



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Mims

Ministero delle infrastrutture  
e della mobilità sostenibili



Regione  
Lombardia



SOGGETTO ATTUATORE DI PRIMO LIVELLO:



BERGAMO

CITTÀ DEI MILLE

COMUNE DI BERGAMO

Piazza Giacomo Matteotti, 27 - 24122 Bergamo (BG)

SOGGETTO ATTUATORE DI SECONDO LIVELLO:



ATB Mobilità S.p.A.  
Via Gleno, 13 - 24125 Bergamo - (BG)

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. C. Rita Donato



SUPPORTO AL RUP  
Dott. Ing. Sergio Minotti

# PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO

REDATTO AI SENSI DELLE LINEE GUIDA MIMS DI LUGLIO 2021 - OPERA FINANZIATA DAL PNRR

Progettista:



Via A. Mazzi, 32 - 24018 Villa d'Almè - (BG)  
T. +39 035/ 63 13 111 F. +39 035/ 54 50 66  
info@etseng.it - www.etseng.it

Sistema di Gestione Integrato certificato  
UNI EN ISO 9001 - UNI ISO 45001 - UNI EN ISO 14001 - SA 8000  
Sistema di Gestione BIM conforme UNI PdR 74:2019

Studi trasportistici:



Via Lovanio, 8 - 20121 Milano

Analisi Costi Benefici:



Via dei Caniana, 2 - 24127 Bergamo

Titolo elaborato:

**STUDI ED INDAGINI  
Studio trasportistico  
Analisi trasportistica e valutazione  
della domanda**

Numero elaborato

**RT01**

Scala: -

Commessa: 0199-2021

Redatto	Verificato	Approvato D.T.	Descrizione	Data	Rev.
Espita	Vacca	Deponte	Emissione	Novembre 2022	00

## INDICE

<b>SOMMARIO.....</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>9</b>
<b>2 SCENARIO STATO DI FATTO.....</b>	<b>11</b>
2.1 PREMESSA .....	11
2.2 IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE PTV VISUM .....	13
2.3 CAMPAGNA D'INDAGINE .....	15
2.3.1 Premessa .....	15
2.3.2 Indagine per il Trasporto Privato nell'area di Bergamo .....	15
2.3.3 Conteggi automatici .....	19
2.3.4 Conteggi manuali.....	25
2.3.5 Indagini al cordone .....	27
2.3.6 Integrazione dati di traffico tramite indagini in ambito urbano .....	28
2.3.7 Indagini sul trasporto pubblico.....	30
2.4 MODELLO DI OFFERTA.....	31
2.4.1 La rete del trasporto privato .....	31
2.4.2 Sistema di trasporto pubblico.....	35
2.5 MODELLO DI DOMANDA.....	38
2.5.1 La matrice OD della Regione Lombardia.....	38
2.5.2 Zonizzazione.....	42
2.5.3 La matrice traffico privato – auto .....	44
2.5.4 La matrice traffico privato - mezzi pesanti .....	46
2.5.5 La matrice del Trasporto Pubblico .....	47
2.5.6 Stima delle matrici .....	48
2.6 IL MODELLO DI RIPARTIZIONE MODALE .....	50
2.7 ASSEGNAZIONE E CALIBRAZIONE.....	52
2.7.1 Parametri dell'assegnazione .....	52
2.7.2 Indici di calibrazione.....	55
2.7.3 Risultanze e indicatori trasportistici.....	57
2.8 SCENARIO 2018.....	60
<b>3 PREVISIONE DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ AGLI SCENARI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>62</b>
3.1 PREMESSA .....	62
3.2 STIMA DELLA POPOLAZIONE FUTURA .....	62
3.3 STIMA DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ FUTURA .....	64
<b>4 SCENARIO 2026 .....</b>	<b>65</b>
4.1 OFFERTA INFRASTRUTTURALE .....	65
4.2 INTERVENTI TRASPORTO PUBBLICO .....	67

---

4.2.1	Interventi progettuali .....	68
4.3	SCENARIO DI RIFERIMENTO.....	73
4.4	SCENARIO DI PROGETTO .....	75
<b>5</b>	<b>SCENARIO 2036 .....</b>	<b>81</b>
5.1	OFFERTA INFRASTRUTTURALE .....	81
5.2	INTERVENTI TRASPORTO PUBBLICO.....	82
5.3	SCENARIO DI RIFERIMENTO.....	83
5.4	SCENARIO DI PROGETTO .....	86
<b>6</b>	<b>SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI E NOTE SULLA COMPILAZIONE DELLE TABELLE MINISTERIALI .....</b>	<b>90</b>
6.1	SINTESI RISULTATI .....	90
6.2	NOTE SULLA COMPILAZIONE DELLE TABELLE MINISTERIALI.....	92
6.2.1	Tabella 3.1 – Mobilità e rete TPL.....	92

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 1 Il software PTV Vlsum .....	13
Figura 2 Localizzazione sezioni di rilievo .....	19
Figura 3 Radar Techtronic Compact-1000 JR Portatile .....	20
Figura 4 Unità NC-97 e pedana protettiva in elastomero poliuretanico .....	22
Figura 5 Specifiche tecniche e posizionamento “raddoppiato” dei contatori/analizzatori su strada a 2 corsie, 1 per senso di marcia (4 NC-97) .....	23
Figura 6 Caratteristiche del sistema di rilevamento MIOVISION.....	25
Figura 7 Esempio di scheda di rilievo del traffico veicolare.....	26
Figura 8 Localizzazione conteggi aggiuntivi (settembre 2018).....	29
Figura 9 Estratto database rilievi TPL extraurbano .....	30
Figura 10 Dati cartografici da fonte OpenStreetM.....	32
Figura 11 Catasto delle Strade (SIGI - Comune di Bergamo) .....	33
Figura 12 Classifica funzionale della rete stradale implementata nel modello di simulazione.....	33
Figura 13 Classifica funzionale della rete stradale implementata nel modello di simulazione – Area urbana di Bergamo .....	34
Figura 14 Linee Urbane implementate nel modello di simulazione (da GTFS) .....	35
Figura 15 Linee Extraurbane implementate nel modello di simulazione. ....	36
Figura 16 Linee Extraurbane nell'area di intervento.....	36
Figura 17 Matrice giornaliera AUTO .....	40
Figura 18 Matrice giornaliera MOTO.....	40
Figura 19 Matrice giornaliera FERRO.....	40
Figura 20 Matrice giornaliera GOMMA .....	41
Figura 21 Matrice giornaliera BICI .....	41
Figura 22 Matrice giornaliera PIEDI .....	41
Figura 23 Confronto sezioni di censimento e definizione della subzonizzazione definitiva - comune di Bergamo e corridoio interessato dall'intervento di progetto.....	42
Figura 24 Zonizzazione all'interno del comune di Bergamo.....	43
Figura 25 Zonizzazione all'interno della Provincia di Bergamo .....	43
Figura 26 Portali esterni.....	45
Figura 27 Rilievi al cordone .....	46
Figura 28 Rilievi Auto e Mezzi Pesanti al cordone .....	47
Figura 29 Esempio di funzione di appartenenza.....	48
Figura 30 VOT per motivo di viaggio – fonte Regione Lombardia.....	53

Figura 31. Diagramma di dispersione Flussi Simulati vs. Flussi Rilevati, trasporto privato .....	56
Figura 32 Diagramma di dispersione passeggeri Simulati vs. Rilevati, trasporto pubblico.....	56
Figura 33 Flussogramma dello stato di fatto 2017, trasporto privato .....	57
Figura 34 Rapporto V/C, stato di fatto 2017.....	58
Figura 35 Flussogramma dello stato di fatto 2017, trasporto pubblico.....	59
Figura 36 Flussogramma dello stato di fatto 2018, trasporto privato .....	60
Figura 37 Rapporto V/C, stato di fatto 2018.....	61
Figura 38 Flussogramma dello stato di fatto 2018, trasporto pubblico.....	61
Figura 39 Sintesi degli interventi considerati (2026) .....	66
• Figura 40 Sintesi degli interventi previsti sul trasporto pubblico ferroviario e tramviario (2026) .....	68
Figura 41. Percorso linea di progetto eBRT Bergamo-Dalmine .....	69
Figura 42. Percorso linea 5. a) Stato di Fatto e Riferimento, b) Scenario di progetto .....	70
Figura 43. Percorso linea V. a) Stato di Fatto e Riferimento, b) Scenario di progetto .....	71
Figura 44. Percorsi delle linee di adduzione .....	72
Figura 45 Flussogramma traffico privato (2026 - Riferimento).....	74
Figura 46 Diagramma saturazione rete privata (2026 - Riferimento) .....	74
Figura 47 Flussogramma trasporto pubblico (2026 - Riferimento) .....	75
Figura 48 flussogramma traffico privato (2026 - Progetto) .....	76
Figura 49 Diagramma saturazione rete privata (2026 - Progetto) .....	76
Figura 50 Flussogramma trasporto pubblico (2026 - Progetto).....	77
Figura 51 Dettaglio passeggeri linea eBRT Bergamo-Dalmine (2026).....	78
Figura 52. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Bergamo-Verdello/Dalmine. Scenario 2026.....	79
Figura 53. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Verdello/Dalmine - Bergamo. Scenario 2026. ....	79
Figura 54 Composizione di flusso – utenti della linea eBRT Bergamo-Dalmine .....	80
Figura 55 Schema tracciato IPB .....	81
Figura 56 Sintesi degli interventi infrastrutturali considerati (2036).....	82
Figura 57 Schema del prolungamento della linea T1 .....	83
Figura 58 Flussogramma traffico privato (2036 - Riferimento).....	84
Figura 59 Diagramma saturazione rete privata (2036 - Riferimento) .....	85
Figura 60 Flussogramma trasporto pubblico (2036 - Riferimento) .....	85
Figura 61 flussogramma traffico privato (2036 - Progetto) .....	86

---

Figura 62 Diagramma saturazione rete privata (2036 - Progetto) .....	87
Figura 63 Flussogramma trasporto pubblico (2036 - Progetto).....	87
Figura 64 Dettaglio passeggeri linea eBRT Bergamo-Dalmine (2036).....	88
Figura 65. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Bergamo-Verdello/Dalmine. Scenario 2036.....	89
Figura 66. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Verdello/Dalmine - Bergamo. Scenario 2036. ....	89

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1 Sezioni di rilievo stradali.....	18
Tabella 2 Specifiche tecniche del sistema di rilevamento radar.....	21
Tabella 3 Linee di trasporto pubblico incluse nel modello.....	37
Tabella 4 Spostamenti giornalieri per la provincia di Bergamo per modo di trasporto (fonte Regione Lombardia) .....	38
Tabella 5 Spostamenti ora di punta del mattino per la provincia di Bergamo per modo di trasporto (fonte Regione Lombardia) .....	38
Tabella 6 Spostamenti per motivo e modo e relativa quota percentuale (fonte Regione Lombardia).....	39
Tabella 7 Classificazione zone implementate nel modello .....	44
Tabella 8 Stima del VOT.....	53
Tabella 9 Costi chilometrici .....	54
Tabella 10 Coefficiente moltiplicativo del pedaggio .....	54
Tabella 11 Pedaggio autostradale [euro/km] .....	54
Tabella 12 Sistema tariffario .....	55
Tabella 13 Stime Andamento Popolazione.....	63
Tabella 14 Macro-Parametri estratti dal modello.....	90
Tabella 15 Domanda passeggeri linea eBRT Bergamo-Dalmine.....	90

## SOMMARIO

Il presente documento riassume le analisi trasportistiche e modellistiche sviluppate a supporto della progettazione della Linea eBRT Bergamo-Dalmine.

Nello specifico la relazione illustra:

- a. Gli strumenti statistici disponibili per l'analisi della mobilità urbana nell'area di studio: per la realizzazione di queste analisi sono state utilizzate le informazioni estratte dalla matrice Origine/Destinazione messa a disposizione dalla Regione Lombardia nel 2014. La matrice è differenziata per fascia oraria (dalle 00:00 alle 24:00), per modo di trasporto (auto come conducente, auto come passeggero, ferro, gomma, moto, bici, piedi, altro) e motivo dello spostamento (lavoro LAV, studio STU, occasionale OCC, affari AFF, ritorno RIT). In aggiunta ai dati riportati in matrice per la corretta calibrazione del modello dello stato di fatto (2017 e 2018) sono stati utilizzati una serie di conteggi di traffico privato e di utenti del trasporto pubblico. Si rimanda ai capitoli 2.3 e 2.5 per una più dettagliata trattazione dell'argomento.
- b. Analisi trasportistica dell'area di studio basata su indagini O/D: analizzando i dati contenuti nella matrice O/D Lombardia del 2014 si ottengono alcuni dati interessanti. Per prima cosa emerge una netta predominanza dell'auto, o comunque del veicolo privato, infatti più del 67% degli spostamenti giornalieri sono compiuti in auto o in moto, percentuale che sale al 71.2% nel corso dell'ora di punta mattutina. Inoltre si evidenzia che, se si escludono dal conteggio i ritorni a casa, più della metà degli spostamenti giornalieri sono sistematici, spostamenti quindi più facilmente intercettabili con la realizzazione di una rete di trasporto pubblico efficiente. Nel capitolo 2.5 si può trovare un'analisi più dettagliata.
- c. Nota metodologica di previsione della domanda di mobilità: l'andamento della domanda di mobilità è stato assunto proporzionale all'andamento della popolazione nell'area di studio fino all'anno 2026. Superata questa soglia temporale, sebbene le stime di popolazione prevedano una crescita regolare ancora per diversi anni, si è scelto di assumere cautelativamente una crescita nulla, al fine di evitare potenziali distorsioni nelle analisi di natura economico-finanziarie, anche in relazione alle numerose incognite legate a trend demografici ed economici di lungo termine e futuri modelli di mobilità ad oggi difficilmente prevedibili. Si rimanda al capitolo 3 per l'illustrazione delle modalità di stima.
- d. Modellizzazione multimodale: per supportare al meglio le analisi si è proceduto a sviluppare un modello di macro-simulazione multimodale a scala provinciale. Il modello è stato sviluppato utilizzando il software PTV Visum® e. Il modello di simulazione implementa un apposito modulo per la stima del riparto modale, includendo due principali modalità di spostamento: traffico privato e trasporto pubblico, con quest'ultima modalità declinata nei diversi sistemi di trasporto e servizi di mobilità disponibili, fra servizi ferroviari, trasporto pubblico locale urbano ed extraurbano, linee tranviarie e sistemi a fune. Il modello è stato utilizzato per simulare 4 scenari futuri che rappresentano lo scenario di riferimento e di progetto ai 2 orizzonti temporali indagati (2026 e 2036).

- e. Diagrammi di carico e previsioni di domanda: con l'ausilio del modello di macro-simulazione è stato possibile stimare la domanda oraria di passeggeri per la linea e la sua distribuzione lungo la stessa. Dalle analisi condotte la linea eBRT mostra una domanda oraria di circa 1.900-2.000 passeggeri/ora, variabile a seconda dell'orizzonte temporale. Si rimanda ai capitoli 4.4 e 5.4 per l'illustrazione dei risultati.

Si precisa infine che il capitolo 6.2 contiene alcune note circa le modalità utilizzate per la compilazione della tabella ministeriale 3.1.

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica illustra le analisi trasportistiche e di stima della domanda relative al Progetto di Fattibilità della linea eBRT Bergamo - Dalmine.

L'approccio metodologico utilizzato garantisce completa coerenza con quanto disciplinato dall' AVVISO n.2 per la presentazione di istanze per accesso alle risorse destinate al Trasporto Rapido di Massa ad Impianti Fissi, riferimento M\_INF.TPL.REGISTRO UFFICIALE.U.0000766.04-02-2020 pubblicato dalla Direzione Generale per i Sistemi di Trasporto ad Impianti Fissi e il Trasporto Pubblico Locale sul sito web del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Il primo passo per la predisposizione delle analisi di previsione della domanda e dei carichi sulla linea eBRT di progetto è stato quello di ricostruire, attraverso l'implementazione di un modello di simulazione multi-modale della città di Bergamo e relativa Provincia, lo scenario dello stato attuale. Questo passaggio è fondamentale per tutto il proseguo delle analisi, perché da esso e dalla configurazione dei parametri modellistici dipenderanno tutte le risultanze relative agli scenari di previsione.

Una volta che lo scenario dello stato di fatto è stato calibrato e validato su dati di traffico relativi al 2017 e 2018, come descritto nei rispettivi capitoli, sono stati definiti gli scenari di previsione relativamente a due orizzonti temporali: 2026 e 2036.

Per ciascuno degli orizzonti temporali considerati sono state testate due configurazioni: senza la linea eBRT (Scenario di Riferimento o *do-nothing*) e con la linea eBRT (Scenario di Progetto). Le diverse opzioni sono state poi confrontate tra loro per evidenziarne impatti relativi e assoluti.

Il proseguo del documento è strutturato nel seguente modo: il secondo capitolo riporta le analisi dello scenario Stato di Fatto, illustrando l'implementazione della rete stradale e dei sistemi di trasporto collettivo, così come la metodologia di stima della domanda di mobilità ed il modello di scelta modale, concludendo infine con le risultanze e gli indici di calibrazione. In particolare, il paragrafo 2.3 descrive le analisi condotte al fine di ricostruire in maniera statisticamente significativa la condizione dello stato di fatto e il paragrafo 2.5 descrive la matrice OD Lombardia e le modalità con cui è stata implementata nel modello di domanda.

Il capitolo 3 descrive le modalità di stima della domanda futura, mentre i successivi capitoli 4 e 5 riportano le risultanze delle simulazioni effettuate attraverso l'uso del modello di traffico multimodale per gli Scenari di Riferimento e di Progetto relativamente agli orizzonti temporali definiti.

Infine, il capitolo 6 riporta una breve sintesi delle principali risultanze e include alcune note sulle modalità utilizzate per compilare le tabelle ministeriali.

La seguente tabella riporta il capitolo in cui è possibile identificare le informazioni richieste riportate nel capitolo 3 dell'appendice all'Addendum.

	ARGOMENTO	CAPITOLO
a	Nota metodologica n.1: Analisi della mobilità	2
b	Nota metodologica n.2: Previsione della domanda nell'area di studio e nell'area di influenza dell'intervento	3-4-5
c	Nota metodologica n.3: Studio sulle Linee TPL impattate dal progetto	4-5

## 2 SCENARIO STATO DI FATTO

### 2.1 PREMESSA

Dato l'obiettivo di esaminare nel dettaglio e con evidenza numerabile le dinamiche di mobilità che caratterizzano, in chiave multi-modale, il sistema infrastrutturale di Bergamo e Provincia al fine di valutare l'impatto dell'introduzione nel sistema infrastrutturale strategico della nuova linea eBRT Bergamo-Dalmine, è stato appositamente implementato un modello di macro-simulazione statica multi-modale di trasporto.

Tale modello di trasporto si pone come strumento di supporto alle attività di pianificazione dei trasporti e della mobilità, offrendo risultanze, sia grafiche che numeriche, circa il livello prestazionale dei diversi sistemi di trasporto e dell'infrastruttura oggetto di indagine al fine di alimentare gli approfondimenti analitici di natura economico-finanziaria ed ambientale. Il modello di trasporto si compone delle seguenti 3 macro-componenti principali: offerta, domanda e interazione domanda e offerta, elementi che sono descritti in dettaglio nei prossimi paragrafi.

L'architettura dell'impianto modellistico risponde alla tipica struttura a 4 stadi: generazione e distribuzione (aggregati nel processo di stima della domanda), scelta modale e assegnazione. L'illustrazione dei vari stadi è rimandata ai capitoli successivi.

La procedura di implementazione della piattaforma modellistica prevede due fasi principali: calibrazione dello scenario relativo alla situazione attuale e definizione-valutazione di scenari alternativi progettuali. Durante la fase di calibrazione sono impostati e verificati tutti i parametri ed elementi caratteristici del modello considerato, le cui risultanze finali sono valutate per mezzo di appositi indici statistici. La valutazione della bontà della calibrazione avviene attraverso il confronto tra i dati rilevati (flussi di traffico e passeggeri saliti/discesi alle fermate del trasporto public) e l'analisi delle condizioni di circolazione (congestione, tempi di viaggio, rapporto flussi/capacità).

