

PIRAMIDE CASA S.r.l.

RIQUALIFICAZIONE AREA EX-ZOPFI IN COMUNE DI RANICA (BG)

STUDIO DI TRAFFICO



progettazione

Certificato UNI EN ISO 9001

direzione tecnica

n° 24163/01/S



TAU Engineering srl
p.iva e c.f. 11045890966

emesso da RINA Services SpA



associato

via Ciccotti, 3
20161 Milano



t +39 02 26417244

tecnico@tauengineering.net

t +39 02 26417284

tau@pec.tauengineering.net

f +39 02 73960215

www.tauengineering.net

codifica elaborato

commessa

fase

livello

tipo

prog

rev

nr

scala

4339

ST

A

RG

01

G

1

-

oggetto

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ VIABILISTICA

rev	data	autore	verifica	approvazione
A	26.07.2023	Domenico Suraci	Marco Salvadori	Giorgio Morini
E	20.07.2023	Domenico Suraci	Marco Salvadori	Giorgio Morini
F	26.07.2023	Domenico Suraci	Marco Salvadori	Giorgio Morini
G	18.12.2023	Tommaso Farchioni	Marco Salvadori	Giorgio Morini

La proprietà intellettuale di questo documento è riservata alla società Tau Trasporti e Ambiente Urbano s.r.l. ai sensi di legge. Il presente documento non può pertanto essere utilizzato per alcun scopo eccetto quello per il quale è stato realizzato e fornito senza l'autorizzazione scritta di Tau Trasporti e Ambiente Urbano s.r.l. né venire comunicato a terzi o riprodotto. La società proprietaria tutela i propri diritti a rigore di legge.

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	3
2.	OFFERTA DI MOBILITA'	4
2.1.	Stato di fatto.....	4
2.2.	Scenario di progetto	5
3.	DOMANDA DI MOBILITÀ.....	7
3.1.	Domanda di mobilità – Stato di fatto	7
3.2.	Flussi veicolari.....	7
3.3.	Manovre di svolta alle intersezioni.....	9
3.4.	Domanda di mobilità – Scenari di progetto	11
3.	IL MODELLO DI CALCOLO	16
4.	SIMULAZIONI MODELLISTICHE	18
5.	CONCLUSIONI.....	25

1. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta i risultati dello studio di impatto viabilistico relativo all'area dell'immobile ex-Zopfi in comune di Ranica (BG), al fine di valutare le ricadute di carattere trasportistico derivanti dalla realizzazione di nuove residenze e strutture commerciali limitatamente a negozi di vicinato.

Obiettivo principale dello studio è la stima e la valutazione degli effetti derivanti da:

- Nuovo traffico veicolare indotto dalle attività previste all'interno delle aree ex Zopfi, costituite da residenze e da una attività commerciali limitate per quanto attiene alla vendita ad attività con superficie di vendita fino a 400 mq;
- Nuova viabilità di accesso alle aree ex Zopfi.

Lo studio è articolato in più fasi:

- Descrizione e risultati delle indagini di traffico;
- Quantificazione del traffico indotto dalle nuove attività;
- Distribuzione del traffico indotto verso le principali direttrici;
- Costruzione della matrice degli spostamenti e calibrazione del modello di simulazione dello stato di fatto;
- Costruzione del grafo di rete rappresentativo dello scenario di progetto;
- Verifica della rete di progetto nell'ora di punta del mattino e della sera del giorno feriale medio e nell'ora di punta del sabato sera.

Il presente studio prevede di effettuare sia delle macrosimulazioni, per quanto riguarda gli aspetti della distribuzione dei flussi e il calcolo della congestione sulla rete, che delle microsimulazioni, al fine di valutare con maggior dettaglio il comportamento dei flussi veicolari presso le intersezioni. Poiché le rilevazioni di traffico hanno mostrato uno scarso traffico di moto e mezzi pesanti, le simulazioni di traffico sono state effettuate considerando il traffico di sole autovetture. Il numero di veicoli in circolazione ha comunque tenuto conto delle altre tipologie di mezzi, che vengono trasformati in veicoli equivalenti, con un peso diverso a seconda del rispettivo ingombro.

2. OFFERTA DI MOBILITA'

2.1. Stato di fatto

L'area di studio analizzata coincide con la viabilità circostante l'area ex-Zopfi:

- Via Marconi;
- Via Viandasso;
- Via Zopfi;
- Via degli Alpini.

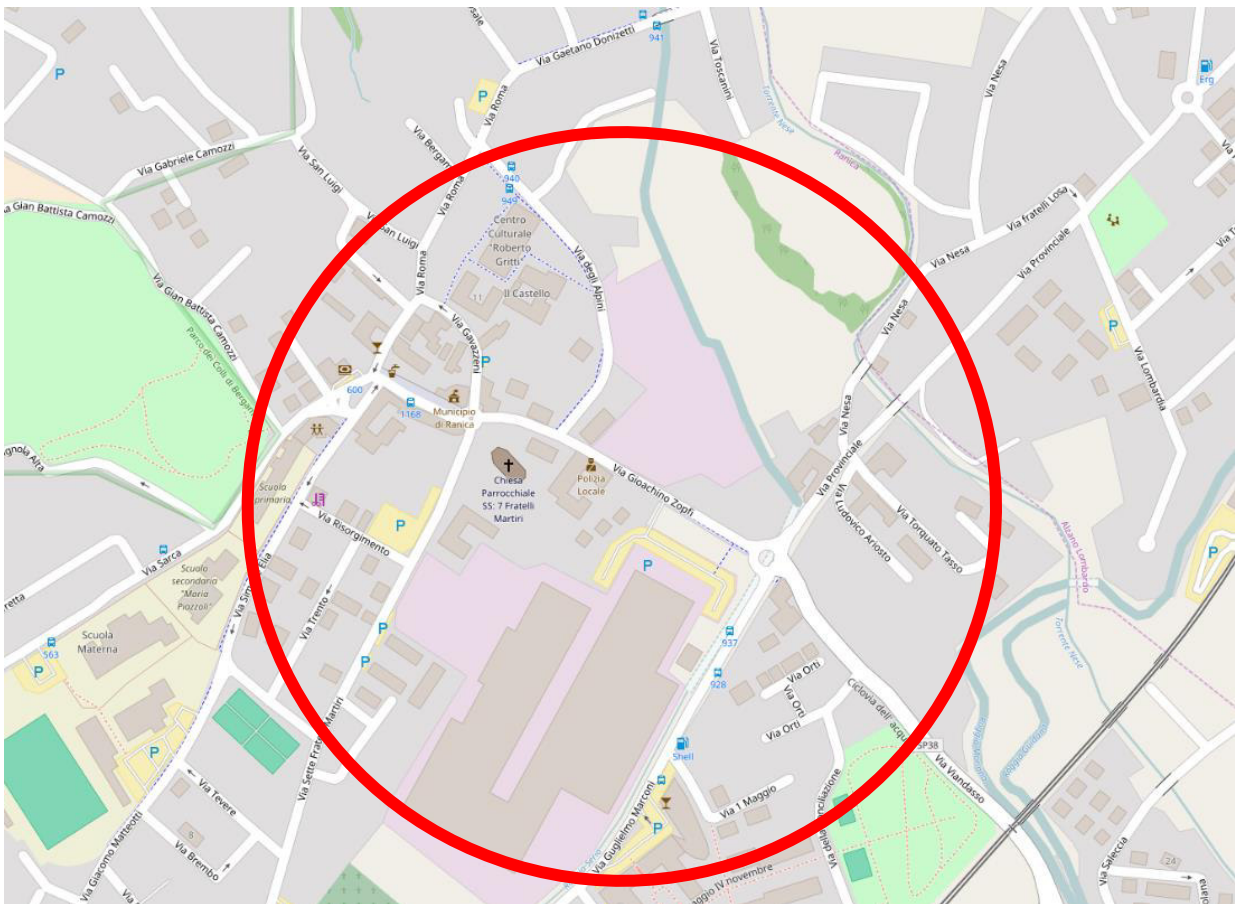


Figura 1 Area di intervento

L'area oggetto di studio è caratterizzata da un asse principale con andamento nordest-sudovest (via Marconi) e da un asse secondario con andamento nordovest-sudest (via Zopfi e via Viandasso). Via degli Alpini si innesta su via Zopfi con intersezione a precedenza, mentre l'intersezione tra le vie Marconi, Viandasso e Zopfi è regolata tramite una rotatoria classica di recente realizzazione, del diametro esterno di 38 m.

