

Gli archi del grafo sono classificati in funzione del rango della strada che rappresentano, e ad essi è associata una serie di informazioni necessarie per alimentare il modello di macrosimulazione, tra le quali:

- nodo inizio;
- nodo fine;
- lunghezza [Km];
- tipo arco (autostrada, strade primarie, strade secondarie, locali, uso esclusivo TPL, connettore);
- velocità di libero deflusso [Km/h];
- capacità [Veq];
- curva di deflusso.

In particolare, in ragione delle specifiche caratteristiche di deflusso (autostrade, superstrade e arterie di grande viabilità, strade statali, strade provinciali, strade comunali principali e secondarie), sono associati i seguenti range di velocità di flusso libero e capacità per corsia.

Classe	Tipologia strada	Capacità (veic eq/h) per corsia	Vo, Velocità a vuoto (Km/h)
1	Rete autostradale	2000 - 2300	110 - 140
2	Superstrade e tangenziali	2000	70 - 130
3	Rete di rango statale	1500 - 1800	60 - 90
4	Rete di rango provinciale	1200 - 1500	50 - 80
5	Rete urbana principale	1000 - 1200	40 - 60
6	Rete urbana di quartiere	600 - 1000	30 - 40

Tabella 78 - Classificazione funzionale della rete stradale

Per ciascun arco è definita una specifica curva di deflusso, adeguata alle caratteristiche e al rango dello stesso.

Le curve utilizzate sono di tipo esponenziale nella formulazione BPR, il cui andamento è messo in evidenza nel grafico seguente, con tempo a carico espresso sulla base della relazione seguente:

$$TC_E = T_E * [1 + a * (F/C)^b]$$

con:

T_E = tempo di percorrenza alla velocità di flusso libero

F = flusso orario sull'arco

C = capacità di deflusso oraria dell'arco

a, b = parametri dipendenti dalla categoria dell'arco (come indicato nel grafico seguente).

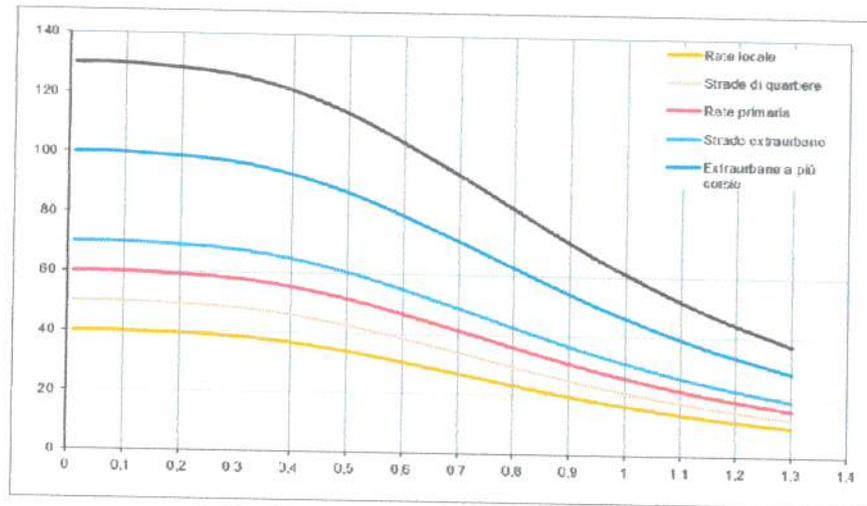


Grafico 12 - Andamento delle funzioni di costo BPR

2.7 ANALISI DELLA DOMANDA

Per la calibrazione del modello di simulazioni verranno utilizzate le seguenti banche dati:

- la matrice OD passeggeri della Regione Lombardia (anno 2016);
- la matrice OD merci della Regione Lombardia (anno 2016);
- la matrice OD Istat;
- le banche dati delle indagini di traffico su area vasta condotte direttamente sul campo (anno 2022 – 2024);
- i rilievi di traffico effettuati direttamente all'interno dell'area di studio (anno 2023-2024).
- i rilievi di traffico effettuati dalla provincia di Pavia sulla rete stradale di interesse (anno 2022).

In particolare, le successive analisi sono state effettuate assumendo la matrice giornaliera regionale O/D degli spostamenti dei veicoli pesanti e commerciali: i dati sui veicoli commerciali e pesanti sono articolati con riferimento alle categorie di veicoli N1, N2 e N3 come definite dall'art. 47 del Codice della Strada:

- N1: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 tonnellate;
- N2: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 tonnellate ma non superiore a 12 tonnellate;
- N3: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 12 tonnellate. Le matrici O/D degli spostamenti dei veicoli considerano le componenti di movimenti interni, di scambio e di attraversamento della Lombardia.

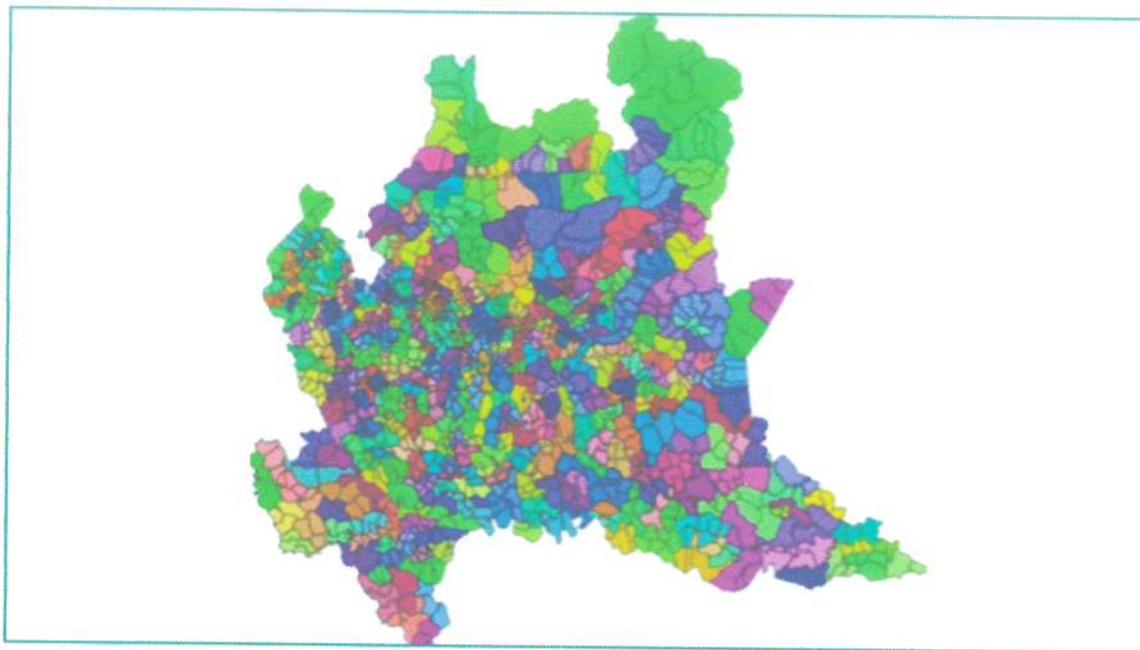


Figura 42 – Zonizzazione interna

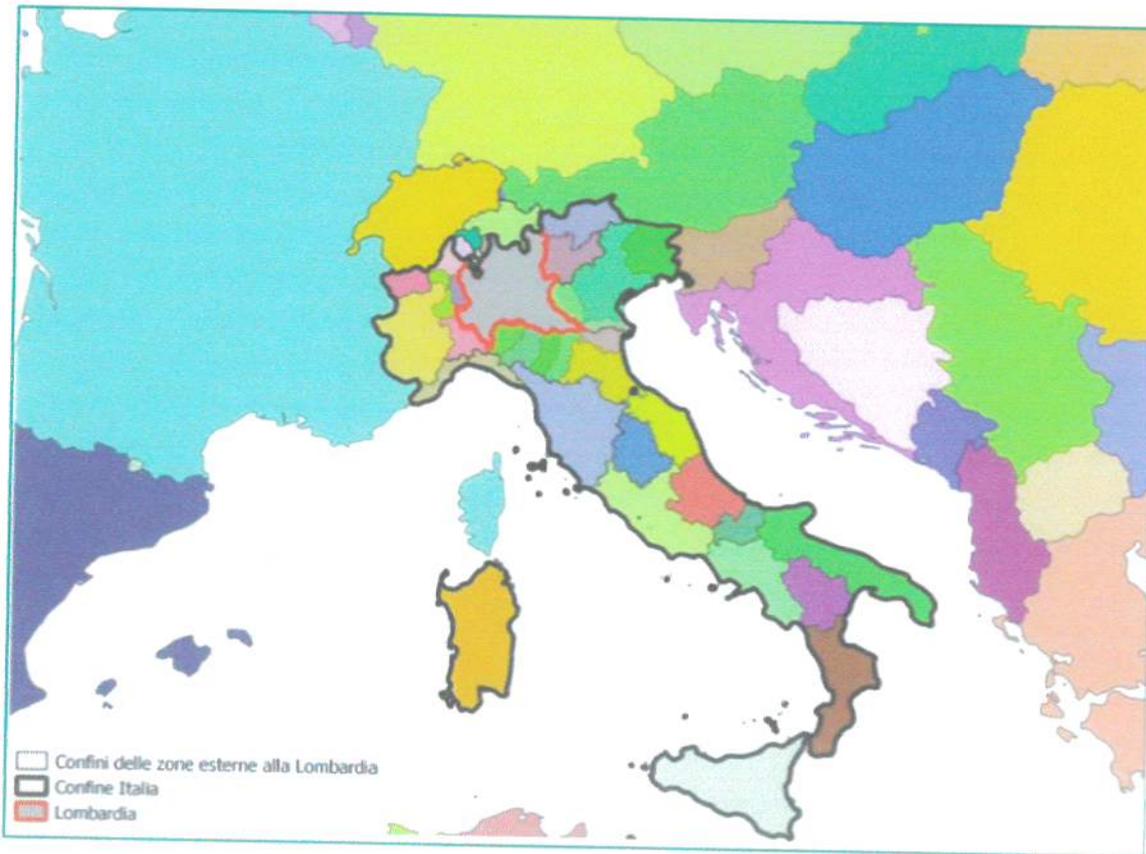


Figura 43 - Zonizzazione esterna

Le O/D rappresentano 437 zone interne alla regione, risultato di accorpamenti di comuni e/o, per i comuni più grandi, parti di comuni. Prevedono inoltre 69 zone esterne alla Lombardia (rappresentative delle province confinanti, delle regioni italiane, dei territori elvetici e degli altri stati esteri) e 20 cancelli intermodali (8 terminal intermodali strada - ferrovia interni alla Lombardia; 3 terminal intermodali esterni; 4 aeroporti cargo; 3 porti marittimi del sistema ligure; 2 porti idrovitari).

Complessivamente le matrici O/D regionali fanno riferimento a 526 zone (437 interne, 69 esterne e 20 cancelli).

L'insieme delle banche dati così definite, verranno utilizzati per calibrare la matrice OD di base utile per ricostruire gli scenari progettuali.

2.7.1 PROCEDURA DI CALIBRAZIONE

Nella fase di calibrazione, vengono incrociate le informazioni del modello di offerta (grafo) e di domanda (matrice O/D) al fine di riprodurre la realtà osservata durante le indagini di traffico.

La matrice O/D è una tabella in cui sono contenute le relazioni tra le varie zone dell'area in esame in termini di veicoli equivalenti per ora come nel caso in esame.

Per la calibrazione del modello di simulazione è stato utilizzato il modulo ANALYST DRIVE del software di simulazione CUBE 6: mediante i dati dei rilievi di traffico e degli spostamenti sulla rete autostradale, è stato possibile aggiornare la matrice OD di partenza al fine di riprodurre l'effettivo andamento dei flussi di traffico in attraversamento sull'area di studio.

Il processo di calibrazione iterativo è stato strutturato su 4 livelli di analisi:

- vengono inserite nel grafo di rete le screenline relative ai flussi acquisiti attraverso i dati di traffico rilevati: viene eseguita una prima assegnazione in modo da associare ad ogni screenline (dato rilevato) le OD in transito sull'arco considerato;

- successivamente viene associata alla matrice OD di base una seconda matrice OD con i livelli di confidenza correlati alla matrice base; vengono inoltre calcolati per ogni zona i Trip Ends cioè i totali di riga e di colonna della matrice OD di partenza con i relativi livelli di confidenza.
- allo stesso modo viene associato ad ogni screenline un livello di confidenza: i livelli di confidenza per le screenline e la matrice di base indicano al modello l'attendibilità dei dati utilizzati;
- infine, attraverso l'utilizzo del modulo Analyst vengono analizzati i dati della matrice di partenza, i conteggi di traffico contenuti nelle screenline, i Trip Ends e le informazioni sui percorsi in modo da aggiornare la matrice in input affinché questa si adatti nel miglior modo possibile ai dati di traffico rilevati: per far ciò il modulo Analyst utilizza la funzione di Massima Verosimiglianza per produrre la matrice OD stimata.

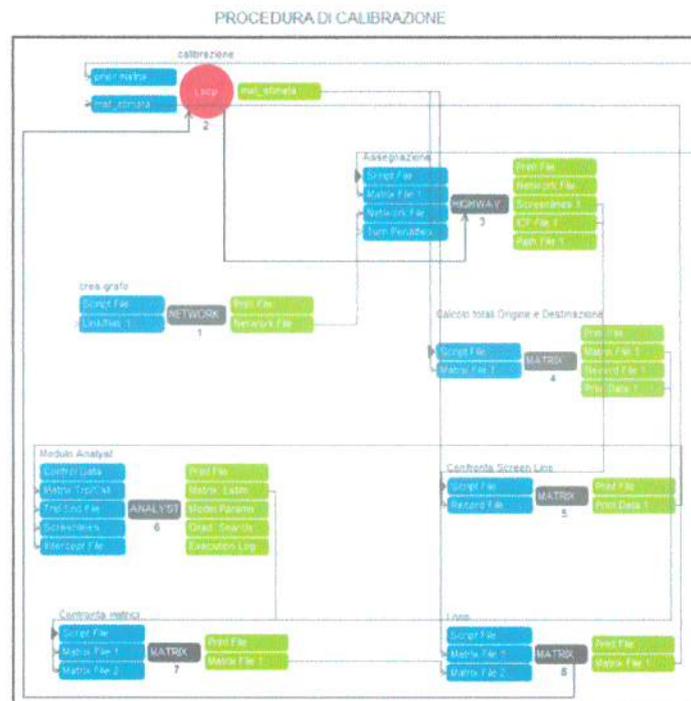


Figura 44 – Processo di calibrazione messo a punto all'interno di CUBE 6

Di seguito si riporta lo scattergram relativo al livello di correlazione raggiunto fra i volumi rilevati ed i volumi calcolati nel modello finale calibrato. L'indice R^2 per le sezioni stradali contenute all'interno dell'area di studio (pari a oltre 230 sezioni di rilievo) è pari a 0.977 per veicoli leggeri e 0.976 per i veicoli pesanti (valore ottimale pari a 1), ciò conferma la bontà del modello nel rappresentare correttamente il regime di circolazione rilevato nell'area di interesse.