Una volta calibrato il modello dello stato di fatto, la piattaforma si può considerare robusta e affidabile per l'implementazione e simulazione degli scenari di progetto, che consentono di verificare ex-ante (prima quindi dell'effettiva realizzazione) gli effetti sul traffico derivati da progetti infrastrutturali e di riorganizzazione funzionale dei diversi modi di trasporto.

Il modello in questione si riferisce all'ora di punta del mattino, nell'intervallo tra le 7:00 e 8:00. Al fine di poter proiettare al giorno e all'anno i valori ricavati dalle analisi modellistiche, saranno utilizzati i seguenti coefficienti di espansione:

- Giorno: 7 per gli indicatori relativi al trasporto pubblico e 10 per quelli relativi al trasporto privato.
- Anno: 300

I parametri di espansione sono stati definiti in base alle indicazioni delle "Linee guida per la redazione di Studi di Fattibilità" predisposto dalla Regione Lombardia. Le linee guida consigliano l'utilizzo di un fattore compreso tra 8 e 12 per il trasporto privato (è stata applicato il valore medio: 10), mentre per il trasporto pubblico propone un fattore compreso tra 6 e 9.

## 2.2 IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE PTV VISUM

PTV Visum è un software per la pianificazione dei trasporti, modellizzazione della domanda e gestione delle reti. Il modello di assegnazione della domanda di trasporto alla rete consente agli specialisti la scelta tra una serie di algoritmi al fine di rendere i risultati più rispondenti rispetto al livello di definizione e alle caratteristiche del caso trattato e dei dati disponibili.

Progettato per un'analisi multimodale, PTV Visum integra in un unico modello di rete tutti i principali sistemi di trasporto (auto come conducente, auto come passeggero, mezzi pesanti, autobus, tram, treno, pedoni, ciclisti, ecc.).

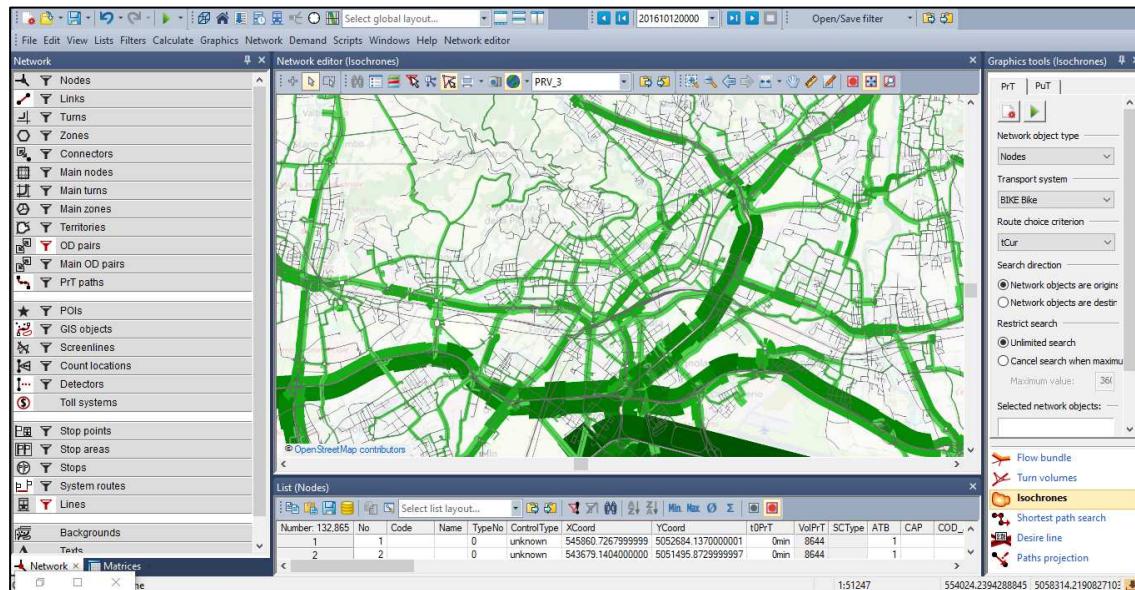


Figura 1 Il software PTV Visum

Il software può gestire un numero illimitato di archi e di nodi, caratteristica molto importante soprattutto quando si intende impiegare come base per la ricostruzione del grafo di rete l'importazione di DB da *map provider* che, come è noto, si caratterizzano per un livello di rappresentazione estremamente dettagliata.

Una delle caratteristiche più interessanti di PTV Visum è la possibilità di unire dati specifici del modello di traffico e dati GIS in un unico database comune con una molteplicità di *layer* che includono: zone di analisi del traffico e aree amministrative; reti di trasporto inclusive di connessioni, assi stradali, manovre di svolta alle intersezioni e percorsi del trasporto pubblico, attributi definiti dall'utente, classi di oggetti definiti dall'utente e sfondi grafici. PTV Visum è in grado di creare complesse rappresentazioni grafiche e mappe tematiche, senza l'uso addizionale di ulteriori software GIS per la post-elaborazione e presentazione dei risultati.

In PTV Visum è anche possibile visualizzare mappe “live” *in streaming* o immagini da satellite come sfondi grafici a supporto dei dati del modello. È sufficiente una connessione internet e una valida impostazione di proiezione per la rete.

Oltre ai provider predefiniti OpenStreetMap e Microsoft Bing Maps, è possibile configurare altri provider (es. rendering di OpenStreetMap alternativi o servizi WMS) attraverso i rispettivi modelli di URL contenenti i parametri per il rendering come gli estremi di mappa e il livello di zoom.

## 2.3 CAMPAGNA D'INDAGINE

### 2.3.1 Premessa

I dati della campagna d'indagine compongono il quadro informativo atto ad informare adeguatamente il processo di ricostruzione delle relazioni di mobilità fra le diverse zone di traffico (o TAZ), fase normalmente indicata come “stima della matrice degli spostamenti”. Il processo prevede una metodologia iterativa, durante la quale la struttura della matrice viene aggiornata fino a quando la rappresentazione delle relazioni di traffico tra le diverse zone, confrontata rispetto a quanto è stato rilevato durante la campagna d'indagine, non raggiunge le soglie minime di validità statistica.

### 2.3.2 Indagine per il Trasporto Privato nell'area di Bergamo

#### 2.3.2.1 *Piano di rilievi del traffico veicolare*

Il rilievo dei flussi veicolari nell'area urbana di Bergamo è stato effettuato su 55 sezioni. I conteggi veicolari sono stati effettuati nelle giornate di martedì, mercoledì, giovedì e venerdì (il lunedì non è stato considerato valido perché giorno di mercato). Tutte le indagini sono state effettuate tra il 03 maggio e il 24 maggio 2016.

La modalità di rilevazione ha previsto il rilievo automatico dei flussi veicolari per 24 ore consecutive, integrato con rilievo manuale dei veicoli a due ruote (moto e bici), degli autotreni e degli autoarticolati tra le 7:30-11:00 e le 16:00-19:30 sulle sezioni correnti indagate con le apparecchiature ad induzione magnetica Nu-Metrics Hi – Star NC-97 e radar Techtronic Compact 1000 (sulle sezioni indagate con il sistema video MIOVISION tale rilevazione è stata effettuata in maniera automatica).

I conteggi veicolari sono stati effettuati conteggiando i veicoli suddivisi in 9 tipologie, in base alle seguenti categorie veicolari:

- Autovetture;
- Autobus;
- Veicoli commerciali leggeri;
- Veicoli commerciali pesanti senza rimorchio;
- Veicoli commerciali pesanti con rimorchio;
- Veicoli commerciali articolati;
- Motociclette;
- Biciclette;
- Altri veicoli.

Si riporta nella seguente tabella l'elenco delle sezioni indagate.

TIPO STRADA	SEZ	DIR	STRADA	TRATTO	TRA	E
Radiali interne	001	A	Via Battisti	Via B.S.Caterina-Via S.Giovanni	Via B.S.Caterina	Via S.Giovanni
Radiali interne	001	B	Via Battisti	Via B.S.Caterina-Via S.Giovanni	Via S.Giovanni	Via B.S.Caterina
Radiali interne	002	A	Via Suardi	Via Amadeo-Via Nicolodi	Via Amadeo	Via Nicolodi
Radiali interne	003	A	Via Ghislandi	Via S.Fermo-Via Noli	Via S.Fermo	Via Noli
Radiali interne	003	B	Via Ghislandi	Via S.Fermo-Via Noli	Via Noli	Via S.Fermo
Radiali interne	004	A	Via B.Palazzo	Viale Pirovano-Via Serassi	Viale Pirovano	Via Serassi
Radiali interne	004	B	Via B.Palazzo	Viale Pirovano-Via Serassi	Via Serassi	Viale Pirovano
Radiali interne	005	A	Via Don Bosco	Via Carnovali-Via Maglio del Lotto	Via Carnovali	Via Maglio del Lotto
Radiali interne	005	B	Via Don Bosco	Via Carnovali-Via Maglio del Lotto	Via Maglio del Lotto	Via Carnovali
Radiali interne	006	A	Via Autostrada	Via Carnovali-Via Maglio del Lotto	Via Carnovali	Via Maglio del Lotto
Radiali interne	006	B	Via Autostrada	Via Carnovali-Via Maglio del Lotto	Via Maglio del Lotto	Via Carnovali
Radiali interne	007	A	Via S.Giorgio	Via S.Bernardino-Via Baschenis	Via S.Bernardino	Via Baschenis
Radiali interne	007	B	Via S.Giorgio	Via S.Bernardino-Via Baschenis	Via Baschenis	Via S.Bernardino
Radiali interne	008	A	Via S.Bernardino	Largo Tironi-Via Baschenis	Largo Tironi	Via Baschenis
Radiali interne	009	A	Via Moroni	Via Carducci-Via Palma	Via Palma	Via Carducci
Radiali interne	010	A	Via Broseta	Via Legionari di Polonia-Via Nullo	Via Legionari di Polonia	Via Nullo
Radiali interne	010	B	Via Broseta	Via Legionari di Polonia-Via Nullo	Via Nullo	Via Legionari di Polonia
Radiali interne	011	A	Via Mazzini	Via IV Novembre-Via Nullo	Via IV Novembre	Via Nullo
Radiali interne	011	B	Via Mazzini	Via IV Novembre-Via Nullo	Via Nullo	Via IV Novembre
Radiali interne	012	A	Via Statuto	Via Milano-Via Nullo	Via Milano	Via Nullo
Radiali interne	012	B	Via Statuto	Via Milano-Via Nullo	Via Nullo	Via Milano
Radiali interne	013	A	Viale V.Emanuele	Via Zambelli-Via Brigata Lupi	Via Zambelli	Via Brigata Lupi
Radiali interne	013	B	Viale V.Emanuele	Via Zambelli-Via Brigata Lupi	Via Brigata Lupi	Via Zambelli
Strade urbane Centro	014	A	Viale Papa Giovanni	Via S.Francesco-Via D'Alzano	Via S.Francesco	Via D'Alzano
Strade urbane Centro	014	B	Viale Papa Giovanni	Via S.Francesco-Via D'Alzano	Via D'Alzano	Via S.Francesco
Strade urbane Centro	015	A	Viale Roma	Via Adamello-Piazza V.Veneto	Via Adamello	Piazza V.Veneto
Strade urbane Centro	015	B	Viale Roma	Via Adamello-Piazza V.Veneto	Piazza V.Veneto	Via Adamello
Strade urbane Centro	016	A	Via Verdi	Via Pradello-Largo Belotti	Via Pradello	Largo Belotti
Strade urbane Centro	016	B	Via Verdi	Via Pradello-Largo Belotti	Largo Belotti	Via Pradello
Strade urbane Centro	017	A	Via Garibaldi	Via S.Antonino-Via S.Alessandro	Via S.Antonino	Via S.Alessandro
Strade urbane Centro	017	B	Via Garibaldi	Via S.Antonino-Via S.Alessandro	Via S.Alessandro	Via S.Antonino
Strade urbane Centro	018	A	Via Camozzi	Via Pignolo-Via Madonna della Neve	Via Pignolo	Via Madonna della Neve
Strade urbane Centro	018	B	Via Camozzi	Via Pignolo-Via Madonna della Neve	Via Madonna della Neve	Via Pignolo
Strade urbane Centro	019	A	Via Camozzi	Via Taramelli-Via Gallicioli	Via Taramelli	Via Gallicioli
Strade urbane Centro	019	B	Via Camozzi	Via Taramelli-Via Gallicioli	Via Gallicioli	Via Taramelli
Strade urbane Centro	020	A	Via Maj	Via Maffei-Via Taramelli	Via Maffei	Via Taramelli

TIPO STRADA	SEZ	DIR	STRADA	TRATTO	TRA	E
Strade urbane Centro	021	A	Via Paleocapa	Via Scotti-Via Quarenghi	Via Scotti	Via Quarenghi
Strade urbane Centro	022	A	Via Bonomelli	Via Paglia-Viale Papa Giovanni	Via Paglia	Viale Papa Giovanni
Strade urbane Centro	023	A	Via Bono	Viale Papa Giovanni-Via Foro Boario	Viale Papa Giovanni	Via Foro Boario
Radiali esterne	024	A	Via Pontesecco	Via Maresana-Via Biava	Via Maresana	Via Biava
Radiali esterne	024	B	Via Pontesecco	Via Maresana-Via Biava	Via Biava	Via Maresana
Radiali esterne	025	A	Via Corridoni	Via Pellico-Via Gusmini	Via Pellico	Via Gusmini
Radiali esterne	025	B	Via Corridoni	Via Pellico-Via Gusmini	Via Gusmini	Via Pellico
Radiali esterne	026	A	Via Correnti	Via Buratti-Via Gemelli	Via Buratti	Via Gemelli
Radiali esterne	026	B	Via Correnti	Via Buratti-Via Gemelli	Via Gemelli	Via Buratti
Radiali esterne	027	A	Via Bersaglieri	Quartiere Bajo-Largo Decorati Valor Civile	Quartiere Bajo	Largo Decorati Valor Civile
Radiali esterne	027	B	Via Bersaglieri	Quartiere Bajo-Largo Decorati Valor Civile	Largo Decorati Valor Civile	Quartiere Bajo
Radiali esterne	028	A	Via B.Palazzo	Via Celadina-Via Pizzo Redorta	Via Celadina	Via Pizzo Redorta
Radiali esterne	028	B	Via B.Palazzo	Via Celadina-Via Pizzo Redorta	Via Pizzo Redorta	Via Celadina
Radiali esterne	029	A	Via Lunga	Sud di Via Gasparini	Sud di Via Gasparini	Sud di Via Gasparini
Radiali esterne	029	B	Via Lunga	Sud di Via Gasparini	Sud di Via Gasparini	Sud di Via Gasparini
Radiali esterne	030	A	Via Orio	Via Val d'Ossola-Via Vittorio Gasparini	Via Val d'Ossola	Via Vittorio Gasparini
Radiali esterne	030	B	Via Orio	Via Val d'Ossola-Via Vittorio Gasparini	Via Vittorio Gasparini	Via Val d'Ossola
Radiali esterne	031	A	Via Zanica	Nord del viadotto Autostrada	Viadotto Autostrada	Via Zanchi
Radiali esterne	031	B	Via Zanica	Nord del viadotto Autostrada	Via Zanchi	Viadotto Autostrada
Radiali esterne	032	A	Via Autostrada	Casello Autostrada-Circonvallazione	Casello Autostrada	Circonvallazione
Radiali esterne	032	B	Via Autostrada	Casello Autostrada-Circonvallazione	Circonvallazione	Casello Autostrada
Radiali esterne	033	A	Via Stezzano	Nord del sottopasso Autostrada	Sottopasso Autostrada	Bergamo
Radiali esterne	033	B	Via Stezzano	Nord del sottopasso Autostrada	Bergamo	Sottopasso Autostrada
Radiali esterne	034	A	Via Grumello	Sud della Circonvallazione	Via Enrico Moratti	Circonvallazione
Radiali esterne	034	B	Via Grumello	Sud della Circonvallazione	Circonvallazione	Via Enrico Moratti
Radiali esterne	035	A	Treviolo	Ovest della Circonvallazione	Via Luigi Galvani	Circonvallazione
Radiali esterne	035	B	Treviolo	Ovest della Circonvallazione	Circonvallazione	Via Luigi Galvani
Radiali esterne	036	A	Via Bergamo (SS342)	Ovest della Circonvallazione	Circonvallazione	Rotonda Locatelli
Radiali esterne	036	B	Via Bergamo (SS342)	Ovest della Circonvallazione	Rotonda Locatelli	Circonvallazione
Circonvallazione	037	A	Circonv. Fabriciano	Via Ruggeri da Stabello-Viale G.Cesare	Via Ruggeri da Stabello	Viale G.Cesare
Circonvallazione	037	B	Circonv. Fabriciano	Via Ruggeri da Stabello-Viale G.Cesare	Viale G.Cesare	Via Ruggeri da Stabello
Circonvallazione	038	A	Circonv. delle Valli	Via Correnti-Via B.Palazzo	Via Correnti	Via B.Palazzo
Circonvallazione	038	B	Circonv. delle Valli	Via Correnti-Via B.Palazzo	Via B.Palazzo	Via Correnti
Circonvallazione	039	A	Circonv. Mugazzzone	Via B.Palazzo-Via Orio	Via B.Palazzo	Via Orio
Circonvallazione	039	B	Circonv. Mugazzzone	Via B.Palazzo-Via Orio	Via Orio	Via B.Palazzo
Circonvallazione	039	C	Via Europa	Via Gavezzeni-Circonvallazione Mugazzzone	Via Gavezzeni	Circonvallazione Mugazzzone
Circonvallazione	040	A	Circonv. Pompiniano	Via S.Bernardino-Via Moroni	Via S.Bernardino	Via Moroni
Circonvallazione	040	B	Circonv. Pompiniano	Via S.Bernardino-Via Moroni	Via Moroni	Via S.Bernardino
Circonvallazione	041	A	Circonv. Leuceriano	Via Curnasco-Via Briantea	Via Curnasco	Via Briantea
Circonvallazione	041	B	Circonv. Leuceriano	Via Curnasco-Via Briantea	Via Briantea	Via Curnasco

TIPO STRADA	SEZ	DIR	STRADA	TRATTO	TRA	E
Altre strade urbane	042	A	Via Palma il Vecchio	Via Caravaggio-Via Scuri	Via Caravaggio	Via Scuri
Altre strade urbane	042	B	Via Palma il Vecchio	Via Caravaggio-Via Scuri	Via Scuri	Via Caravaggio
Altre strade urbane	043	A	Galleria Conca d'Oro	Viale V.Emanuele-Largo Adua	Viale V.Emanuele	Largo Adua
Altre strade urbane	043	B	Galleria Conca d'Oro	Viale V.Emanuele-Largo Adua	Largo Adua	Viale V.Emanuele
Altre strade urbane	044	A	Via D'Acquisto	Via Briantea-Largo Ragazzi del '99	Via Briantea	Largo Ragazzi del '99
Altre strade urbane	044	B	Via D'Acquisto	Via Briantea-Largo Ragazzi del '99	Largo Ragazzi del '99	Via Briantea
Altre strade urbane	045	A	Via M.L.King	Via Cavalli-Via Briantea	Via Cavalli	Via Briantea
Altre strade urbane	045	B	Via M.L.King	Via Cavalli-Via Briantea	Via Briantea	Via Cavalli
Altre strade urbane	046	A	Via Brosseta	Via Polaresco-Strada Vecchia	Via Polaresco	Strada Vecchia
Altre strade urbane	046	B	Via Brosseta	Via Polaresco-Strada Vecchia	Strada Vecchia	Via Polaresco
Altre strade urbane	047	A	Via Sombreno	Via M. del Bosco-Via Pascolo dei Tedeschi	Via M. del Bosco	Via Pascolo dei Tedeschi
Altre strade urbane	047	B	Via Sombreno	Via M. del Bosco-Via Pascolo dei Tedeschi	Via Pascolo dei Tedeschi	Via M. del Bosco
Asse Interurbano	048	A	Asse Interurbano Est	Svincolo Orio-Svincolo Autostrada Bergamo	Svincolo Orio	Svincolo Autostrada Bergamo
Asse Interurbano	048	B	Asse Interurbano Est	Svincolo Orio-Svincolo Autostrada Bergamo	Svincolo Orio	Svincolo Orio
Asse Interurbano	049	A	Asse Interurbano Ovest	Svincolo Briantea-Svincolo Curno	Svincolo Briantea	Svincolo Curno
Asse Interurbano	049	B	Asse Interurbano Ovest	Svincolo Briantea-Svincolo Curno	Svincolo Curno	Svincolo Briantea
Città Alta	050	A	Porta Garibaldi	Via Maironi da Ponte-Via Porta S.Lorenzo	Via Maironi da Ponte	Via Porta S.Lorenzo
Città Alta	050	B	Porta Garibaldi	Via Maironi da Ponte-Via Porta S.Lorenzo	Via Porta S.Lorenzo	Via Maironi da Ponte
Città Alta	051	A	Via Beltrami	Colle Aperto-Via Cavagnis	Colle Aperto	Via Cavagnis
Città Alta	051	B	Via Beltrami	Colle Aperto-Via Cavagnis	Via Cavagnis	Colle Aperto
Città Alta	052	A	Via Sudorno	Porta S.Alessandro-Via S.Vigilio	Porta S.Alessandro	Via S.Vigilio
Città Alta	052	B	Via Sudorno	Porta S.Alessandro-Via S.Vigilio	Via S.Vigilio	Porta S.Alessandro
Città Alta	053	A	Via Borgo Canale	Via degli Orti-Longuelo	Via degli Orti	Longuelo
Città Alta	053	B	Via Borgo Canale	Via degli Orti-Longuelo	Longuelo	Via degli Orti
Città Alta	054	A	Viale Mura	Porta S.Agostino-Porta S.Giacomo	Porta S.Agostino	Porta S.Giacomo
Città Alta	054	B	Viale Mura	Porta S.Agostino-Porta S.Giacomo	Porta S.Giacomo	Porta S.Agostino
Città Alta	055	A	Via Fara	Porta S.Agostino-Piazzale S.Agostino	Porta S.Agostino	Piazzale S.Agostino
Città Alta	055	B	Via Fara	Porta S.Agostino-Piazzale S.Agostino	Piazzale S.Agostino	Porta S.Agostino

Tabella 1 Sezioni di rilievo stradali

Nella Figura 2 si riporta la planimetria con la localizzazione di tutti i punti indagati: i colori indicano i diversi tipi di strade. La localizzazione riportata in figura è esattamente quella in cui sono state installate le apparecchiature conta-traffico. In particolare sono riportate in:

- Ciano: radiali interne (23 direzioni indagate);

Mandataria:

Mandante:

Collaborazione:

- Rosso: strade urbane del Centro (16 direzioni indagate);
- Verde: radiali esterne (26 direzioni indagate);
- Blu: circonvallazione (11 direzioni indagate);
- Giallo: altre strade urbane (12 direzioni indagate);
- Grigio: asse Interurbano (4 direzioni indagate);
- Viola: città Alta (12 direzioni indagate).

