

RTI Progettisti:

SYSTRA

SOTECNI
SYSTRA GROUP

architecna
engineering

AEGIS
CANTARELLI + PARTNERS

STUDIO MATTIOLI
Ambiente - Ingegneria - Energia

cooperativa archeologia

PROGETTO DEFINITIVO DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE)

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

Presidenza
del Consiglio dei Ministri

**CITTÀ
METROPOLITANA
DI BOLOGNA**

STUDI SPECIALISTICI STUDIO TRASPORTISTICO ANALISI DI DETTAGLIO DEI NODI VIARI COMPLESSI

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 FERRO
ARCH. VIRGINIA BORRELLO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DI COMMESSA
ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE TECNICO
ING. ALESSANDRO PIAZZA

SISTEMA TRANVIARIO
ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO
ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE A VERDE
ARCH. NICOLA CANTARELLI

OPERE STRUTTURALI
ING. STEFANO TORTELLA

SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONI
ING. ANGELA TORTORELLA

AMBIENTE
PROF. MATTEO MATTIOLI

SICUREZZA
ARCH. SERGIO MOSCHEO

ARCHEOLOGIA
DOTT. CRISTINA BIGAZZI

BIM MANAGER
GEOM. MIRKO CASAROLI

RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
ING. SANTI CAMINITI

IMPIANTI TECNOLOGICI
ING. SIMONE VILLA

STUDI TRASPORTISTICI
ING. ANDREA SPINOSA

VIABILITA' INTERFERENTE E SOTTOSERVIZI
ING. PIETRO CAMINITI

IDRAULICA E IDROLOGIA
ING. ANDREA BENVENUTI

DEPOSITO
ING. GIORGIO COLETTI

ARMAMENTO
ING. MAURIZIO FALZEA

GEOLOGIA E GEOTECNICA
DOTT. GEOL. ANTONIO PAONE

TRAZIONE ELETTRICA
ING. DOMENICO D'APOLLONIO

IMPIANTI MECCANICI
ING. SALVATORE GIUA

COMMESSA		FASE	LOTTO		WBS	DISCIPLINA		TIPO	NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE							
B	3	8	1	C	D	X	0	0	TR	S	X	X	X	RT	0	1	A	---	B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Ago. 2023	EMISSIONE	A. SPINOSA	A. SPINOSA	S. CAMINITI
B					
C					
D					

Indice

1	INTRODUZIONE	2
2	CONTENUTI E SINTESI DEI RISULTATI DELLO STUDIO	4
3	LA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE TRAMITE IL MODELLO DI MICRO-SIMULAZIONE	5
4	ANALISI DEI NODI DELL'AMBITO DI VIA DI CORTICELLA	9
4.1	I NODI SOTTOPOSTI A VALUTAZIONE	9
4.2	LA NUOVA CONFIGURAZIONE DELLA RETE	9
4.3	INDICATORI DI NODO.....	11
4.3.1	<i>Nodo via Croce coperta-via carlo porta-via marziale</i>	<i>11</i>
4.3.2	<i>Rotatoria consiglio d'europa</i>	<i>13</i>
4.3.3	<i>Nodo via corticella-via saliceto-via giuriolo</i>	<i>14</i>
5	L'ANALISI DELLA ROTATORIA PRESSO IL NODO INTERMODALE DI CORTICELLA.....	16

Lista delle abbreviazioni

LOS	Level Of Service, Livello di servizio
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
TPL	Trasporto Pubblico Locale
veic*km	misura delle percorrenze effettuate dai veicoli sulla rete
veic*h	misura del tempo speso dai veicoli sulla rete

Analisi di dettaglio dei nodi complessi

B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A.docx

1 INTRODUZIONE

Il presente documento espone le risultanze di alcune analisi di dettaglio svolte al fine di valutare gli effetti dell'inserimento della Linea Verde del tram di Bologna, su alcuni nodi e tratti potenzialmente critici.