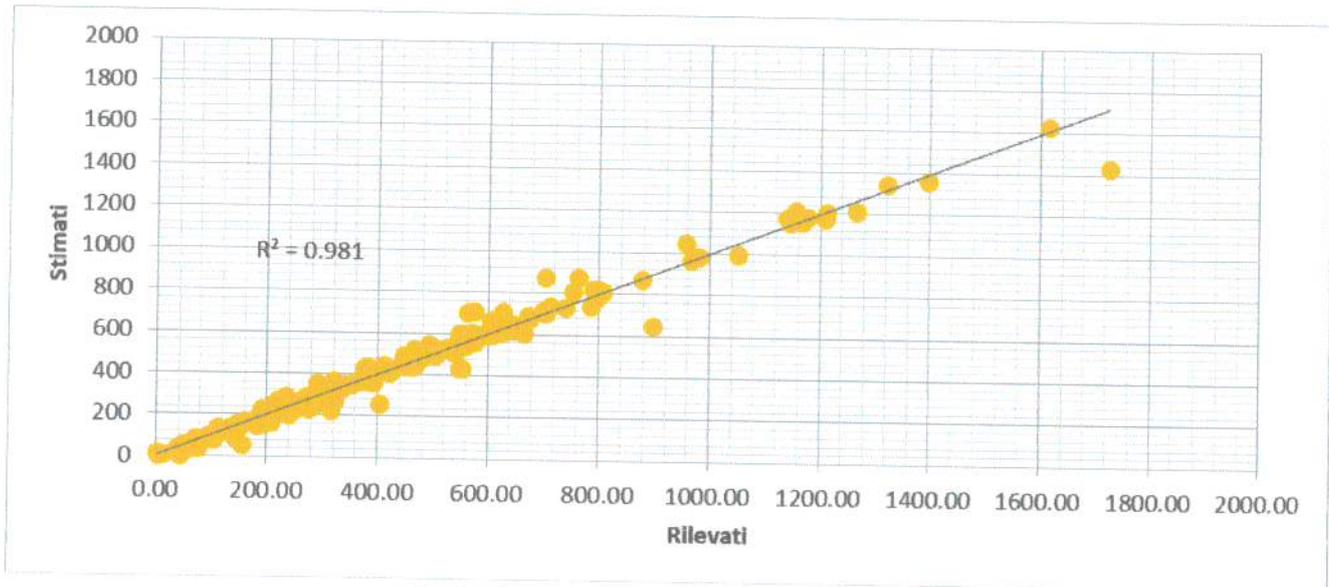


Grafico 13 – Scattergram rete area di studio – veicoli leggeri

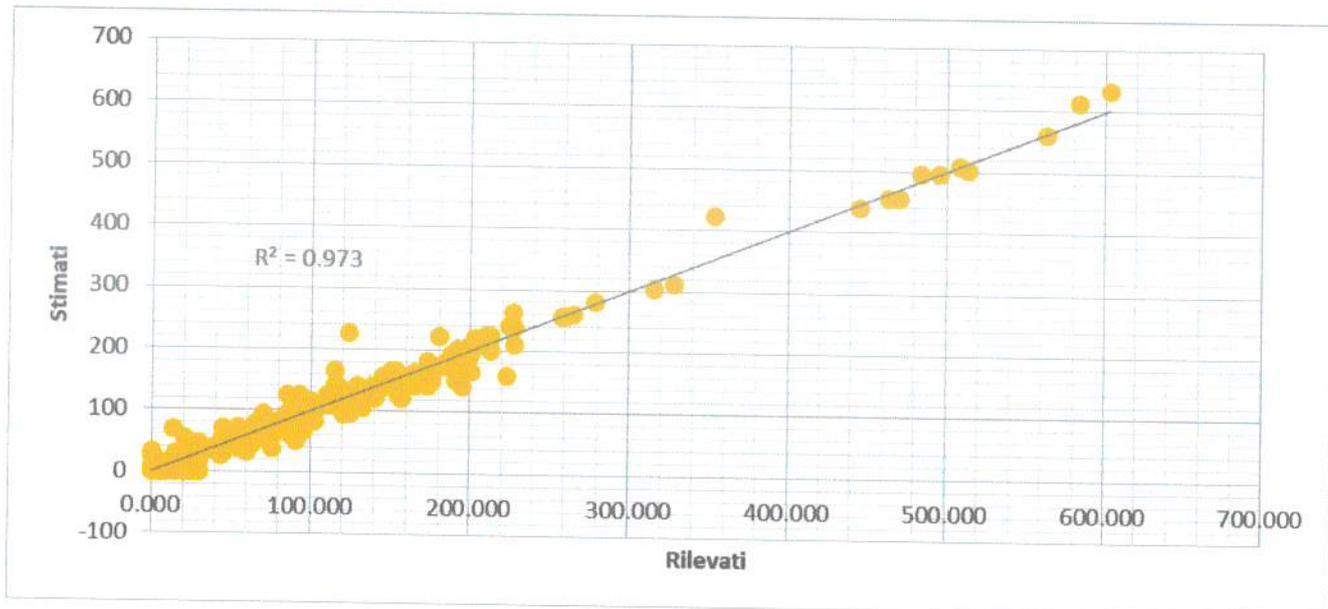


Grafico 14 – Scattergram rete area di studio – veicoli pesanti

Di seguito è riportato il raffronto tra i valori rilevati e stimati dal modello in corrispondenza delle sezioni di monitoraggio utilizzate per calibrare la matrice OD (valori espressi in veicoli equivalenti) per l'ora di punta del mattino.

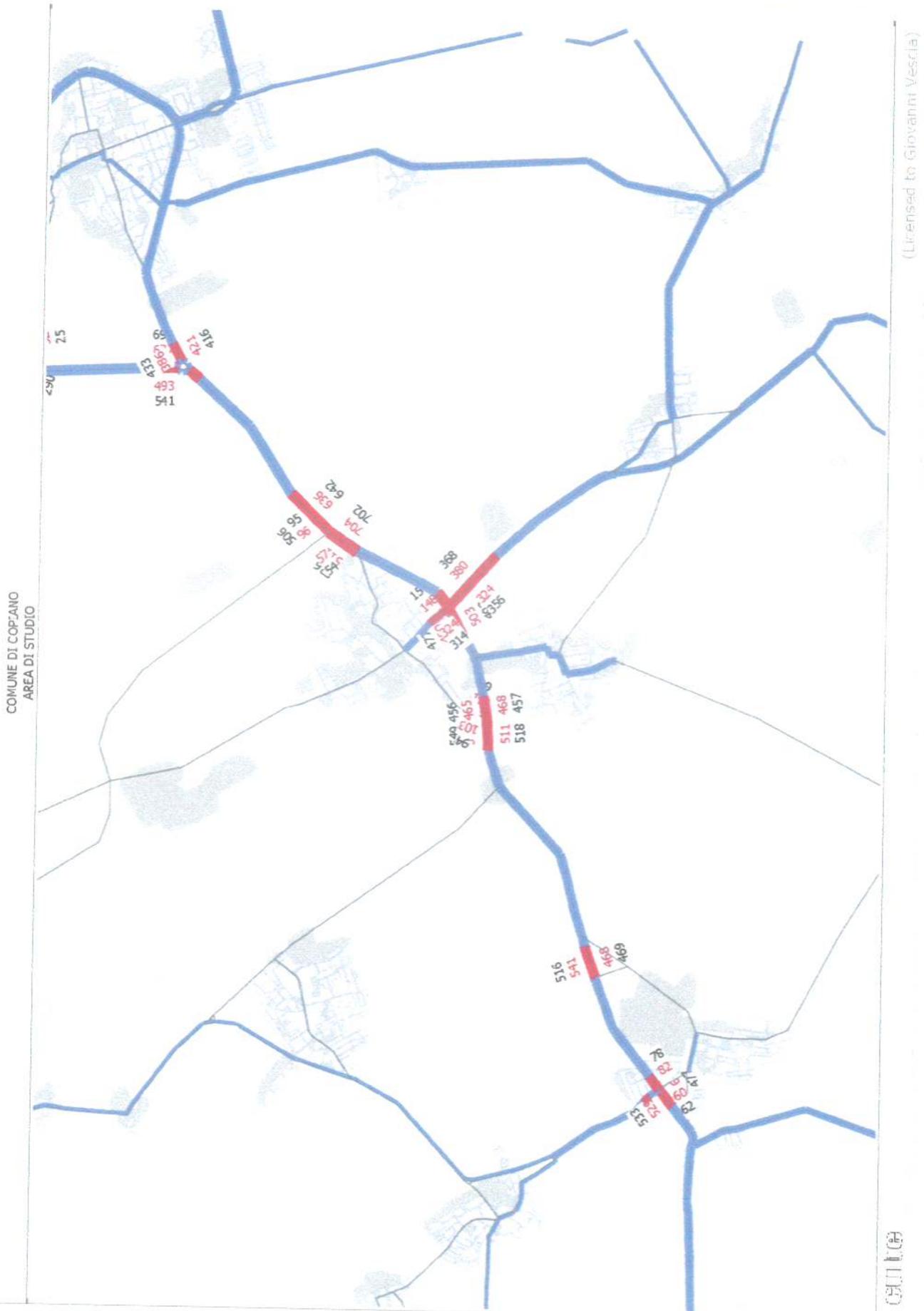


Figura 45 - Raffronto flussi rilevati (in rosso) e simulati (in blu) - HPM - veicoli leggeri

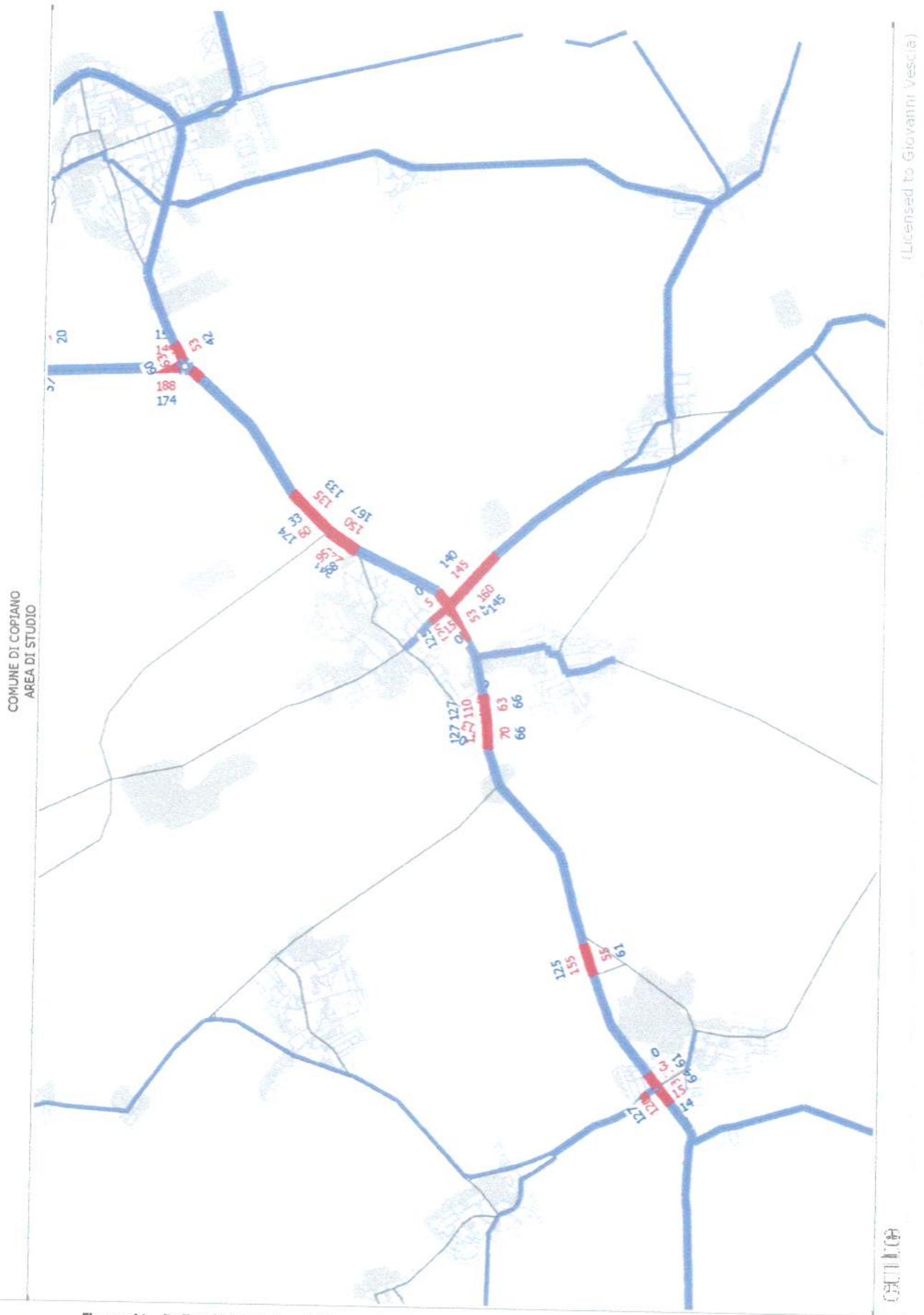


Figura 46 – Raffronto flussi rilevati (In rosso) e simulati (In blu) - HPM – veicoli pesanti (espressi in Veq/h)

L'affidabilità del modello è stata testata anche mediante la statistica GEH Index (G.E. Havers, 1970), espressa nella forma:

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

con M flusso orario simulato dal modello e C flusso orario rilevato nella sezione di conteggio. Il test, simile ad un test chi-quadro, viene impiegato come criterio per la valutazione dell'adeguatezza di un modello di previsione della domanda sulla base di alcune soglie parametriche. Generalmente, nella pratica modellistica, si fa riferimento alle soglie stabilite dal Design Manual for Roads and Bridges redatto dall'Highways Agency britannica:

- $GEH < 5,0$ – si riscontra una buona rispondenza tra flusso modellato e flusso rilevato nella sezione in esame;
- $5,0 < GEH < 10,0$ – sono necessari approfondimenti per la sezione in esame;
- $GEH > 10,0$ – si riscontra la presenza di situazioni problematiche nella modellazione e nella rilevazione del flusso sulla sezione in esame.

In accordo con quanto stabilito dal Design Manual for Roads and Bridges redatto dall'Highways Agency britannica, nella pratica modellistica si considera adeguato un modello di traffico caratterizzato dall'85% delle sezioni di controllo con $GEH < 5,0$.

Il modello implementato rivela un livello di rispondenza ampiamente soddisfacente, testimoniato da:

- $GEH < 5,0$ per il 95.3% delle sezioni (96% per i veicoli pesanti);
- $5,0 < GEH < 10,0$, per il 4.7% delle sezioni (4% per i veicoli pesanti);
- $GEH > 10,0$ per lo 0% delle sezioni.

