Via Corticella-P.za dell'Unità-Via Mazza e Via Ferrarese-Via Saliceto
- impianto 322, che regola le intersezioni di Via Ferrarese – Via della Liberazione – Via Franceschini e Via Franceschini – Via Creti

L'inserimento della linea tranviaria richiede, inoltre, la semaforizzazione dell'intersezione di Via Matteotti – Via Algardi e di tutte le intersezioni su Via Corticella tra Via Cignani e Via Torregiani. Nell'ipotesi di progetto con sottopasso lungo è richiesta anche la semaforizzazione del nodo di Via Ferrarese – Via Ferrarese (trasversale).

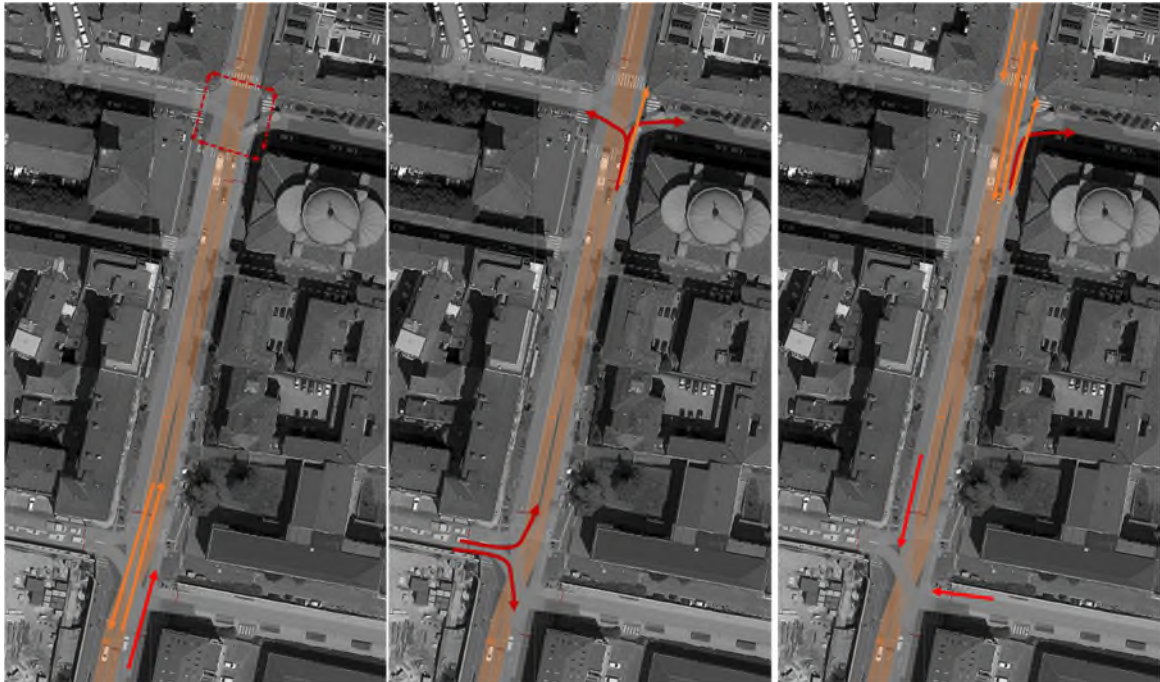
La sequenza delle fasi dell'impianto 321, che regola le intersezioni di **Via Matteotti-Via de' Carracci e Via Matteotti – Via J. Della Quercia – Via Tiarini**, allo stato attuale, è organizzata come nella figura seguente. Di seguito si riporta anche il piano semaforico.



Scenario di progetto. Fasizzazione nodi Matteotti-Tiarini-Della Quercia e Matteotti-Via dei Carracci.

Piano semaforico attuale





Scenario di progetto. Fasizzazione nodi Matteotti-Tiarini-Della Quercia e Matteotti-Via dei Carracci.