Su tutta la rete le velocità medie di percorrenza sono oscillanti per lo più tra 30 e 50 km/h. Occasionalmente, durante le ore di punta del mattino e della sera, si formano rallentamenti nella circolazione, che si trasformano in code vere e proprie solo occasionalmente.

2.2. Scenario di progetto

Il progetto prevede di recuperare un'ampia area dismessa tra le vie Marconi, Zopfi e degli Alpini, per la realizzazione delle seguenti funzioni espresse i termini di carico massimo:

- Un'area residenziale di 17.100 mq di superficie lorda pavimentata complessiva;
- Funzioni commerciali per una slp massima di mq 1.900 con esclusione delle medie strutture di vendita superiori a 400 di superficie di vendita.

Il progetto prevede inoltre la sistemazione delle aree pubbliche di dotazione (parcheggi ed attrezzature). La descrizione puntuale delle caratteristiche di questi nuovi edifici e delle opere di riqualificazione sono contenute nelle relazioni architettoniche del progetto di piano attuativo.

L'intervento di configura quale intervento di demolizione e ricostruzione. Il gruppo delle nuove palazzine residenziali avrà accesso da via degli Alpini, mentre gli edifici a lato di via Zopfi, sia ad uso commerciale che residenziale, avranno accesso da questa strada.

La parte commerciale è prevista nell'involucro del fabbricato principale di cui si prevede il recupero (ambito RC) avrà accessi bidirezionali dalla Via Zopfi e dalla Via Alpini serviti dai parcheggi P2 e P3. Per quanto attiene le specifiche della funzione commerciale, ed in dettaglio per la vendita, si precisa che è ammessa a sola tipologia dei negozi con superficie di vendita fino a 400 mq.

Il progetto prevede, inoltre, l'adeguamento dell'intersezione tra Via Zopfi e Via Alpini a rotatoria a tre bracci, in modo da migliorare la sicurezza e fluidificare il traffico.

La planimetria dell'intervento è riportata nella pagina che segue.



Figura 2 Planimetria di progetto

3. DOMANDA DI MOBILITÀ

3.1. Domanda di mobilità – Stato di fatto

Al fine di valutare l'adeguatezza dell'offerta di viabilità alle esigenze dell'utenza, con l'obiettivo di caratterizzare la domanda di mobilità dell'area e per meglio comprendere la dinamica della circolazione stradale, sono state svolte indagini specifiche sui vari aspetti della domanda di trasporto.

La conoscenza dei flussi di traffico è uno degli elementi fondamentali per la pianificazione in ambito viabilistico, in quanto permette di valutare in maniera attenta le alternative di intervento sulla base di una valutazione dei costi e dei benefici che tenga conto della domanda di trasporto espressa dai volumi di traffico in gioco.

L'operazione di rilievo del traffico deve quindi essere mirata alla conoscenza, quanto più dettagliata possibile, di quegli indicatori necessari alla definizione degli attuali livelli di servizio della viabilità in modo da poter programmare gli interventi che possano migliorare le condizioni di circolazione e di sicurezza.

La campagna di indagine è stata effettuata nel mese di giugno 2023. Vengono inoltre riportati anche i rilievi effettuati in occasione di studi preliminari negli anni 2020.

In particolare, sono stati effettuati:

- Conteggi manuali classificati delle manovre veicolari;
- Conteggi automatici classificati dei flussi in sezioni significative della rete stradale;
- Conteggi automatici tramite ripresa video delle manovre alle intersezioni.

3.2. Flussi veicolari

L'entità e la velocità dei flussi veicolari interessanti la viabilità principale sono state oggetto di analisi attraverso un rilievo condotto nelle due direzioni di marcia, nell'arco dell'intera giornata, per sette giorni consecutivi, mediante apparecchiature automatiche¹.

¹ Per la realizzazione del rilevamento sono state utilizzate apparecchiature radar che sfruttano l'effetto Doppler. Il velocimetro radar effettua le misurazioni della velocità valutando l'eco di un segnale radar emesso su determinate frequenze. Quando un veicolo in transito passa nel campo visivo dell'antenna, una parte del fascio viene emessa ed un sensore ottico rileva il segnale di ritorno generato dalla riflessione sull'antenna. La frequenza delle onde è modificata in funzione della velocità del veicolo puntato. A partire dalla differenza tra la radiazione emessa e quella riflessa si può determinare la velocità del veicolo.

Tabella 1 – Localizzazione indagini apparecchiature automatiche 2016

Codice sezione	Strada	Localizzazione rilievo	Periodo di indagine
SA 01	Via Viandasso	Nei pressi dell'intersezione con via della Conciliazione	Dal 6 al 13/10/2016
SA 02	Via Marconi Nord	Nei pressi dell'intersezione con via Nesa	Dal 6 al 13/10/2016
SA 03	Via Zopfi	Nei pressi del parcheggio pubblico fuori carreggiata	Dal 6 al 13/10/2016
SA 04	Via Marconi Sud	Nei pressi del distributore di carburanti	Dal 6 al 13/10/2016
SA 05	Via degli Alpini	Tra la Biblioteca e l'accesso all'area ex-Zopfi	Dal 6 al 13/10/2016

I flussi veicolari sono stati classificati in categorie di lunghezza e di velocità. Le classi di lunghezza rilevate sono le seguenti:

- Fino a 4,9 m corrispondente a biciclette, moto e autovetture;
- Da 5 a 9,9 m autocarri fino a 3,5 t;
- Da 10 a 12,4 m veicoli commerciali > 3,5 t a 3 assi;
- Da 12,5 a 16,4 m veicoli commerciali > 3,5 t a 4 assi;
- Da 16,5 a 18,9 m veicoli commerciali > 3,5 t a 5 assi;
- Oltre i 19 m veicoli eccezionali.

Le classi di velocità invece sono le seguenti:

- Fino a 20 km/h;
- Da 20 km/h a 30 km/h;
- Da 30 km/h a 40 km/h;
- Da 40 km/h a 50 km/h;
- Da 50 km/h a 70 km/h;
- Da 70 km/h a 90 km/h;
- Da 90 km/h a 110 km/h;
- Oltre 110 km/h.

Tabelle e grafici analitici con le distribuzioni dei flussi veicolari per ciascuna sezione stradale e direzione di marcia sono riportati nell'**Allegato A** a fondo testo. I principali parametri rilevati ed elaborati sono i seguenti:

- Volumi di traffico orari, diurni, notturni e giornalieri del giorno feriale medio, del sabato e della domenica;
- Velocità medie orarie, diurne, notturne e giornaliere del giorno feriale medio, del sabato e della domenica;
- Andamento giornaliero dei flussi veicolari per classi di lunghezza del giorno feriale medio;
- Curva flusso-velocità media del giorno feriale medio.

Nella pagina seguente si riportano i grafici relativi all'andamento settimanale e giornaliero del traffico nel quartiere, come rilevato nella campagna indagini. Dai dati raccolti risulta che, fatto 100 il traffico medio giornaliero feriale, al sabato il traffico è pari a 95 e la domenica a 66. Analizzando invece l'andamento giornaliero, è risultato che nei giorni feriali l'ora di punta del mattino è dalle 7.00 alle 8.00, e della sera dalle 18:00 alle 19:00. Nel fine settimana l'ora di punta del mattino è posticipata

(11.00-12.00), mentre alla sera è sui valori massimi per tutto il pomeriggio (16.00-19.00). Sempre considerando 100 il valore del traffico feriale medio, risulta che il giorno feriale meno trafficato è il lunedì, con indice pari a 97, mentre il più trafficato è il venerdì, con indice pari a 104.