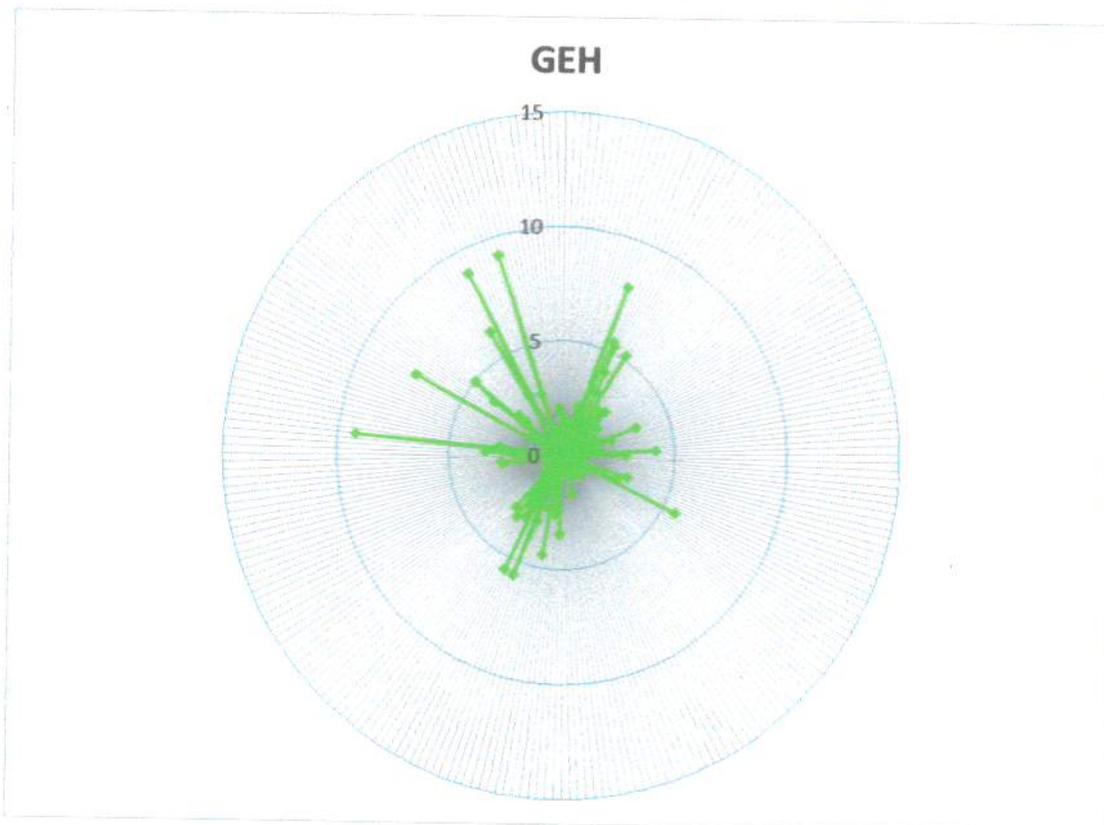


Figura 47 - Diagramma di dispersione GEH – veicoli leggeri

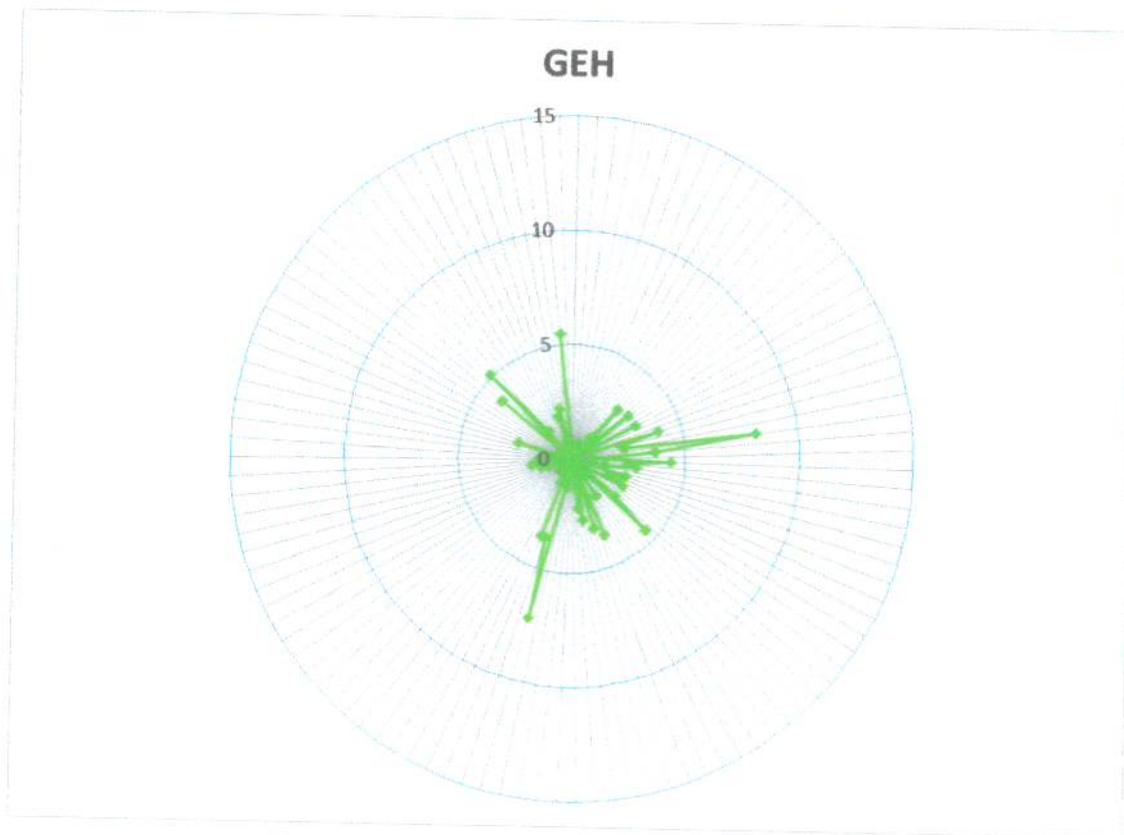


Figura 48 - Diagramma di dispersione GEH – veicoli pesanti

2.7.2 MODELLO DI ASSEGNAZIONE – SCENARIO ATTUALE

La procedura di assegnazione dei flussi sulla rete è basata su un algoritmo deterministico di assegnazione con equilibrio dell'utente su rete congestionata. In particolare la procedura prevede la ricerca dei percorsi di minimo costo generalizzato di trasporto tra le origini e le destinazioni, applicando delle funzioni di costo variabili: in tali termini il costo generalizzato di trasporto che si manifesta nel percorrere ogni arco della rete risulta essere funzione del flusso che transita sull'arco stesso.

La doppia relazione esistente tra flusso assegnato sull'arco e costo di percorrenza dello stesso arco rendono indispensabile l'impiego di una procedura di tipo iterativo, tale da garantire per ogni passo di iterazione il calcolo del costo di percorrenza sulla base dei volumi assegnati ai passi precedenti e, in base ad esso, la conseguente assegnazione dei flussi sui percorsi minimi.

Il modello di assegnazione produce l'output del processo componendo i risultati di ogni passo dell'iterazione, controllando la convergenza globale del processo e assicurando il raggiungimento degli obiettivi di minimo costo per gli utenti sull'intera rete.

Il costo generalizzato di percorrenza considerato dal modello di assegnazione è espresso in termini di tempo, ossia il tempo generalizzato di percorrenza è la variabile fondamentale nella ricerca dei percorsi minimi.

L'algoritmo considera due quote di tempo nel definire la percorrenza di un arco stradale:

- Il tempo effettivo di percorrenza T_E , che rappresenta la durata dello spostamento sull'arco stradale ed è definito a partire dalla distanza percorsa e dalla velocità di progetto dell'infrastruttura modellata;
- Il tempo aggiuntivo $TTAR$, che tiene conto dell'extracosto dovuto all'eventuale presenza di una tariffa, in genere chilometrica, per la percorrenza dell'arco.

In tal modo, il costo generalizzato di percorrenza di un arco modellato è pari a:

$$T = T_E + TTAR$$

con

- $T_E = D/V$, dove D è la distanza in km e V è la velocità di percorrenza di flusso libero in Km/h;
- $TTAR = TAR \cdot D \cdot (1/VET)$, dove TAR è la tariffa espressa in €/km, D è la distanza in km, VET è il valore economico del tempo per l'utente, espresso in €/h.

Il tempo effettivo T_E viene calcolato, pertanto, sulla base della distanza effettiva dell'arco modellato nel grafo e della velocità di percorrenza di flusso libero (FFS) con cui tale arco viene caratterizzato.

Il tempo aggiuntivo $TTAR$ viene calcolato, oltre che sulla distanza chilometrica, sulla base della tariffa applicata all'utente dal gestore dell'infrastruttura e del valore economico del tempo per l'utente.

Nel modello sono state considerate le tariffe chilometriche, dichiarate dai diversi gestori per i tratti gestiti in chiuso e i ricarichi complessivi attribuiti alle barriere per i tratti gestiti in aperto. Come valore economico del tempo si è utilizzato un valore medio ponderato rispetto alle categorie di utenti che compongono la mobilità complessiva.

L'applicazione di un modello per reti congestionate a capacità ristretta impone l'esplicitazione di una funzione di costo che permetta di valutare, a partire da un tempo di percorrenza a vuoto dell'arco, un tempo di percorrenza a carico dipendente dal flusso in transito sullo stesso, che tenga inoltre conto dell'applicazione di eventuali extracosti di percorrenza, tradotti in costi generalizzati di trasporto ed espressi in termini temporali come sopra richiamato, dovuti ad esempio all'applicazione di tariffa di pedaggio.

Essendo come detto, le funzioni di costo assunte di tipo BPR, globalmente si ha:

$$T=TE*[1+a*(F/C)^b] +TTAR$$

Successivamente alla ricostruzione della matrice Origine – Destinazione attuale ed alla calibrazione del modello di simulazione, l'assegnazione di tale matrice, relativa all'ora di punta considerata, ha consentito di ottenere la distribuzione degli spostamenti veicolari compiuti sulla rete di trasporto a servizio dell'intera area di studio.

Di seguito si riporta il diagramma di carico e il rapporto flusso capacità su ciascun arco stradale della rete di trasporto complessiva mediante una visualizzazione basata sia sulla scala cromatica (in range di colori in ragione del volume di spostamenti presenti sull'arco) sia, all'interno di tale scala cromatica, in termini di spessore della singola banda, direttamente proporzionale all'entità del flusso presente sull'arco.

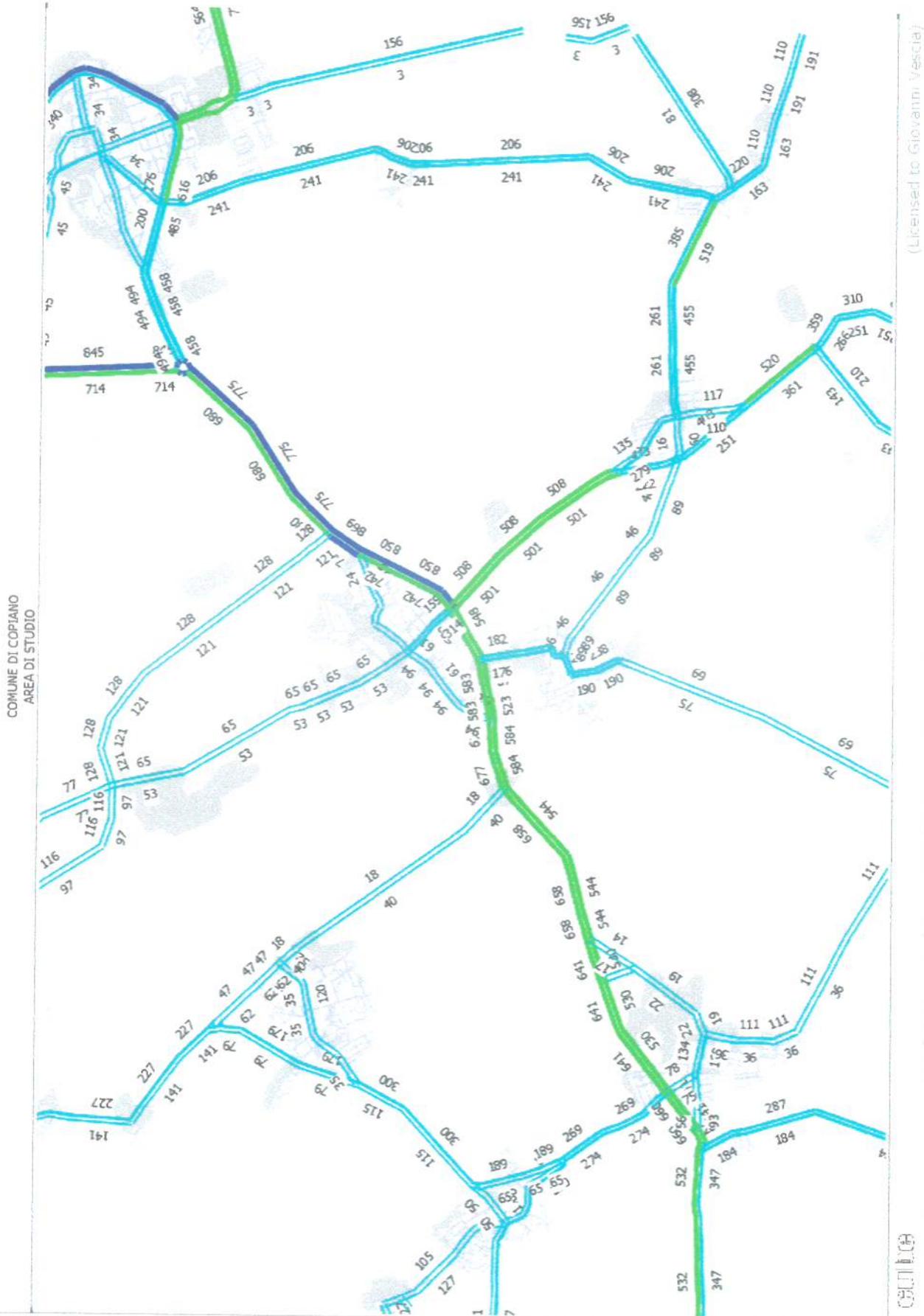
La rappresentazione fornita, relativa, come detto, all'ora di punta del mattino e in termini di flussi veicolari equivalenti, si basa su 4 range di valori:

-  archi con traffico inferiore a 500 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico compreso tra 500 e 750 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico compreso tra 750 e 1.000 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico maggiore di 1.000 veicoli eq./ora.

Analogamente la rappresentazione relativa al rapporto Flusso - Capacità per l'ora di punta del mattino, si basa su 4 range di valori:

-  archi con F/C inferiore a 0,5;
-  archi con F/C compreso tra 0,5 e 0,75;
-  archi con F/C compreso tra 0,75 e 1;
-  archi con F/C maggiore di 1.

(Licensed to Giovanni Vescia)



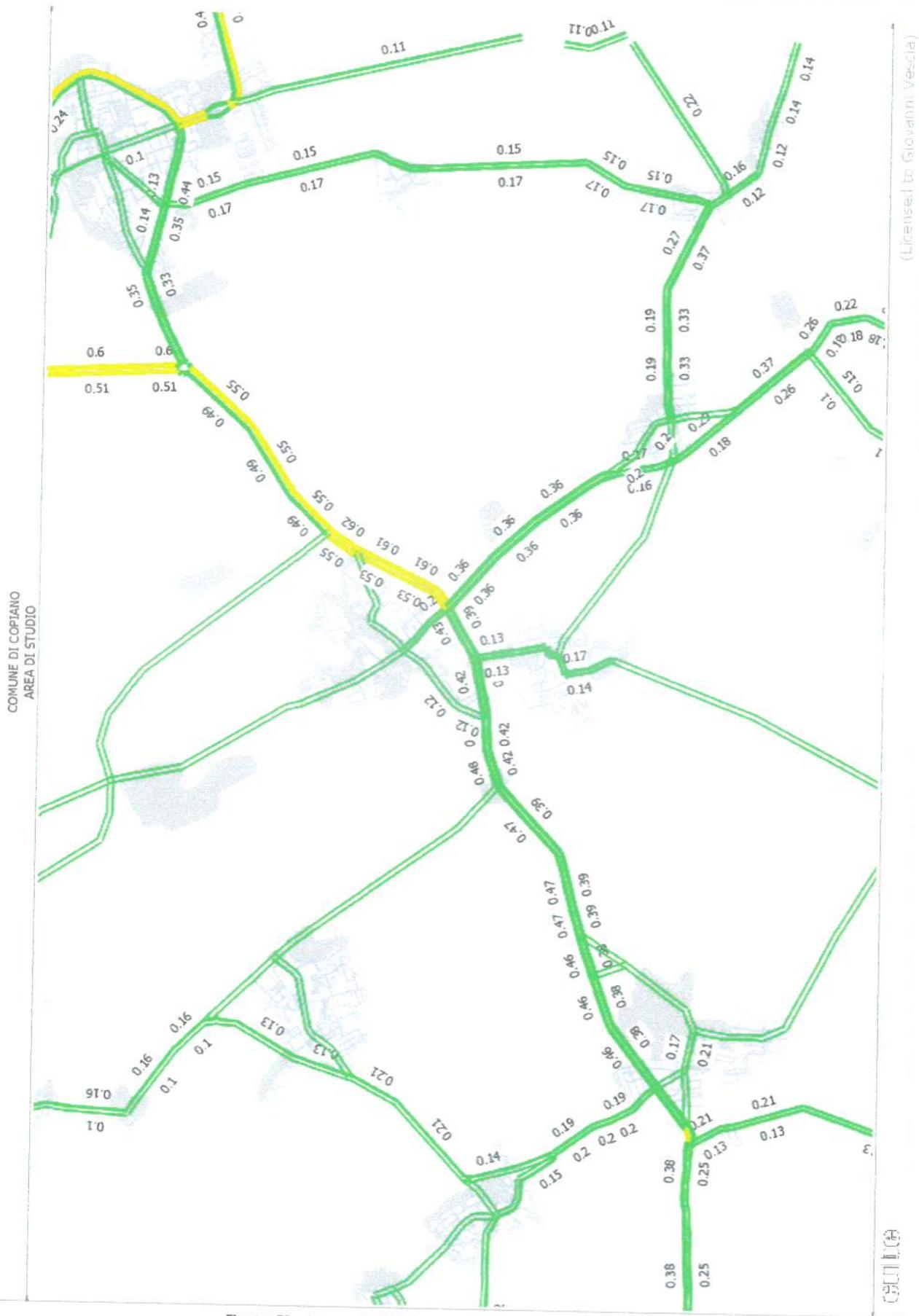
COMUNE DI COPIANO
AREA DI STUDIO

GRUPPO

Figura 49 – Flussogrammi Scenario Attuale – HPM – area vasta



Figura 50 - Flussogrammi Scenario Attuale - HPM - area studio



(Licensed to Giovanni Vescia)

Figura 51 - Rapporto F/C Scenario Attuale - HPM - area vasta

3 SCENARIO PROGRAMMATICO

Lo scenario programmatico, collocabile in un orizzonte temporale di breve periodo (2/3 anni), considerati i tempi di attivazione del nuovo insediamento, tiene conto di un incremento della domanda di traffico riconducibile all'attivazione di altri interventi urbanistici che, potenzialmente, fanno riferimento al sistema viabilistico di accessibilità al comparto esaminato.