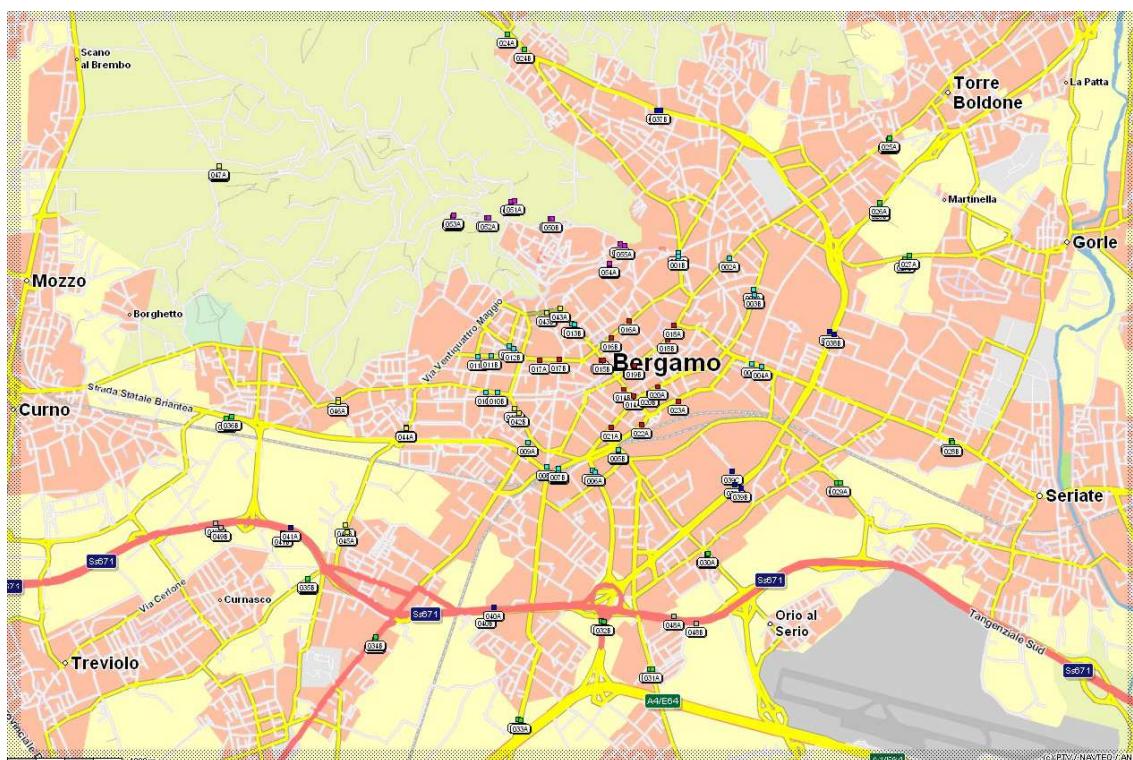


Figura 2 Localizzazione sezioni di rilievo

### 2.3.3 Conteggi automatici

#### 2.3.3.1 Premessa

I conteggi dei flussi veicolari sono stati effettuati con tre sistemi automatici di rilevamento:

- Radar Techtronic Compact-1000 JR Portatile (41 direzioni indagate);
- Nu-Metrics Hi – Star NC-97 (18 direzioni indagate);
- MIOVISION (45 direzioni indagate).

#### 2.3.3.2 Radar Techtronic Compact-1000 JR Portatile

Il Radar Techtronic Compact-1000 JR Portatile è un innovativo strumento Radar per effettuare campagne temporanee di monitoraggio e classificazione del traffico veicolare senza dover

impegnare in alcun modo la sede stradale. Le sue dimensioni contenute e la possibilità di posizionarlo a lato strada su qualsiasi supporto già esistente (pali della segnaletica stradale, illuminazione ecc..) lo rendono un prodotto di facile installazione senza creare alcun intralcio alla circolazione e/o mettere a repentaglio l'incolumità del personale addetto al monitoraggio del traffico.

Il sistema radar utilizzato sfrutta l'effetto Doppler (variazione di frequenza della radiazione elettromagnetica osservata). Il sistema, per ogni veicolo all'interno del fascio radar, consente di visualizzare la velocità, la lunghezza (in cm) e il gap temporale tra un veicolo e il successivo. Il Radar è impostato in modo da discriminare la direzione di marcia dei veicoli (veicoli in avvicinamento ed in allontanamento).

Il radar è dotato di porte di comunicazione RS232 e RS485. Tali caratteristiche permettono di comunicare con sistemi esterni via cavo (fino a 1000m) o in modalità wireless (fino a 100m). Si possono, quindi, visualizzare in tempo reale i dati relativi ai veicoli in transito e appurare, in ogni momento, il buon funzionamento del sistema.



Figura 3 Radar Techtronic Compact-1000 JR Portable

Il cuore del sistema è costituito da un sensore radar doppler di ridottissime dimensioni capace di individuare i veicoli transitanti su due corsie anche in due direzioni di marcia opposte e

Mandataria:

ETI  
Engineering and Technical Services  
S.p.A.

Mandante:

Systematica

Collaborazione:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO | Dipartimento  
di Scienze Economiche

individuarne la loro lunghezza e velocità, la data e l'ora del passaggio. La calibrazione del sistema può essere fatta sia in maniera semi-automatica parametrizzata attraverso l'apposito software sia per Pc che per Palmari. La programmazione avviene con software in ambiente Windows e può essere fatta da PC via radio o via Bluetooth, pertanto anche da cellulare o palmare. I dati vengono memorizzati su una normale scheda di memoria tipo flash card. All'interno della scatola viene inoltre montato un dispositivo GPS, che consente la localizzazione dell'apparecchiatura (anche in caso di furto o smontaggio doloso) ed è possibile alloggiare un dispositivo GPRS (tipo cellulare) per la comunicazione a distanza dei dati e l'eventuale riprogrammazione.

<b>Caratteristiche tecniche Techtronic Compact-1000 JR Portatile</b>	
Sensore: Radar Microonde a tecnologia Planare 24,125 Ghz Portata Radar: fino a 150 metri Alimentazione: batteria 12V, 18 Ah Alimentatore: caricabatteria esterno 220/12 Volts Tempo di ricarica: circa 8 ore Temperatura di esercizio: da -40° C a +75° C Contenitore: valigetta in plastica con rinforzo in alluminio di classe IP66 (dim. 300x350x155 mm) Ancoraggio: posteriore a staffe per palo (opzionale supporti per barriere New Jersey spartitraffico) Corsie monitorate: 1 o 2 corsie anche con opposto senso di marcia	Misurazione Veicoli: per lunghezza metrica Misurazione Velocità: da 1 a 255 Km/h Misurazione Temperatura: ad intervalli orari o singolo transito Misurazione Timer: orologio e datario in tempo reale con batteria tampone Memoria Base: Compact Flash estraibile da 512 Mb (espandibile a 2 Gb) Terminale: Funzione terminale per verifica dei dati Comunicazione: Seriale Rs232 , Via Cavo, Bluetooth (opzionale) Software di configurazione: per Pc/Palmari

Tabella 2 Specifiche tecniche del sistema di rilevamento radar

L'affidabilità delle apparecchiature è riassunta nella tabella seguente che mostra i dati dedotti dalla nostra esperienza:

Techtronic Compact-1000 JR Portatile	Dati effettivi
Lunghezza	Dato disaggregato per singolo transito
Velocità	Dato disaggregato per singolo transito
Velocità minima per classificazione veicolo	1 km/h
Precisione per veicoli in movimento (>1km/h)	>95,0%, su 2 corsie adiacenti contrapposte >90,0%, su 2 corsie adiacenti equivece
Percentuale di affidabilità del rilievo	>95%

### 2.3.3.3 Nu-Metrics Hi – Star NC-97

I contatori/analizzatori di traffico della Nu-Metrics modello HI-STAR NC-97 rilevano il volume di traffico, la velocità (max 15 classi) e la lunghezza (max 8 classi) dei veicoli, il tempo di

Mandataria:

Mandante:

Collaborazione:

occupazione, la temperatura e le condizioni della superficie stradale (asciutto/bagnato).

Il dispositivo NC-97, utilizzando l'ormai collaudata tecnologia VMI (Vehicle Magnetic Imaging), è in grado di rilevare le variazioni del campo magnetico terrestre. La distorsione magnetica subita quando un veicolo transita sopra o in prossimità del sensore stesso identifica l'immagine della massa magnetica del veicolo transitante permettendo di risalire all'unità veicolare, alla sua lunghezza e velocità.

Tutta l'apparecchiatura è contenuta in una custodia di alluminio pressofuso dalle dimensioni contenute (165mm x 140mm x 16mm) senza tubi o cavi di connessione. Questa particolarità permette l'installazione di NC-97 anche su tratti stradali con velocità media elevata, dove altri sistemi potrebbero non essere adatti per motivi di sicurezza o per la complessità dell'installazione stessa.

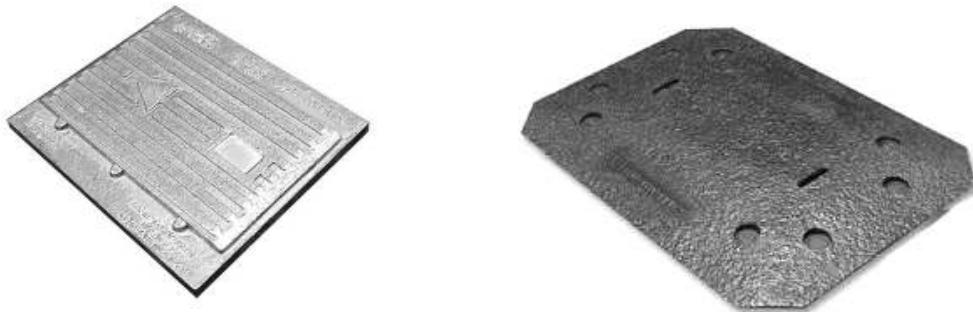


Figura 4 Unità NC-97 e pedana protettiva in elastomero poliuretanico

Per rendere l'unità meno visibile, e quindi non alterare il comportamento dei conducenti, soprattutto in termini di velocità, si ricorre ad una speciale copertura protettiva in elastomero poliuretanico, di colore e rugosità superficiale simili a quelle del manto bituminoso stradale, che viene fissata mediante chiodatrice a propulsione con otto chiodi da 62mm. NC-97 incorpora un trasmettitore a 433,92 MHz (potenza 1 mW) che invia per ogni veicolo transitante una stringa di dati di 7 byte ad un ricevitore tascabile RX-433 in grado di verificare il corretto funzionamento dell'unità stessa. Tale stringa di dati comprende: intestazione (data e ora di inizio/fine rilevazione, località, direzione), ID (numero identificativo dell'unità), velocità e lunghezza.

NC-97 incorpora anche un orologio marcatempo al quarzo, sincronizzabile con l'orologio del computer, utilizzato per l'impostazione degli istanti di inizio e fine rilievo. Come fonte di alimentazione viene utilizzata una batteria ricaricabile al Ni-Cd che permette di effettuare rilevazioni della durata di più giorni. Durante la rilevazione i veicoli che transitano in direzione contraria rispetto alla posizione di NC-97 (ad es. veicolo in sorpasso) vengono conteggiati ma non classificati.

I dati rilevati vengono memorizzati sotto forma di matrice 8x15 ad intervalli di tempo programmabili ed impostati a 15' (secondo quanto richiesto dal Capitolato tecnico). Successivamente, i dati così raccolti sono trasferiti al PC tramite interfaccia IP-10A e, a partire dai file prodotti dal software specifico HDM 9.0.29, sono convertiti e gestiti in formati compatibili con il software Microsoft Excel.

L'affidabilità delle apparecchiature è riassunta nella tabella seguente che mostra i dati dichiarati dal costruttore e quelli dedotti dalla nostra esperienza:

Hi-Star NC 97	Dati dichiarati	Dati effettivi
Condizione della superficie stradale	Asciutto/bagnato	Asciutto/bagnato
Lunghezza	8 classi	8 classi
Velocità	15 classi	15 classi
Velocità minima per classificazione veicolo	8 km/h	10 km/h
Precisione per veicoli in movimento	>99,0% ± 1 veicolo	>95,0% ± 1 veicolo
Precisione per veicoli fermi	>95,0% ± 1 veicolo	>85,0% ± 1 veicolo
Percentuale di affidabilità del rilievo	-	>95%

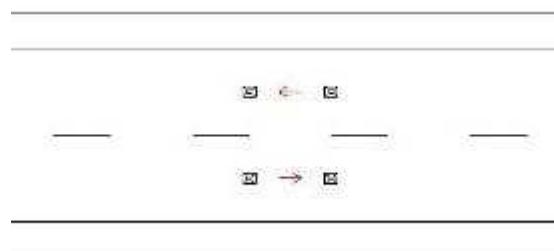


Figura 5 Specifiche tecniche e posizionamento "raddoppiato" dei contatori/analizzatori su strada a 2 corsie, 1 per senso di marcia (4 NC-97)

I contatori/analizzatori di traffico Nu-Metrics NC-97 sono posti al centro di ogni corsia di marcia; a scopo di controllo sull'attendibilità dei rilevatori automatici e di diminuire il rischio di ripetizione del rilievo in caso di malfunzionamento delle apparecchiature, si installano due rilevatori di traffico sulle sezioni più significative e su tutte le strade a 2 corsie per senso di marcia che verranno indagate con questa tipologia di rilievo.

I dati delle installazioni raddoppiate vengono posti a confronto attraverso delle macro già predisposte consentendo di valutare eventuali malfunzionamenti e quindi scartare i dati relativi nel calcolo dei valori medi.

### 2.3.3.4 Strumentazione MIOVISION

MIOVISION è uno strumento utilizzato per effettuare campagne di monitoraggio e classificazione del traffico veicolare senza dover impegnare in alcun modo la sede stradale. Le sue dimensioni contenute e la possibilità di posizionarlo a lato strada su qualsiasi supporto già esistente (pali della segnaletica stradale, illuminazione ecc..) lo rendono un prodotto di facile installazione senza creare alcun intralcio alla circolazione e/o mettere a repentaglio l'incolumità del personale addetto al monitoraggio del traffico.

Il sistema esegue l'identificazione del veicolo, pedone all'interno della scena ripresa, quindi esegue la classificazione dei soggetti e ne traccia lo spostamento. È possibile eseguire il monitoraggio di sezioni stradali fino a quattro corsie senza risentire delle problematiche di effetto ombra tipiche dei rilevatori radar e laser con rilievo a bordo strada, permette di eseguire il rilievo delle manovre di svolta di rotatorie sino a 5 braccia.

Mediante la batteria standard interna al Control Box è possibile eseguire rilievi del traffico della durata fino a 72 ore, per poter estendere il periodo di rilievo è possibile dotare il sistema di batterie complementari, il Power Pack è un accessorio a corredo del VCU che appunto permette all'unità di prolungare la durata del di tempo di registrazione fino a 7 gg. Il tasso di precisione offerto da tale tecnologia è superiore al 95%.





Figura 6 Caratteristiche del sistema di rilevamento MIOVISION

#### 2.3.4 Conteggi manuali

Per completare le analisi effettuate mediante i contattraffico automatici Nu-Metrics Hi – Star NC-97 e SISAS Techtronic Compact 1000 sono stati effettuati rilievi manuali negli intervalli 7:30 – 11:00 e 16:00 – 19:30. Oltre al rilievo dei cicli e motocicli sono stati conteggiati anche gli autotreni e gli autoarticolati per confrontarli con i dati dei contattraffico.

	Sezione		001																											
	Strada		Via Battisti																											
	Tratto		Via B.S.Caterina-Via S.Giovanni																											
<b>7:30</b>	Data		10-dic-06																											
			Direzione A					Direzione B																						
<b>7:45</b>	Da	Via B.S.Caterina					Da	Via S.Giovanni																						
		A	Via S.Giovanni					A	Via B.S.Caterina																					
<b>Velocipedi</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>										
	Totale:										Totale:																			
<b>Ciclomotori e Motocicli</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>										
	Totale:										Totale:																			
<b>Autotreni</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>										
	Totale:										Totale:																			
<b>Autoarticolati</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>										
	Totale:										Totale:																			
<b>Altri Veicoli</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>20</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>30</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>40</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>50</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>60</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>70</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>80</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>90</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<b>100</b>										
	Totale:										Totale:																			
<b>Note:</b>																														
<b>Condizioni atmosferiche:</b>	<input type="checkbox"/> Sereno										<input type="checkbox"/> Pioggia lieve										<input type="checkbox"/> Pioggia									

Figura 7 Esempio di scheda di rilievo del traffico veicolare

Mandataria:

Mandante:

 Systematica

Collaborazione:


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO | Dipartimento  
di Scienze Economiche

### 2.3.5 Indagini al cordone

Per la ricostruzione della struttura della domanda di traffico oltre all'esecuzione del conteggio dei flussi veicolari, è stata necessaria l'esecuzione di indagini rivolte alla determinazione dell'origine/destinazione degli spostamenti. Per poter ottenere questa informazione, si sono effettuate delle interviste dirette ai conducenti in modo da individuare le caratteristiche della mobilità con mezzo di trasporto privato allo stato attuale.

L'indagine è stata rivolta agli utenti del trasporto privato con l'esecuzione di interviste ai conducenti tra le ore 7:30 e le ore 11:00, in giornate scolastiche tipo che sono state concordate con l'amministrazione: martedì, mercoledì, giovedì e venerdì. Il lunedì è stato escluso perché giorno di mercato. Il tasso di interviste è pari all'5,7%.