Pertanto, cautelativamente, le analisi di compatibilità viabilistica sono relative solo all'ora di punta del mattino e della sera del venerdì tipo e del sabato sera.

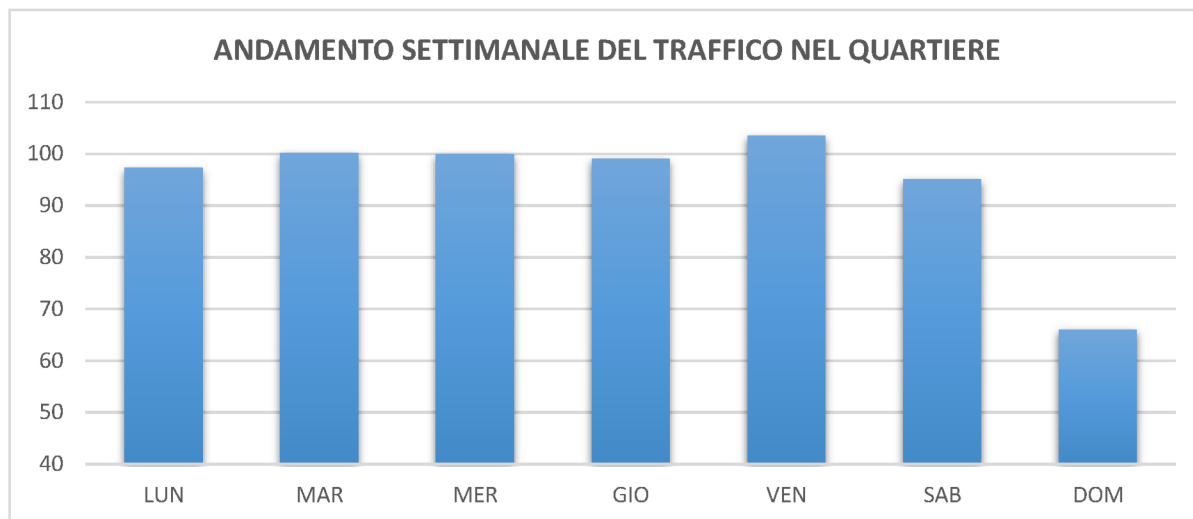


Grafico 1 - Andamento settimanale del traffico circolante – Conteggi automatici

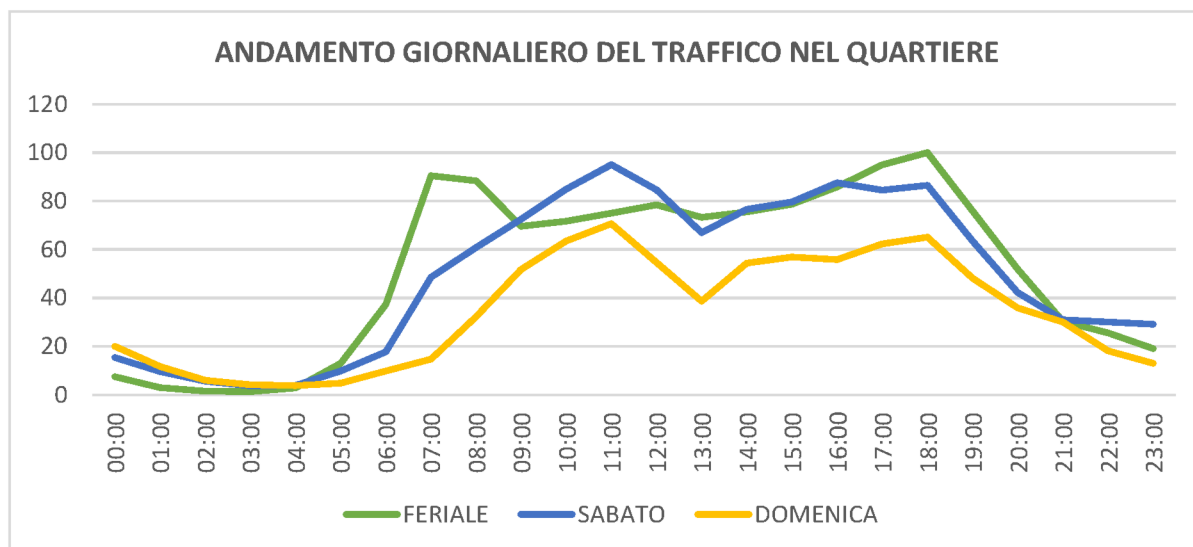


Grafico 2 – Andamento giornaliero del traffico circolante – Conteggi automatici

3.3. Manovre di svolta alle intersezioni

Col fine di approfondire il tema dei flussi veicolari, nel giugno 2023 sono state rilevate le manovre di svolta in corrispondenza dell' intersezione Zoppi - via degli Alpini.

I conteggi sono stati condotti in maniera automatica in un giorno feriale medio nelle fasce orarie di punta:

- Della mattina, dalle ore 6:30 alle ore 9:30;
- Nelle ore centrali della giornata, dalle ore 12:00 alle ore 14:00;
- Della sera, dalle ore 17:00 alle ore 20:00.

Le tipologie veicolari rilevate sono state le seguenti:

- Autovetture, ognuna pari a 1 veicolo equivalente;
- Veicoli commerciali leggeri aventi massa complessiva inferiore a 3,5 t, ognuno pari a 1,2 veicoli equivalenti;
- Veicoli commerciali pesanti aventi massa complessiva superiore a 3,5 t, ognuno pari a 2 veicoli equivalenti;
- Moto, ognuna pari a 0,5 veicoli equivalenti.

Per l'intersezione è stata determinata l'ora di punta. L'ora di punta del mattino è risultata essere tra le 7.30 e le 8.30, mentre quella della sera tra le 17.15 e le 18.15.