Per valutare la presenza di interventi urbanistici a carattere logistico in fase di attuazione di una certa consistenza in termini di SL prevista, si è fatto riferimento ai dati dei PGT vigenti.

I Comuni interessati dall'analisi sono i seguenti:

- Copiano
- Belgioioso
- Corteolona
- Gerenzago
- Pieve Porto Morone
- Santa Cristina e Bissone
- Villanterio

Per ogni comune si è proceduto all'analisi dei relativi PGT estrapolando i dati relativi agli ambiti di Trasformazione a carattere Produttivo/Logistico non ancora attuati. L'analisi ha considerato gli AT produttivi con una SL maggiore di 15.000 mq in quanto maggiormente funzionali ad ospitare attività logistiche, sotto questa soglia gli AT risultano più funzionali ad ospitare attività produttive a carattere artigianale.

3.1 Comune di Copiano

All'interno dei PGT di Copiano si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva logistica:

- ATP 1 – Slp mq. 23.640 (ambito attualmente libero) – area di intervento
- ATP 2 – Slp mq. 3.080 (area dismessa libera);
- ATP 3 – Slp mq. 9.520 (area dismessa libera).

Oltre all'ambito di interventi, gli interventi individuati avendo una SL inferiore a 15.000 mq non verranno considerati all'interno dello scenario programmatico.

3.2 Comune di Belgioioso

All'interno del PGT di Belgioioso (Nuovo PGT variante generale 2024) si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva logistica:

- ATE 1 – Slp mq. 19.360 (ambito attualmente libero);
- ATE 2 – Slp mq. 81.400 (ambito attualmente libero).

Entrambi gli interventi verranno considerati all'interno dello scenario programmatico.

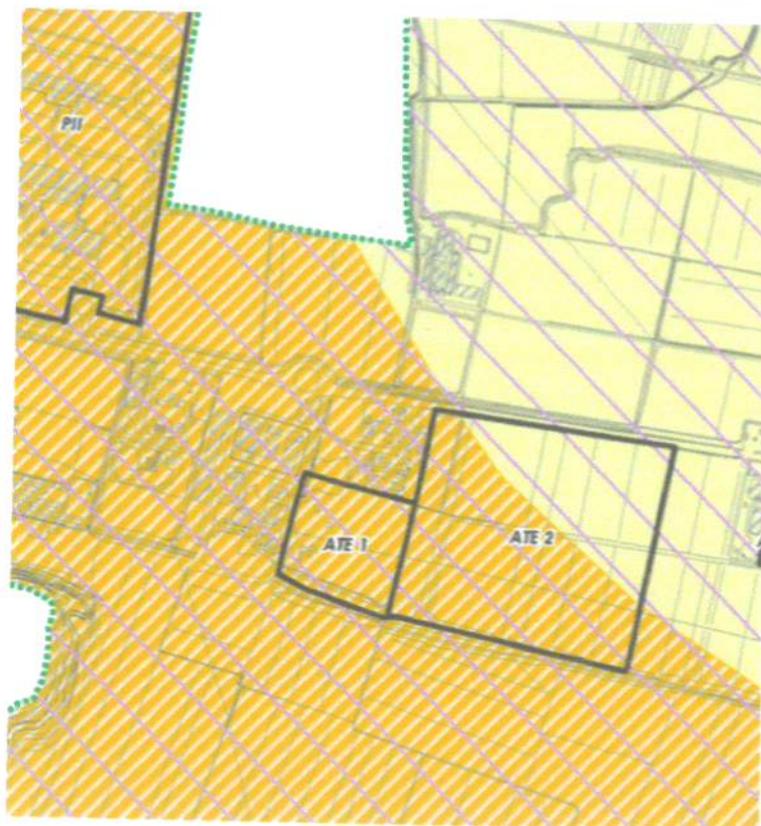


Figura 53 – ATE 1 e 2 PGT Belgioloso

3.3 Comune di Corteolona

All'interno del PGT di Corteolona si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva logistica:

- ATP 1 – Slp mq. 119.467 (ambito attualmente libero);
- ATP 2 – Slp mq. 18.166 (ambito attualmente libero).

Entrambi gli interventi verranno considerati all'interno dello scenario programmatico.

6.2 Scheda di attuazione dell'ambito ATP 1

1 Localizzazione

L'ambito in esame si trova a nord della linea ferroviaria, ad est della SP n. 191.



Figura 14 - Ambito ATP 1 - Carta delle previsioni di piano

Figura 54 - ATP 1 - Comune di Corteolona

6.3 Scheda di attuazione dell'ambito ATP 2

1 Localizzazione

L'ambito in esame si trova nel quadrante posto a nord della linea ferroviaria, vicino a Cascina Novella.



Figura 16. Ambito ATP 2: "Carta delle previsioni di piano" e fotografia aerea

Figura 55 - ATP 2 - Comune di Corteolona

3.4 Comune di Gerenzago

All'interno del PGT di Gerenzago si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva logistica:

- ATPP – PLI – Slp mq. 15.053 (ambito attualmente libero - destinazione produttiva, commerciale, direzionale, ricettiva)
- AP 1 – (attività produttive manifatturiere completamento)
- AP 2 – (depositi a cielo aperto)

Non si rilevano AT di rilevanza da considerare all'interno dello scenario programmatico.

3.5 Comune di Porto Morone

All'interno del PGT di Porto Morone si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva/logistica:

- ATP 1 – St mq. 19.170 (ambito commerciale, terziario, produttivo);
- ATP 2 – St mq. 23.250 (ambito commerciale, terziario, produttivo);
- ATP 3 – Slp mq. 45.815 (altra destinazione).

Non si rilevano AT di rilevanza da considerare all'interno dello scenario programmatico.

3.6 Comune di Santa Cristina e Bissone

All'interno del PGT si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva/logistica:

- ATP 10 – (azienda esistente, destinazione, trattamento inerti)
- Ambito Produttivo logistico esistente, di interesse rilevante, lungo la Strada Statale per Cremona.

Non si rilevano pertanto AT di rilevanza da considerare all'interno dello scenario programmatico.

3.7 Comune di Villanterio

All'interno del PGT si individuano i seguenti Ambiti di trasformazione di nuova previsione a destinazione produttiva/logistica:

- ATP 1 – St mq. 11.380 (ambito commerciale, terziario, produttivo, direzionale)
- ATP 2 – Sul mq. 23.600 (Cascina Mazzini – PIP – area attualmente libera)
- ATP 3 – Slp mq. 4.797 (ambito produttivo, commerciale terziario, direzionale)
- ATP 4 – Slp mq. 7.580
- ATP 5 – ambito in ampliamento di azienda già esistente
- ATP 6 – azienda logistica esistente
- ATP 7 – Slp mq. 54.316 (ambito in ampliamento di un insediamento logistico esistente, di notevole rilevanza – ATP6).

All'interno dello scenario programmatico verrà considerato l'ATP7 in fase di ampliamento.

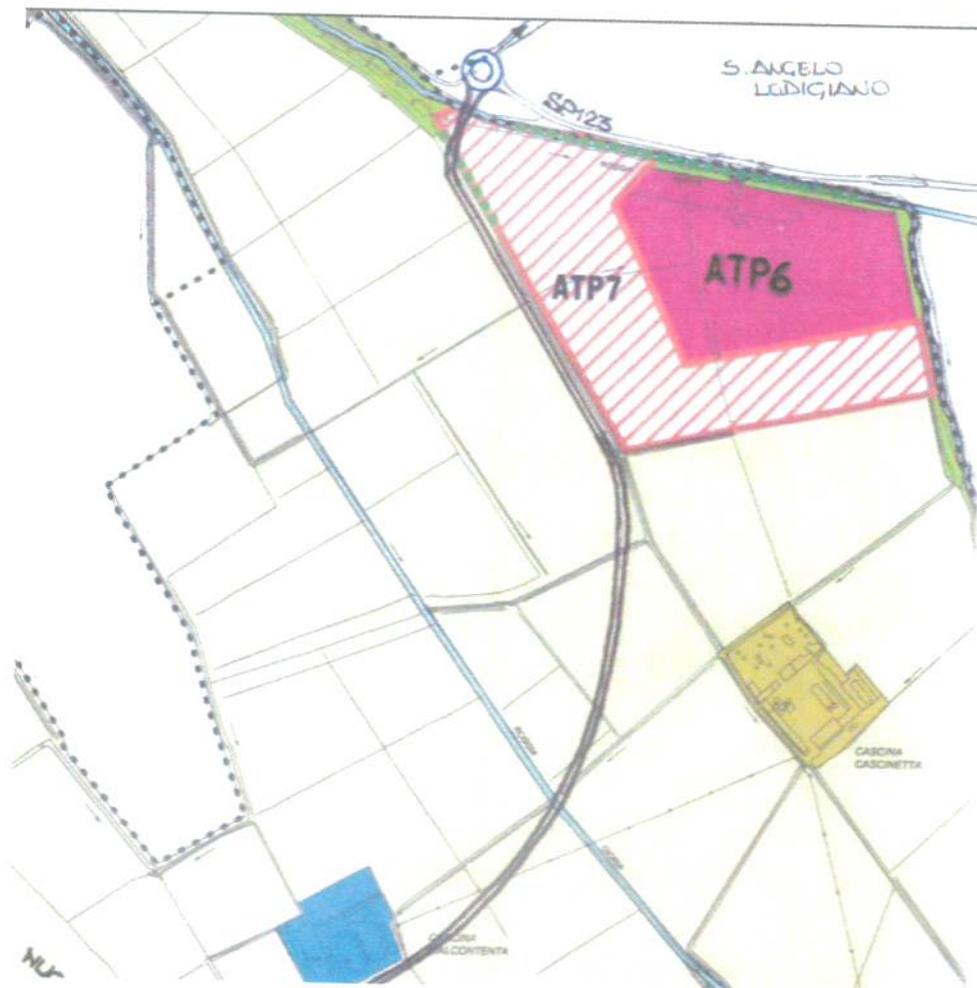


Figura 56 – ATP7 PGT Villanterio

3.7.1 SINTESI ANALISI PGT AREA DI STUDIO

La tabella seguente riassume gli AT considerati all'interno dell'area di studio che vanno a caratterizzare lo scenario di riferimento programmatico.

COMUNE	AT	SL [mq]
BELGIOIOSO	ATE 1	19360
	ATE 2	81400
CORTEOLONA	ATP1	19467
	ATP2	18166
VILLANTERIO	ATP7	54316

Tabella 79 – AT scenario programmatico

La tabella seguente riporta la stima dell'indotto veicolare nell'ora di punta del mattino applicando i parametri previsti all'interno delle Linee Guida Provinciali (la stima è stata effettuata assumendo una SL per uffici pari al 2% della SL ammissibile, mentre la Superficie Operativa è stata assunta pari al 110% della SL del magazzino).

COMUNE	AT	SL [mq]	Veicoli addetti		Mezzi pesanti	
			IN	OUT	IN	OUT
BELGIOIOSO	ATE 1	19360	5	0	6	6
	ATE 2	81400	0	0	26	26
CORTEOLONA	ATP1	19467	5	0	6	6
	ATP2	18166	5	0	6	6
VILLANTERIO	ATP7	54316	14	0	18	18
TOT			28	0	62	62

Tabella 80 – Stimato indotto veicolare AT scenario programmatico

Le immagini seguenti riportano il flussogramma relativo allo scenario programmatico. La rappresentazione fornita, relativa all'ora di punta del mattino ed in termini di flussi veicolari equivalenti, si basa su 4 range di valori:

-  archi con traffico inferiore a 500 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico compreso tra 500 e 750 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico compreso tra 750 e 1.000 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico maggiore di 1.000 veicoli eq./ora.

Analogamente la rappresentazione relativa al rapporto Flusso - Capacità per l'ora di punta del mattino, si basa su 4 range di valori:

-  archi con F/C inferiore a 0.5;
-  archi con F/C compreso tra 0.5 e 0.75;
-  archi con F/C compreso tra 0.75 e 1;
-  archi con F/C maggiore di 1.

E' possibile anticipare che nello scenario programmatico, nonostante i diffusi incrementi di traffico veicolare, i livelli di servizio risultano sostanzialmente invariati rispetto allo stato di fatto con rapporti F/C che non superano 0,20/0.30 sulla rete locale e 0,50/0.60 sulla rete principale.