L'indagine è stata svolta nelle sezioni in cui sono stati effettuati i conteggi di traffico. L'informazione dei flussi veicolari presenti è fondamentale per l'espansione del campione, per valutarne la sua significatività e, in fase di pianificazione, per determinare il numero di intervistatori necessari a raggiungere il campionamento desiderato. Il numero degli intervistatori è influenzato anche dagli spazi disponibili per la sosta in sicurezza dei veicoli da fermare e dalla collaborazione delle forze dell'ordine.

Per l'esecuzione delle indagini è stata necessaria la collaborazione della Polizia Locale che ha dovuto intimare l'alt ai veicoli in transito, per consentire agli operatori di effettuare l'intervista.

Sono stati eseguiti dei sopralluoghi al fine di:

- individuare localizzazioni tali da consentire corrette espansioni rispetto ai conteggi classificati eseguiti sulle 24 ore;
- individuare delle aree di sosta che permettessero di eseguire tali interviste in condizioni di sicurezza;
- verificare l'eventuale necessità di segnaletica di prescrizione.

La finalità principale delle interviste è stata l'acquisizione di informazioni relative a:

- Numero occupanti il veicolo;
- Origine dello spostamento in corso (Provincia, Comune, Località, Via, Civico);
- Destinazione dello spostamento in corso (Provincia, Comune, Località, Via, Civico);
- Motivo dello spostamento;
- Frequenza dello spostamento;
- Localizzazione del parcheggio e tipologia di parcheggio;

Il tutto allo scopo di eseguire valutazioni ed estrapolare risultati relativi non solo alle singole informazioni acquisite ma anche alle varie combinazioni, soprattutto in relazione alle coppie O/D

che sono state georeferenziate (con il dettaglio del civico) e quindi associabili alla zonizzazione trasportistica del territorio. I risultati acquisiti su carta hanno subito i seguenti trattamenti:

- digitalizzazione delle informazioni;
- controllo di congruenza e validazione;
- georeferenziazione delle Origini e delle Destinazioni a partire dall'informazioni su Località, Via e Civico, per mezzo di software di *map-routing*;
- restituzione tabulare e grafica del database e dei risultati delle elaborazioni.

#### 2.3.6 Integrazione dati di traffico tramite indagini in ambito urbano

In aggiunta alle indagini descritte, con il fine di riprodurre correttamente gli effetti della congestione nel centro di Bergamo e in particolare di valutare le condizioni nei dintorni della Stazione (punto 5 nell'immagine seguente), fulcro dei sistemi su ferro ed extraurbani, e dell'area di Porta Nuova (punto 1 nell'immagine seguente), punto centrale del trasporto pubblico su gomma urbano, si è provveduto alla realizzazione di ulteriori conteggi nel settembre 2018. Tali conteggi sono stati utilizzati come verifica dei volumi previsti per il 2017, riscontrando, come prevedibile, scostamenti minimi.

A seguire si riporta la posizione degli otto incroci conteggiati e, per ognuno di essi, si evidenziano le manovre conteggiate.

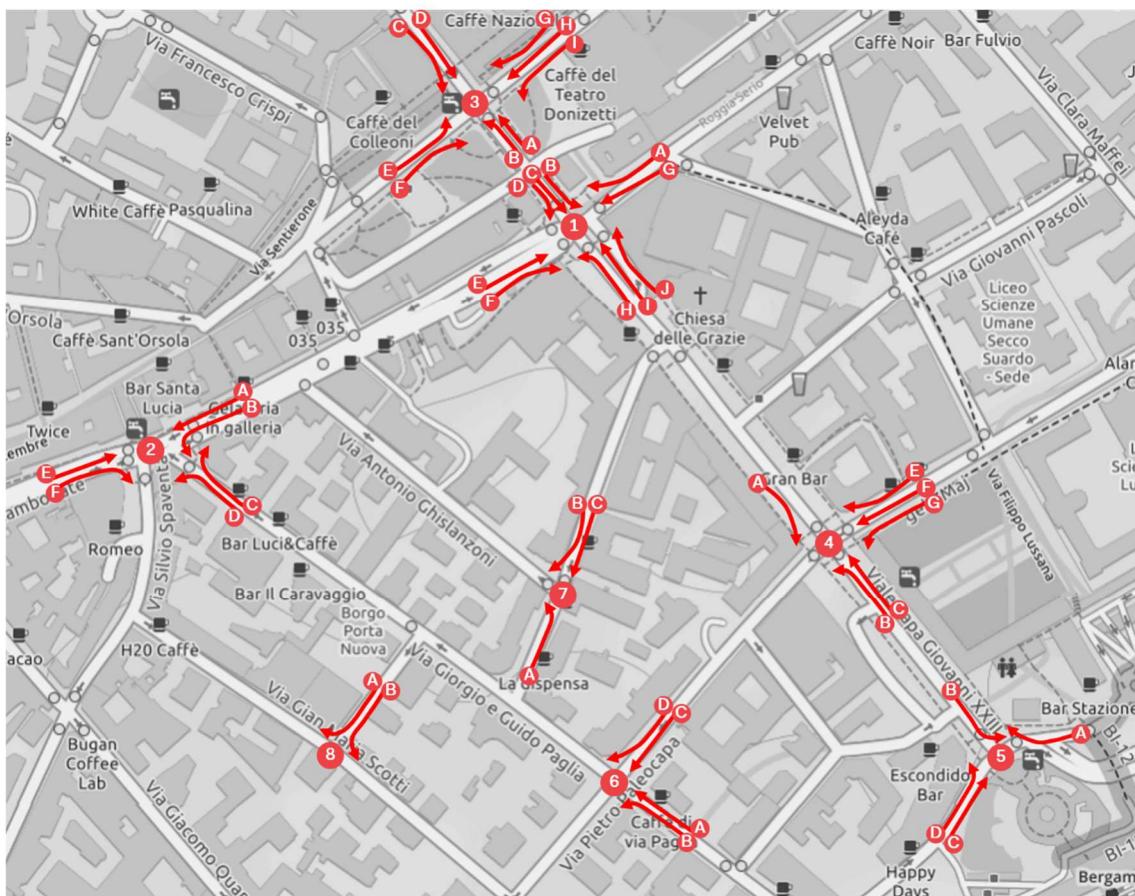


Figura 8 Localizzazione conteggi aggiuntivi (settembre 2018)

### 2.3.7 Indagini sul trasporto pubblico

Nella fase di calibrazione del modello dello stato di fatto, svolta nell'anno 2018, è stato analizzato un database di indagini sul trasporto pubblico fornito dalla Provincia di Bergamo, relativo all'inverno del 2017. Le informazioni presenti nella banca dati sono relative alle seguenti linee extraurbane:

- Linea A10
- Linea B
- Linea B00A
- Linea B10A
- Linea P

In tale database, oltre al codice della linea, sono riportate le fermate di arrivo e partenza, la fermata monitorata e la relativa ora di arrivo. Per ciascuna corsa è indicato il numero medio di passeggeri a bordo.

L'immagine di seguito riporta un estratto del database analizzato.

Codice_Linea	Orario_Partenza	Località_Partenza	Località_Arrivo	Località_Verifica	Media_Num_Passeggeri
A10	06:35	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	1
A10	06:35	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	PONTE S.PIETRO (via F.III Calvi)	17
A10	06:35	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	PONTE S.PIETRO (via F.III Calvi)	24
A10	06:35	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	17
A10	06:35	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	PRESEZZO (Piazzale ITC)	27
A10	06:40	PALAZZAGO (Gromlongo - via Volturino, 30)	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	ALMENNO S.BART. (Cà Barile)	0
A10	06:40	PALAZZAGO (Gromlongo - via Volturino, 30)	BERGAMO (stazione SAB)	BERGAMO (stazione SAB)	49
A10	06:40	PALAZZAGO (Gromlongo - via Volturino, 30)	BERGAMO (stazione SAB)	BREMBATE SOPRA (Chiesa)	75
A10	06:40	PALAZZAGO (Gromlongo - via Volturino, 30)	BERGAMO (stazione SAB)	PONTE S.PIETRO (via F.III Calvi)	78
A10	06:40	PALAZZAGO (Gromlongo - via Volturino, 30)	BERGAMO (stazione SAB)	PONTE S.PIETRO (via F.III Calvi)	57
A10	06:40	PALAZZAGO (piazza monumento)	BERGAMO (stazione SAB)	BERGAMO (stazione SAB)	29
A10	06:40	PALAZZAGO (piazza monumento)	BERGAMO (stazione SAB)	BREMBATE SOPRA (via Donizetti, 61)	60
A10	06:40	PALAZZAGO (piazza monumento)	BERGAMO (stazione SAB)	BREMBATE SOPRA (via Donizetti, 61)	20

Figura 9 Estratto database rilievi TPL extraurbano

Inoltre, lungo le seguenti linee sono anche stati effettuati dei conteggi di saliti, discesi e passeggeri a bordo:

- Linea 1;
- Linea 6;
- Linea 7;
- Linea 9;
- Linea C.

Per quanto riguarda i carichi sulle linee che interessano direttamente l'area di intervento, l'agenzia del trasporto pubblico di Bergamo (ATB Servizi Spa) ha fornito i valori di carico massimo nelle ore di punta nella tratta Dalmine-Bergamo. Questi dati sono relativi al periodo precedente all'emergenza sanitaria Covid-19, poiché risultano maggiormente rappresentative delle normali dinamiche di mobilità:

- Linea 5 (urbana)

- Linea V (extraurbana)
- Linea V10 (extraurbana)

## 2.4 MODELLO DI OFFERTA

### 2.4.1 La rete del trasporto privato

Il modello di offerta costituisce la rappresentazione di tutti i sistemi di trasporto implementati, sia dal punto di vista geometrico che funzionale. La rete stradale è rappresentata attraverso un grafo orientato, dove ogni arco costituisce un tronco di strada di caratteristiche geometrico-funzionali omogenee, mentre i nodi costituiscono le intersezioni o punti di discontinuità fisica e/o geometrico-funzionale tra due archi consecutivi.

Il grafo di rete in oggetto è composto da circa 133.000 nodi e 323.000 archi, i quali sono stati classificati a seconda della categoria della strada che rappresentano. In particolare, sono state considerate le seguenti categorie funzionali principali: Autostrade, Strade Primarie, Strade Secondarie e Strade Locali.

- Ogni singolo arco è stato caratterizzato con le seguenti informazioni fondamentali:
- Classificazione stradale;
- Velocità a flusso libero (km/h), ovvero la velocità alla quale un veicolo percorrerebbe la strada a rete scarica;
- Capacità veicolare oraria (veicoli/h). Dipende dalla categoria stradale e dalle condizioni fisiche e geometriche particolari di ogni tratto di strada, nonché da eventuali vincoli imposti dall'interazione dei veicoli con pedoni e ciclisti;
- Curva di deflusso, ovvero il legame tra la saturazione di un arco (rapporto volume/capacità, V/C) e il tempo di percorrenza dell'arco stesso. Nel modello sono stati utilizzate curve del tipo BPR (Bureau of Public Roads), la cui formulazione è la seguente:

$$t_c = t_0 \left[ 1 + a(V/C)^b \right]$$

Dove:

$t_c$  - Tempo di percorrenza a rete carica con un flusso V.

$t_0$  - Tempo di percorrenza alla velocità di flusso libero.

V - Flusso orario sull'arco.

C - Capacità oraria dell'arco.

a,b - Parametri dipendenti dalle caratteristiche dell'arco.

I parametri delle curve BPR variano a seconda della categoria stradale e rappresentano il modo in cui la congestione o crescente interazione tra i veicoli influenza la velocità media di deflusso veicolare.

L'adeguata caratterizzazione della rete è fondamentale per stimare l'impedenza dei diversi percorsi possibili tra ogni origine e destinazione, in modo che sia possibile quindi ricostruire una rappresentazione realistica dei flussi veicolari sulla rete attraverso il modello di assegnazione.

Per la predisposizione del grafo stradale sono stati utilizzati i dati cartografici scaricabili da OpenStreetMap (OSM) e direttamente importabili in VISUM mediante uno specifico applicativo interno al software.

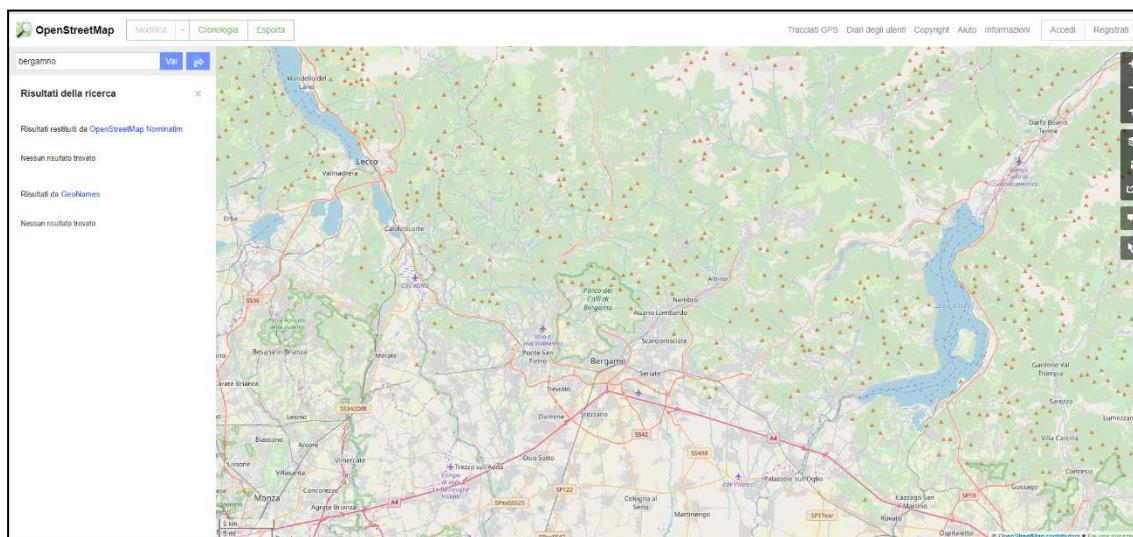


Figura 10 Dati cartografici da fonte OpenStreetM

La rete importata in VISUM è stata successivamente sottoposta ad un controllo puntuale al fine di modellare l'attuale classifica funzionale della rete (controllo delle caratteristiche di capacità e velocità sugli archi e corretta associazione delle curve di deflusso per ogni tipologia di arco stradale).

L'ambito prettamente urbano di Bergamo ha richiesto un livello di approfondimento maggiore; si è fatto pertanto riferimento al Sistema Informativo Geografico Integrato del Comune di Bergamo (<http://territorio.comune.bergamo.it/sistema-informativo-territoriale/sigi-il-sistema-informativo-geografico-integrato-del-comune-di-bergamo>), che, con la contemporanea analisi in Google Street View della segnaletica e dei limiti di velocità dei principali tratti stradali urbani, unitamente a specifiche verifiche sul campo, ha permesso di associare a ciascun arco del modello le caratteristiche di capacità e velocità più idonee a rappresentare la rete attuale.

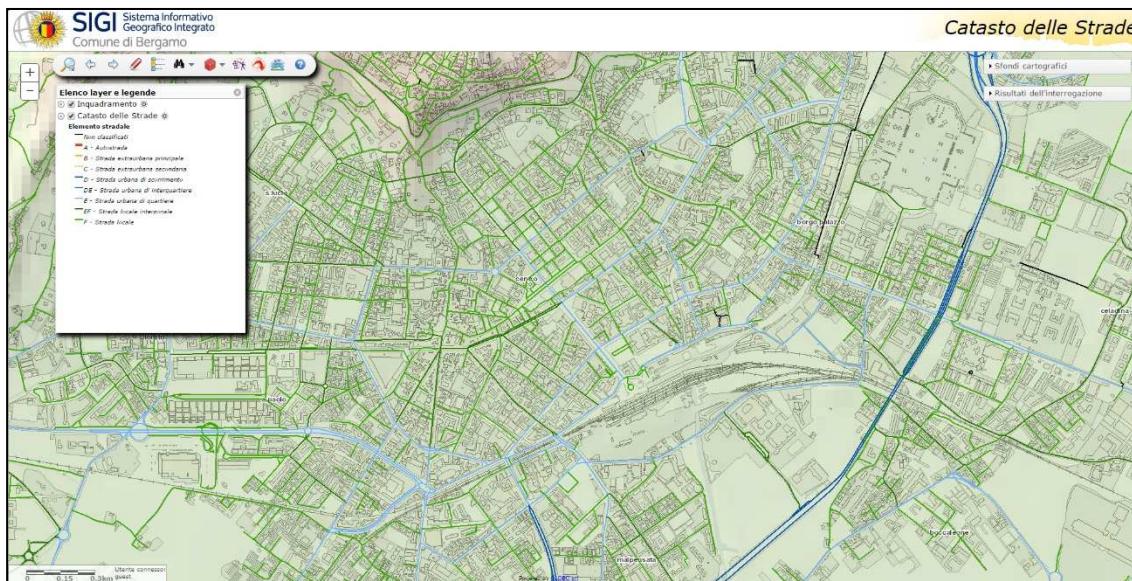


Figura 11 Catasto delle Strade (SIGI - Comune di Bergamo)

Le immagini di seguito mostrano la classifica funzionale del modello, sia per l'ambito urbano che per l'intera rete.

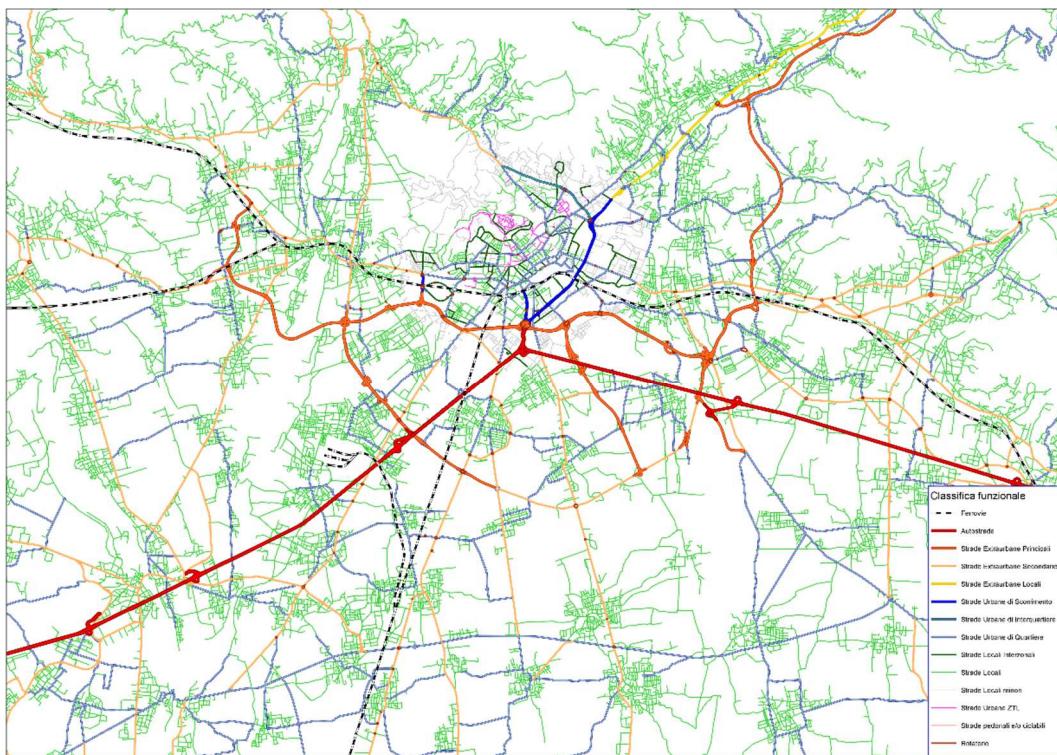


Figura 12 Classifica funzionale della rete stradale implementata nel modello di simulazione.