Nello specifico gli ambiti oggetto di verifica sono 4 nodi specifici della rete stradale:

- Tre sezioni a cavallo dello svincolo con la Tangenziale di Bologna:
 - via di Corticella – via Saliceto – via Giuriolo;
 - Rotatoria Consiglio d'Europa;
 - via di Corticella – via Marziale – via di Croce Coperta (unico impianto).
- La rotatoria posta nei pressi del nodo intermodale di Corticella previsto al capolinea nord della linea Verde.

A questo scopo, per il primo set è stato implementato uno specifico modello di micro-simulazione dinamica utilizzando il software PTV VISSIM 2020 (SP07) mentre, nel secondo caso, è stata effettuata un'analisi sulle funzionalità del nodo tramite procedura HCM.

Con riferimento ai primi 3 nodi, il modello è stato implementato a partire dalle risultanze, in termini di relazioni origine e destinazione e percorsi utilizzati, del modello di macro-simulazione realizzato tramite il software PTV VISUM, riferito all'ambito della Città metropolitana di Bologna (cfr. Studio Trasportistico – Relazione Generale). Le analisi riportate sono state svolte utilizzando le risultanze dello studio trasportistico redatto per il Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) in termini di flussi di arco e per singola manovra; in considerazione del fatto che con la configurazione degli Scenari futuri prevista a questo livello di progettazione risulta una minore pressione sul sistema di mobilità stradale (riduzione dei flussi d'arco nei nodi di interesse), l'analisi può ritenersi ancor più cautelativa e quindi ritenuta ancor più valida in presenza di ridotti decrementi dei transiti veicolari.

La micro-simulazione 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.

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 una 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 micro-simulazione 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 (Capitolo 3);
- i dettagli del modello, gli scenari simulati e i risultati dell'analisi per i nodi dell'ambito di via di Corticella (Capitolo 4);
- i dettagli dell'analisi per la rotatoria del nodo intermodale di Corticella (Capitolo 5).

3 LA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE TRAMITE IL MODELLO DI MICRO-SIMULAZIONE

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

Il modello stocastico di micro-simulazione, sviluppato nel software, PTV 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, etc.

A tal fine, il software, associa le decisioni dei singoli conducenti basandosi su distribuzioni casuali con media e varianza predefinite per ogni input, 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 micro-simulatore, 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, etc.

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.

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. 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 sub-aree 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 esempio 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.

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 ha consentito di calcolare nello specifico gli indicatori di nodo (Tabella 3.1).

Tabella 3.1: 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 (edizione 2010)
Lunghezza media della coda [m] per manovra	È 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,

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

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 3.2).

Tabella 3.2: 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.

Nel solco di tali valutazioni e risultanze, è stato individuato il set di quattro nodi oggetto di questo specifico documento, già descritto in precedenza.

4 ANALISI DEI NODI DELL'AMBITO DI VIA DI CORTICELLA

4.1 I NODI SOTTOPOSTI A VALUTAZIONE

L'analisi del primo set costituito da 3 sezioni nel tratto di via di Corticella compreso tra via Francesca Edera De Giovanni e via Stendhal (Figura 4.1) costituisce un output di dettaglio dello studio a scala microscopica svolto nell'ambito della redazione del PFTE, a sua volta ottenuto dalle risultanze dello studio trasportistico.

Nella porzione di rete di interesse sono presenti tre intersezioni, oggetto specifico dell'analisi:

- via di Corticella – via Saliceto – via Giuriolo;
- Rotatoria Consiglio d'Europa;
- via di Corticella – via Marziale – via di Croce Coperta (unico impianto).