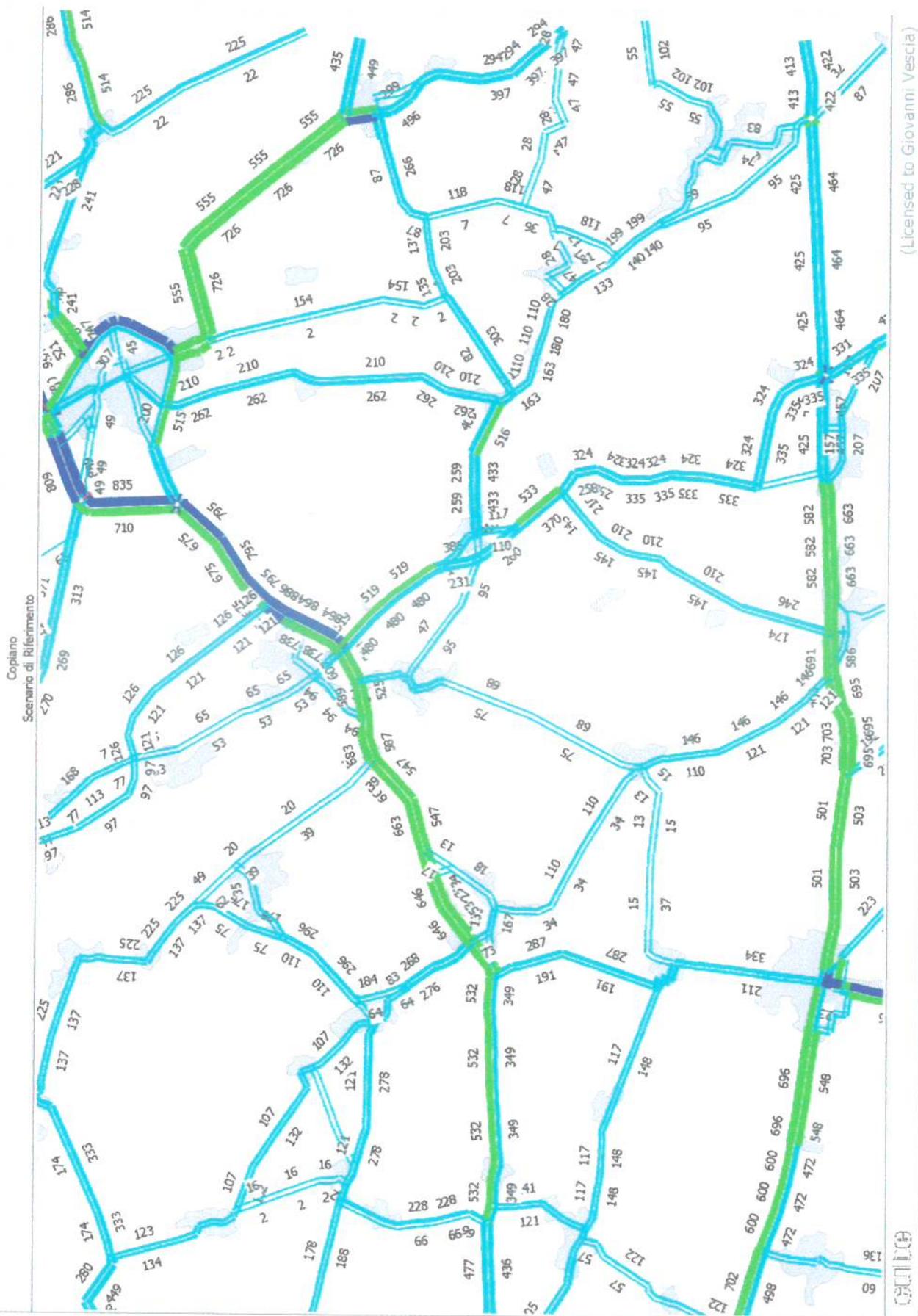


Figura 57 – Flussogrammi Scenario di Riferimento – HPM – area vasta

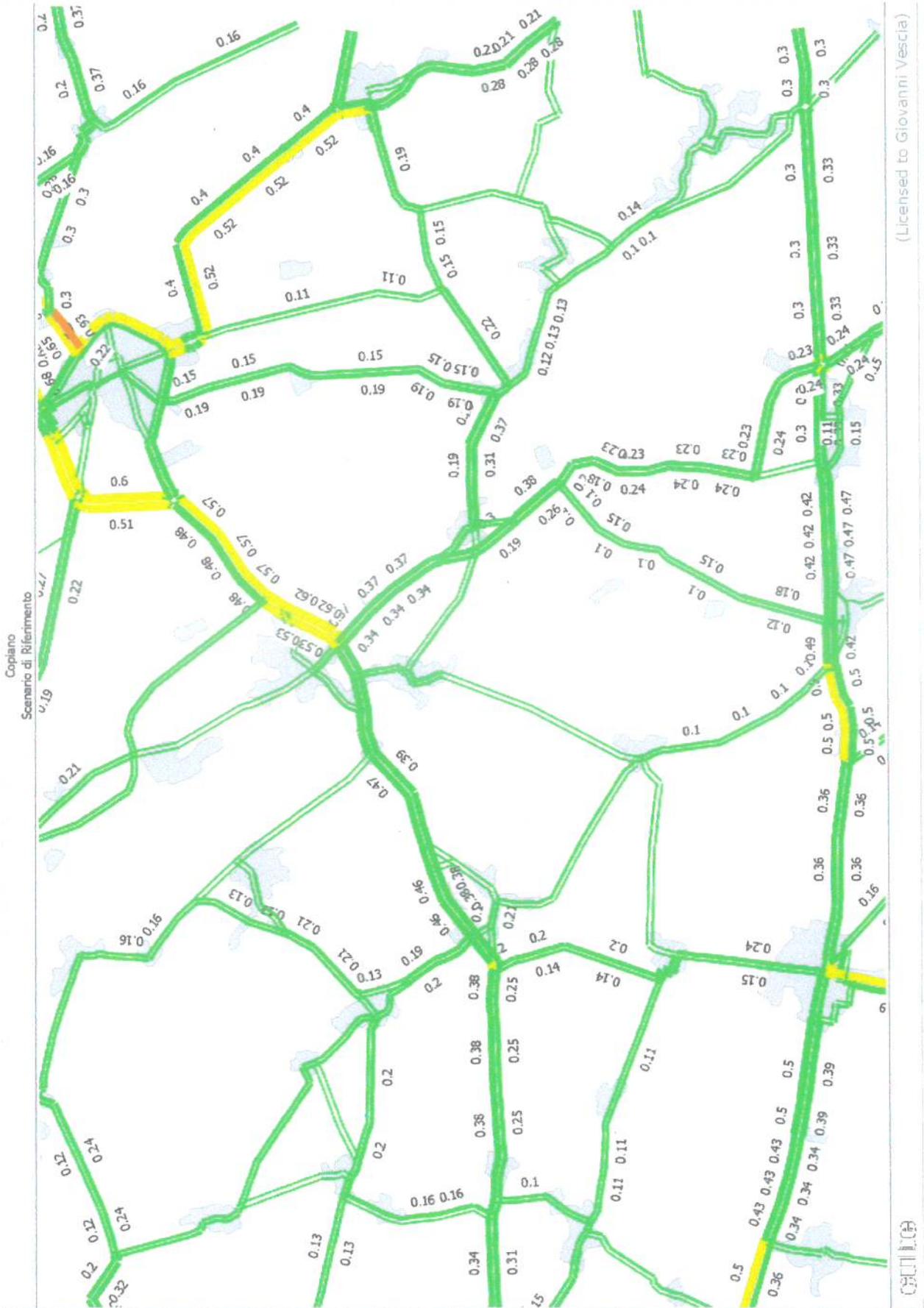


Figura 58 – Flussogrammi Scenario di Riferimento – HPM – area studio

4 QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE E AMBIENTALE

Il primo passo, necessario per valutare la compatibilità del progetto con l'assetto viario più efficace ed adeguato per soddisfare la domanda di mobilità complessiva, è quello di quantificare i movimenti potenzialmente attratti/generati dal nuovo insediamento previsto. Questo scenario considera la realizzazione del progetto in essere. Dal punto di vista della domanda, lo scenario di intervento assume i flussi di traffico dello scenario attuale, unitamente a quelli potenzialmente attratti/generati dall'intervento in esame e degli interventi urbanistici che caratterizzano lo scenario programmatico. Dal punto di vista dell'offerta infrastrutturale, si considera la viabilità in essere nel comparto oggetto di analisi implementata con gli interventi progettuali previsti all'interno degli strumenti urbanistici di programmazione territoriale.

I principali processi metodologici rispetto ai quali sono state organizzate le valutazioni effettuate per la caratterizzazione e l'analisi modellistica dello scenario d'intervento possono essere schematizzati come di seguito:

- **l'analisi dell'offerta di trasporto:** effettuata attraverso la descrizione puntuale della rete viabilistica confermine all'area di intervento, la verifica degli accessi al comparto per l'utenza e per i veicoli commerciali;
- **la ricostruzione della domanda futura:** effettuata attraverso la stima dei flussi potenzialmente generati/attratti dal nuovo intervento proposto e la ripartizione di questi sulla rete di trasporto dell'area di studio;
- **le verifiche puntuali delle intersezioni:** effettuata mediante l'utilizzo di apposite metodologie di calcolo, al fine di verificare l'impatto sulla rete stradale e sulle intersezioni di maggior importanza derivanti dall'attivazione dell'ambito oggetto di analisi.

4.1 ANALISI DELLO SCENARIO DI INTERVENTO

L'ipotesi di intervento formulata dall'operatore in conformità all'attuazione delle previsioni del vigente PGT comunale, prevede la realizzazione di un nuovo complesso a destinazione principale produttiva, da localizzarsi sulle aree di proprietà del proponente, poste in fregio al tracciato della via Vistarino all'interno della zona industriale del comune di Copiano.

La proposta progettuale prevede la realizzazione di un nuovo edificio con destinazione di magazzino ad uso produttivo-spedizioniere con uffici pertinenziali.

Per le esigenze funzionali ed operative connesse con la tipologia dell'attività che sarà insediata nel magazzino, lo stesso sarà dotato di infrastrutture di servizio adeguatamente strutturate. In particolare, piazzali di manovra, parcheggi e viabilità per mezzi pesanti.

Tali infrastrutture, che avranno il fondo carrabile per automezzi pesanti, costituiranno una superficie impermeabile e saranno dimensionate ed organizzate per rendere agevoli le manovre e la sosta di un consistente numero di automezzi di grandi dimensioni verso le baie di carico/scarico.

L'ampiezza delle aree a pertinenza del capannone e della viabilità interna consentiranno, in caso di emergenza, anche l'agevole circolazione dei mezzi antincendio dei VV.F. e la possibilità di raggiungere qualsiasi punto perimetrale del fabbricato all'interno dell'area.

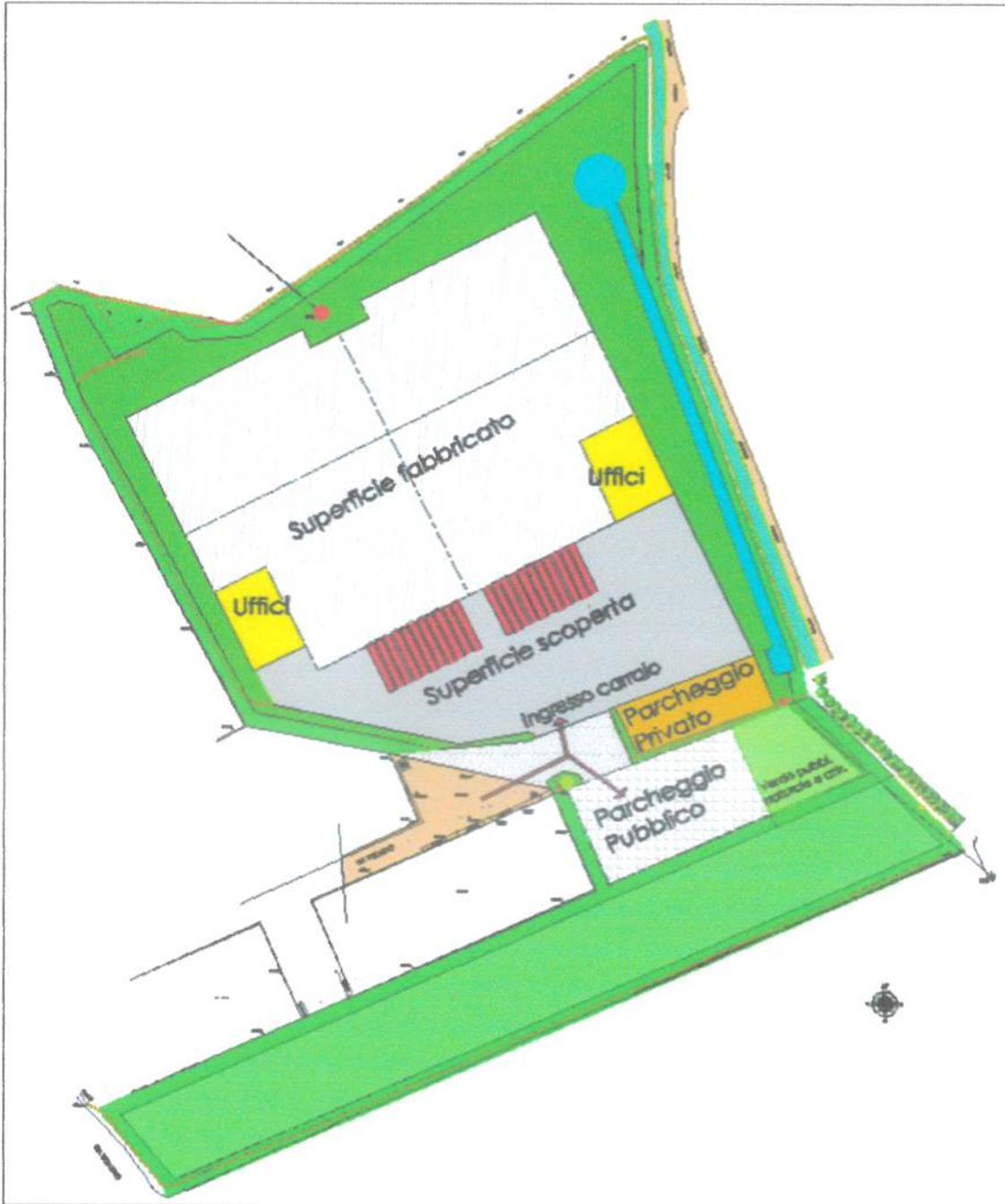


Figura 59 – Inquadramento territoriale - localizzazione area di intervento

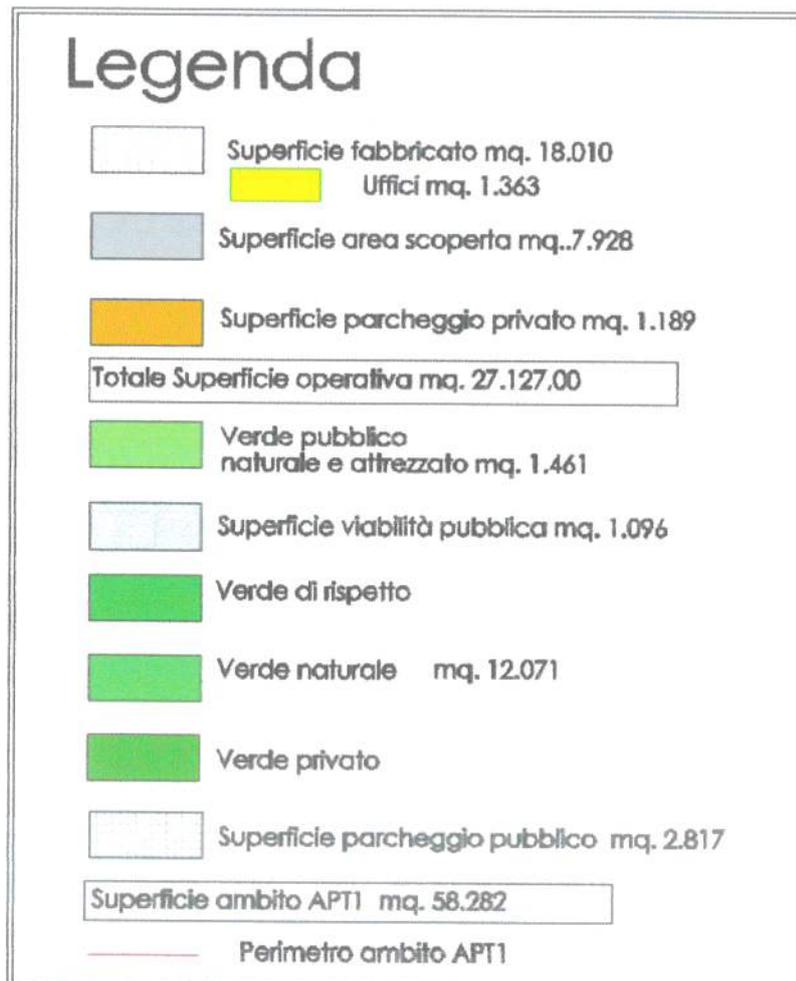


Figura 60 – Dati urbanistici dell'intervento in previsione

L'accesso all'area di intervento avviene dalla Via Vistarino mediante una intersezione a "T" gestita con segnale di stop per i veicoli che si immettono dal comparto verso la via Vistarino. Dalla via Vistarino è possibile immettersi verso la SP235 connessa all'A1 verso est e Pavia verso ovest.

La presente proposta progettuale prevede l'allargamento della via Vistarino con la realizzazione in prossimità dell'attestazione di una doppia corsia per separare le manovre di svolta in destra/dritta, dalla svolta in sinistra verso la SP235 direzione est.

L'intervento progettuale prevede inoltre di inserire una doppia attestazione sulla SP235 da ovest in modo da separare i flussi diretti lungo la SP235 da quelli in svolta a sinistra sulla via Vistarino.



Figura 61 – Assetto infrastrutturale scenario di intervento

Per quanto riguarda i collegamenti con il sistema autostradale l'area di intervento è accessibile direttamente dalla SP235, collegata al casello dell'A1 di Lodi (distante circa 15 km) e dalla SP412 verso est da cui è possibile immettersi sulla A21 attraverso il casello di Castel San Giovanni (distante circa 22 km).