No	Signal group	Signal consistenza	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				
1	Signal group 1	Re	10	58									10	58		3
2	Signal group 2	Re											88	61		3
3	Signal group 3	Re	5										65	65	5	3
4	tram	Re	18										88	18		3
5	Signal group 4	Re	18										88	18		3
6	Signal group 5	Re	10										10	58		3
7	tram carracci	Re	10										10	58		3
8	svolta SX via ...	Re	23										23	61		3
10	Signal group 6	Re	5										65	65	5	3

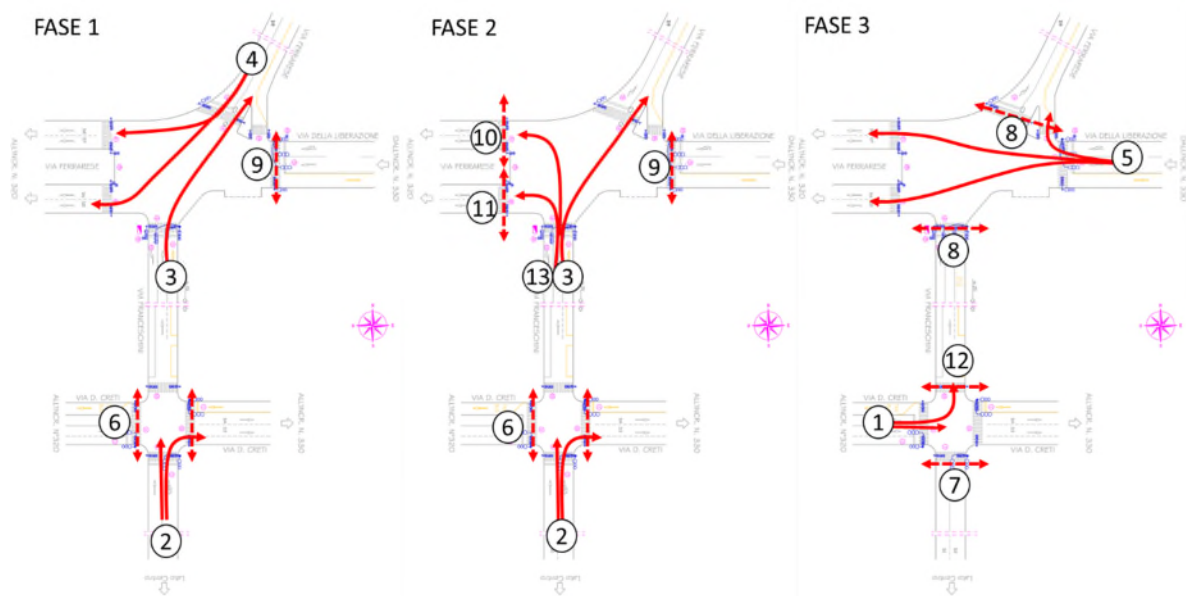
Impianto 321 - piano semaforico di progetto per i gruppi veicolari

Il piano dell'impianto 365, che regola le intersezioni di **Via Matteotti- P.za dell'Unità e di Via Ferrarese-Via Creti** nello scenario di progetto non è stato modificato in termini di sequenza o durata delle fasi. Tuttavia, è stata simulata la priorità tranviaria, interrompendo tutte le manovre in conflitto con il tram.