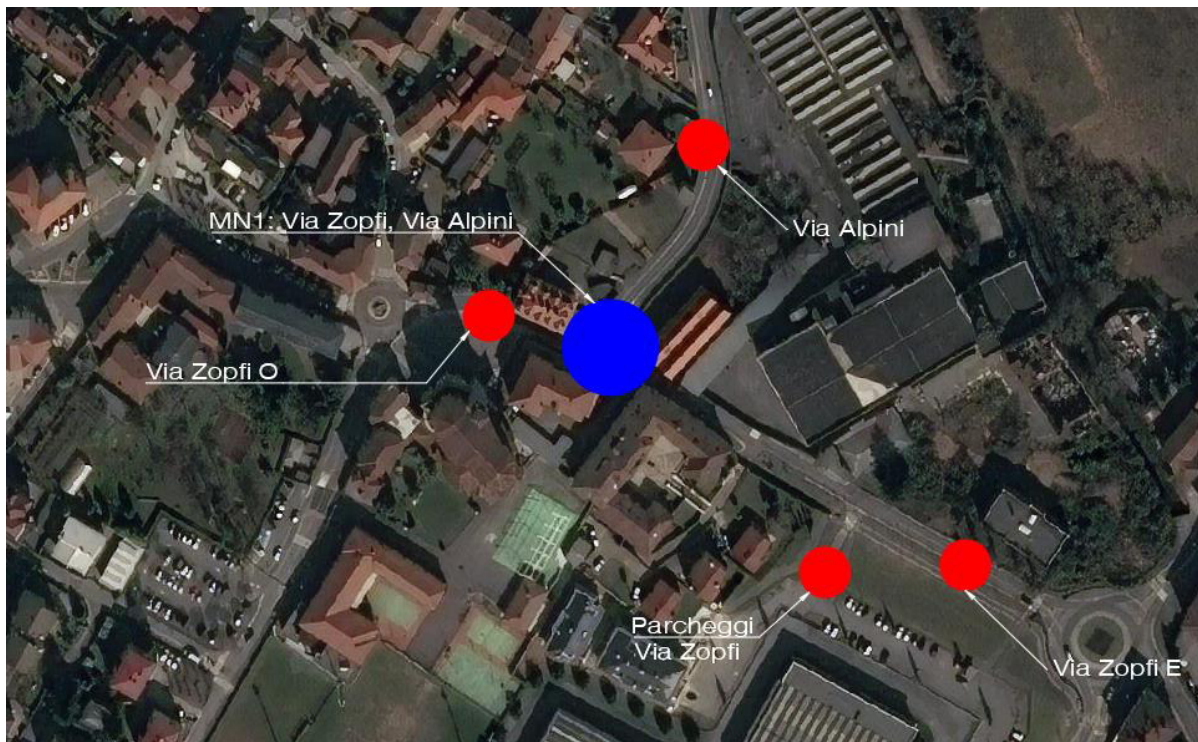


Figura 3

Vengono riportate nelle tabelle sottostanti le matrici origine/destinazione in veicoli equivalenti nelle ore di punta mattutine e serali. L'ora di punta pomeridiana non è stata oggetto di analisi in quanto il traffico risulta decisamente meno intenso.

Tabella 1 Matrice O/D dei flussi rilevati dell'ora di punta mattutina in veicoli equivalenti

7:30 - 8:30	via Zopfi O	via Zopfi E	via Alpini	Parccheggio via Zopfi
via Zopfi O	0	327	55	19
via Zopfi E	193	0	100	11
via Alpini	51	193	0	5
Parccheggio via Zopfi	4	11	3	0

Tabella 2 Matrice O/D dei flussi rilevati dell'ora di punta serale in veicoli equivalenti

17:15 -18:15	via Zopfi O	via Zopfi E	via Alpini	Parccheggio via Zopfi
via Zopfi O	0	327		8
via Zopfi E	250	0	184	20
via Alpini	63	119	0	9
Parccheggio via Zopfi	6	10	3	0

3.4. Domanda di mobilità – Scenari di progetto

La domanda di mobilità di progetto è la somma tra il traffico attualmente circolante nella zona di indagine e di quello dalla nuova struttura (flussi deviati e flussi aggiuntivi).

Il progetto prevede di riutilizzare alcuni edifici esistenti, oltre all'abbattimento e la ricostruzione di altri. Sono previste due destinazioni d'uso, per complessivi 19.000 mq di superficie lorda pavimentata (s.l.p.):

- **Residenziale:** 17.100 mq di s.l.p.;
- **Commerciale:** 1.900 mq di s.l.p.

I parametri utilizzati si basano sia su valori medi di letteratura e di esperienza, sia su quanto indicato dalla D.g.r. n° 8/5054 del 4 luglio 2007 di Regione Lombardia.

Lo scenario di domanda di progetto viene calcolato per le tre ore di punta oggetto di studio:

- Mattina di un giorno feriale (7.30-8.30);
- Pomeriggio di un giorno feriale (17.15-18.15);

Il calcolo è effettuato sui seguenti parametri:

- 1 residente ogni 35 mq di s.l.p.;
- 50% di residenti "lavoratori", 15% di studenti e 35% di altre tipologie di residenti;
- Ripartizione modale lavoratori: al mattino 80% automobile e restante 20% con altri mezzi (bus, treno, piedi, bici); alla sera 75% automobile e restante 25% con altri mezzi;

- Ripartizione modale studenti: al mattino 10% automobile e restante 90% con altri mezzi (bus, treno, piedi, bici); alla sera 10% automobile e restante 90% con altri mezzi;
- Ripartizione modale lavoratori: 70% automobile e restante 30% con altri mezzi (bus, treno, piedi, bici); alla sera 65% automobile e restante 35% con altri mezzi;
- Coefficiente di occupazione del veicolo: 1,2 persone/veicolo;
- Numero di residenti che si sposta nell'ora di punta del mattino: lavoratori 65%, studenti 85%, 10% altro;
- Numero di residenti che si sposta nell'ora di punta della sera: lavoratori 50%, studenti 15%, 20% altro;
- Nell'ora di punta del mattino il 90% degli spostamenti sono in uscita ed il 10% in ingresso.
- Ripartizione delle commerciali in alimentare o non alimentare: ipotizzate di 600 mq l'una.

Il traffico indotto dal nuovo insediamento è stato calcolato sulla base delle indicazioni della normativa di Regione Lombardia, che indica il traffico indotto, sia in ingresso che in uscita, dalle strutture commerciali nell'ora di punta della sera. Il traffico indotto è calcolato moltiplicando la superficie di vendita per un coefficiente variabile in funzione delle superfici di vendita e dei prodotti venduti, se alimentari o non alimentari. I coefficienti² sono i seguenti:

Tabella 3 – Coefficienti per calcolo del traffico indotto delle attività commerciali di prossimità – Alimentari

Superficie di vendita	Giorno Feriale
0-3.000	0,25
3.000-6.000	0,12
> 6.000	0,04

Tabella 4 – Coefficienti per calcolo del traffico indotto delle attività commerciali di prossimità – Non alimentari

Superficie di vendita	Giorno Feriale
0-5.000	0,10
5.000-12.000	0,08
> 12.000	0,05

Tuttavia, dato che:

- La nuova struttura è posizionata in ambito urbano (punto vendita di prossimità);
- La nuova struttura sarà ben collegata con itinerari ciclopeditali;

² Il Comune di Ranica fa parte della lista regionale dei comuni dell'area critica; l'area commerciale non è una grande struttura di vendita organizzata in forma unitaria e l'ora critica non è successiva alle ore 20.00.

il progetto stima che la domanda di traffico veicolare indotta sia inferiore a quanto previsto dalla metodologia proposta dalla Regione Lombardia. Tale riduzione è ipotizzata nel 40% per quanto riguarda le superfici di vendita alimentare e nel 70% per quelle non alimentari.

Una parte del traffico indotto sarà aggiuntivo, mentre una parte sarà considerata come circolante lungo la viabilità analizzata. Si stima prudentemente che il traffico effettivamente aggiuntivo alla rete analizzata sia il 75% del totale, mentre il restante 25% sia deviato (veicoli che avrebbero effettuato acquisti presso un'altra struttura esistente e che si dirigono verso il nuovo punto vendita).

A titolo cautelativo, il progetto assume che l'ora di punta della struttura commerciale (sera feriale) coincida con l'ora di punta del traffico veicolare che transita nell'area di indagine.

Nell'ora di punta del mattino (7.30-8.30), il traffico indotto è molto basso, in quanto l'orario di apertura della maggior parte degli esercizi commerciali è successivo alle 8.30; tale traffico è generato più che altro dagli addetti che si recano al lavoro. Il progetto stima che il traffico indotto nell'ora di punta del mattino sia pari al 20% di quello dell'ora di punta serale del venerdì.

I risultati finali sono riportati nelle seguenti tabelle.

Tabella 5 Traffico equivalente generato attratto nell'ora di punta del venerdì mattina 7:30-8:30

FUNZIONE	GENERATI	ATTRATTI
RESIDENZIALE	112	12
COMMERCIALE	11	17
TOTALE	123	29

Tabella 6 Traffico equivalente generato attratto nell'ora di punta del venerdì sera 17:15-18:15

FUNZIONE	GENERATI	ATTRATTI
RESIDENZIALE	10	92
COMMERCIALE	57	86
TOTALE	67	178

Lo studio perviene così alla definizione delle nuove matrici O/D, che vengono create a partire dalle matrici dello stato di fatto. I veicoli generati dai nuovi insediamenti residenziali e commerciali vengono instradati in proporzione agli attuali flussi di traffico.