Figura 62 – Collegamento con Casello A1

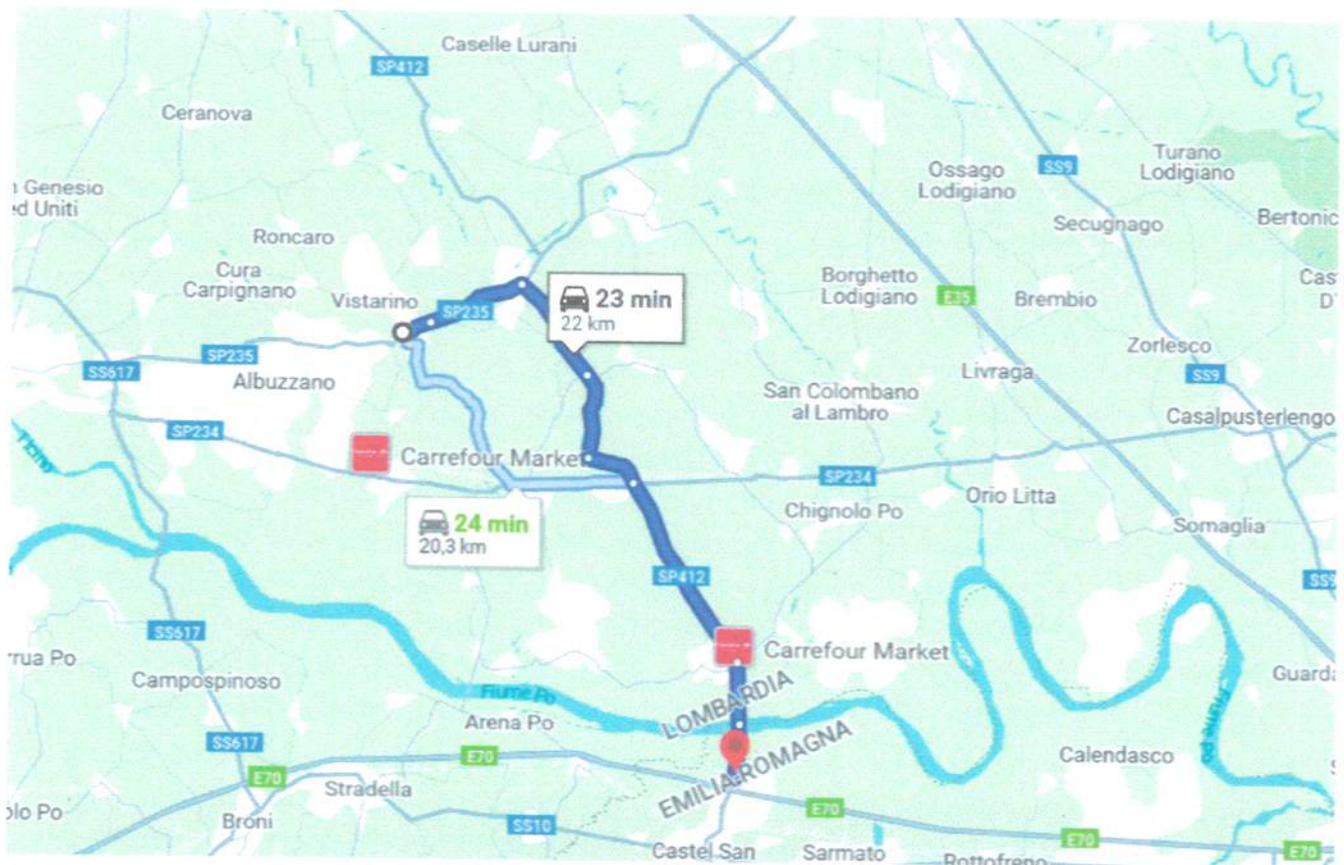


Figura 63 – Collegamento con Casello A21

4.2 STIMA DEL TRAFFICO INDOTTO

La stima delle movimentazioni potenzialmente generate attratte dal nuovo insediamento è stata effettuata partendo dai dati principali, con riferimento al sistema di accessibilità prefigurato e sulla base dei "valori soglia minimi del traffico indotto" riportati nelle Linee guida provinciali.

Si consideri che le piattaforme logistiche, come nel caso ipotizzato, hanno generalmente un funzionamento continuo tra le 6.00 e le 22.00 nei giorni feriali con concentrazione delle movimentazioni nelle ore di morbida; le movimentazioni risultano di minore intensità nelle ore di punta del traffico ordinario, individuabili tra le 7.00 e 9.00 al mattino e tra le 17.00 e le 19.00 alla sera come anche emerso dai risultati delle indagini di traffico. Inoltre, l'orario di lavoro degli addetti ai magazzini è organizzato su più turni (indicativamente 06-14 e 14-22) mentre gli impiegati risultano presenti prevalentemente nei consueti orari di ufficio.

Per quanto detto è da attendersi che il maggiore impatto dovuto alla movimentazione dei mezzi pesanti risulti distribuito su un arco temporale ampio e lontano dalle ore di punta del traffico ordinario. In tali fasce orarie potrebbero concentrarsi gli spostamenti degli impiegati, al mattino diretti verso il posto di lavoro ed alla sera in uscita. Non è prevista la presenza di furgoni per la distribuzione delle merci. Altre presenze giornaliere, riferibili ad esempio a forniture, manutenzioni, guardiania, conferimento rifiuti, ecc..., si prevedono in un numero di limitato di poche unità ed in orari lontani dalle ore di punta individuate.

TIPOLOGIA	MATTINA	POMERIGGIO	SERA
IMPIEGATI (UFFICI)	SI	-	SI
ADETTI MAGAZZINI	-	SI	-
MEZZI PESANTI	SI	SI	SI

Tabella 81 – Movimentazioni indotte dal nuovo insediamento nelle diverse fasce orarie considerate

Per impiegati e addetti si ipotizza, ponendosi nelle condizioni più sfavorevoli, che non vi sia un utilizzo di modalità di trasporto alternative all'automobile (TPL, navette, bici, moto, sharing, ecc..). Si tratta di una ipotesi irrealistica utilizzata ai soli fini delle verifiche di traffico per sollecitare maggiormente la rete stradale interessata.

Per gli spostamenti degli impiegati si è utilizzato un parametro di generazione in base alle SLP (pari a 50 mq per impiegato), un coefficiente di riempimento veicolare medio pari a 1,2 (6 persone ogni 5 auto), ed una concentrazione degli arrivi e delle partenze pari al 75% nella sola ora di punta, in ingresso al mattino ed in uscita alla sera. Sulla base di tali parametri si stimano 27 impiegati corrispondenti a +17 veicoli in ingresso al comparto nell'ora di punta del mattino e +17 veicoli in uscita alla sera.

PARAMETRI - IMPIEGATI	DATI
mq di SLP UFFICI (Ipotesi progettuale)	1363
mq di SLP per impiegato	50
n. impiegati	27
ripartizione modale (uso automobile)	100%
coefficiente di riempimento per veicolo	1.2
n. auto al giorno	23
n. viaggi al giorno (a/r)	45
% movimentazioni nell'ora di punta	75%
ripartizione ingressi/uscite	100%-0%
spostamenti veicolari indotti ora di punta	17

Tabella 82 – Spostamenti uffici edificio in previsione

Per gli addetti ai magazzini, si stima un numero di addetti pari a 1 addetto ogni 250 mq di SLP dei magazzini per un totale di 72 addetti per turno, con un coefficiente di riempimento veicolare medio pari a 1,5 (3 addetti ogni 2 auto), senza utilizzo di modalità alternative di trasporto (TPL, navette, bici, moto, ecc.), con una articolazione su più turni ed una maggiore concentrazione degli spostamenti in corrispondenza del cambio turno pomeridiano.

PARAMETRI - ADDETTI	DATI
mq di SLP per addetto	250
n. addetti per turno	72
n. turni	2
ripartizione modale (uso automobile)	100%
coefficiente di riempimento per veicolo	1.5
n. auto per turno	48
n. auto al giorno	96
n. viaggi al giorno (a/r)	192
% movimentazioni nel cambio turno	90%
ripartizione ingressi/uscite	50%-50%
spostamenti veicolari indotti ora cambio turno	86

Tabella 83 – Spostamenti addetti magazzino – edificio in previsione

I parametri utilizzati per la stima degli spostamenti sistematici degli addetti sono da ritenersi prudenziali anche in ragione di quanto riportato nei dati sulla mobilità regionale, desumibili dal Piano Regionale della Mobilità e dei Trasporti (PRMT), che mostrano:

- una concentrazione massima degli spostamenti giornalieri totali pari al 15% nell'ora di punta;
- una concentrazione degli spostamenti sistematici inferiore al 45% nell'ora di punta;
- un utilizzo dell'automobile (conducente o passeggero) mediamente pari al 62%.

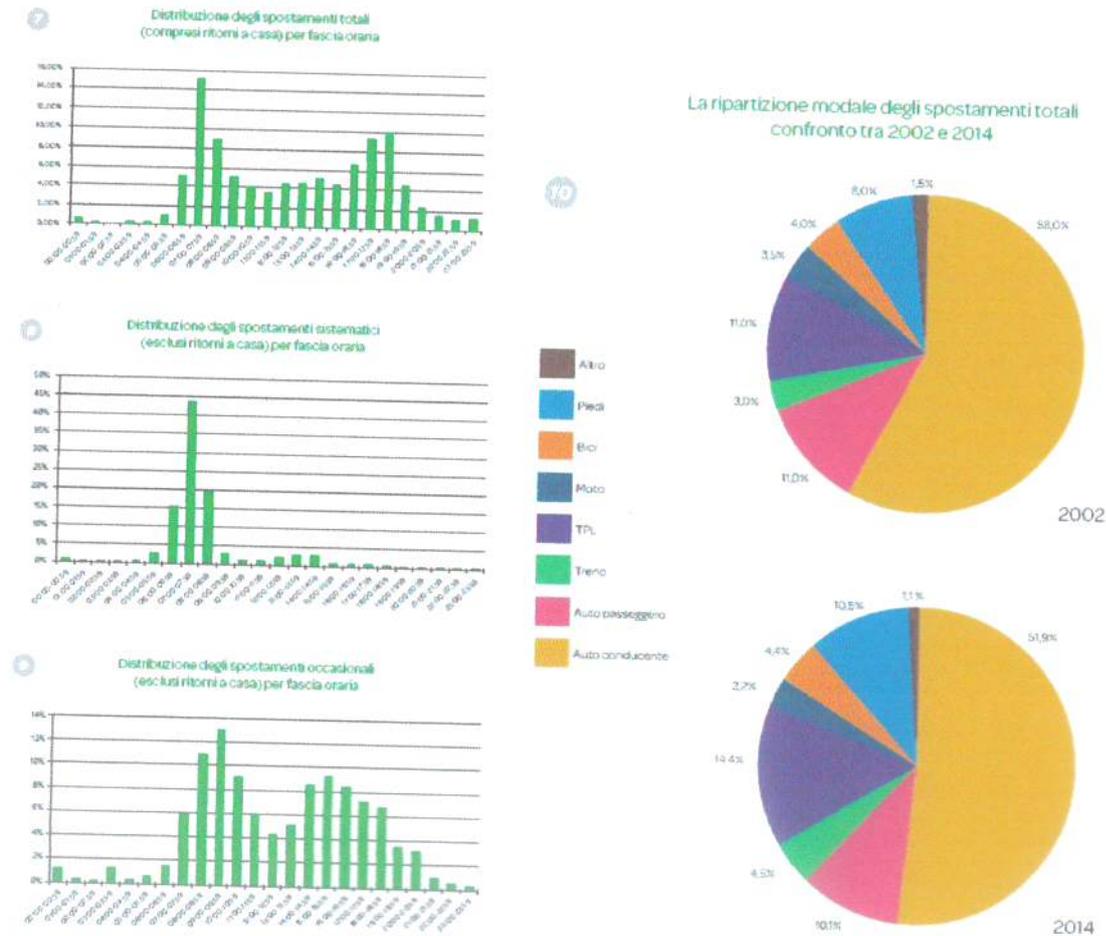


Figura 64 – Estratto del PRMT, dati sulla mobilità regionale

Per i mezzi pesanti, sulla base dei parametri delle Linee guida provinciali, il traffico giornaliero indotto è da calcolarsi secondo le seguenti formule:

- Traffico Giornaliero Indotto Pesante pari a $6 \times m_q \text{ sup. operativa} / 1.000$ di cui 50% in ingresso e 50% in uscita;
- Traffico Ora di punta Indotto Pesante pari al 10% del Traffico Giornaliero Indotto Pesante di cui 50% in ingresso e 50% in uscita.

La superficie operativa da considerare deve essere pari o maggiore della SLP. Nel caso specifico, prudenzialmente, si è considerata la condizione più sfavorevole con il valore della SO stimata pari a 27.127,00 mq. Nella realtà saranno da attendersi flussi giornalieri massimi di mezzi pesanti nell'ordine della metà di quelli risultanti secondo i parametri delle Linee guida provinciali

Per quanto detto, ai fini delle verifiche di traffico si stimano 163 viaggi a/r di mezzi pesanti pari a 16 viaggi nelle ore di punta considerate cui corrispondono circa 8 mezzi in ingresso e 8 mezzi in uscita.

In termini di veicoli equivalenti si stimano +40 vph eq complessivi, di cui +20 spostamenti in ingresso e +20 spostamenti in uscita generati dai mezzi pesanti nelle ore di punta e che si affidano alla rete limitrofa per l'accessibilità al comparto. Alcuni valori possono variare di +/-1 unità per gli arrotondamenti derivanti dal metodo di calcolo.

PARAMETRI - MEZZI PESANTI	DATI
superficie operativa	27127
TGM pesanti (6*s.o./1000) - viaggi a/r	163
% viaggi ora di punta	10%
n. viaggi ora di punta	16
ripartizione ingressi/uscite	50%-50%
coefficiente di equivalenza	2.5
vph equivalenti nell'ora di punta (viaggi a/r)	41

Tabella 84 - Parametri per la stima della movimentazione dei mezzi pesanti nelle ore di punta

E' ipotizzabile che una parte dei nuovi flussi veicolari derivi dal trasferimento da attività esistenti o di traffico che già insiste sulla rete analizzata e che, pertanto, si possa considerare una quota di flussi di traffico già presente lungo la rete stradale. Ponendosi nelle condizioni più sfavorevoli non sono state considerate quote di trasferimento e riduzione dal traffico esistente: tutto il traffico generato/attratto dal nuovo ipotetico insediamento è stato considerato come nuovo traffico aggiuntivo sulla rete.

Nelle tabelle seguenti si riepilogano i dati delle stime effettuate: si stimano +58 vph eq aggiuntivi nell'ora di punta del mattino e della sera e +127 vph eq aggiuntivi nella fascia pomeridiana del cambio turno.

TIPOLOGIA	MATTINA	POMERIGGIO	SERA
IMPIEGATI (UFFICI) A+B	17	0	17
ADETTI AI MAGAZZINI A+B	0	86	0
MEZZI PESANTI (vph eq) A+B	41	41	41
TOTALE (vph eq)	58	127	58

Tabella 85 - Stima dei flussi veicolari indotti nelle diverse fasce orarie considerate (vph totali)

Sulla base dei flussi di traffico rilevati allo stato di fatto, l'ora potenzialmente più critica per la circolazione nell'ambito esaminato risulta l'ora di punta del mattino e, pertanto, in tale fascia oraria verranno effettuate le verifiche di traffico tramite modelli di simulazione di rete (macro e micro).

Relativamente alle direttrici di accesso/uscita dal nuovo intervento in previsione, si assume per i veicoli leggeri una distribuzione paritetica sulle diverse direttrici di accesso al comparto mentre per i mezzi pesanti, per gli AT che insistono sulla SP235 si assume una maggior concentrazione dei flussi verso il Casello di Lodi (80%) rispetto al Casello dell'A21 (20%). Analogamente per gli AT che insistono sulla SP234 si assume un maggior afflusso verso il Casello di Ospedaletto Lodigiano (70%) rispetto al Casello dell'A21 (30%).