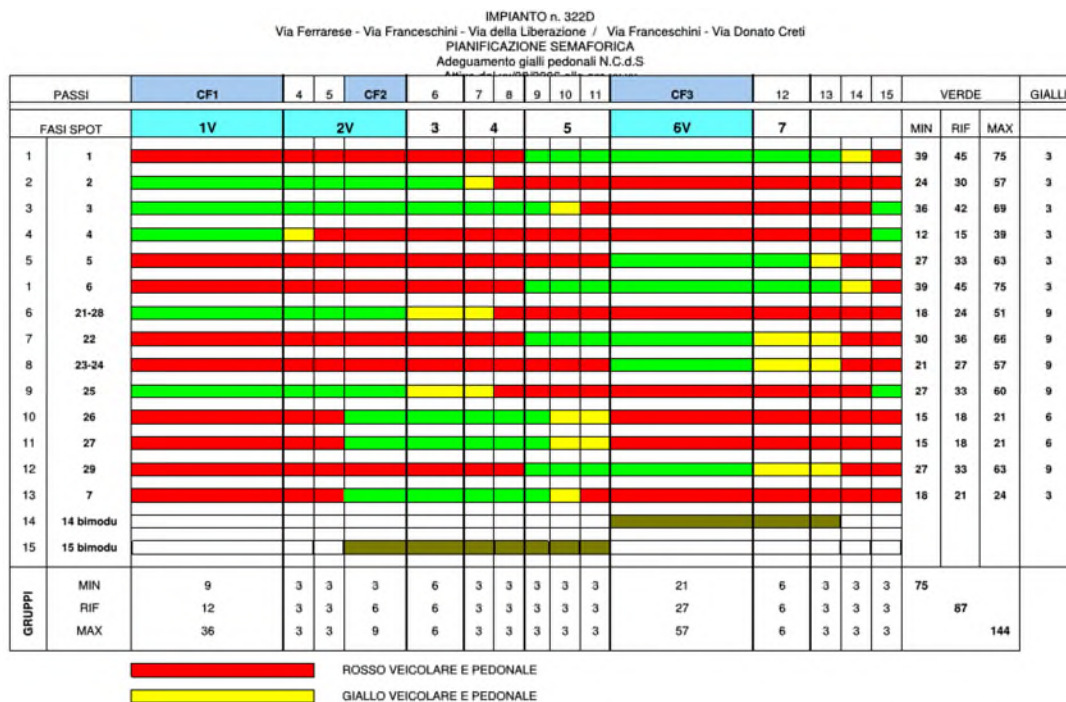
Analogamente è stato trattato l'impianto 320 che regola le intersezioni di **Via Corticella-P.za dell'Unità-Via Mazza e Via Ferrarese-Via Saliceto**.

Per l'impianto 322, che regola le intersezioni di **Via Ferrarese – Via della Liberazione – Via Franceschini e Via Franceschini – Via Creti** sono stati, invece, valutati due piani di progetto: uno per lo scenario di sottopasso corto e uno per lo scenario di sottopasso lungo. Per entrambi, le modifiche apportate rispetto allo scenario attuale riguardano solo il nodo di Via Ferrarese – Via della Liberazione- Via Franceschini.

Nello scenario attuale la regolazione semaforica avviene secondo la sequenza delle fasi e durata riportati di seguito.



Situazione attuale. Fasizzazione impianto nodi Ferrarese-Liberazione e Franceschini-Creti..



ATTIVA DAL 20 FEB 2006 ALLE ORE 12,30 circa

COMUNE DI BOLOGNA
Settore Mobilità Urbana
CENTRO DI CONTROLLO DEL TRAFFICO URBANO