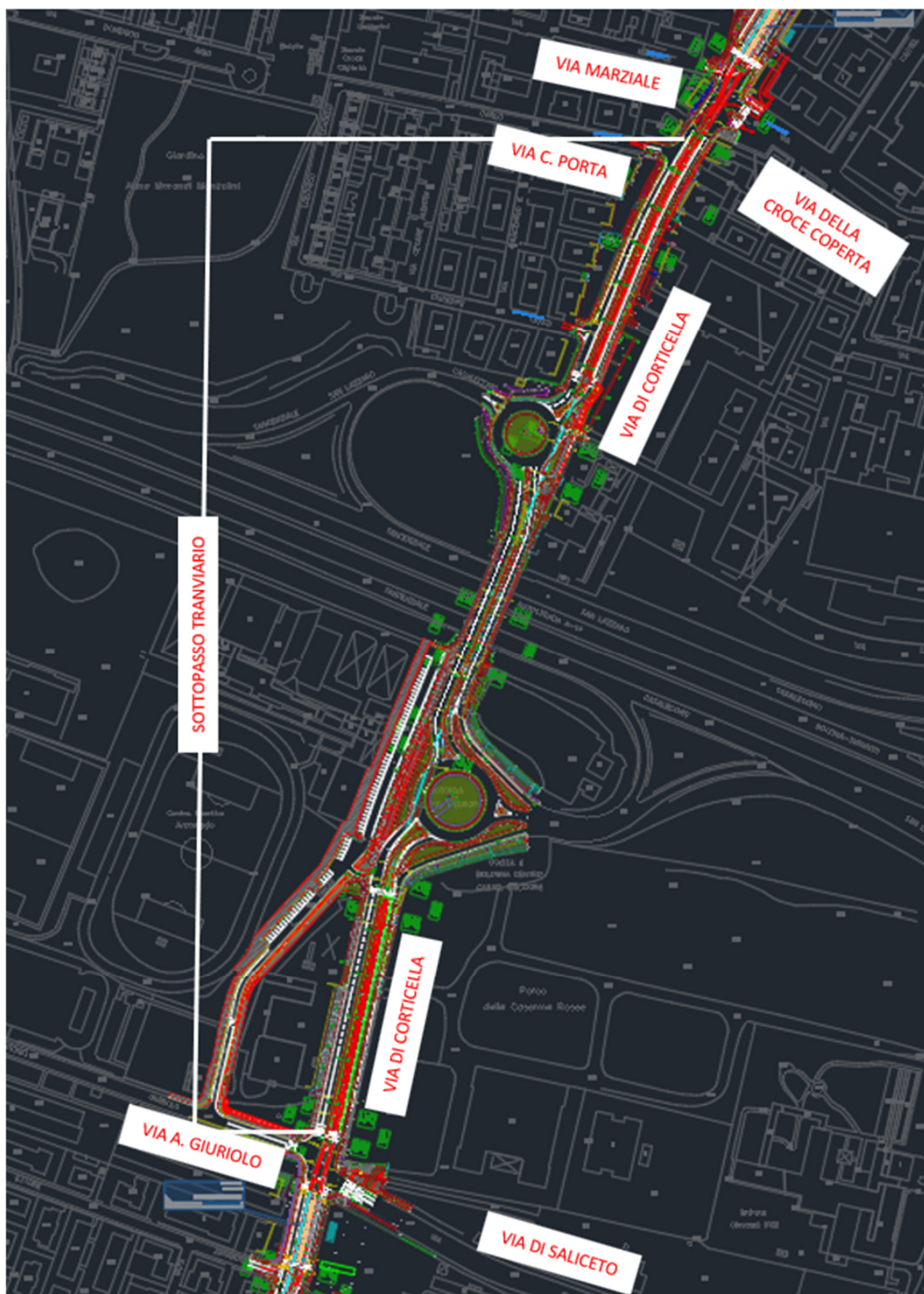
Allo stato attuale, la sezione stradale è costituita da carreggiate separate ognuna delle quali presenta due corsie per la marcia. In direzione sud (centro) dallo svincolo della Tangenziale Nord di Bologna e il limite della rete analizzata è presente una corsia riservata al trasporto pubblico in ingresso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

4.2 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 e 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 4.1).