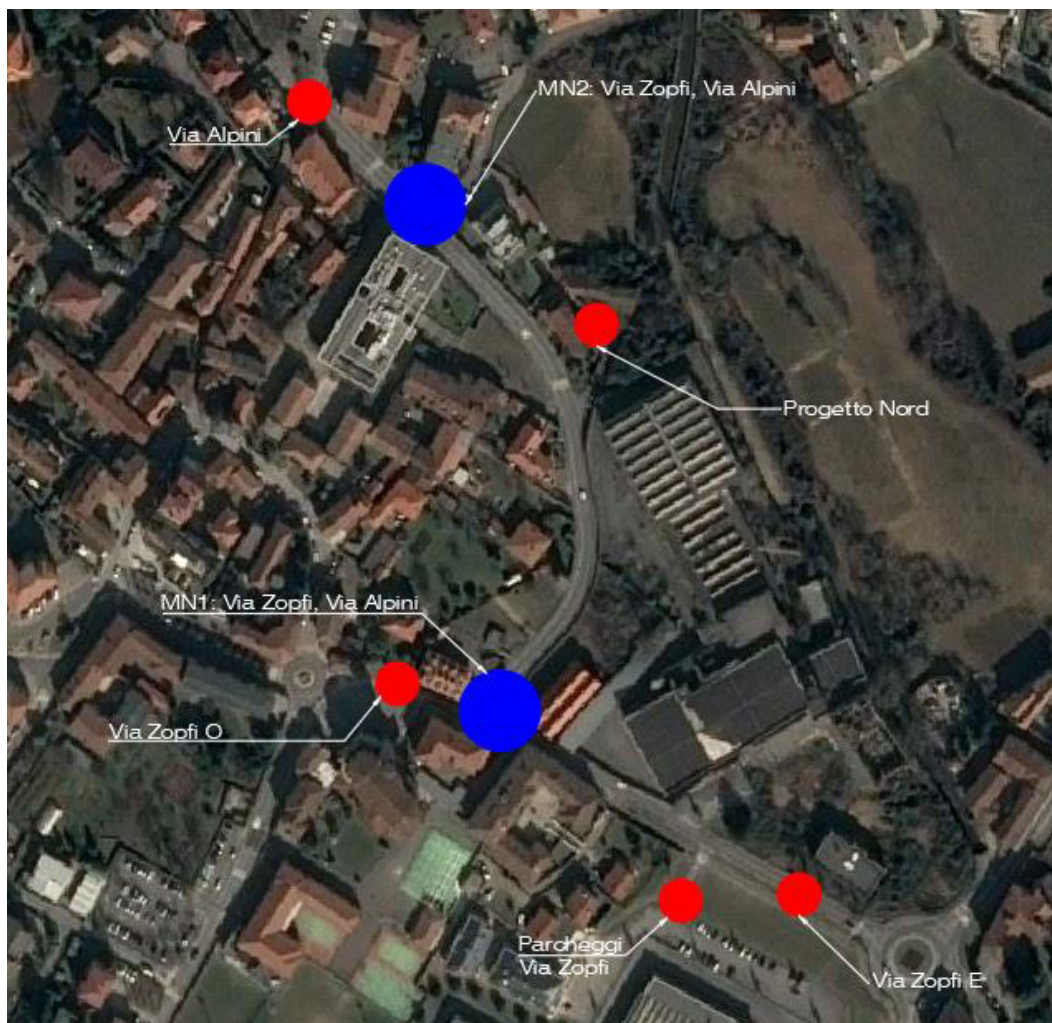


Figura 4

Tabella 7 Matrice O/D dei flussi rilevati dell'ora di punta serale in veicoli equivalenti

7:30 - 8:30	via Zopfi O	via Zopfi E	via Alpini	Parcheggio via Zopfi	Progetto N	Progetto S
via Zopfi O	0	327	55	19	4	3
via Zopfi E	193	0	100	11	19	13
via Alpini	51	193	0	5	4	3
Parcheggio via Zopfi	4	11	3	0	0	0
Progetto N	15	71	15	35	0	0
Progetto S	10	49	10	0	0	0

Tabella 8 Matrice O/D dei flussi rdi progetto dell'ora di punta serale in veicoli equivalenti

17:15 -18:15	via Zopfi O	via Zopfi E	via Alpini	Parcheggio via Zopfi	Progetto N	Progetto S
via Zopfi O	0	327	34	8	22	15
via Zopfi E	250	0	184	20	103	68
via Alpini	63	119	0	9	22	15
Parcheggio via Zopfi	6	10	3	0	0	0
Progetto N	9	41	9	0	0	0
Progetto S	6	27	6	0	0	0

3. IL MODELLO DI CALCOLO

In questo capitolo si riportano i principi su cui si basa AIMSUN, il programma software di macrosimulazione e microsimulazioni di traffico utilizzato e quali risultati possono essere ottenuti.

Per poter correttamente modellare la rete stradale oggetto di studio, sono state inserite le informazioni raccolte direttamente sul campo, come le caratteristiche geometriche delle sezioni stradali e delle intersezioni, lo schema di circolazione ed i flussi veicolari, che poi sono state riportate nel modello di simulazione TSS AIMSUN.

Il modello di **microsimulazione dinamica** è in grado di rappresentare in maniera puntuale, precisa e specifica il traffico e la sua **evoluzione istantanea**, prendendo in considerazione gli aspetti geometrici di dettaglio dell'infrastruttura (esatta rappresentazione delle intersezioni, delle rotatorie, delle fasi e dei tempi per le intersezioni semaforizzate, regimi di precedenza, ecc.) ed il **comportamento reale dei veicoli**, legato all'accoppiamento delle caratteristiche del veicolo e del conducente. La microsimulazione fornisce una visione dinamica e realistica del fenomeno in quanto considera le caratteristiche istantanee del moto dei singoli veicoli (flusso, densità, velocità, ecc.) all'interno di ciascuna classe veicolare richiesta; è possibile quindi rappresentare più famiglie di spostamenti, ognuna caratterizzata da differenti parametri comportamentali (accelerazione, decelerazione, aggressività, tempo di reazione, ecc.) e da diverse tipologie di veicolo (velocità massima, dimensioni, prestazioni, parametri di emissione, ecc.). Inoltre, tutti i parametri delle classi veicolari sono costruiti secondo distribuzioni statistiche che possono essere singolarmente modificate a piacere.

La **macrosimulazione statica**, invece, è utile soprattutto per la modellazione di reti stradali estese e complesse, come, ad esempio, quella oggetto di studio, che è caratterizzata da infrastrutture stradali estremamente variegata, che vanno dalle autostrade alle strade di quartiere e locali. Il modello di macrosimulazione permette di determinare l'assegnazione della domanda di traffico nell'unità di tempo prescelta (generalmente pari ad un'ora) secondo il criterio dello STA (Static Traffic Assignment, cioè **Assegnazione Statica del Traffico**), la **manipolazione delle matrici Origine/Destinazione** (di seguito dette matrici OD) e la **creazione di sotto-reti** (di seguito chiamate Sub-Network). L'STA è basato sul principio di Wardrop: nessun utente può migliorare il suo tempo di viaggio, modificando i propri percorsi. Il software permette svariate operazioni di manipolazione delle matrici OD, utili per la calibrazione del modello di riferimento e la determinazione della domanda di traffico a seguito di alcune modifiche globali, come un aumento complessivo della mobilità privata, o locali, come la realizzazione di interventi urbanistici che generano e/o spostano la domanda di traffico all'interno della rete stradale. Infine viene data la possibilità di generare delle sotto-reti, finalizzate allo studio dettagliato (a livello di meso o microsimulazione) di specifici assi o nodi stradali.