Pesanti	IN	OUT
EST - casello Lodi A1	80%	80%
EST - casello Ospedaletto A1	0%	0%
SUD - Casello Castel San Giovanni A21	20%	20%
OVEST - Pavia	0%	0%
NORD - SS412	0%	0%

Tabella 86 - Distribuzione mezzi pesanti per gli AT in prossimità dello SP235

Pesanti	IN	OUT
EST - casello Lodi A1	0%	0%
EST - casello Ospedaletto A1	70%	70%
SUD - Casello Castel San Giovanni A21	30%	30%
OVEST - Pavia	0%	0%
NORD - SS412	0%	0%

Tabella 87 - Distribuzione mezzi pesanti per gli AT in prossimità della SP234

4.2.1 RISULTATI MODELLO DI ASSEGNAZIONE SCENARIO PROGETTUALE

Di seguito si riporta il diagramma di carico su ciascun arco stradale della rete di trasporto mediante una visualizzazione basata sia sulla scala cromatica (in range di colori in ragione del volume di spostamenti presenti sull'arco) sia, all'interno di tale scala cromatica, in termini di spessore della singola banda, direttamente proporzionale all'entità del flusso presente sull'arco.

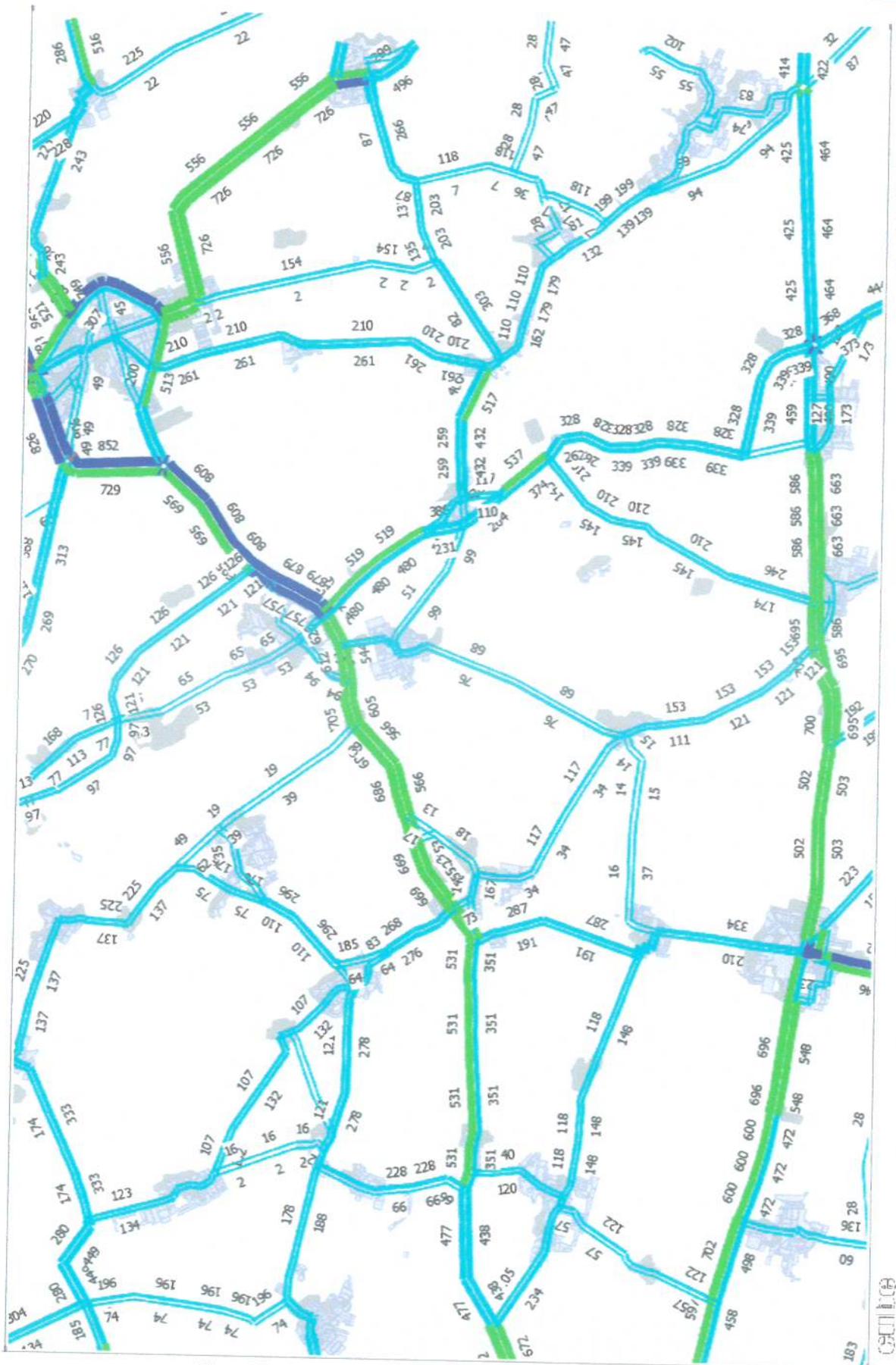
Le immagini seguenti riportano i flussogrammi relativi allo scenario programmatico. La rappresentazione fornita, relativa all'ora di punta del mattino ed in termini di flussi veicolari equivalenti, si basa su 4 range di valori:

-  archi con traffico inferiore a 500 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico compreso tra 500 e 750 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico compreso tra 750 e 1.000 veicoli eq./ora;
-  archi con traffico maggiore di 1.000 veicoli eq./ora.

Analogamente la rappresentazione relativa al rapporto Flusso - Capacità per l'ora di punta del mattino, si basa su 4 range di valori:

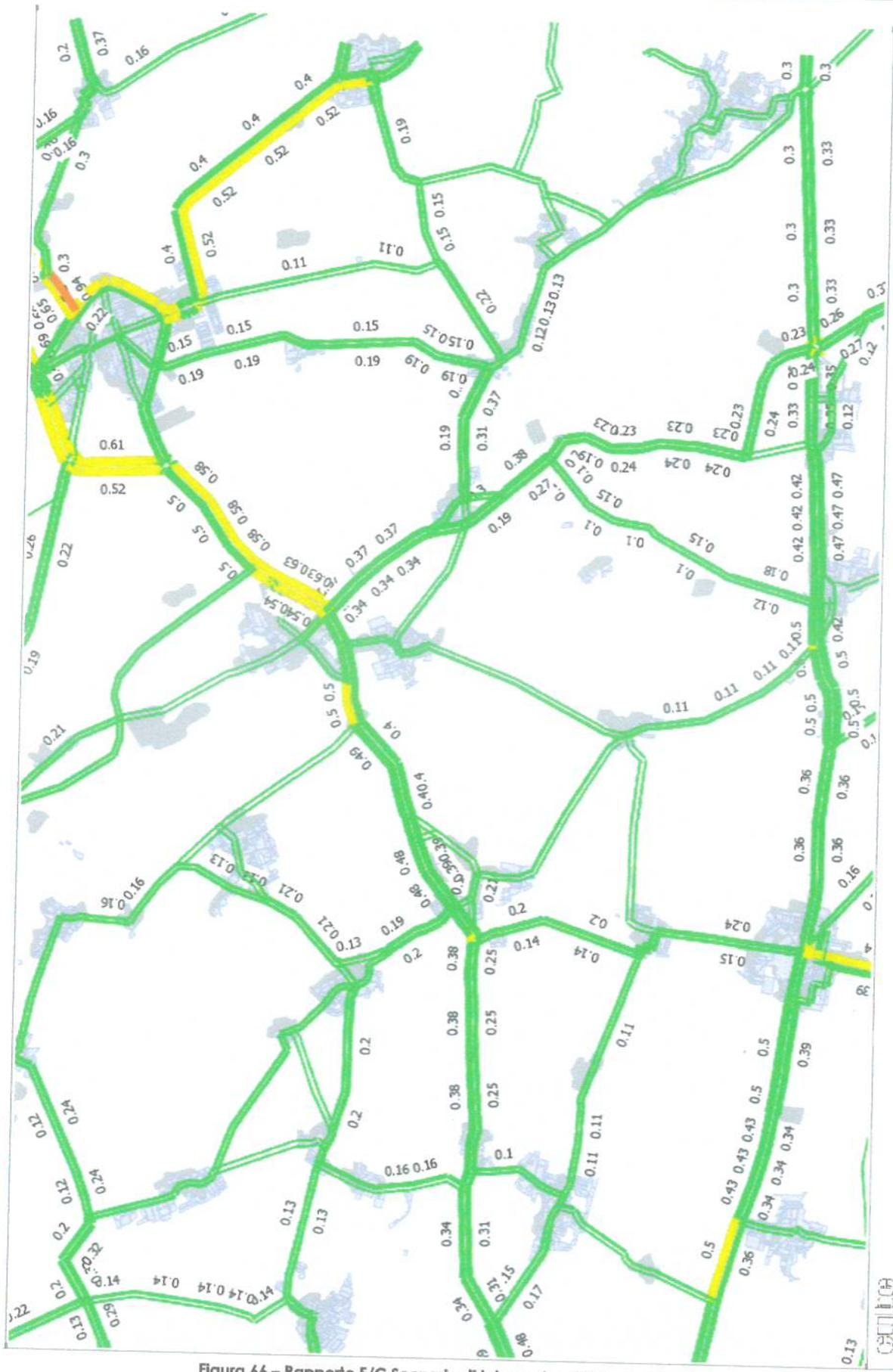
-  archi con F/C inferiore a 0.5;
-  archi con F/C compreso tra 0.5 e 0.75;
-  archi con F/C compreso tra 0.75 e 1;
-  archi con F/C maggiore di 1.

E' possibile anticipare che nello scenario di progetto, anche con l'incremento del traffico generato ed attratto dall'intervento in previsione, i livelli di servizio risultano sostanzialmente invariati rispetto allo scenario di riferimento con rapporti F/C che non superano 0,25 sulla rete locale e 0,60/0.70 sulla rete principale.



(Licensed to Giovanni Vescia)

Figura 65 - Flussogrammi Scenario di Intervento - HPM - area vasta



(Licensed to Giovanni Vescia)

Figura 66 - Rapporto F/C Scenario di Intervento - HPM - area vasta

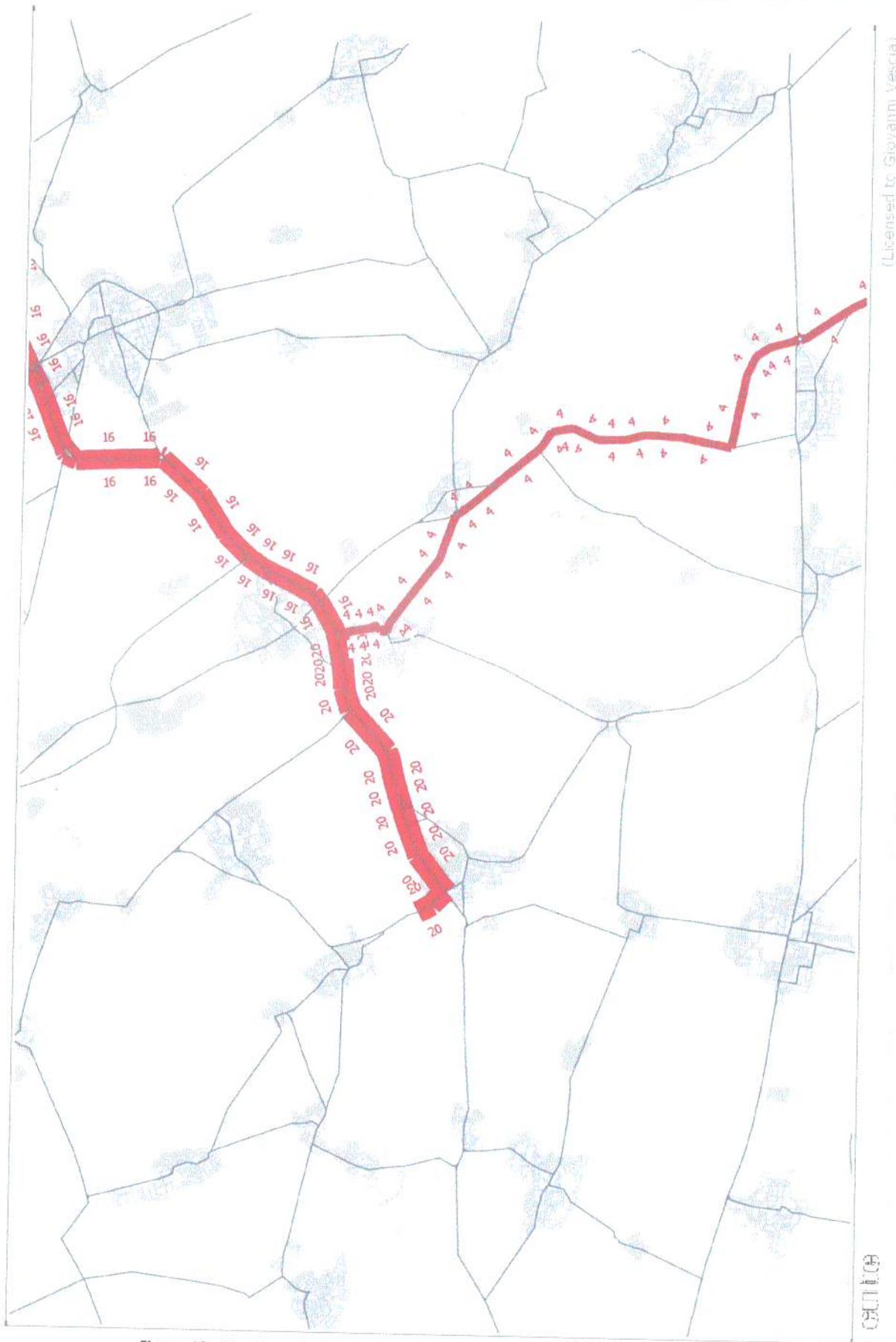


Figura 68 – Flussi aggiuntivi in Ingresso all'area di intervento – HPM – mezzi Pesanti

Dall'analisi si evince come l'attivazione della presente proposta progettuale non determinerà nessuna interferenza e nessun incremento di traffico sulla viabilità locale (in particolare per la componente di veicoli pesanti), in quanto i mezzi pesanti a servizio del nuovo intervento Logistico utilizzeranno la viabilità principale rappresentata dalla SP235 e dalla SP412 direttamente collegata al Casello dell'A21 di Castel San Giovanni, pertanto il loro impatto sulle aree residenziali circostanti dell'abitato di Copiano e dei comuni confinanti è pressoché nullo come anche dimostrato dal flussogramma rappresentativo dell'indotto veicolare generato dall'intervento in previsione.

5 3.4 FASE DI CANTIERE

In questa fase progettuale è possibile ipotizzare le fasi principali e la relativa durata, stimandone le movimentazioni attese, come riepilogato nella seguente tabella. Si stima una durata del cantiere pari a circa 11 mesi. Un affinamento maggiore verrà sviluppato nelle successive fasi progettuali.

La descrizione delle fasi e la loro durata è riportati nel diagramma seguente:



Figura 69 – Fasi e durata del cantiere – ipotesi progettuale

Per le diverse fasi individuate si può stimare il seguente numero di mezzi:

- mezzi fissi in cantiere per circa 11 mesi:
 - n. 2 lame cingolate;
 - n. 3 escavatori da 250 q.li;
 - n. 3 dumper articolati;
 - n.1 moto grader;
 - n. 2 autogru per montaggio prefabbricati;
 - n. 1 trattore con lama livellatrice;
 - n. 25 piattaforme aeree;
- mezzi in movimentazione sul cantiere:
 - n. 10 camion al giorno per circa 6 mesi;
 - n. 2.000 Betoniere (pari a circa 10 betoniere giorno).

La maggiore movimentazione di mezzi pesanti si avrà nella fase iniziale con circa 10/15 mezzi pesanti al giorno. Il maggior numero di mezzi leggeri (auto e furgoni) è invece atteso nelle fasi finali di completamento degli interni e degli esterni con circa 40/50 mezzi al giorno. In termini di veicoli equivalenti la fase con maggiori movimentazioni risulta quella del completamento degli interni in cui è possibile stimare circa 100/120 veq al giorno che verranno distribuiti su tutto l'arco della giornata in base al dettaglio delle lavorazioni necessarie e che avranno un impatto marginale sul traffico che attualmente interessa la viabilità interessata.

La vicinanza alla rete principale e autostradale consentirà inoltre di minimizzare gli impatti ed i percorsi lungo la viabilità ordinaria.