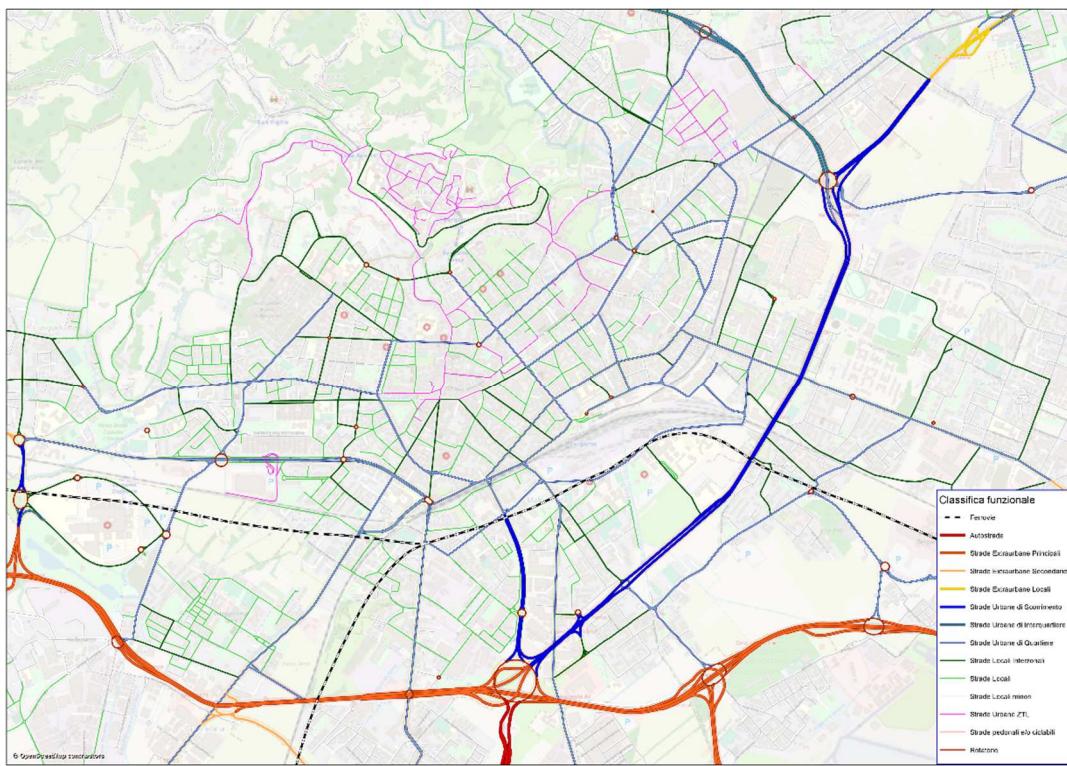


Figura 13 Classifica funzionale della rete stradale implementata nel modello di simulazione – Area urbana di Bergamo

## 2.4.2 Sistema di trasporto pubblico

### 2.4.2.1 Servizi urbani

L'implementazione dei servizi di trasporto pubblico urbano attuali nel modello, è stata effettuata mediante importazione di file GTFS (General Transit Feed Specification). Tali file contengono tutte le informazioni sui servizi Tpl (linee, percorsi, orari, validità etc.) e sono decodificati direttamente dal software VISUM.

L'immagine di seguito mostra i tracciati delle linee urbane importate.

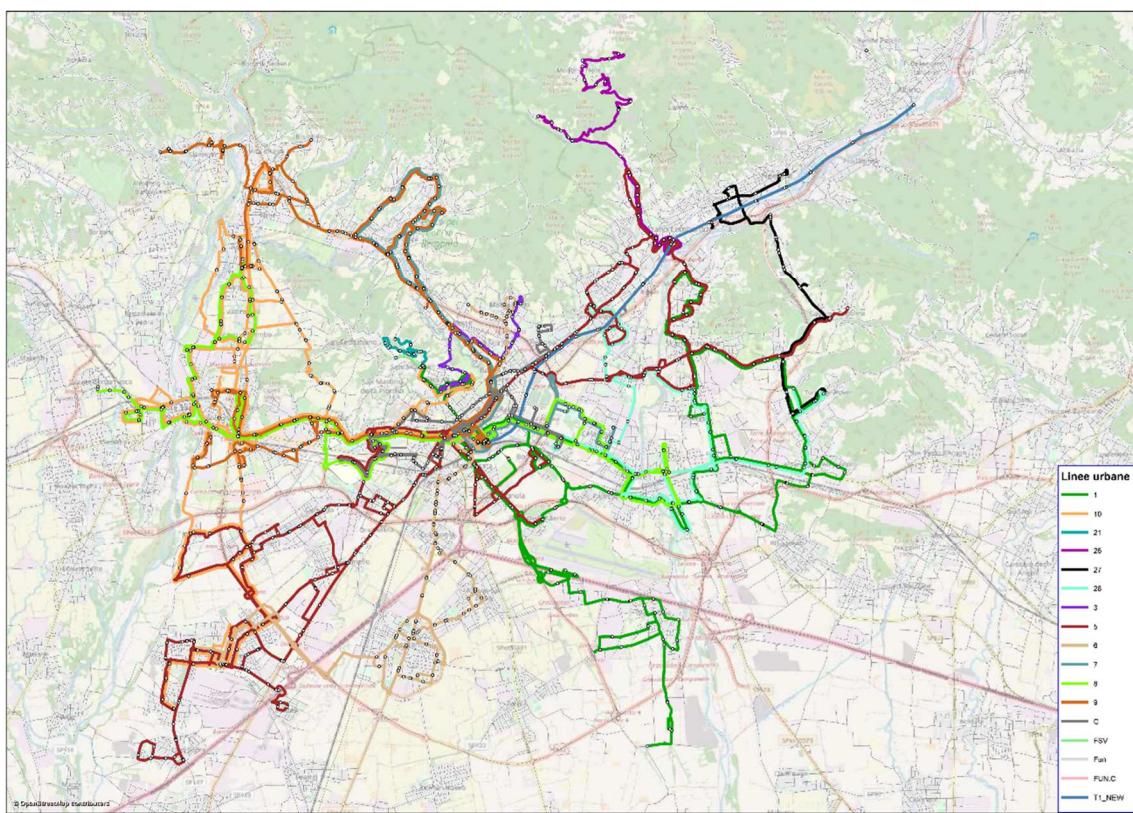


Figura 14 Linee Urbane implementate nel modello di simulazione (da GTFS).

### 2.4.2.2 Servizi Extraurbani e Ferroviari

I servizi extraurbani e ferroviari, non essendo disponibili file GTFS per il caricamento in VISUM, sono stati aggiornati dagli orari ricavati dal Piano di Bacino della Provincia, con particolare attenzione alle linee ricadenti nell'area di studio, mediante la consultazione puntuale degli orari di ciascuna delle stesse.

L'immagine di seguito mostra i tracciati delle linee extraurbane importate.

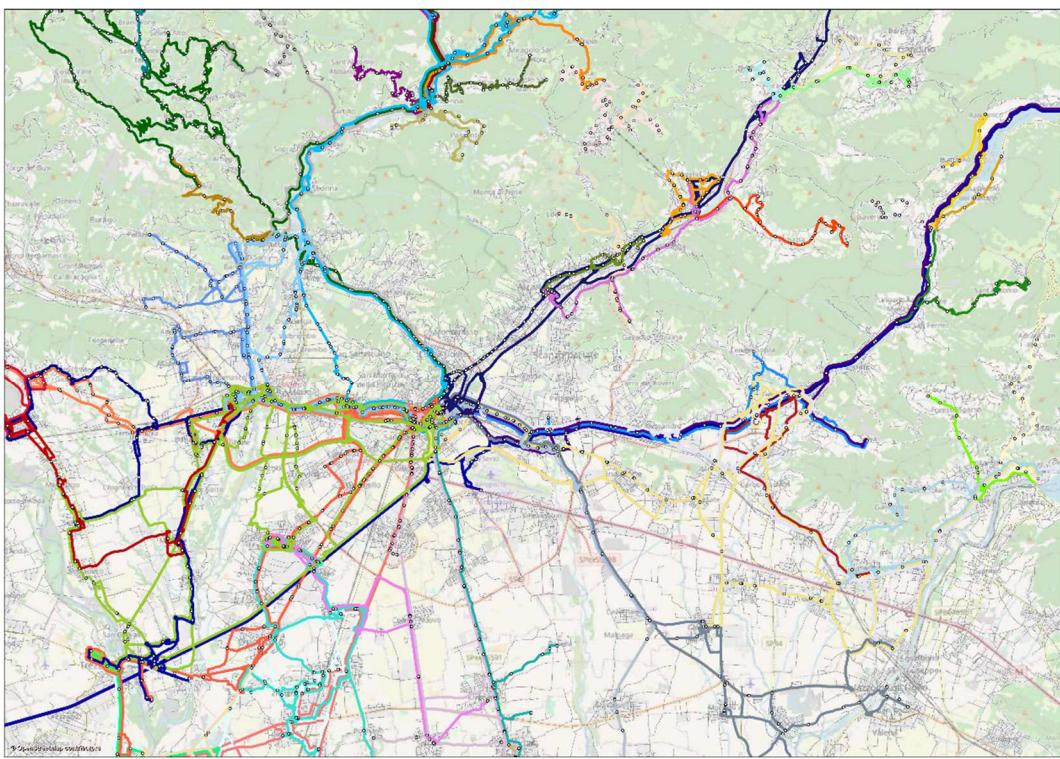


Figura 15 Linee Extraurbane implementate nel modello di simulazione.

In Figura 16 si mostrano i tracciati delle linee che interessano l'area di intervento (V e V10).

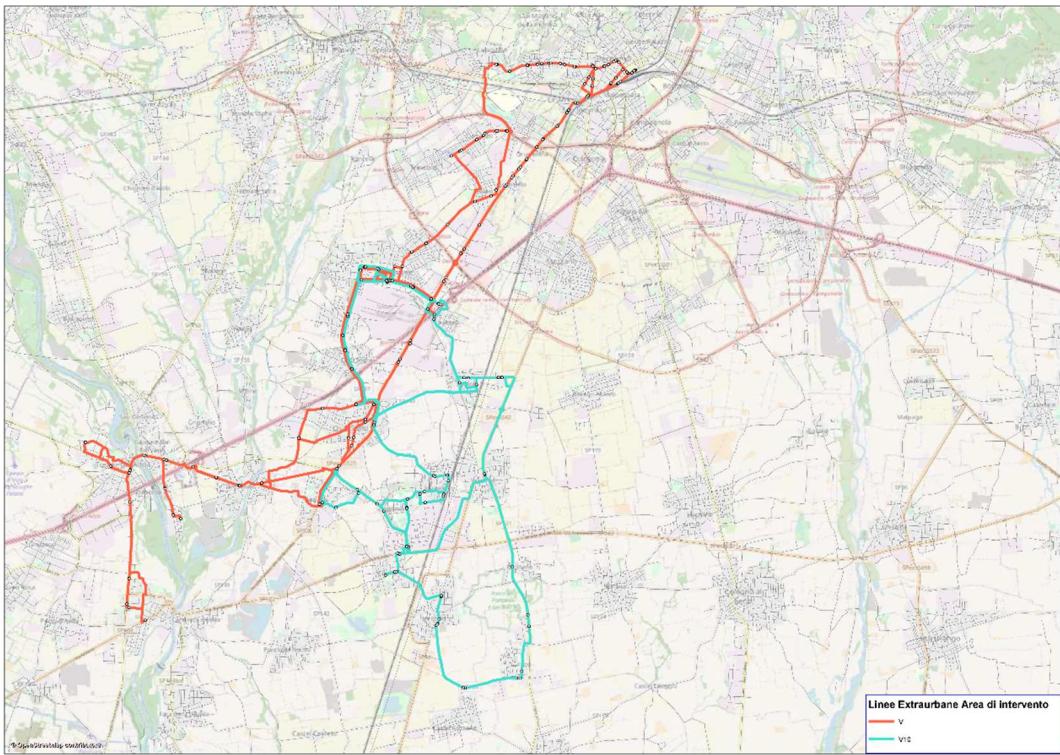


Figura 16 Linee Extraurbane nell'area di intervento

La seguente tabella riporta dettagliatamente la codifica di tutte le linee di trasporto pubblico considerate, inclusi i sistemi su ferro e le funicolari.

LINEE TRASPORTO PUBBLICO				
52953	B20b	C	RE_13	S60c
52964	B20c	D	RE_2	S60d
10	B20d	E	RE_6	S70a
1	B30a	E20a	S	S70b
21	B30b	E20b	S20a	S70c
26	B40a	E20d	S20b	S70d
27	B40b	F	S20c	T+T30
28	B50a	F10	S20d	T10
3	B50b	FSV	S30a	T1
5	B50c	Fun	S30c	T20
6	B50d	FUN.C	S30d	U
7	BG-PS	L	S40a	V
8	B	M	S40b	V10
9	C	P	S40c	V10A
A	C20a	Q	S5	V20
A10	C20b	R	S50a	Z
A20	C20d	R1	S50b	Z10
A30	C30a	R14	S50c	Z30
B00a	C30b	R2	S50d	ZSABS1
B00b	C30c	R20	S50e	-
B00e	C40a	R4	S6	-
B10a	C40b	R6	S60a	-
B20a	C40e	R7	S60b	-

Tabella 3 Linee di trasporto pubblico incluse nel modello

## 2.5 MODELLO DI DOMANDA

### 2.5.1 La matrice OD della Regione Lombardia

La Regione Lombardia rende disponibile on line la banca dati con le abitudini di spostamento in Lombardia, costruita integrando i risultati di un sondaggio svoltosi da febbraio a maggio 2014 con i dati del Censimento ISTAT 2011 e i contributi di enti locali e stakeholder del settore della mobilità.

Le matrici sono differenziate per fascia oraria (dalle 00:00 alle 24:00), per modo di trasporto (auto come conducente, auto come passeggero, ferro, gomma, moto, bici, piedi, altro) e motivo dello spostamento (lavoro LAV, studio STU, occasionale OCC, affari AFF, ritorno RIT).

Le tabelle e i grafici di seguito dettagliano gli spostamenti per il solo territorio provinciale.

TOTALE GIORNO	AUTO	MOTO	FERRO	GOMMA	BICI	PIEDI
1'112'753	63'176	70'993	243'546	60'190	181'294	

Tabella 4 Spostamenti giornalieri per la provincia di Bergamo per modo di trasporto (fonte Regione Lombardia)

ORA DI PUNTA DEL MATTINO	AUTO	MOTO	FERRO	GOMMA	BICI	PIEDI
106'374	6'271	5'886	18'039	5'670	15'842	

Tabella 5 Spostamenti ora di punta del mattino per la provincia di Bergamo per modo di trasporto (fonte Regione Lombardia)

MOTIVO E MODO	SPOSTAMENTI GIORNALIERI	PESO %
LAV_AUTO (CONDUCENTE)	309'476	28%
STU_AUTO (CONDUCENTE)	6'949	1%
OCC_AUTO (CONDUCENTE)	276'964	25%
AFF_AUTO (CONDUCENTE)	32'787	3%
RIT_AUTO (CONDUCENTE)	486'578	44%
LAV_MOTO	19'284	31%
STU_MOTO	2'579	4%
OCC_MOTO	12'220	19%
AFF_MOTO	1'088	2%
RIT_MOTO	28'005	44%
LAV_FERRO	11'215	16%
STU_FERRO	12'610	18%
OCC_FERRO	13'585	19%
AFF_FERRO	1'184	2%
RIT_FERRO	32'400	46%
LAV_GOMMA	20'774	9%
STU_GOMMA	39'078	16%
OCC_GOMMA	71'687	29%
AFF_GOMMA	1'028	0%
RIT_GOMMA	110'979	46%
LAV_BICI	16'203	27%
STU_BICI	2'554	4%
OCC_BICI	14'068	23%
AFF_BICI	323	1%
RIT_BICI	27'042	45%
LAV_PIEDI	36'433	20%
STU_PIEDI	11'036	6%
OCC_PIEDI	48'634	27%
AFF_PIEDI	5'861	3%
RIT_PIEDI	79'330	44%

Tabella 6 Spostamenti per motivo e modo e relativa quota percentuale (fonte Regione Lombardia)

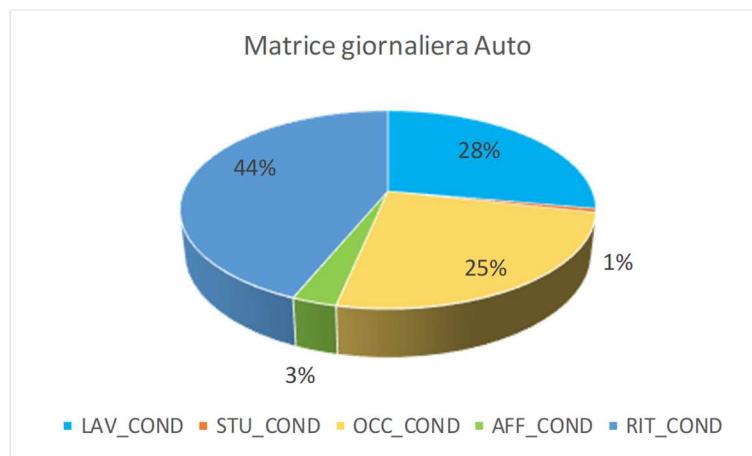


Figura 17 Matrice giornaliera AUTO

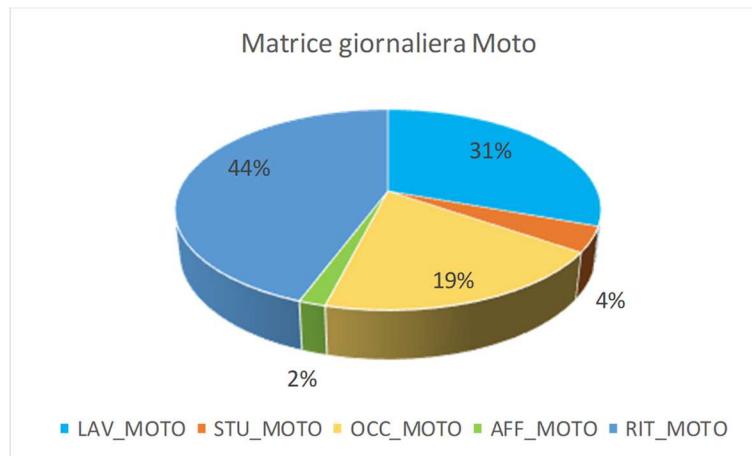


Figura 18 Matrice giornaliera MOTO

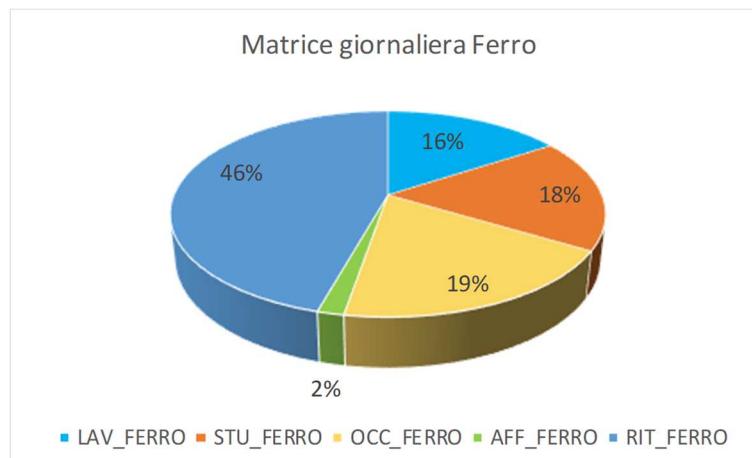


Figura 19 Matrice giornaliera FERRO

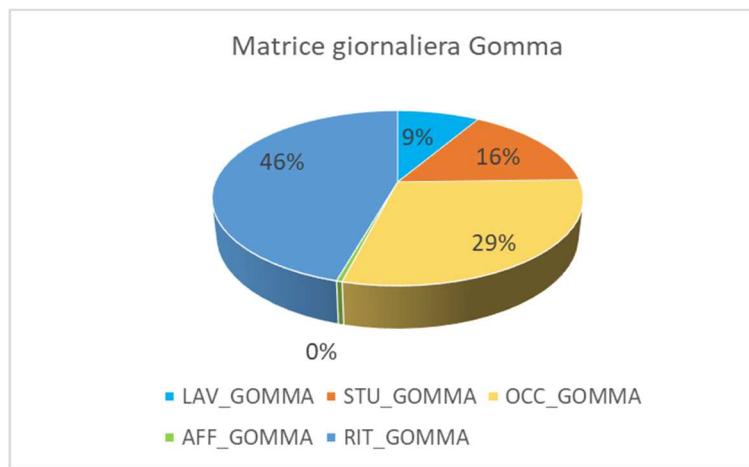


Figura 20 Matrice giornaliera GOMMA

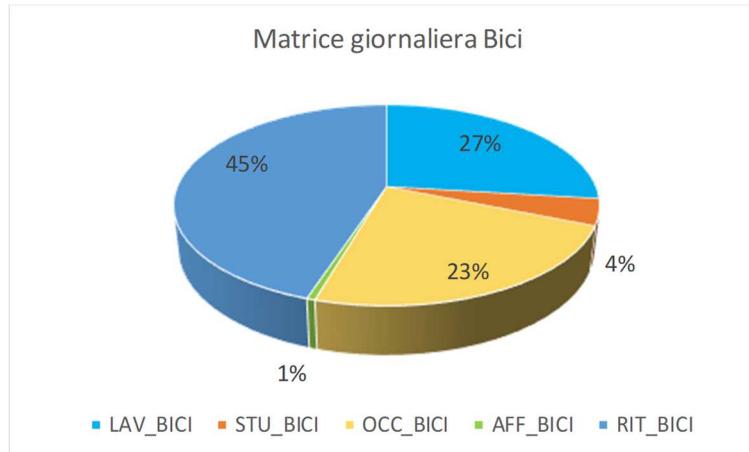


Figura 21 Matrice giornaliera BICI

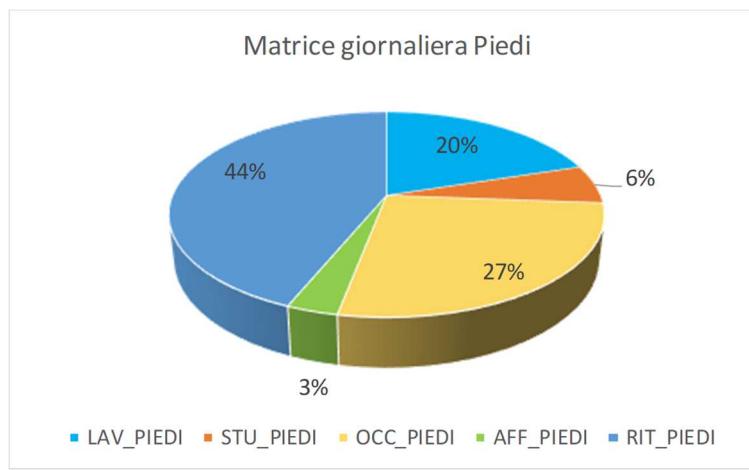


Figura 22 Matrice giornaliera PIEDI

## 2.5.2 Zonizzazione

La zonizzazione di base utilizzata per il modello coincide con quella della matrice regionale ([www.datilombardia.it](http://www.datilombardia.it), anno 2014), in cui ogni zona corrisponde ad un comune della provincia:

La zonizzazione dell'area urbana di Bergamo, e lungo il corridoio interessato dall'intervento di progetto, è stata affinata disaggregando la stessa in base alle sezioni di censimento ISTAT 2011, al fine di rappresentare al meglio la mobilità in quest'area e di valutare correttamente l'effetto della capillarità delle linee di trasporto pubblico sull'utilizzo del sistema.