In una macrosimulazione il costo del percorso è dato dal costo di percorrenza degli archi stradali (secondo funzioni di flusso/capacità regolabili a piacere) e dell'attraversamento delle intersezioni, oltre ad eventuali costi aggiuntivi imposti dall'utente, come ad esempio i pedaggi.

Il software permette di riunire in un unico progetto tutti gli elementi utili all'analisi:

- Base cartografica di riferimento;
- Rete infrastrutturale sui cui si muoveranno i veicoli, ed eventualmente anche pedoni e ciclisti, caratterizzata sia dal punto di vista geometrico che funzionale;
- Base di dati dei rilievi di traffico;
- Veicoli pubblici e privati circolanti nella rete, caratterizzati secondo classi e distribuzioni statistiche definite dall'utente.

Tale approccio permette dunque di valutare gli effetti delle code, di considerare la regolazione delle intersezioni regolate con gruppi semaforici o a precedenza, di valutare l'utilizzo delle singole corsie e delle carreggiate, l'interferenza con la circolazione veicolare dei flussi pedonali in attraversamento, di riprodurre la circolazione dei mezzi pubblici, in sede propria o riservata, e di simulare la variazione della domanda di spostamento nel corso della fascia oraria di studio, fenomeno importante in ambito urbano per determinare l'effettiva congestione della rete, attraverso la programmazione di più domande di traffico e/o programmazioni semaforiche.

L'accoppiamento tra una offerta di traffico e una particolare domanda di traffico determina un cosiddetto "scenario" in cui definire i parametri da immagazzinare nei database creati come output. Per ogni scenario è possibile definire un numero qualsiasi di "esperimenti", cioè varianti dello stesso scenario.

4. SIMULAZIONI MODELLISTICHE

Le tratte di viabilità oggetto di simulazione sono quelle definite nell'offerta di mobilità e comunque riportate nelle figure dell'**Allegato A**, con indicati i parametri di traffico mediante flussogrammi.

Le simulazioni si riferiscono all'ora di punta della mattina, tra le 7:30 e le 8:30, e quella della sera, tra le 17:15 e le 18:15, di un giorno feriale tipo.

Sono stati analizzati quattro scenari, due per lo stato di fatto e due per lo stato di progetto. Per ciascuno scenario è attribuita una **rete stradale**, la cosiddetta "**Offerta**", e una **matrice Origine/Destinazione** degli spostamenti, la cosiddetta "**Domanda**". La combinazione tra Domanda e Offerta determina gli scenari modellistici oggetto di simulazione.

SCENARIO	OFFERTA	DOMANDA
SN 0M	<i>Stato di fatto mattina</i>	<i>Stato di fatto mattina</i>
SN 0S	<i>Stato di fatto Sera</i>	<i>Stato di fatto Sera</i>
SN 1M	<i>Stato di fatto</i> <i>+ Nuova viabilità di accesso all'insediamento</i> <i>+ Trasformazione Intersezione 2 in rotatoria</i>	<i>Stato di fatto</i> <i>+</i> <i>traffico Indotto Insediamento</i>
SN 1S	<i>Stato di Fatto</i> <i>+ Nuova viabilità di accesso all'insediamento</i> <i>+ Trasformazione Intersezione 2 in rotatoria</i>	<i>Stato di fatto</i> <i>+</i> <i>traffico Indotto Insediamento</i>

Le immagini delle simulazioni sono riportate nell'**Allegato A**. Per l'ora simulata e per ogni tematismo sono rappresentate le immagini dei diversi scenari simulati.

In base alle caratteristiche tecnico-funzionali delle strade, sono state adottate delle capacità-tipo, opportunamente modificate, caso per caso, se tali tratte stradale fossero nei pressi di uno stop, dare precedenza o impianto semaforico.

5.1. Parametri trasportistici analizzati

Sono stati analizzati diversi parametri trasportistici significativi, utili per una valutazione degli scenari simulati. Quelli adottati per il caso in esame sono i seguenti:

<i>RITARDI [sec/km]</i>
<i>TEMPO DI STOP [sec/km]</i>
<i>TEMPO DI PERCORRENZA [ore]</i>
<i>VELOCITA' MEDIA [km/h]</i>
<i>DISTANZE PERCORSE [km]</i>
<i>DENSITA' [veh/km]</i>
<i>TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]</i>
<i>VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]</i>
<i>VEICOLI IN CODA [veh]</i>
<i>VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]</i>
<i>VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [ve]</i>
<i>TOTALE DI STOP</i>

5.1.1. Macrosimulazione

Il principale parametro analizzato è stato quello il flusso veicolare equivalente assegnato alla rete, ossia volume di veicoli in transito sui vari archi stradali. E calcolato con il metodo dello "Static Traffic Assignment", sulla base del principio di Wardrop. Nelle rappresentazioni riportate nell'Allegato A gli archi stradali sono colorati secondo una scala cromatica, in cui al verde corrisponde un basso flusso e al marrone un alto flusso.

5.1.2. Microsimulazione

È stato analizzato un parametro, il **livello di servizio dell'intersezione**, che è correlato al **perditempo** nel superamento dell'intersezione. Il livello di servizio di una intersezione si varia da "A" a "F", dove il livello "A" corrisponde a ridotti tempi di attesa, "E" il raggiungimento della capacità ed F alla congestione totale. In ambito urbano il livello di servizio della rete stradale è governato dal livello di servizio dei nodi stradali, mentre in ambito extraurbano da quello degli archi stradali.







LIVELLO SERVIZIO	DI	Ritardo medio (secondi)	Colore arco stradale (figure)
A		≤ 10	
B		$10 \div 15$	
C		$15 \div 25$	
D		$25 \div 35$	
E		$35 \div 50$	
F		> 50	

Tabella 6 - Livelli di servizio – ambito urbano – intersezioni a raso non semaforizzate

5.1.3. Parametri globali della rete

Sono stati analizzati cinque parametri:

- Distanze totali percorse [km]: totale dei chilometri percorsi da tutti i veicoli che hanno percorso la rete e che hanno raggiunto la loro destinazione;
- Tempi totali di percorrenza [ore]: tempo di percorrenza totale sperimentato da tutti i veicoli che hanno attraversato la rete al termine della simulazione. Include il tempo trascorso in coda virtuale;
- Velocità media dei veicoli sulla rete [km/h]: velocità media di tutti i veicoli che hanno percorso la rete e raggiunto la loro destinazione. Questa viene calcolata utilizzando la velocità media di viaggio per ogni veicolo;
- Ritardo medio [sec/km]: differenza tra il tempo di viaggio ideale previsto (il tempo necessario per attraversare il sistema in condizioni ideali) e il tempo di viaggio reale. Viene calcolato come media di tutti i veicoli e poi convertito in tempo per chilometro. Non include il tempo trascorso in coda virtuale;
- Tempo medio di stop [sec/km]: tempo medio di fermo per veicolo per chilometro.

Per una analisi comparativa non sono importanti tanto i valori assoluti dei vari parametri, quanto piuttosto la loro variazione tra lo scenario di riferimento e lo scenario di progetto, in quanto viene sintetizzato il cambiamento intercorso (ad esempio la maggiore/minore congestione, i cambiamenti nella lunghezza media degli spostamenti tra i vari punti di generazione/attrazione di traffico, l'aumento/riduzione dei perditempo alle intersezioni).

5.2. Scenario di riferimento – Stato di Fatto

Lo scenario di riferimento, che in questo caso è rappresentato dallo stato di fatto, è dato dall'accoppiamento della rete stradale attuale all'interno dell'area di studio con la domanda di traffico rilevata con i conteggi di traffico.

I flussi veicolari circolanti sono quelli rilevati nel corso delle indagini di mobilità.

Le simulazioni hanno mostrato una condizione di circolazione piuttosto fluida in tutta la rete analizzata. Le immagini relative alle simulazioni dello scenario di Stato di fatto sono riportate a fondo testo nell'**Allegato A**.