IL TECNICO: geom. Alice PAOLINI
IL RESPONSABILE: Dott. Paolo PASSARINI

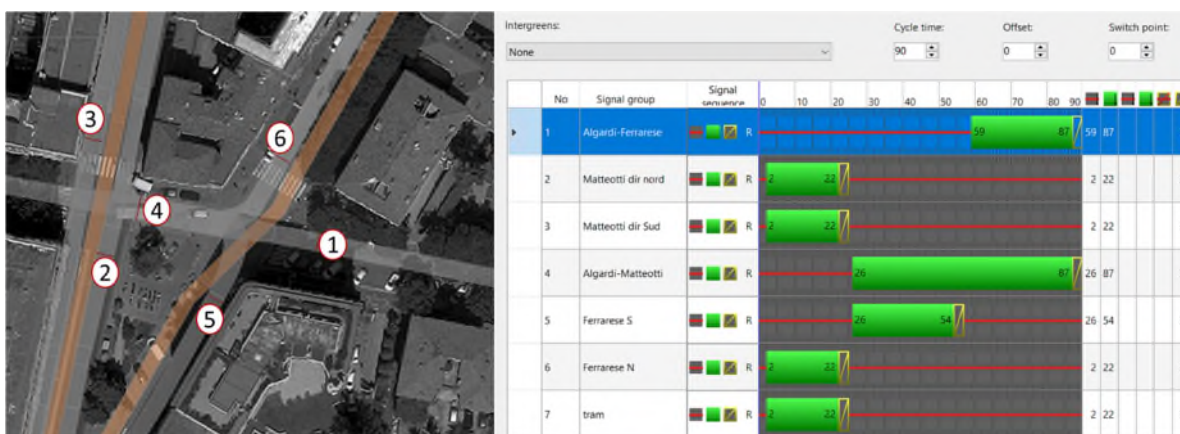
Situazione attuale. Piano semaforico nodi Ferrarese-Liberazione e Franceschini-Creti.

Nello **scenario di progetto con sottopasso corto** è stata mantenuta la stessa organizzazione delle fasi e durata del ciclo, pari a 87 s (considerando il piano locale di riferimento) e applicata la priorità tranviaria.

La durata della fasi è stata leggermente modificata a vantaggio dell'approccio di Via Franceschini che risulta essere quello la cui capacità è ridotta a causa dell'inserimento del tram. Le manovre da questo approccio sono, infatti, quelle che hanno traiettorie in conflitto con il tram e che sono quindi interrotte nel caso di chiamata del TPL. La durata di verde dell'approccio passa da circa 42 s per l'attraversamento verso Via Ferrarese (durante i quali per 21 s è permessa anche la svolta in sinistra) a circa 49 s per l'attraversamento verso Via Ferrarese (per 28 s è permessa anche la svolta in sinistra). Di conseguenza è incrementato leggermente anche il verde di Via Ferrarese che passa da 15 a 18 s, mentre è ridotto il verde di Via della Liberazione che passa da 33 s a 28 s.

Nello **scenario di progetto con sottopasso lungo**, l'approccio di Via della Liberazione entra direttamente in sottopasso mentre quello di Via Ferrarese entra in sottopasso per le manovre di attraversamento verso P.za dell'Unità mentre quelle in direzione di Via Ferrarese verso Via Creti e di Via Saliceto restano in superficie. In questo caso la lanterna per l'attraversamento da Via Franceschini verso Via Ferrarese é sempre verde e si interrompe solo al passaggio del tram , all'approccio di Via Ferrarese sno assegnati 52 s di verde e alla svolta in sinistra da Via Franceschini 28 s. Nello scenario di progetto con sottopasso lungo è necessaria, tuttavia, la semaforizzazione del nodo di **Via Ferrarese – Via Ferrarese trasversale**. Il piano simulato è un due fasi per un ciclo di 90 s. All'attraversamento di Via Ferrarese sono assegnati 45 s di verde e all'approccio trasversale 36 s.

L'inserimento della linea tranviaria richiede, inoltre, la semaforizzazione del nodo **Via Matteotti – Via Algardi e Via Ferrarese-Algardi**. In questo caso si propone un piano con un ciclo di 90 s, in coerenza con i piani attuali degli impianti su Via Matteotti, caratterizzato da tre fasi: una con 22 s di verde per gli attraversamenti su Via Matteotti e le manovre dall'approccio in direzione sud di Via Ferrarese e l'attraversamento tranviario in entrambe le direzioni, la seconda con 28 s di verde per l'approccio di Via Ferrarese in direzione nord e quello di Via Algardi su Via Matteotti, l'ultima che lascia a verde l'approccio di Via Algardi su Via Matteotti e apre quello di Via Algardi su Via Ferrarese.