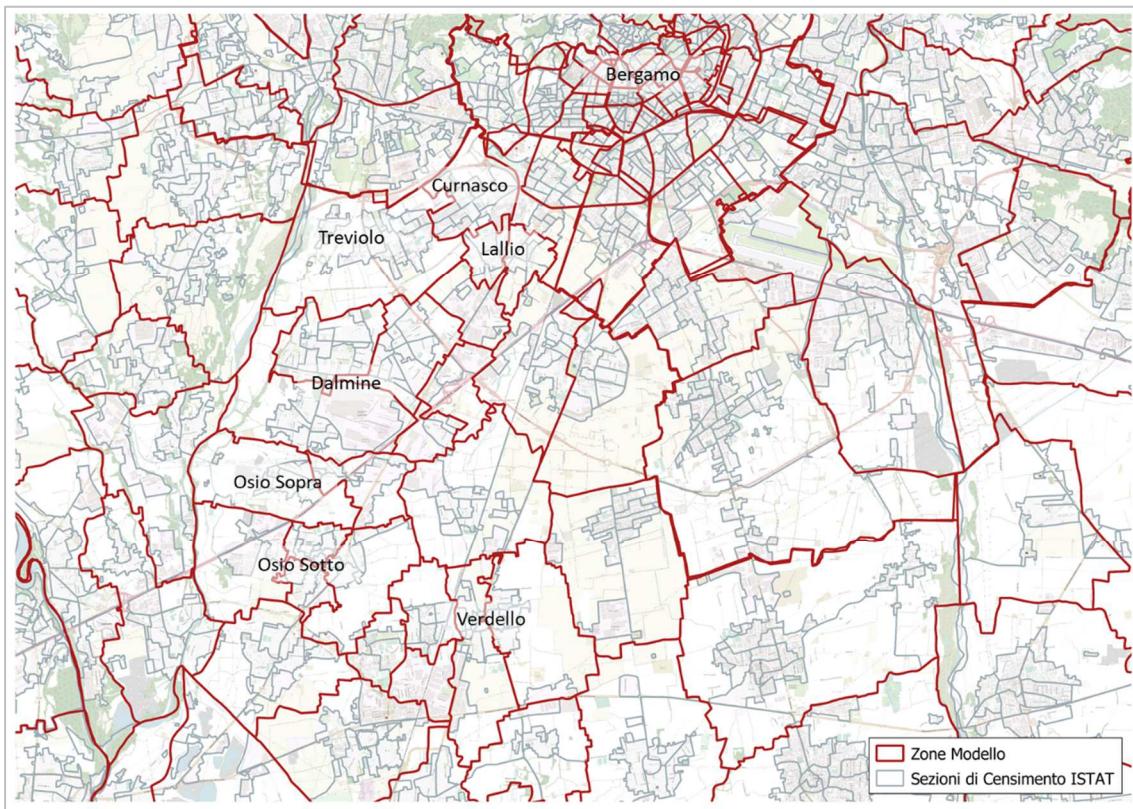


Figura 23 Confronto sezioni di censimento e definizione della subzonizzazione definitiva - comune di Bergamo e corridoio interessato dall'intervento di progetto.

Le immagini di seguito dettagliano la zonizzazione implementata nel modello per l'ambito urbano di Bergamo e per il resto del territorio provinciale.

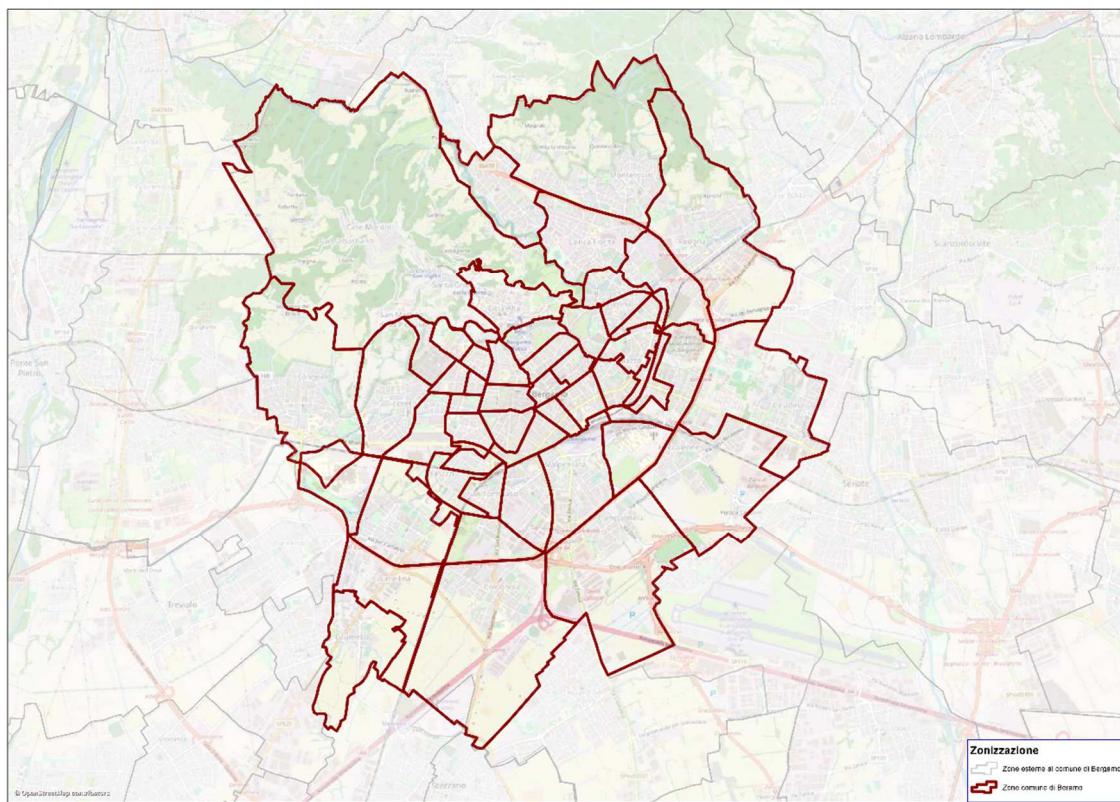


Figura 24 Zonizzazione all'interno del comune di Bergamo

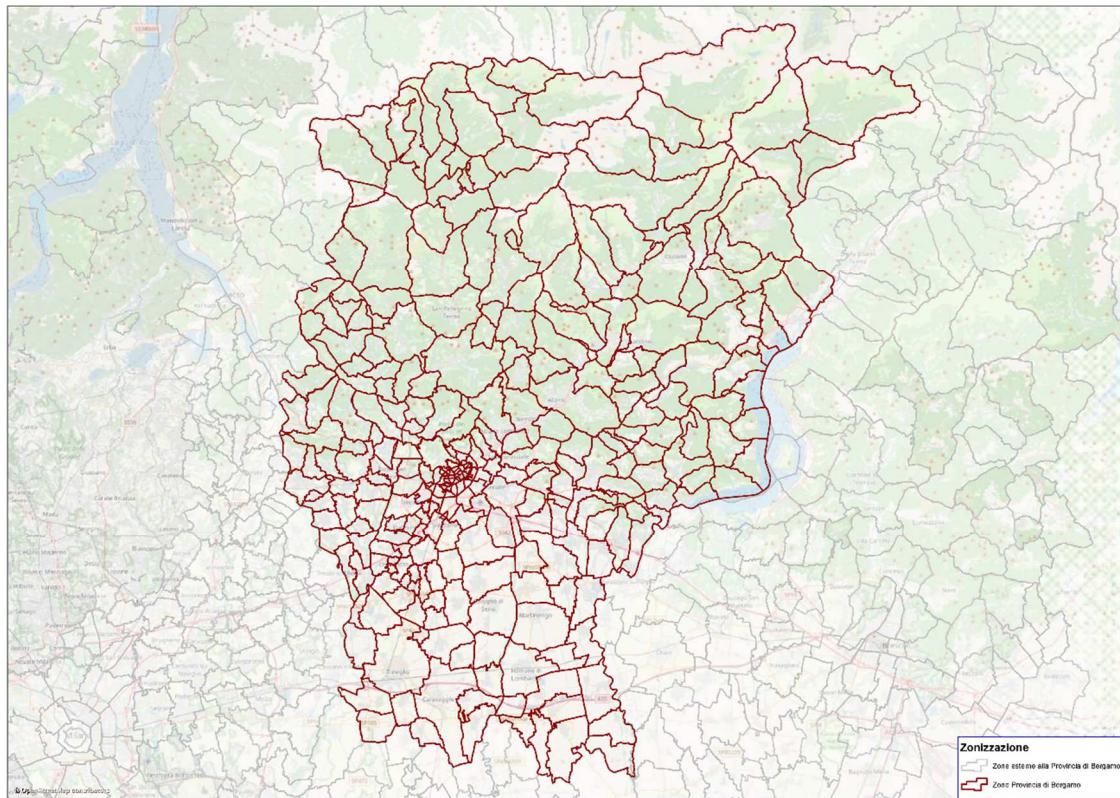


Figura 25 Zonizzazione all'interno della Provincia di Bergamo

Nel modello sono state implementate, infine, le sole zone esterne all'ambito provinciale che presentano relazioni O/D con il territorio bergamasco.

La tabella seguente riepiloga il numero di zone implementate nel modello e differenziate per tipologia.

	NUMERO DI ZONE
Comune di Bergamo	55
Provincia di Bergamo (esterne al capoluogo)	265
<b>Totale Zone Modello</b>	<b>791</b>

Tabella 7 Classificazione zone implementate nel modello

### 2.5.3 La matrice traffico privato – auto

La ricostruzione della domanda attuale di trasporto privato su auto è stata basata sulle seguenti banche dati:

- Matrice auto per l'ora di punta del mattino, predisposta e calibrata nell'ambito dello studio di traffico per la linea C di ATB, e relativa ai comuni di Bergamo e ai 35 comuni ad esso limitrofi (Nembro, Albano Sant'Alessandro, Ponte San Pietro, Pedrengo, Pradalunga, Almé, Almenno San Salvatore, Brusaporto, Albino, Stezzano, Orio al Serio, Grassobbio, Azzano San Paolo, Lallio, Mozzo, Gorle, Valbrembo, Osio Sopra, Seriate, Torre de' Roveri, Treviolo, Presezzo, Scanzorosciate, Curno, Zanica, Dalmine, Paladina, Torre Boldone, Ranica, Villa di Serio, Almenno San Bartolomeo, Sorisole, Alzano Lombardo, Villa d'Almè, Ponteranica) serviti da linee urbane;
- Matrice auto scaricabile dal sito della Regione Lombardia (ora di punta del mattino) per le sole relazioni O/D interessanti la provincia di Bergamo (vedi paragrafo 2.5.1).

Per quanto riguarda la matrice dell'area di Bergamo, predisposta per conto di ATB (Azienda Trasporti Bergamo), si è proceduto in primo luogo alla disaggregazione della domanda associata ai 7 portali esterni, che erano state utilizzate per modellizzare la domanda esterna diretta/proveniente dal territorio oggetto di analisi. Tali portali rappresentavano le principali radiali di penetrazione, elencate e localizzate di seguito:

1. Diretrice Val Brembana (SS 470)

2. Diretrice Val Seriana (SP 35)
3. Diretrice Seriate (SS 42 Est e strade convergenti sulla stessa)
4. Diretrice Crema (SS 591)
5. Diretrice Sud (SS 42 Sud e SS 525)
6. Diretrice Briantea (SS 342)
7. Autostrada A4.

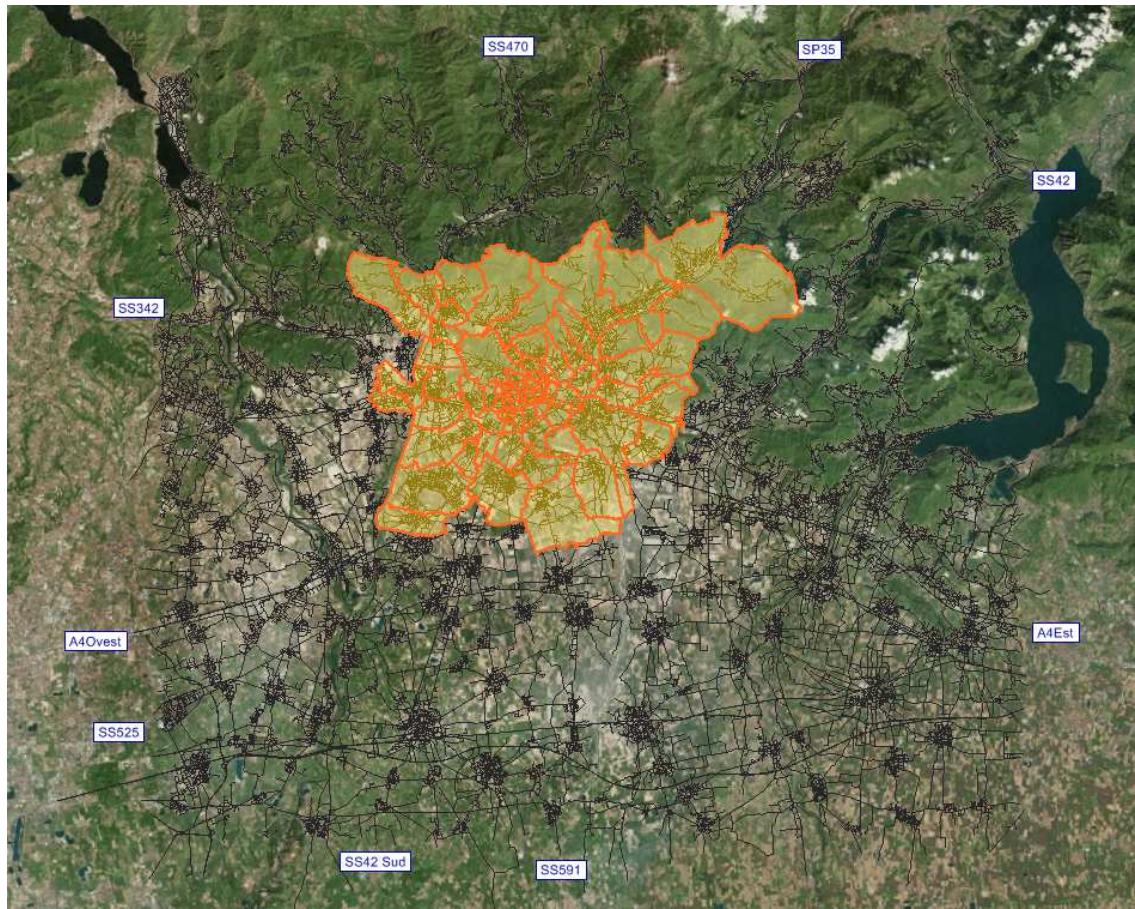


Figura 26 Portali esterni

Le relazioni da/per tali portali, sono state divise sulle effettive origini e destinazioni, in base a quanto riportato nella matrice del pendolarismo ISTAT, da cui è stato estrapolato il traffico diretto/proveniente dall'esterno del territorio provinciale. A tale matrice è stata sommata la domanda auto relativa al resto del territorio provinciale, scaricabile dal sito della Regione Lombardia. La matrice è stata successivamente calibrata tramite la procedura di stima matriciale descritta nel paragrafo 2.5.6.

La matrice di spostamenti in Auto così definita è stata sommata alla matrice di spostamenti in trasporto pubblico per costruire la matrice complessiva di domanda. Questa matrice totale è stata poi suddivisa, tramite il modello di ripartizione modale (paragrafo 2.6), nelle matrici Auto e TPL usate per le assegnazioni. La matrice Auto nell'ora di punta del mattino che risulta dal modello di ripartizione modale è pari a circa 185.630 spostamenti.

#### 2.5.4 La matrice traffico privato - mezzi pesanti

Per la stima della matrice dei mezzi pesanti, sono stati analizzati i rilievi di traffico effettuati, per il già citato studio di traffico di ATB, ai cordoni del centro urbano.