Figura 4.1: Configurazione della rete di progetto



Analisi di dettaglio dei nodi complessi

B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A.docx

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. 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 minuti per direzione.

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.

4.3 INDICATORI DI NODO

I risultati del modello di simulazione presentato nell'ambito di redazione del PFTE hanno permesso di valutare il livello di servizio (LOS) delle tre intersezioni sopra citate nella tratta oggetto di analisi. Come detto in precedenza, rispetto a quanto simulato all'interno del PFTE, i flussi veicolari stimati sono in misura inferiore anche come conseguenza dello shift modale favorito dall'attuazione della Città 30, che determina, sia nello Scenario di Riferimento che in quello progettuale, simulati tramite il modello macroscopico, una complessiva riduzione della quota modale su auto privata.

Si segnala inoltre che, a livello metodologico, l'attribuzione del livello di servizio complessivo del nodo è effettuata tramite la procedura prevista dal manuale HCM 2010, prendendo in input i ritardi medi per approccio, calcolati a loro volta a partire dai risultati del modello di micro-simulazione.

4.3.1 NODO VIA CROCE COPERTA-VIA CARLO PORTA-VIA MARZIALE

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 4.2). Nello Scenario di Progetto, in entrambe le **configurazioni di progetto**, non si registra una **significativa variazione del livello di servizio** di nodo (Figura 4.3). 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.

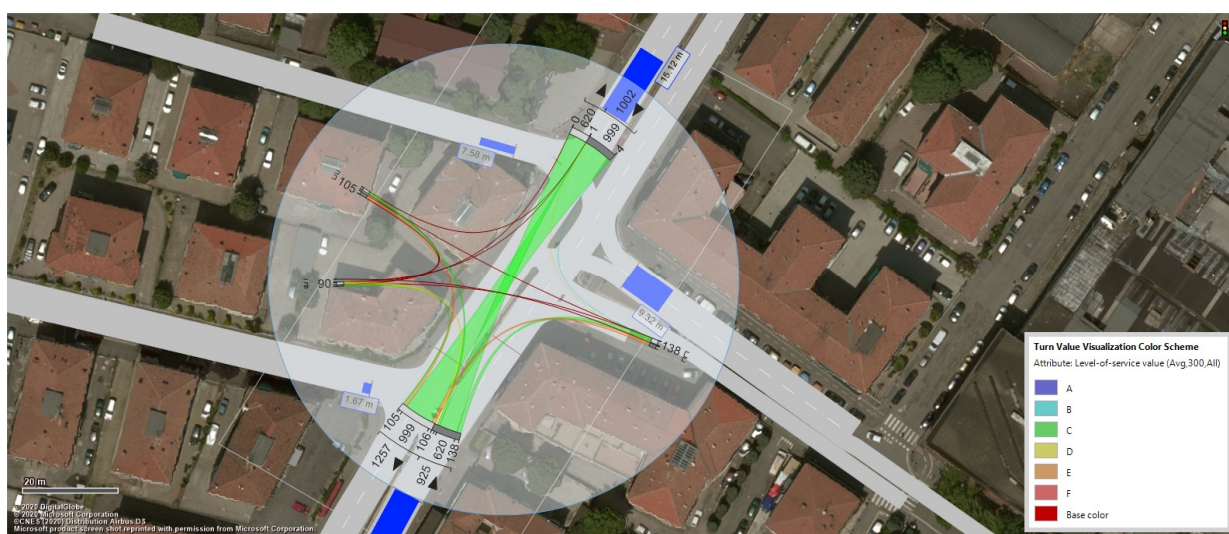
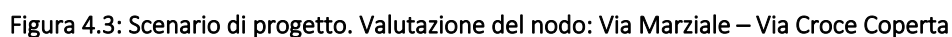


Figura 4.2: Situazione attuale. Valutazione del nodo: Via Marziale – Via Croce Coperta

Analisi di dettaglio dei nodi complessi

B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A.docx



Il livello di servizio della **rotatoria Consiglio d'Europa** (a sud della tangenziale) è ottimo nella **situazione attuale**, pari a **LOS A** (Figura 4.4) e si mantiene più che buono nello **scenario di progetto** pari a **LOS B** (Figura 4.5 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).