Il prospetto seguente riporta i valori dei parametri di traffico associati allo stato di fatto:

SCENARIO 0M	VALORE
RITARDI [sec/km]	10,58
TEMPO DI STOP [sec/km]	5,99
TEMPO DI PERCORRENZA [ore]	7,16
VELOCITA' MEDIA [km/h]	47,78
DISTANZE PERCORSE [km]	321,46
DENSITA' [veh/km]	5,92
TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]	983,00
VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]	0,90
VEICOLI IN CODA [veh]	0,60
VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]	981,50
VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [veh]	0,00
TOTALE DI STOP [sec]	275,20

SCENARIO 0S	VALORE
RITARDI [sec/km]	7,93
TEMPO DI STOP [sec/km]	3,81
TEMPO DI PERCORRENZA [ore]	6,89
VELOCITA' MEDIA [km/h]	49,08
DISTANZE PERCORSE [km]	324,12
DENSITA' [veh/km]	5,70
TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]	999,90
VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]	0,90
VEICOLI IN CODA [veh]	0,36
VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]	999,00
VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [veh]	0,00
TOTALE DI STOP [sec]	205,10

Le condizioni di traffico possono essere definite buone.

5.3. Scenario di progetto

È stato definito un unico scenario progettuale di offerta per valutare l'impatto del traffico indotto dal nuovo polo logistico sulla viabilità esistente. Le condizioni di circolazione risultano simili.

Le immagini relative alle simulazioni dello scenario di Stato di fatto sono riportate a fondo testo nell'**Allegato A**.

SCENARIO 1M	PRO
RITARDI [sec/km]	25,24
TEMPO DI STOP [sec/km]	3,98
TEMPO DI PERCORRENZA [ore]	11,17
VELOCITA' MEDIA [km/h]	35,77
DISTANZE PERCORSE [km]	401,89
DENSITA' [veh/km]	7,31
TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]	1.241,60
VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]	1,50
VEICOLI IN CODA [veh]	0,24
VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]	1.242,80
VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [veh]	0,10
TOTALE DI STOP [sec]	248,60

SCENARIO 1S	PRO
RITARDI [sec/km]	102,03
TEMPO DI STOP [sec/km]	80,45
TEMPO DI PERCORRENZA [ore]	55,26
VELOCITA' MEDIA [km/h]	29,87
DISTANZE PERCORSE [km]	1.187,16
DENSITA' [veh/km]	19,98
TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]	2.756,10
VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]	0,30
VEICOLI IN CODA [veh]	22,96
VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]	2.751,30
VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [veh]	82,10
TOTALE DI STOP [sec]	238,66

5.4. Confronto e tra gli scenari simulati

Le simulazioni relative allo scenario di progetto hanno mostrato un andamento dei parametri di traffico sostanzialmente simile a quello dello scenario dello stato di fatto, senza alcun evidente peggioramento delle condizioni di circolazione.

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni per quanto riguarda i principali parametri trasportistici analizzati. Per permettere una comparazione più oggettiva tra i diversi scenari sono stati registrati i parametri generali di rete per ciascuno scenario nell'ora di punta del mattino. Nella tabella che segue si riportano i valori trasportistici relativi a coefficiente di riempimento della rete, distanze percorse, tempo di percorrenza e velocità media.

CONFRONTO 0M-1M	SDF	PRO	variazione%
RITARDI [sec/km]	1	2,39	+138,6
TEMPO DI STOP [sec/km]	1	0,66	-33,56
TEMPO DI PERCORRENZA [ore]	1	1,56	+56
VELOCITA' MEDIA [km/h]	1	0,75	-25,14
DISTANZE PERCORSE [km]	1	1,25	+25
DENSITA' [veh/km]	1	1,23	+23,5
TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]	1	1,26	+26,3
VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]	1	1,67	+66,7
VEICOLI IN CODA [veh]	1	0,40	-60,00
VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]	1	1,27	+26,6
VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [ve]	1	1	0
TOTALE DI STOP [sec]	1	0,90	-9,67

CONFRONTO 0S-1S	SDF	PRO	variazione%
RITARDI [sec/km]	1	2,96	+195,7
TEMPO DI STOP [sec/km]	1	0,70	-29,66
TEMPO DI PERCORRENZA [ore]	1	1,74	+74,2
VELOCITA' MEDIA [km/h]	1	0,73	-27,32
DISTANZE PERCORSE [km]	1	1,33	+33,2
DENSITA' [veh/km]	1	1,38	+38,1
TOTALE VEICOLI CIRCOLANTI [veh]	1	1,39	+39
VEICOLI CIRCOLANTI NELLA RETE AL TERMINE DELLA SIMULAZIONE [veh]	1	0,67	-33,33
VEICOLI IN CODA [veh]	1	0,53	-47,22
VEICOLI USCITI DALLA RETE [veh]	1	1,39	+38,8
VEICOLI IN ATTESA DI ENTRARE NELLA RETE [ve]	1	1	0
TOTALE DI STOP [sec]	1	0,96	-4,19

La rete nello stato di progetto risulta ovviamente più carica, ma generalmente il livello del servizio risulta comunque buono in tutti i rami. Si registra un leggero aumento dei perditempo, imputabile alla nuova rotatoria mdi via degli Alpini, ma il traffico resta comunque scorrevole.

5. CONCLUSIONI

In base a quanto esposto nei precedenti capitoli è possibile affermare che:

- L'andamento della domanda di traffico giornaliero e settimanale evidenzia come il traffico circolante nell'area di studio sia maggiore durante l'ora di punta del venerdì sera 18.15-19.15;
- La mattina prevalgono gli spostamenti in direzione sud (Bergamo), la sera quelli in direzione nord (Alzano);
- L'ora di punta del mattino è dalle ore 7.30 alle ore 8.30, e alla sera dalle ore 18.15 alle ore 19.15;
- Attualmente l'area ex-Zopfi è dismessa e non genera traffico veicolare;
- Il progetto prevede di realizzare aree residenziali e commerciali, rispettivamente per 17.100 mq di s.l.p. e 1.900 mq di superficie di vendita;
- Le nuove funzioni genereranno un traffico bidirezionale nell'ora di punta della mattina di 152 veicoli (123 generati, 29 attratti) e di 245 veicoli nell'ora di punta della sera (67 generati, 178 attratti)
- Il progetto prevede la realizzazione di 161 posti auto in 5 diverse aree di parcheggio;
- Sono stati modellati due scenari progettuali con la stessa offerta di trasporto, ricavata dalle planimetrie di progetto. Le modifiche apportate prevedono la trasformazione dell'intersezione tra via Zopfi e via Alpini in intersezione a rotatoria e l'aggiunta delle entrate e delle uscite per il progetto su via Zopfi e via Alpini
- Le simulazioni di traffico evidenziano come le nuove funzioni residenziali e commerciali comportino un inevitabile incremento del traffico circolante e dei perditempo, dal momento che la rete stradale resta invariata, ma anche come tale riduzione di livello sia molto limitata: infatti, nelle rimanenti porzioni di rete e negli altri momenti della giornata il livello di servizio si attesta sui massimi livelli (livello "A").

In considerazione dei risultati conseguiti dalle macro e microsimulazioni, è pertanto possibile affermare, in base alle ipotesi adottate per la stima del traffico circolante, del traffico indotto e per la ripartizione spaziale dello stesso, che le nuove funzioni che si prevede di insediare nell'area ex-Zopfi risultano compatibili sotto l'aspetto trasportistico.