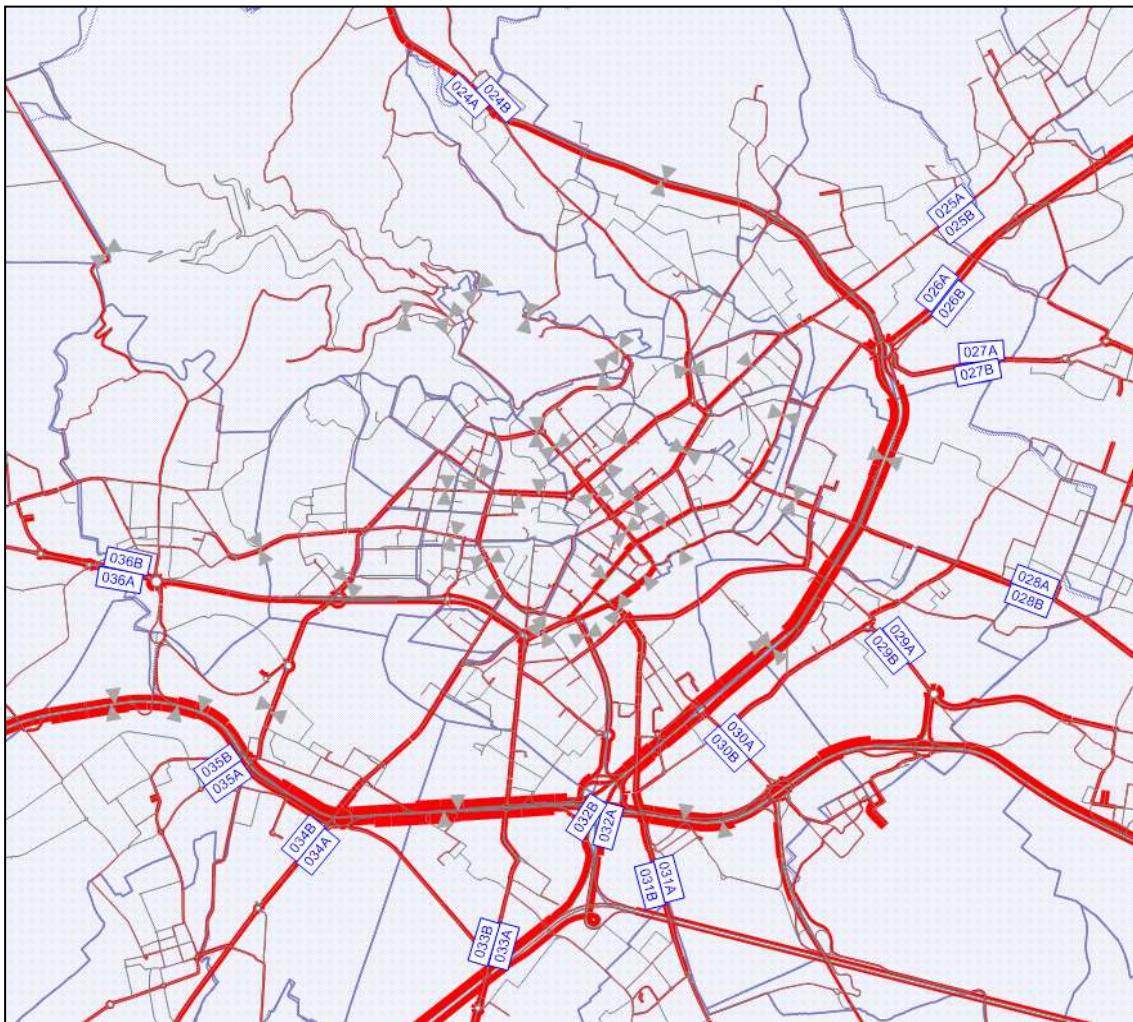


Figura 27 Rilievi al cordone

Per ciascun cordone, si è analizzata la percentuale di auto e mezzi pesanti rilevati (Figura 28).

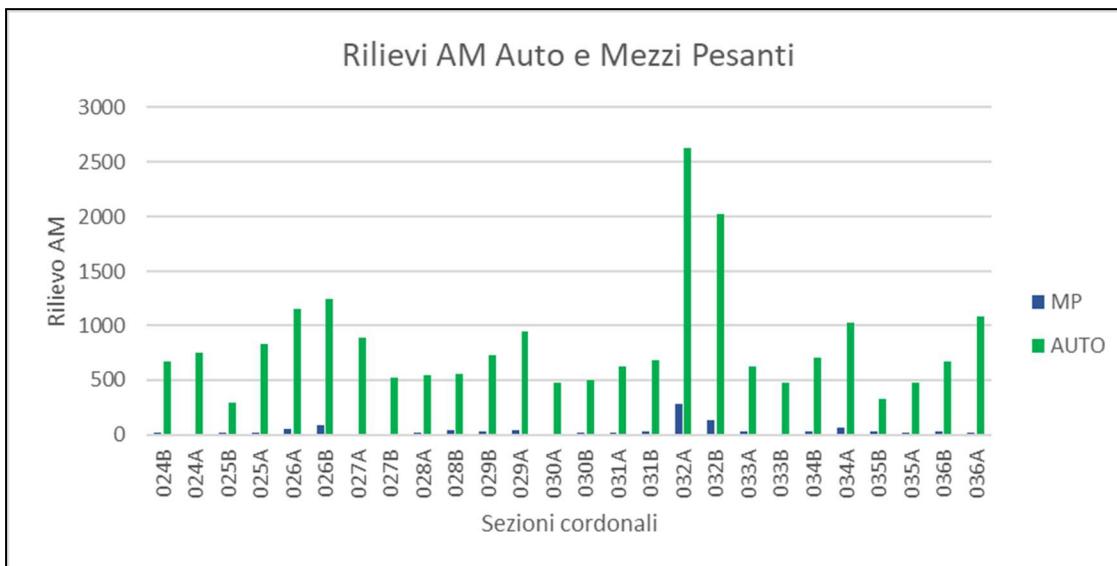


Figura 28 Rilievi Auto e Mezzi Pesanti al cordone

Da successiva composizione di flusso sui singoli cordoni da assegnazione della matrice auto, si è stimata la relativa componente del traffico pesante. La domanda relativa ai mezzi pesanti, che interessa l'area urbana di Bergamo nell'ora di punta del mattino, è pari a circa 1.100 spostamenti.

### 2.5.5 La matrice del Trasporto Pubblico

Per la stima della domanda del trasporto pubblico su ferro e su gomma, per l'intero ambito provinciale, sono state considerate le matrici O/D predisposte dalla Regione Lombardia (vedi paragrafo 2.5.1).

Al fine di simulare correttamente gli spostamenti dei passeggeri nel territorio provinciale, si è scelto di considerare la matrice della fascia oraria 07:00-08:00 per gli spostamenti esterni all'ambito urbano di Bergamo e di prendere la matrice 08:00-09:00 per gli spostamenti di valenza prettamente urbana.

La matrice TPL così definita è stata sommata alla matrice di spostamenti in auto per costruire la matrice complessiva di domanda. Questa matrice totale è stata poi suddivisa, tramite il modello di ripartizione modale (paragrafo 2.6), nelle matrici Auto e TPL usate per le assegnazioni. La matrice TPL che risulta dal modello di ripartizione modale è pari a circa 51.250 spostamenti.

### 2.5.6 Stima delle matrici

La correzione della matrice di domanda è stata svolta attraverso l'utilizzo di un apposito modulo del software PTV Visum, il quale utilizza il metodo TFlowFuzzy (TFF). Un notevole svantaggio dei metodi classici di stima matriciale è che considerano i valori dei conteggi di traffico come dati assolutamente certi, anche se in realtà sono affetti da diverse incertezze statistiche.

Questo presupposto porta ad assegnare ad essi un peso eccessivo nel processo di correzione della matrice di base. Il metodo TFlowFuzzy, invece, basandosi sulla teoria degli insiemi sfumati (fuzzy sets), modella i conteggi come valori incerti. Il metodo svolge la stima matriciale cercando di adattare i flussi di traffico entro un intervallo di valori intorno al dato rilevato. L'ampiezza di questo intervallo dipende dalla tolleranza associata a ogni dato.

Poiché il modello di traffico non associa un peso uniforme a tutti i valori della fascia, queste ultime vengono definite dalla funzione di appartenenza che varia tra 0 e 1. Questa funzione vale 0 per i valori che non appartengono all'insieme sfumato e arriva a 1 per il valore centrale, ovvero quello registrato dai conteggi. In questo modo si privilegia il valore centrale, ma allo stesso tempo si dà maggior flessibilità al modello considerando gli errori associati ai conteggi.

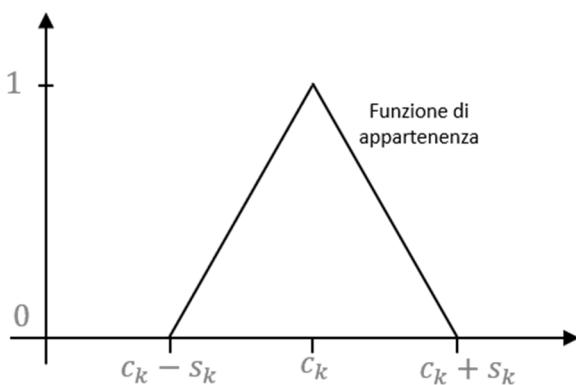


Figura 29 Esempio di funzione di appartenenza

Tenendo conto che ogni arco viene percorso da tanti flussi aventi origini e destinazioni diversi, è possibile quindi definire i conteggi di traffico lungo gli archi con un sistema di equazioni lineari di tipo:

$$\sum_{i,j} a_{i,j,k} \cdot f_{i,j} = c_k \pm s_k$$

Dove:

$a_{i,j,k}$ : Quota di viaggi con origine nella zona  $i$  e destinazione nella zona  $j$  che attraversano l'arco  $k$ . Questi valori sono risultati di un modello di assegnazione;

$f_{i,j}$ : Numero di viaggi con origine nella zona  $i$  e destinazione nella zona  $j$ ;

$c_k$ : Flusso totale rilevato lungo l'arco  $k$  nella campagna d'indagini (conteggi).

$s_k$ : Tolleranza associata al conteggio sull'arco  $k$ .

Visto in questo modo, se ci sono  $n$  zone OD e  $m$  valori di conteggi, ci saranno  $n^2$  incognite e solo  $m$  equazioni. Poiché di norma  $m \ll n^2$ , il sistema è sottodeterminato, quindi il problema della stima matriciale non ha un'unica soluzione. Per questo motivo, diventa un problema di ottimizzazione, nel quale si cerca di minimizzare una funzione obiettivo che tiene conto della differenza tra i valori simulati, i valori rilevati e la matrice di base (*prior matrix*). Poiché la funzione obiettivo non è lineare, occorre fare ricorso a un metodo iterativo.

Il livello di affidabilità delle stime, come ad esempio l'indicatore statistico R2 che confronta gli scarti tra flussi osservati e simulati attraverso il modello, per modalità di trasporto, è riportato nel successivo capitolo 0.

## 2.6 IL MODELLO DI RIPARTIZIONE MODALE

Il modello di macrosimulazione predisposto per le analisi implementa un apposito modulo che permette di calcolare la scelta modale degli spostamenti, a partire dalla matrice complessiva.

I fattori che influenzano maggiormente la scelta modale sono principalmente legati alle caratteristiche di:

- viaggiatore;
- spostamento;
- sistema di offerta e accessibilità.

Lo step di scelta modale del modello di macrosimulazione utilizzato è stato sviluppato e strutturato sulla base del Multinomial Logit (MNL), della famiglia dei modelli di scelta discreta. I modi considerati sono i seguenti:

- privato;
- pubblico.

In generale, l'assunto alla base dei modelli di scelta discreta è che la probabilità, per un individuo, di scegliere una determinata opzione è funzione delle proprie caratteristiche socio-economiche e della relativa attrattività dell'opzione stessa. Per rappresentare quest'ultima è stato utilizzato, nel modello implementato, il concetto di costo generalizzato (costrutto teorico che l'utente razionale cerca di minimizzare).

Il processo prevede il calcolo iniziale del costo generalizzato di trasporto, per ciascuna modalità e per ciascuna coppia origine-destinazione. Nella pratica comune, il costo è una funzione lineare di diversi attributi, sia di tipo funzionale (tempi, distanze, etc.) che di tipo monetario (pedaggi, costi chilometrici, etc.).

Applicando la classica formula del modello MNL, il modello utilizzato per le simulazioni permette di stimare la ripartizione modale attraverso il calcolo delle probabilità di utilizzo di ciascuna alternativa. Il risultato finale è una serie di matrici OD divise per modo di trasporto che saranno successivamente assegnate alla rete di traffico. Il processo di scelta modale è iterativo, con un numero di iterazioni tale da raggiungere una condizione di equilibrio del sistema simulato.

Le probabilità di scelta del modello, rispettivamente nelle alternative auto e trasporto pubblico sono calcolate come riportato di seguito:

$$P_{auto} = \frac{e^{-\lambda C_{auto}}}{e^{-\lambda C_{auto}} + e^{-\lambda C_{tp}}}$$

$$P_{tp} = \frac{e^{-\lambda C_{tp}}}{e^{-\lambda C_{auto}} + e^{-\lambda C_{tp}}}$$

La domanda di trasporto per ciascuna modalità è quindi calcolato come:

$$D_{auto} = D \times P_{auto}$$

$$D_{tp} = D \times P_{tp}$$

Dove:

- P = probabilità di scelta;
- C = costi generalizzati di trasporto;
- λ = parametron di scala;
- D = domanda totale di traffico.

Il comportamento del modello è determinato da una costante positiva conosciuta come parametro di scala, λ nelle equazioni precedenti. Se il parametro di scala è uguale a 0, il modello è completamente insensibile al costo, e la domanda di traffico verrebbe ripartita equamente tra tutte le modalità implementate.

Al crescere di λ, la sensibilità del modello aumenta progressivamente assegnando maggiore domanda alle alternative con il costo inferiore. Infine, quando il parametro tende a 1, il modello assegnerà tutta la domanda all'alternativa con il costo minore. Tale parametro è stato accuratamente calibrato al fine di ottenere una buona rispondenza del modello rispetto ai dati di traffico, sia privato che pubblico, a disposizione.

Di seguito si riportano le funzioni di costo utilizzate:

Auto: TTC+0,312\*DIS+TOL/VOT\*60\* FP +park\_destinazione/VOT\*60\*FP

Mandataria:

Mandante:

Collaborazione:

TP: IVT+OWTA+WKT+ACT+EGT+FAR/VOT\*60

Dove:

- TTC: Tempo corrente Auto
- DIS: Distanza Spostamento Auto
- TOL: Pedaggio Auto
- VOT: Valore del tempo
- Park destinazione: attributo di zona usato per tenere conto della tariffazione della sosta
- FP: Fattore di percezione del costo (0.68)
- FAR: Tariffa Trasporto Pubblico
- IVT: Tempo a Bordo Trasporto Pubblico
- OWTA: Tempo di attesa Trasporto Pubblico
- WKT: Tempo a Piedi
- ACT: Tempo di accesso TPB (connettore in entrata)
- EGT: Tempo di uscita TPB (connettore in uscita)

## 2.7 ASSEGNAZIONE E CALIBRAZIONE

L'ultima componente del modello di traffico è costituita dal modello di interazione domanda-offerta, detto anche modello di assegnazione. Tra i diversi metodi disponibili in letteratura, si è scelto di utilizzare quello comunemente riconosciuto come migliore per essere utilizzato in modelli di macro-simulazione statica, ossia il metodo di assegnazione all'equilibrio dell'utente su rete congestionata, che si basa sulla premessa che ogni utente cerchi di minimizzare il proprio costo generalizzato di trasporto.

L'algoritmo considera la dipendenza tra il tempo di viaggio di un arco e il flusso veicolare che lo percorre, ovvero considera la congestione. Per questo motivo, percorsi relativamente meno attrattivi a rete scarica vengono utilizzati quando altri percorsi, con migliori prestazioni di partenza, si congestionano. La forte dipendenza tra la offerta e la domanda richiede l'uso di una procedura iterativa, nella quale si calcoli in ogni passo il costo generalizzato di viaggio in base al suo flusso assegnato nel passo precedente

### 2.7.1 Parametri dell'assegnazione

Il valore del tempo (VOT) misura la disponibilità degli utenti del sistema di trasporto a pagare per il miglioramento delle caratteristiche dell'offerta di trasporto e rappresenta uno dei parametri più importanti per il calcolo del beneficio degli utenti nella valutazione dei progetti nel settore dei

Mandataria:

 **ETI**  
Engineering and Technical Services  
S.p.A.

Mandante:

 **Systematica**

Collaborazione:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO | Dipartimento  
di Scienze Economiche

trasporti. Per stimare il VOT di auto e mezzi pesanti, si è fatto riferimento alle "Linee guida per la redazione di Studi di Fattibilità" predisposto dalla Regione Lombardia.

#### 2.7.1.1 Il VOT per le auto

Di seguito si riporta il VOT differenziato per motivo di viaggio.

Valore del tempo per i passeggeri per motivo del viaggio	Valore [Euro/ora-persona]
Occasionale e studio	5,00
Casa-Lavoro	10,00
Lavoro-Affari	20,00
Ritorno a casa	5,00

Figura 30 VOT per motivo di viaggio – fonte Regione Lombardia

Il valore del tempo da impostare nel modello, deriva dall'analisi della matrice Auto, differenziata per motivo di trasporto.

MOTIVO TRASPORTO	DI	MATRICE AUTO ORA DI PUNTA DEL MATTINO (REGIONE LOMBARDIA)	VALORE %	VOT [EURO/H*PERSONA]
LAVORO	67'137		63%	10,0
STUDIO	820		1%	5,0
OCCASIONALE	27'986		26%	5,0
AFFARI	3'377		3%	20,0
RITORNO	7'054		7%	5,0
TOTALE	106'374		100%	

Tabella 8 Stima del VOT

Dai valori del VOT per singolo motivo si è ottenuto il valore medio di 8,6 euro/h\*persona.

Ipotizzando un coefficiente di riempimento di 1,15, si ottiene un VOT per le auto pari a 9,9 euro/h.

#### 2.7.1.2 Il VOT per i mezzi pesanti

Per i mezzi pesanti, il valore del tempo dipende sia dalla tipologia della merce trasportata che dal costo del conducente.

Nel primo caso le linee guida della Regione Lombardia, dichiarano un VOT compreso fra 1,6 e 4 euro/t ora, che, nell'ipotesi di un carico di 10 tonnellate, determina un VOT medio di 28 euro/h.

Per il conducente, le medesime linee guida indicano un VOT compreso fra 16 e 33 euro/h: si ipotizza, pertanto, un VOT medio per il conducente di 24,5 euro/h. Dalla somma dei due termini, per i mezzi pesanti si ha un VOT complessivo di 52,5 euro/h.

### 2.7.1.3 Costo chilometrico e pedaggio autostradale

Per i costi chilometrici si sono ipotizzati i coefficienti riportati nella tabella seguente.

	COSTO CHILOMETRICO	COEFFICIENTE [SECONDI/METRI]
Auto	0.312 [euro/km]	0.0654
MP	0.452 [euro/km]	0.0310

Tabella 9 Costi chilometrici

Relativamente al coefficiente moltiplicativo del pedaggio, da impostare per il calcolo dell'impedenza, si ha quanto riportato di seguito.

	1/VOT [SECONDI/EURO]	FATTORE RIDUTTIVO	COEFFICIENTE [SECONDI/EURO]
Coefficiente Auto	364	0.68	247
Coefficiente MP	68.57142857	0.68	47

Tabella 10 Coefficiente moltiplicativo del pedaggio

In tal caso viene applicato un fattore percezione del costo di 0.68 ai coefficienti moltiplicativi del pedaggio.

Relativamente ai valori del pedaggio autostradale da impostare sugli archi del modello per auto e mezzi pesanti, si sono prese in considerazione le tariffe chilometriche autostradali unitarie all'utente (€/km) relative al 1° Gennaio 2016 (fonte: ASPI), per le 3 tratte autostradali ricadenti nel territorio della provincia di Bergamo. Le tariffe utilizzate sono quelle in vigore nel periodo relativo alla calibrazione del modello dello stato di fatto (2017).

AUTOSTRADA	SOCIETA`	A	MP
A4	06 - ASPI	0.07094	0.13834
A35	80 - BREBEMI	0.15982	0.35213
A58	81 - TEEM	0.19511	0.3848

Tabella 11 Pedaggio autostradale [euro/km]

Mandataria:

Mandante:

Collaborazione:

#### 2.7.1.4 Il sistema tariffario

Nel modello, è stato infine implementato un sistema tariffario specifico per ciascuna tipologia di trasporto pubblico simulata (trasporto pubblico urbano su gomma, trasporto pubblico extraurbano su gomma, trasporto ferroviario). Per ciascuna tipologia, il costo medio chilometrico del biglietto è stato stimato dalla media fra il costo dell'abbonamento annuale e il costo della corsa semplice, per una distanza di 20 km.

SISTEMA TARIFFARIO	COSTO MEDIO DEL BIGLIETTO [EURO/KM]
Tariffa Urbana	0,06
Tariffa Extraurbana	0,08
Tariffa Ferroviaria	0,09

Tabella 12 Sistema tariffario

#### 2.7.2 Indici di calibrazione

La fase di calibrazione consiste nel verificare, attraverso il confronto con specifici indicatori statistici, il grado di bontà, robustezza e affidabilità raggiunto nel modello e la sua capacità a rappresentare adeguatamente le condizioni del traffico simulato. Le risultanze mostrate nei capitoli precedenti sono state prodotte una volta raggiunta una certa soglia dei vari indici statistici di verifica, come illustrato di seguito.