B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A.docx

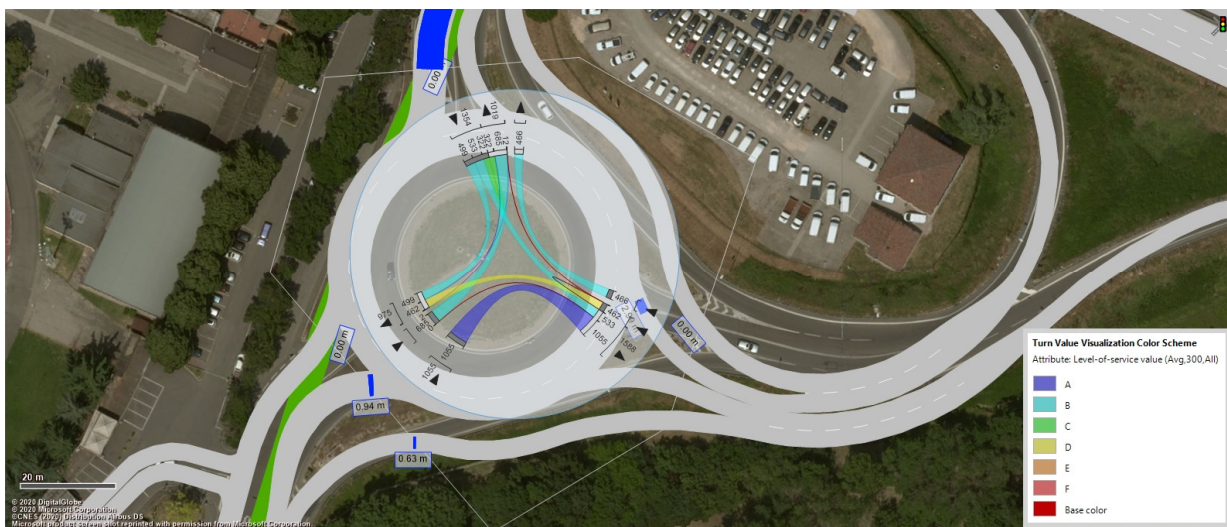


Figura 4.5: Scenario di progetto. Valutazione del nodo: Rotatoria Consiglio d'Europa

4.3.3 NODO VIA CORTICELLA-VIA SALICETO-VIA GIURIOLO

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 4.6). Nello **Scenario di Progetto** il livello di servizio si mantiene LOS C ma con un ritardo di circa 33 s al limite del livello di servizio D (Figura 4.7).