6 ANALISI MICROMODELLISTICHE

Sulla base delle risultanze emerse nei paragrafi precedenti, la verifica dei livelli di servizio delle rampe e delle zone di scambio che caratterizzano le soluzioni progettuali proposte sono state effettuate anche mediante un modello di **microsimulazione dinamica** utilizzando il pacchetto software Aimsun.

Il modello di car following implementato da AIMSUN è basato sul modello di Gipps. I parametri del modello di Gipps non sono globali, ma influenzati dai parametri locali che dipendono dal "tipo di guida" (limite di velocità accettato dal veicolo), dalla geometria della sezione, dalle interferenze con i veicoli che si muovono sulle corsie adiacenti, ecc. Esso consta di due componenti principali, accelerazione e decelerazioni. La prima è associata all'intenzione del veicolo di raggiungere la velocità desiderata, la seconda, invece, alle limitazioni imposte al veicolo che cerca di procedere a tale velocità.

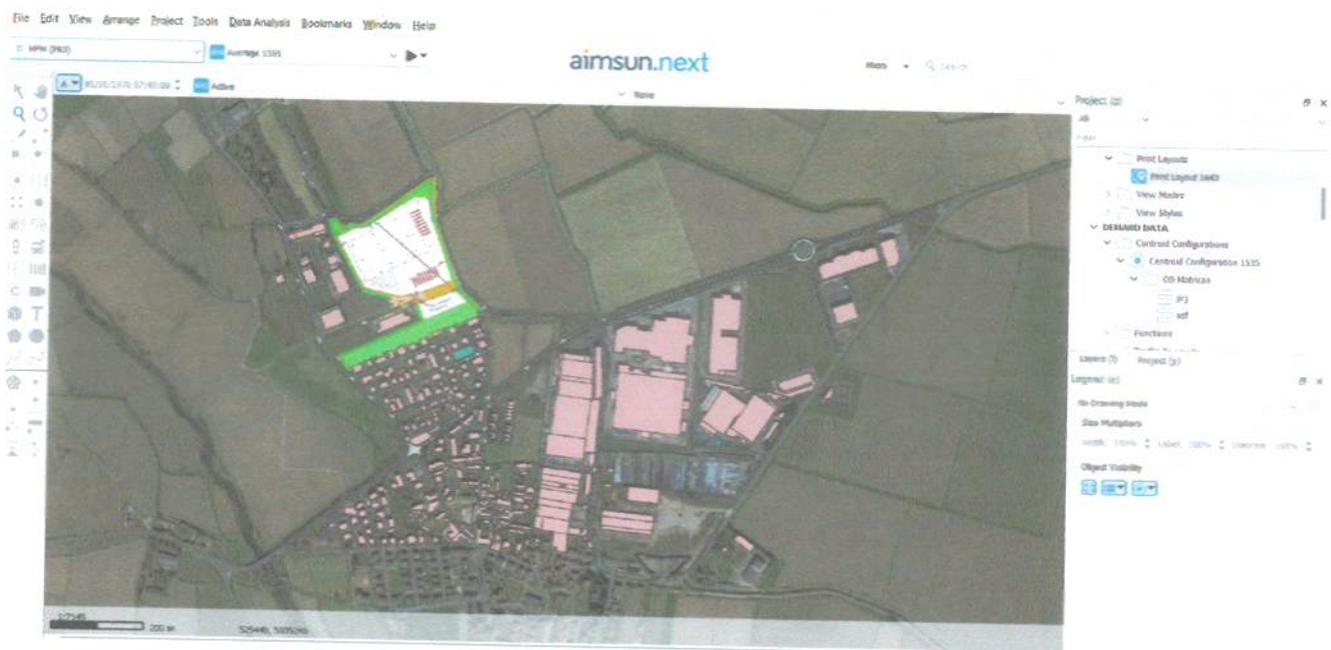


Figura 70 – Modello micro in ambiente Aimsun – area di studio

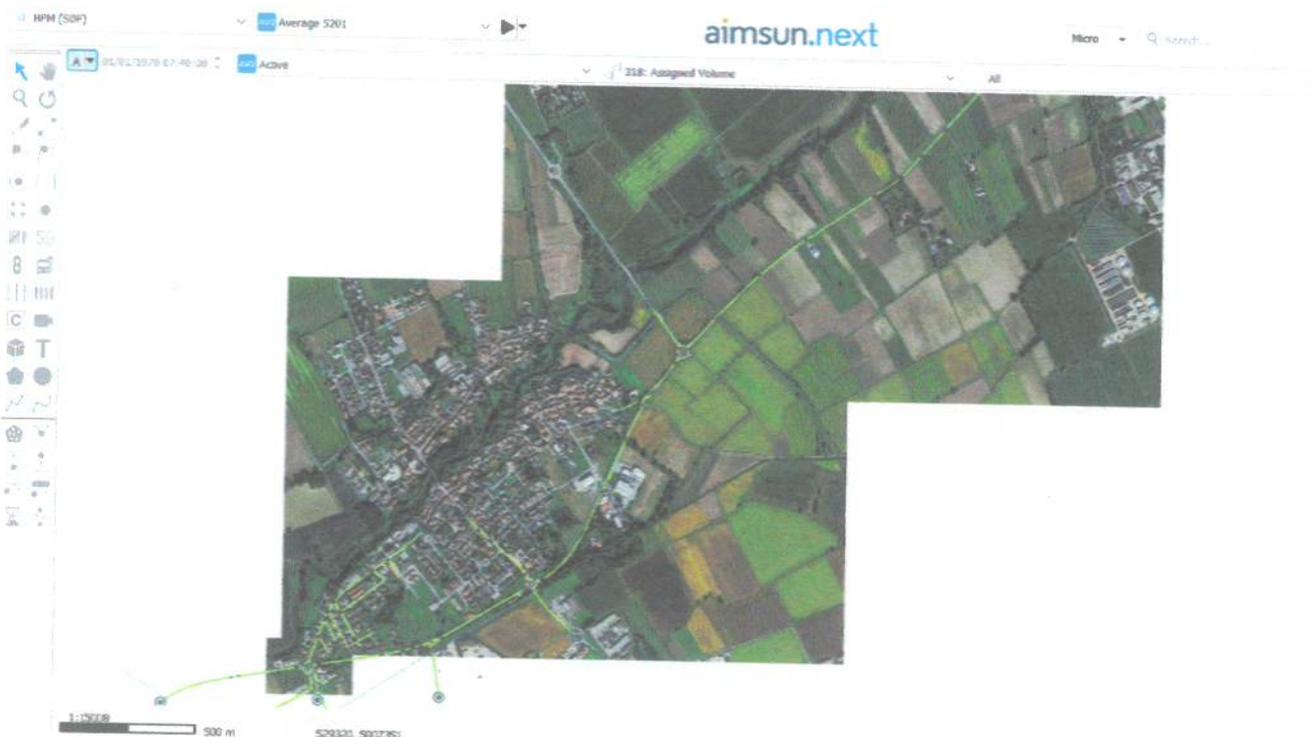


Figura 71 – Modello micro in ambiente Aimsun – area vasta

Al fine di descrivere in modo oggettivo gli scenari di valutazione analizzati, si è proceduto attraverso il calcolo di una serie di indicatori caratteristici del regime di circolazione registrato.

I parametri di valutazione viabilistica sono espressi in termini di: lunghezza massima degli incolonnamenti registrati, ritardo medio veicolare e livello di servizio al nodo, secondo quanto prescritto dall'Highway Capacity Manual.

Le **intersezioni non semaforizzate**, sono percepite con maggior incertezza da parte degli utenti rispetto alle intersezioni semaforizzate, poiché il ritardo è meno determinabile e questo può ridurre la tolleranza degli utenti rispetto ai tempi di attesa. In questa categoria vengono considerate anche le **intersezioni a rotatoria** che secondo l'HCM, sono dotate di una procedura di calcolo dei ritardi molto simile a quella utilizzata nelle intersezioni a due e più braccia:

- LOS A: racchiude le situazioni con bassissimi ritardi, cioè minori di 10 sec. per veicolo ed una riserva di capacità superiore ai 400 veicoli/ora;
- LOS B: caratterizzato da tempi di attesa ancora molto bassi compresi tra i 10 e i 15 sec. per veicolo ed una riserva di capacità compresa tra i 300 e i 400 veicoli/ora;
- LOS C: descrive le situazioni con ritardo medio crescente e compreso tra 15 e 25 sec. per veicolo. Il numero di veicoli che si fermano è significativo sebbene molti di essi possano ancora transitare per l'intersezione senza arrestarsi;
- LOS D: comprende tempi di attesa compresi tra 25 e 35 sec/veicolo. Gli utenti cominciano ad avvertire gli effetti della congestione;
- LOS E: caratterizzato da ritardi variabili tra i 35 e 50 sec/veicolo e dotato di una riserva di capacità molto bassa con valori al di sotto di 100 veicoli/ora;
- LOS F: comprende tempi di attesa per maggiori di 50 sec/veicolo. Si verificano situazioni in cui i flussi di traffico superano la capacità della corsia, si evidenziano notevoli ritardi e accodamenti in grado di produrre condizioni critiche di congestione. In questo livello si possono anche verificare problemi relativi alla sicurezza dovuti ai comportamenti dei veicoli sulla strada secondaria che scelgono tempi di immissione inferiori a quelli critici.

Di seguito si riporta la tabella dei livelli di servizio validi sia per le intersezioni non semaforizzate che per le rotatorie.

Intersezioni NON Semaforizzate e Rotatorie	
LOS	Perditempo [sec]
A	< 10
B	10 - 15
C	15 - 25
D	25 - 35
E	35 - 50
F	> 50

Tabella 88 - LOS Intersezioni Non Semaforizzate e Rotatorie - Fonte HCM

Intersezioni Semaforizzate	
LOS	Perditempo [sec]
A	< 10
B	10 - 20
C	20 - 35
D	35 - 55
E	55 - 80
F	> 80

Tabella 89 - LOS Intersezioni Semaforizzate - Fonte HCM

6.1 RISULTATI MODELLO DI SIMULAZIONE – AREA DI STUDIO

Nei paragrafi successivi vengono riportati i risultati del modello di micro simulazione per lo Scenario di Intervento, riferito all'ora di punta precedentemente individuata, con particolare attenzione ai valori di **perditempo** registrati in ingresso per ogni ramo delle intersezioni analizzate e, di conseguenza, i **livelli di servizio**.

I dati ottenuti derivano da un'assegnazione in modalità multirun (5 iterazioni): in questo modo, il modello esegue l'assegnazione più volte variando i parametri stocastici che caratterizzano gli algoritmi con cui i veicoli vengono immessi sulla rete oggetto di analisi.

I risultati sono quindi rappresentativi di un set di fenomeni dovuti alle mutue combinazioni delle influenze tra i veicoli e dei comportamenti di guida dei loro conducenti (ottenute attraverso la componente stocastica dell'algoritmo) che possono verificarsi nello scenario reale e rappresentativi delle probabili condizioni che possono verificarsi sulla rete.

6.1.1 ANALISI SCENARIO ATTUALE

Le immagini seguenti riportano i risultati delle simulazioni per lo scenario attuale considerando i flussi assegnati all'interno del software Aimsun, la densità veicolare e il ritardo medio veicolare sulla rete stradale oggetto di analisi.

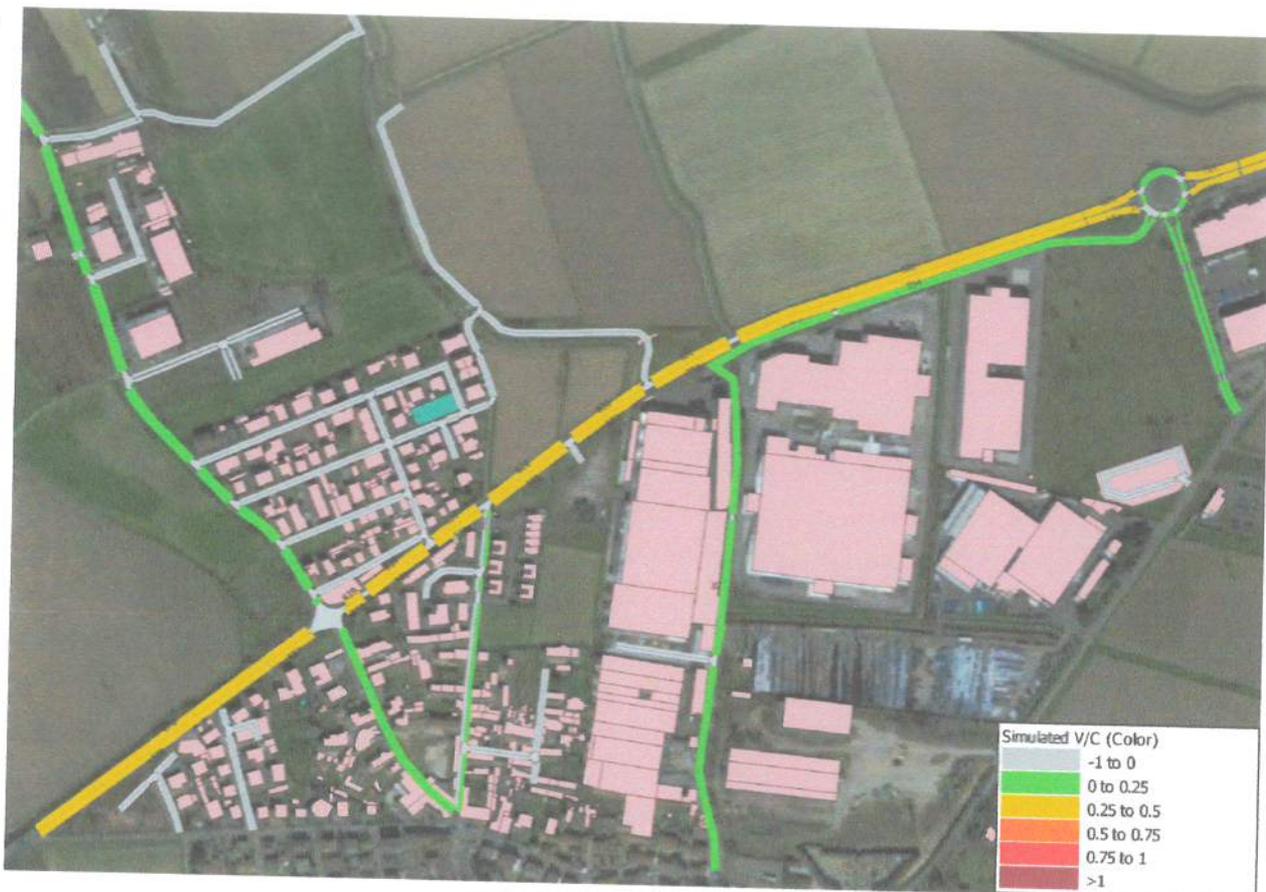


Figura 72 – Scenario attuale: F/C



Figura 73 – Scenario attuale: densità rete stradale area di studio



Figura 74 – Scenario attuale: perditempo medio veicolare rete stradale area di studio

6.1.1 ANALISI SCENARIO DI PROGETTO

Lo scenario di progetto è stato analizzato assumendo l'ipotesi progettuale di riqualificazione dell'intersezione tra la via Vistarino e la SP235; l'intervento prevede l'allargamento della via Vistarino con la realizzazione in prossimità dell'attestazione di una doppia corsia per separare le manovre di svolta in destra/dritto, dalla svolta in sinistra verso la SP235 direzione est; l'intervento progettuale prevede inoltre una doppia attestazione sulla SP235 da ovest in modo da separare i flussi diretti lungo la SP235 da quelli in svolta a sinistra sulla via Vistarino.



Figura 75 – Assetto infrastrutturale scenario di intervento

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni per i due scenari considerati.



Figura 76 – Scenario di progetto: F/C



Figura 77 – Scenario di progetto: densità rete stradale area di studio



Figura 78 – Scenario di progetto: perditempo medio veicolare rete stradale area di studio

Di seguito si riportano invece il dettaglio dei risultati delle simulazioni sulle seguenti intersezioni stradali oltre alla viabilità di ingresso/uscita dal comparto in progetto:

- Intersezione 1 – Sp235/SP9;
- Rotatoria 2 – SP235/strada della Pieve.



Figura 079 – Intersezioni analizzate