Piano semaforico di progetto nodo Algardi – Matteotti e Algardi - Ferrarese

Per i nodi da semaforizzare su **Via Corticella**, nel tratto compreso nell'ambito di studio della Bolognina, sono proposti piani con un ciclo pari a circa 75 s a due fasi. Per brevità di narrazione non si riportano i piani, si ritiene tuttavia che visti i flussi contenuti a queste intersezioni, i piani simulati abbiano una scarsa incidenza sui risultati delle simulazioni.

PIANI SEMAFORICI DI PROGETTO - AMBITO VIA DI CORTICELLA

Nell'area oggetto di microsimulazione sono presenti due impianti semaforizzati che regolano le seguenti intersezioni:

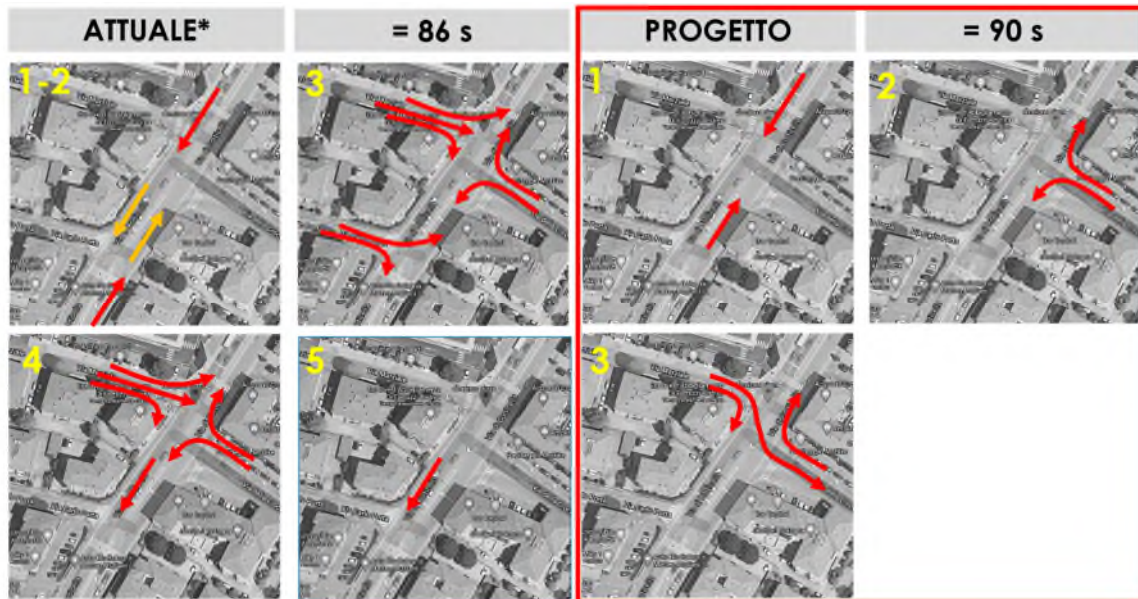
- Via Corticella – Via Marziale – Via Croce Coperta – Via Carlo Porta;
- Via Corticella – Via Giuriolo – Via Saliceto.

Nelle figure seguenti si riporta la fasizzazione e i piani semaforici simulati per lo scenario attuale e per lo scenario di progetto.