Figura 4.6: Valutazione nodo Via Saliceto nello scenario attuale

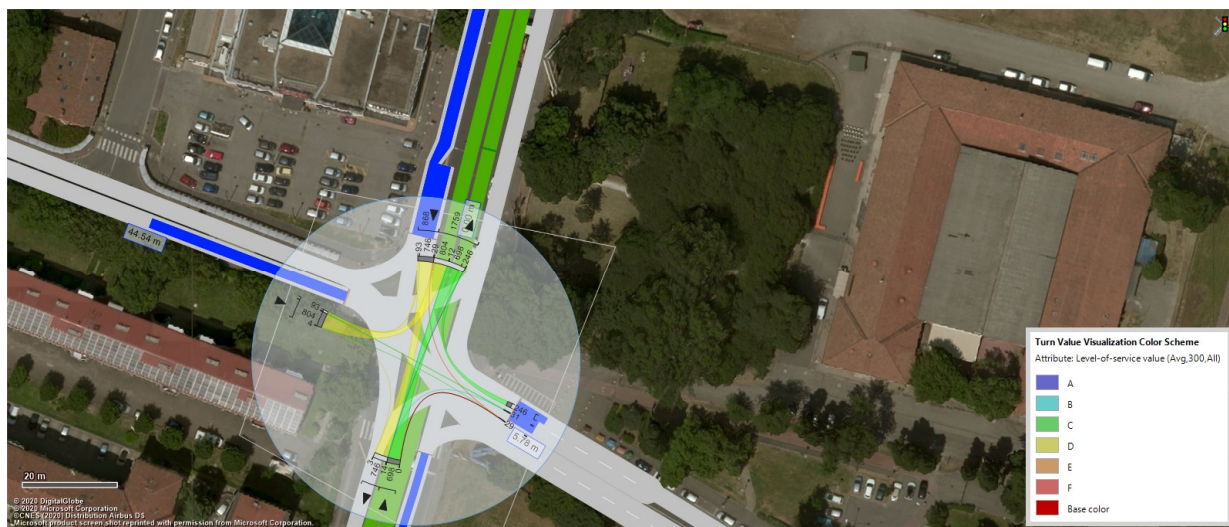


Figura 4.7: Valutazione nodo Via Saliceto nello scenario di progetto

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 micro-simulazione.

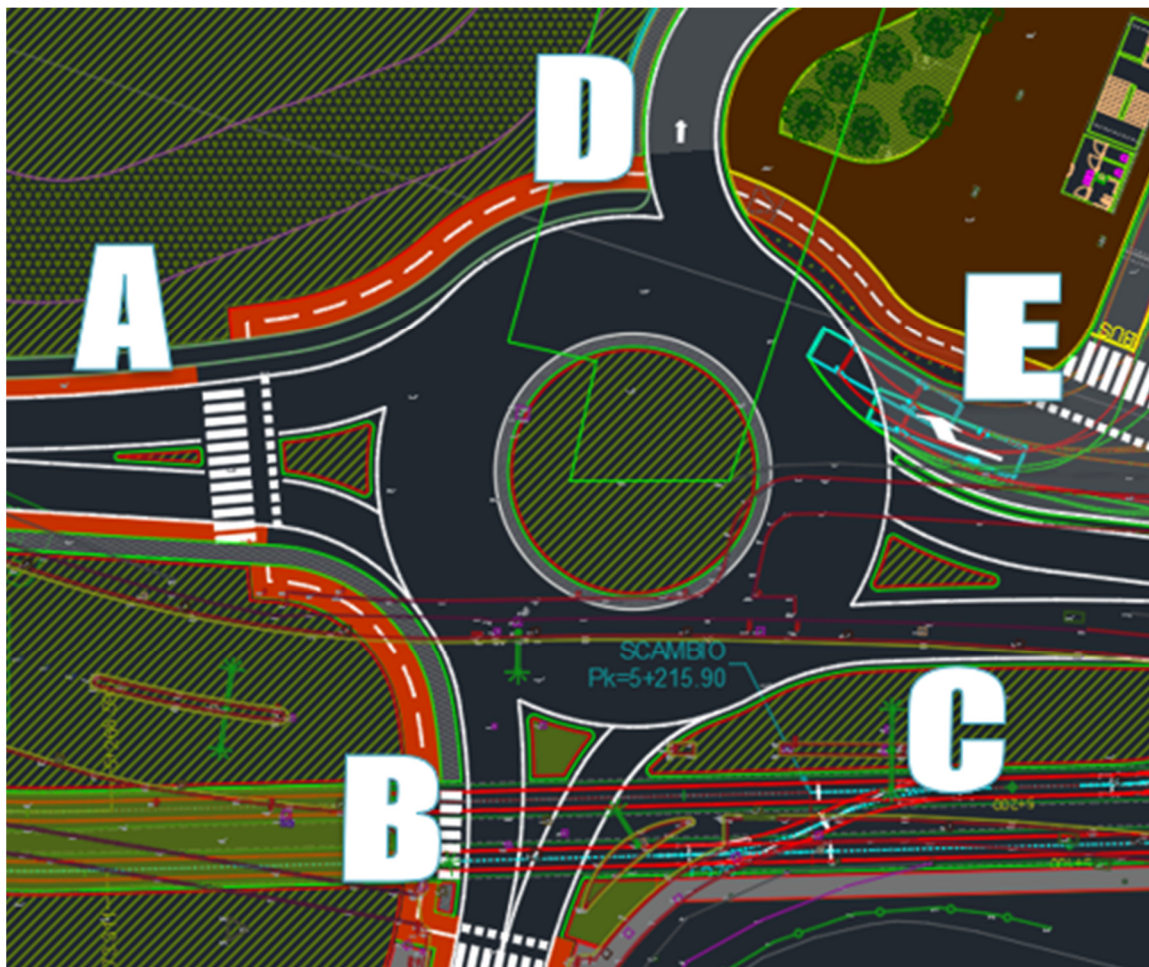
Tabella 4.1: Indicatori di nodo. Riepilogo dei risultati