ALLEGATO A

Stato di fatto mattina, flussi veicolari (veicoli/ora)



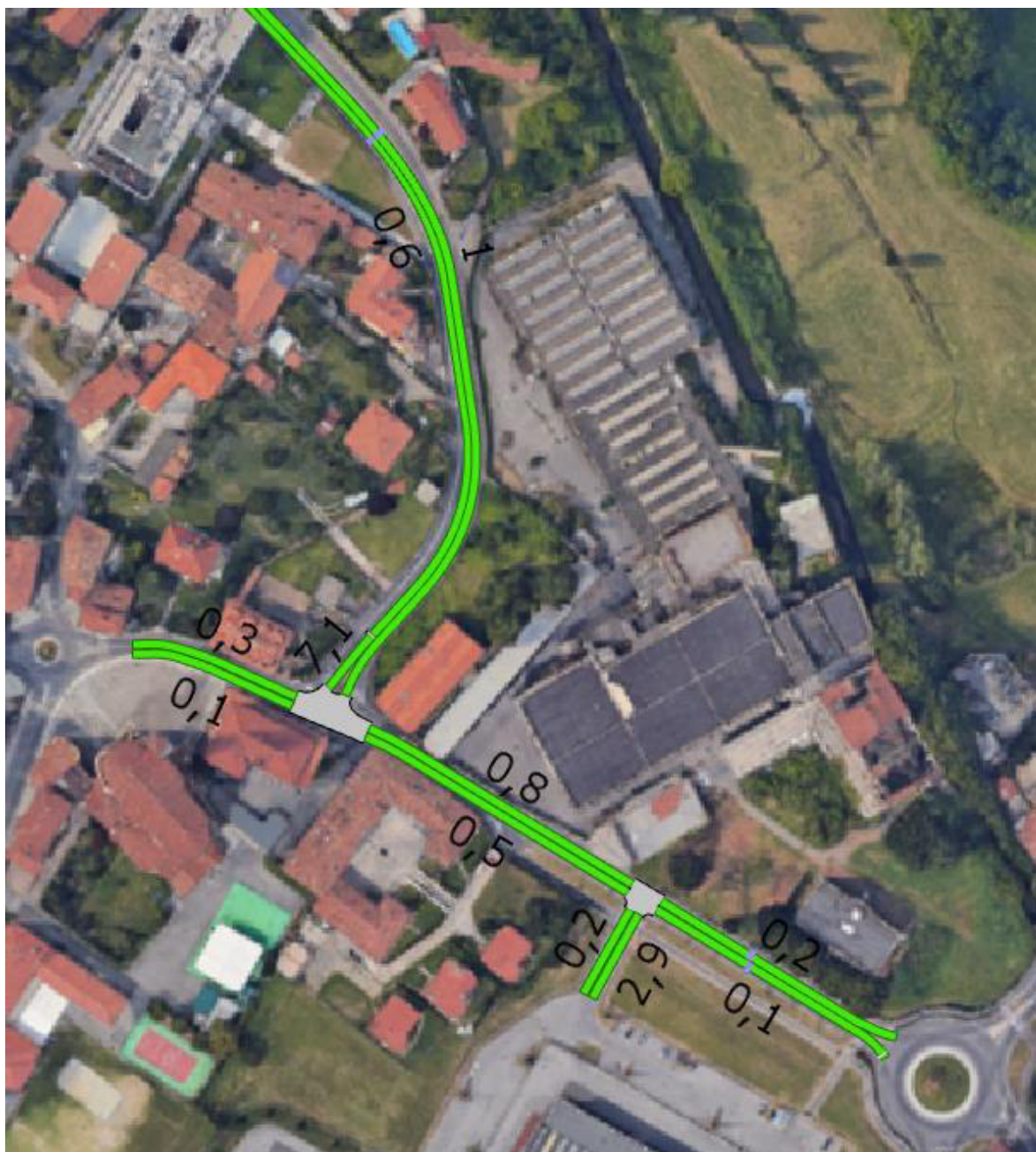
Stato di fatto mattina, perditempo (secondi/km)



Stato di fatto Sera, flussi veicolari (veicoli/ora)



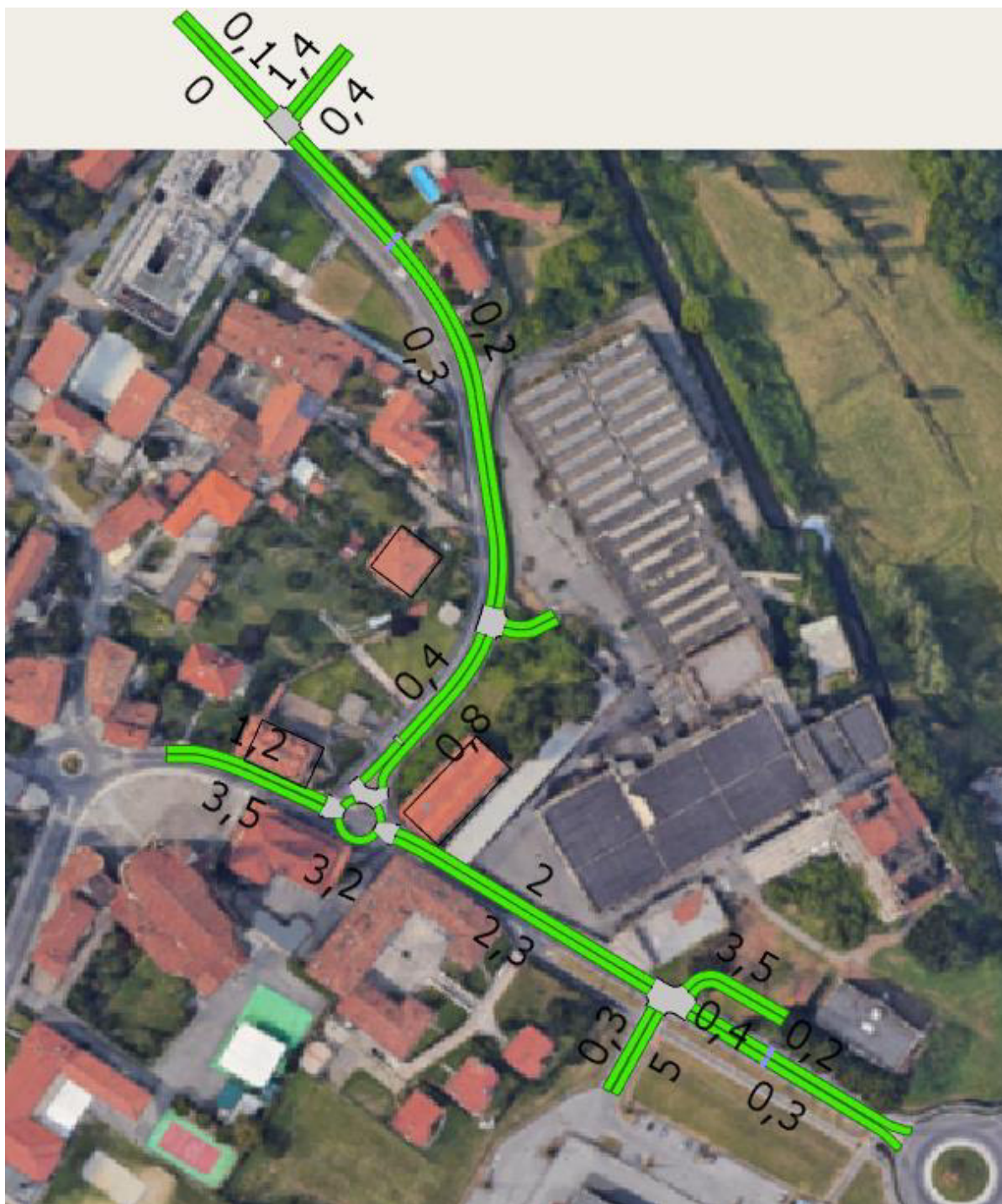
Stato di Fatto Sera, Perditempo (secondi/km)



Stato di Progetto mattina, flussi veicolari (veicoli/ora)



Stato di progetto mattina, perditempo (secondi/km)



Stato di Progetto Sera, flussi veicolari (veicoli/ora)



Stato di Progetto Sera, Perditempo (secondi/km)