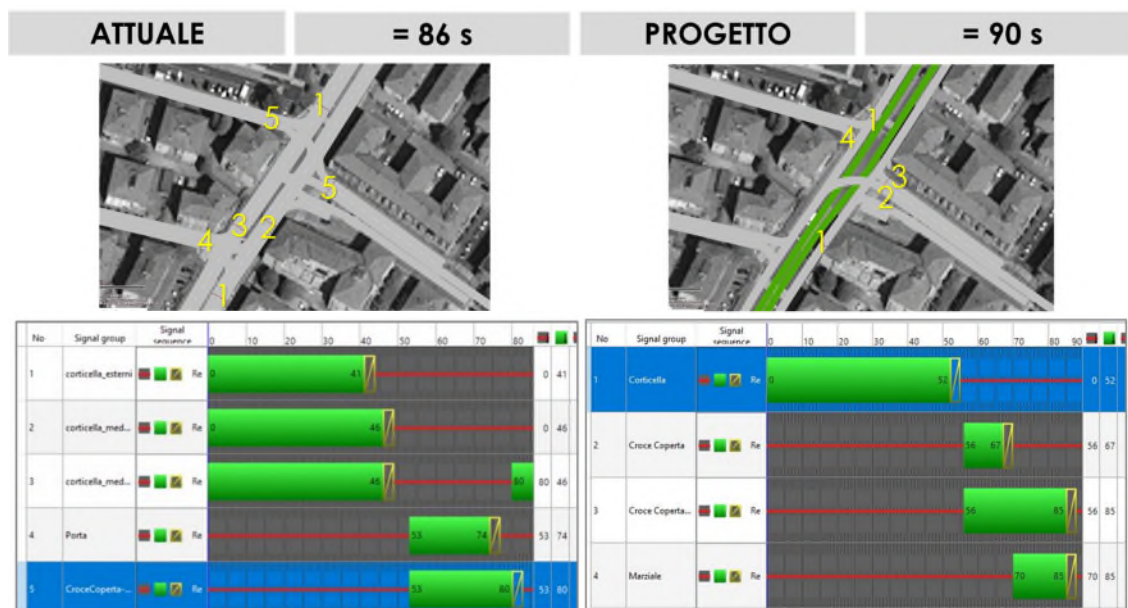
Per entrambi gli impianti si propone un leggero incremento della durata del ciclo.

Per l'impianto di Via Corticella – Via Marziale – Via Croce Coperta – Via Carlo Porta, si propone una semplificazione del piano, in quanto l'approccio di Via Carlo Porta non è più semaforizzato, visto che con l'inserimento della linea tranviaria si impedisce la svolta in sinistra ed è possibile solo l'ingresso di mano su Via di Corticella. Visto il restringimento della carreggiata veicolare di Via di Corticella da due ad una sola corsia, per ragioni di sicurezza si ritiene opportuno permettere le manovre da Via Marziale e da Via Croce Coperta in due fasi diverse e non nella medesima come nello stato attuale.

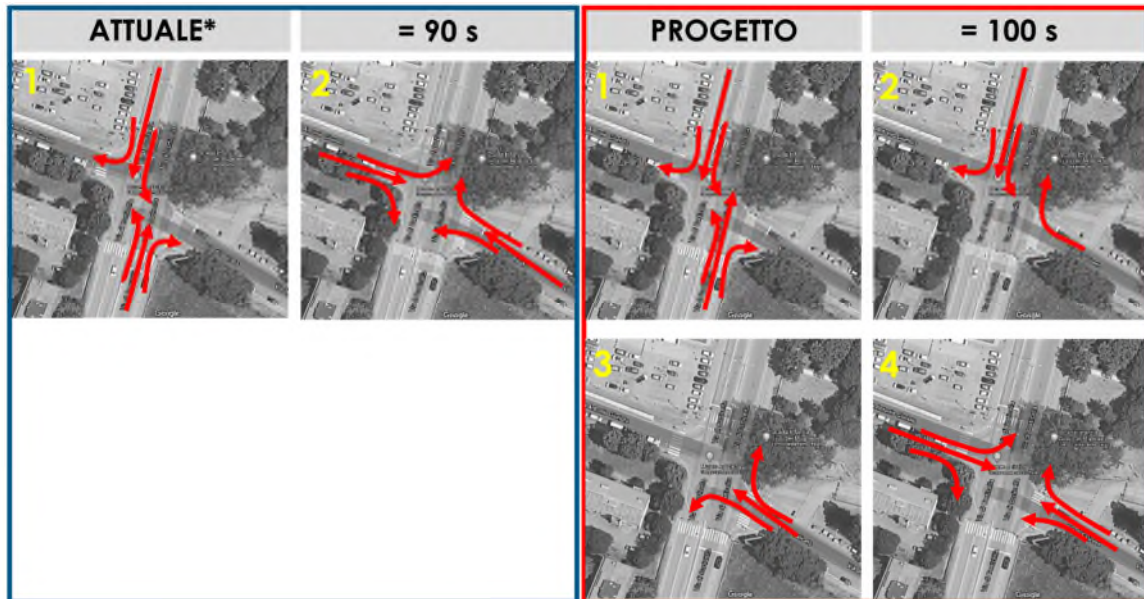
Per l'impianto di Via Corticella – Via Giuriolo – Via Saliceto, si propone, invece, una fasizzazione più articolata e che prevede una serie di scalettamenti tra le fasi con alcuni gruppi di manovre che si aggiungono o sottraggono alla fase in corso. Tale soluzione permette di soddisfare l'incremento di domanda su Via di Corticella e su Via Giuriolo dovuto, in particolare, ad una maggiore attrattività della Tangenziale Nord in seguito agli interventi previsti nello scenario di riferimento e di alimentare in modo opportuno la Rotonda Consiglio d'Europa.