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

5 L'ANALISI DELLA ROTATORIA PRESSO IL NODO INTERMODALE DI CORTICELLA

Come evidenziato in Figura 5.1, l'intervento si completa con la realizzazione di una rotatoria che consente l'interconnessione tra la viabilità di accesso al nodo intermodale di Corticella, via Bentini e via Shakespeare.

Figura 5.1: Schema della rotatoria in prossimità del nodo intermodale di Corticella



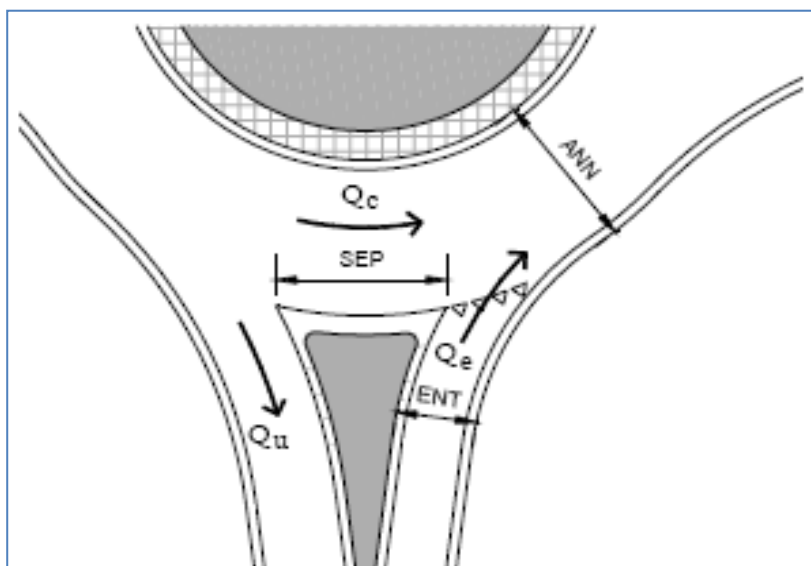
Anche in questo caso si è proceduto alla verifica funzionale dell'interconnessione all'orizzonte temporale di Progetto nel giorno medio feriale invernale, con un focus specifico relativo all'ora di punta mattutina 08:00-09:00. La verifica è stata svolta applicando il metodo francese SETRA per il calcolo della capacità della rotatoria, mentre per la determinazione del ritardo medio e del livello di servizio si è applicata la formulazione prevista dall'HCM.

Di seguito si riporta tutta la procedura comprensiva delle matrici previste per le diverse categorie di veicoli, mentre nei casi successivi si riportano solamente i dati di input aggregati ed i risultati dell'analisi.

In Figura 5.1 si riporta la schematizzazione dell'intersezione con l'indicazione degli accessi per consentire una semplice interpretazione delle matrici O/D della rotatoria.

In Figura 5.2 si riporta, invece, lo schema di rotatoria con l'indicazione delle notazioni utilizzate nel metodo SETRA per lo svolgimento della verifica.

Figura 5.2: Schema di rotatoria con l'indicazione delle notazioni utilizzate nel metodo SETRA



Date le seguenti matrici dei flussi della rotatoria per le differenti categorie veicolari.

Leggeri	A	B	C	D	E
A	0	93	223	161	0
B	301	0	3	0	0
C	85	1	0	0	0
D	0	0	0	0	0
E	33	0	0	0	0
TOT	419	94	226	161	0

Comm. Pesanti	A	B	C	D	E
A	0	0	0	8	0
B	0	0	0	0	0
C	0	0	0	3	0
D	0	0	0	0	0
E	5	0	1	0	0
TOT	5	0	1	11	0

Comm. leggeri	A	B	C	D	E
A	0	1	2	0	0
B	3	0	1	0	0
C	1	1	0	0	0
D	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0
TOT	4	2	3	0	0

Veic. Equiv.	A	B	C	D	E
A	0	95	226	181	0
B	306	0	5	0	0
C	87	3	0	8	0
D	0	0	0	0	0
E	46	0	3	0	0
TOT	438	97	233	189	0

Il calcolo della capacità dei singoli rami fornisce i seguenti risultati

	A	B	C	D	E
Qe	502	310	97	0	48
Qu	438	97	233	189	233
Qc	5	410	487	443	583
SEP	8.0	7.5	7.4	15.0	12.6
ANN	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
ENT	3.5	3.5	3.5	3.5	8.0
Qu'	204	49	118	0	37
Qd	129	404	517	405	556
Capacità	1240	628	968	1047	1364
DC	738	318	871	1047	1316
Qe/C	0.40	0.49	0.10	0.00	0.04

Traffico uscente equivalente [veic/h]	Qu' =	Qu*(15-SEP)/15 se SEP<15m 0 se SEP>=15m
Traffico di disturbo [veic/h]	Qd =	(Qc+2/3Qu')*[1-0.085*(ANN-8)]
Capacità [veic/h]	C =	(1330 -0,7Qd)*[1+0,1*(ENT-3,5)]

Il calcolo dei ritardi al nodo e del livello di servizio viene effettuato applicando la formulazione HCM e risulta.

Approccio	A	B	C	D	E
K	0.9686				
C	1201	608	938	1014	1321
T	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
d	7	14	5	4	3
LOS	A	B	A	A	A

LOS rotatoria **B**

Dove:

Coeff. Incidenza veic. pesanti K = Veic. Tot / Veic. Equiv

Analisi di dettaglio dei nodi complessi

B381C-D-X00-TRS-XXX-RT-01-A.docx

Capacità ridotta	C' =	$C \cdot K$
Durata intervallo di analisi [h]	T	1
Ritardo medio per veicolo [sec]	$d =$	$\frac{3600}{C'} + 900 \cdot T \cdot (Q_e/C - 1 + ((Q_e/C - 1)^2 + ((3600/C') \cdot Q_e/C) / (450 \cdot T))^{1/2}) + 5 \cdot \text{Min}(Q_e/C; 1)$

I livelli di servizio associati al ritardo medio dei veicoli sono esplicitati nella Tabella 3.2.

A livello generale, l'introduzione del nodo intermodale nei pressi della nuova rotatoria con cui è gestita l'intersezione tra via Bentini e via Shakespeare non genera situazioni di ritardo per i flussi in transito sull'incrocio; al contrario permette di gestire al meglio i conflitti introdotti per le manovre necessarie all'accesso/egresso al parcheggio intermodale (da e per l'approccio D della Figura 5.1).

L'unico braccio leggermente impattato dalla nuova configurazione e che presenta un LOS inferiore ad A è quello meridionale (indicato con la lettera B) dovuto però alla necessità di introdurre una fasatura semaforica per garantire l'attraversamento pedonale e il transito del tram nei pressi della rotatoria.