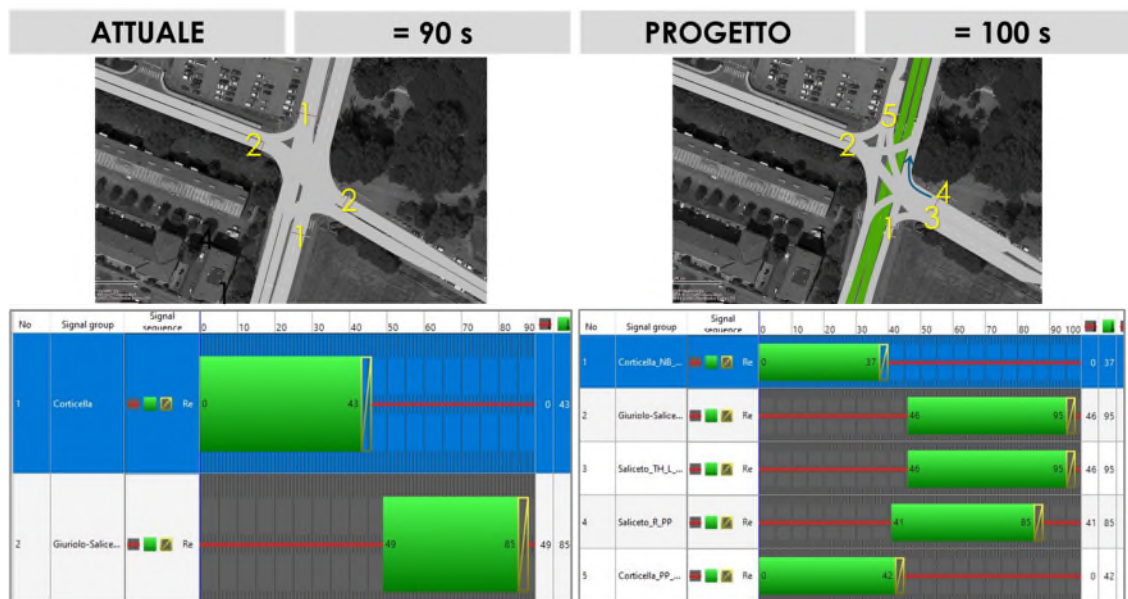
Fasizzazione dell'impianto Via Corticella – Via Marziale – Via Croce Coperta – Via Carlo Porta



Piani semaforici dell'impianto Via Corticella – Via Marziale – Via Croce Coperta – Via Carlo Porta



Fasizzazione dell'impianto Via Corticella – Via Saliceto – Via Giuriolo



Piani semaforici dell'impianto Via Corticella – Via Saliceto – Via Giuriolo