Per la calibrazione dei modelli macroscopici statici, i parametri statistici utilizzati normalmente sono:

- $R^2$  – coefficiente di determinazione, soglia minima 0,8
- RMSE – errore quadratico medio, soglia massima 30%
- Errore relativo medio, soglia massima 25%

I parametri vengono calcolati per l'intero modello e valutano in termini aggregati la bontà di adattamento. In Figura 31 si riporta il diagramma di dispersione e la regressione lineare relativamente al trasporto privato:

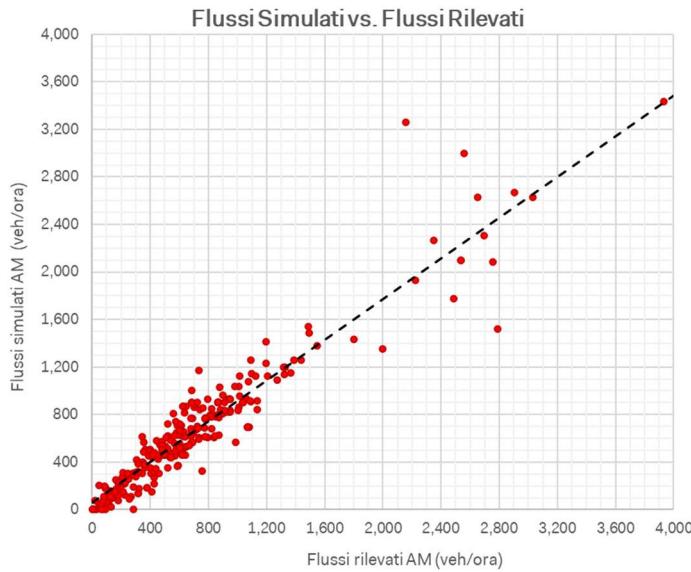


Figura 31. Diagramma di dispersione Flussi Simulati vs. Flussi Rilevati, trasporto privato

- R2 | coefficiente di determinazione = 0,90 (soglia minima: 0,8).
- RMSE | Errore quadratico medio = 26% (soglia massima 30%)
- Errore relativo medio = 16% (soglia massima 25%)

La medesima analisi viene sviluppata in relazione al trasporto pubblico. Purtroppo i dati a disposizione sono minori di quelli relativi alla viabilità privata e, in generale, più soggetti a errori di misura. Si raggiunge comunque un buon livello di calibrazione, caratterizzato da un coefficiente R2 pari a 0,85 per i dati disponibili nella fase di calibrazione.

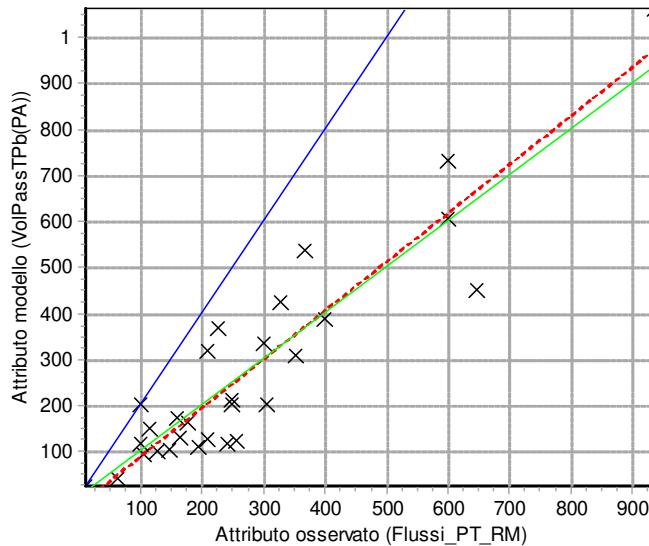


Figura 32 Diagramma di dispersione passeggeri Simulati vs. Rilevati, trasporto pubblico

Al fine di analizzare meglio i risultati nell'area di influenza del progetto, l'assegnazione dei flussi di trasporto pubblico sulle linee 5, V e V10 è stata analizzata insieme alla agenzia del trasporto pubblico di Bergamo (ATB), validando la coerenza e razionalità dei risultati tramite la conoscenza del gestore.

Dall'analisi degli indicatori, il modello risulta quindi correttamente calibrato.

### 2.7.3 Risultanze e indicatori trasportistici

Si riportano di seguito gli indicatori sintetici di prestazione generali della rete del traffico privato, relativamente all'area di studio:

- Veicoli\*km – totale dei km di percorrenza dei veicoli privati – 2.817.756 km
- Veicoli\*h – totale delle ore spese in rete – 103.922 h
- Velocità media di percorrenza – 27.11 km/h

Si riportano di seguito i flussogrammi e i diagrammi volume/capacità (V/C) relativi all'area di studio.

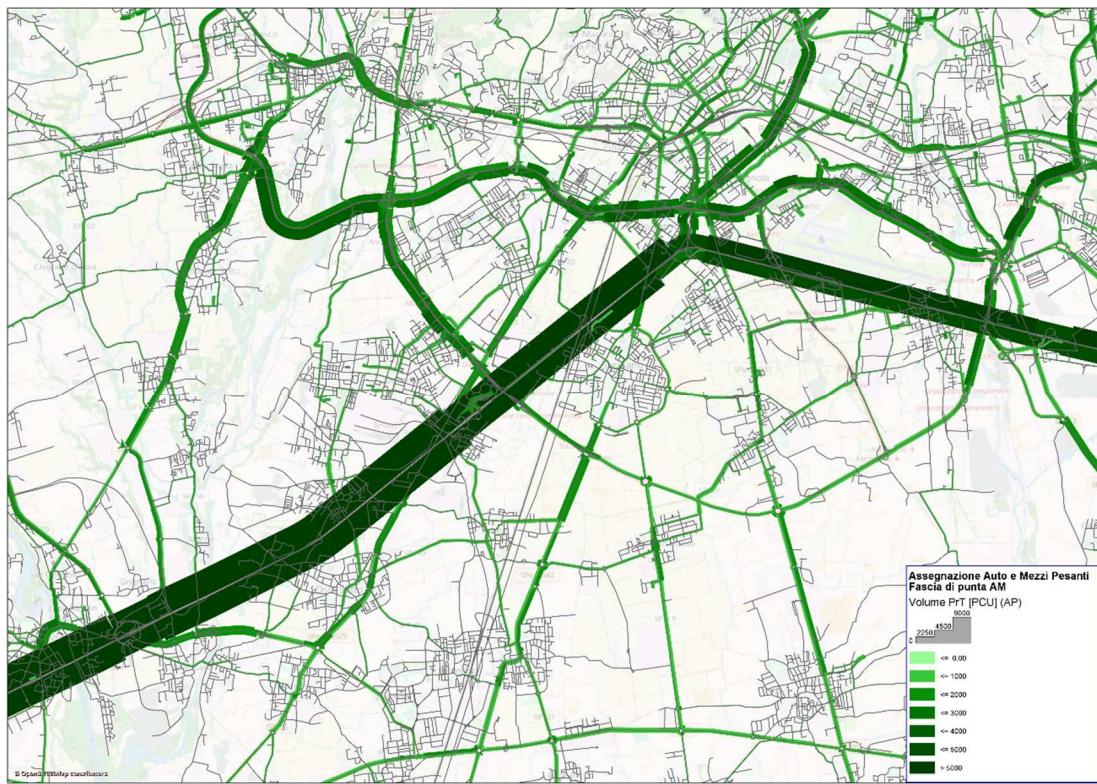


Figura 33 Flussogramma dello stato di fatto 2017, trasporto privato

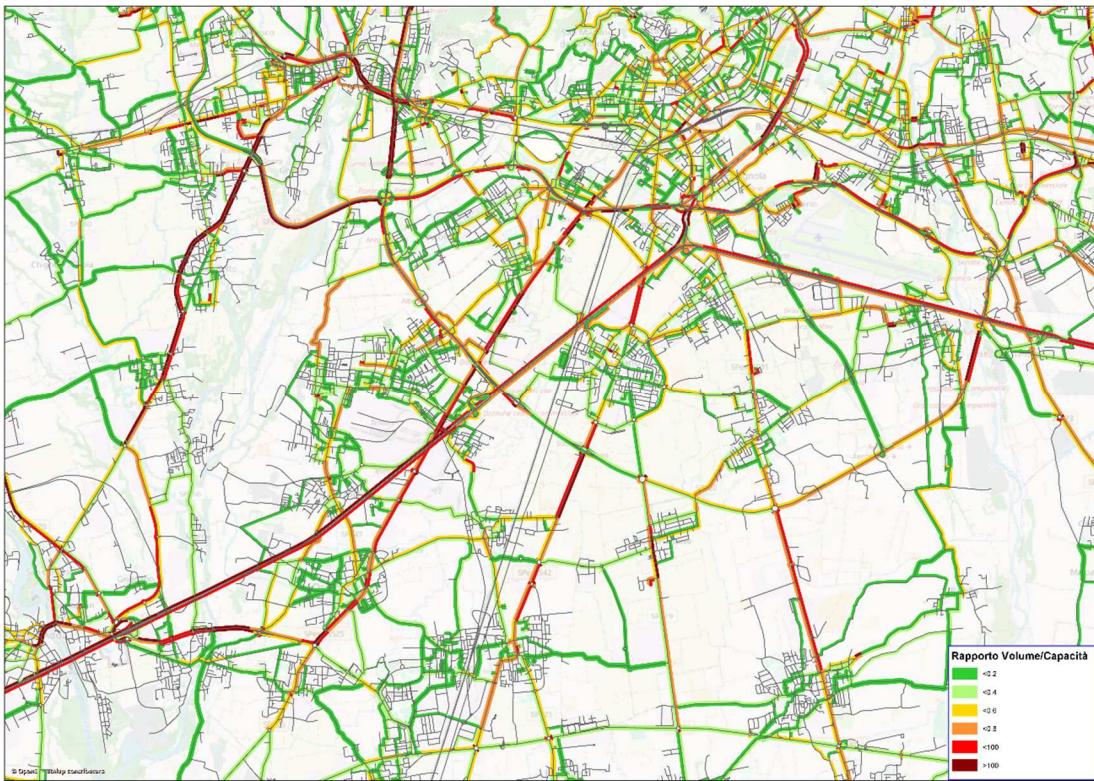


Figura 34 Rapporto V/C, stato di fatto 2017.

In totale si rileva un totale di 232 km di rete con livello di saturazione (flussi/capacità) maggiore di 0.9. Si riportano di seguito gli indicatori sintetici di prestazione generali della rete del trasporto pubblico, relativamente all'area di studio:

- Passeggeri\*km – totale dei km di percorrenza dei passeggeri a bordo dei mezzi – 274.368 km;
- Passeggeri\*h – totale delle ore spese in rete – 16.012 h;
- Distanza media Trasporto Pubblico – 11,8 km

Si riporta di seguito il flussogramma del trasporto pubblico relativamente all'area di studio. Per questioni di visualizzazione, sono stati disattivati i corridoi ferroviari.

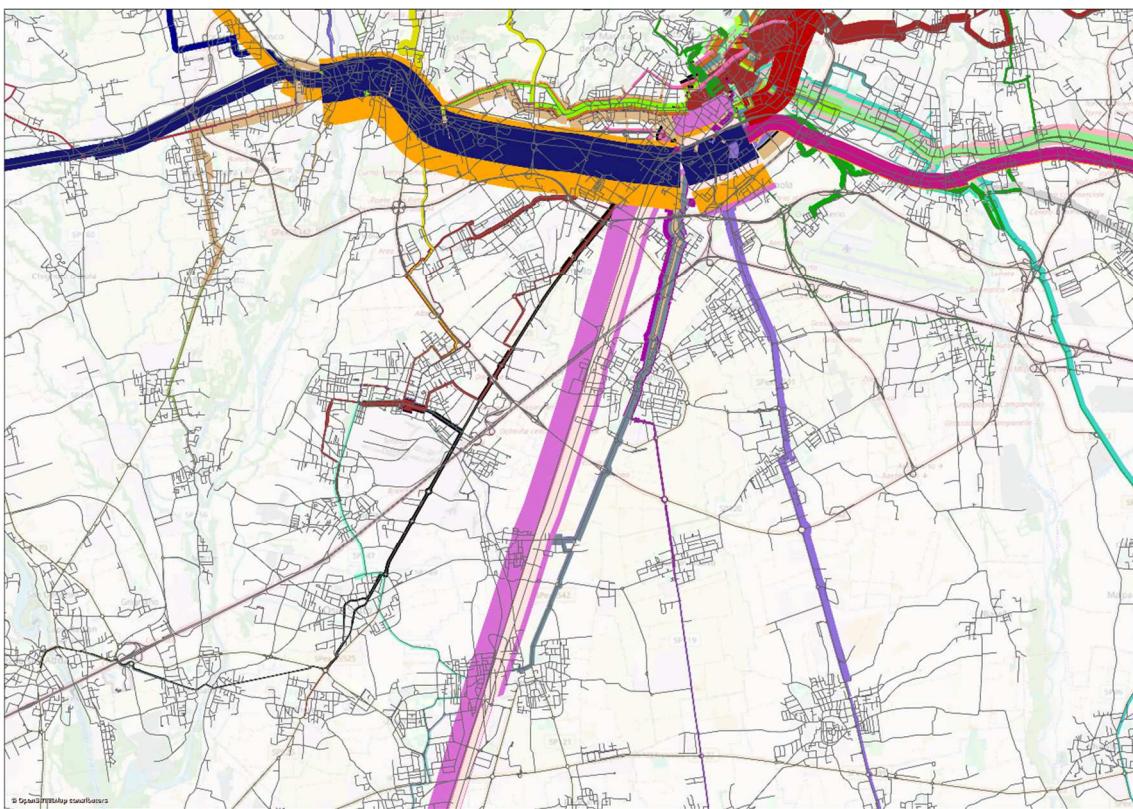


Figura 35 Flussoogramma dello stato di fatto 2017, trasporto pubblico

## 2.8 SCENARIO 2018

Lo scenario dello Stato di Fatto è stato aggiornato all'anno 2018, mantenendo lo stesso assetto infrastrutturale e di servizi, ma proiettando la domanda di mobilità con la stessa metodologia riportata nel paragrafo 3.2.

Di seguito si riportano i principali risultati del modello relativo all'anno 2018:

- Totale Spostamenti Auto: 186.611
- Totale Spostamenti TPL: 51.836
- Veicoli\*km (privato) [km]: 2.828.948
- Passeggeri\*km (TPL) [km]: 279.638
- Lunghezza media spostamento Auto [km]: 17,4
- Lunghezza media spostamento TPL [km]: 11,8

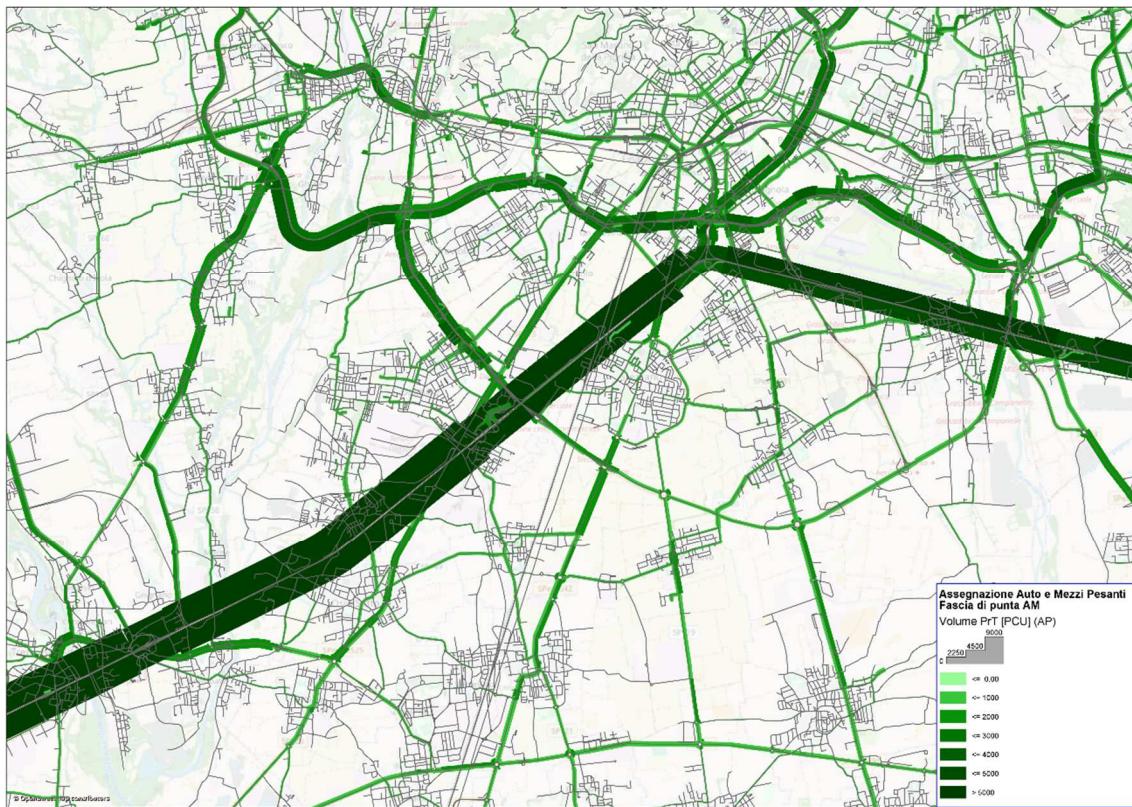


Figura 36 Flussogramma dello stato di fatto 2018, trasporto privato

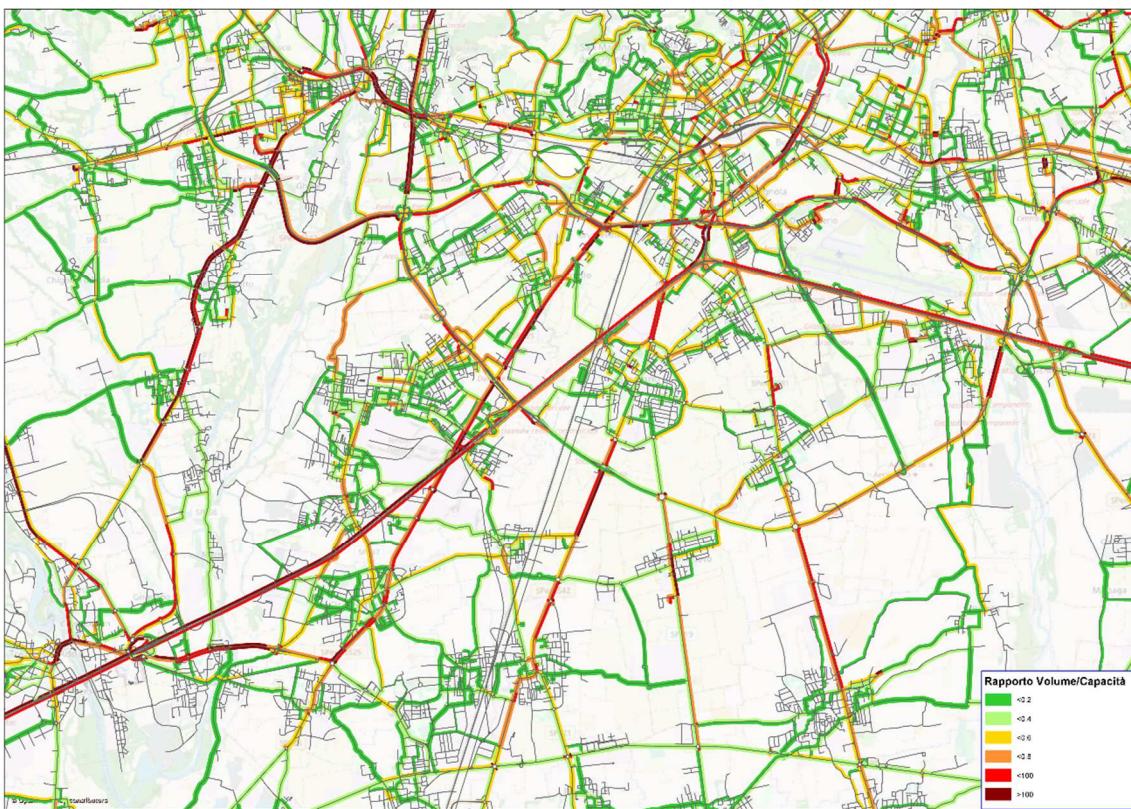


Figura 37 Rapporto V/C, stato di fatto 2018.

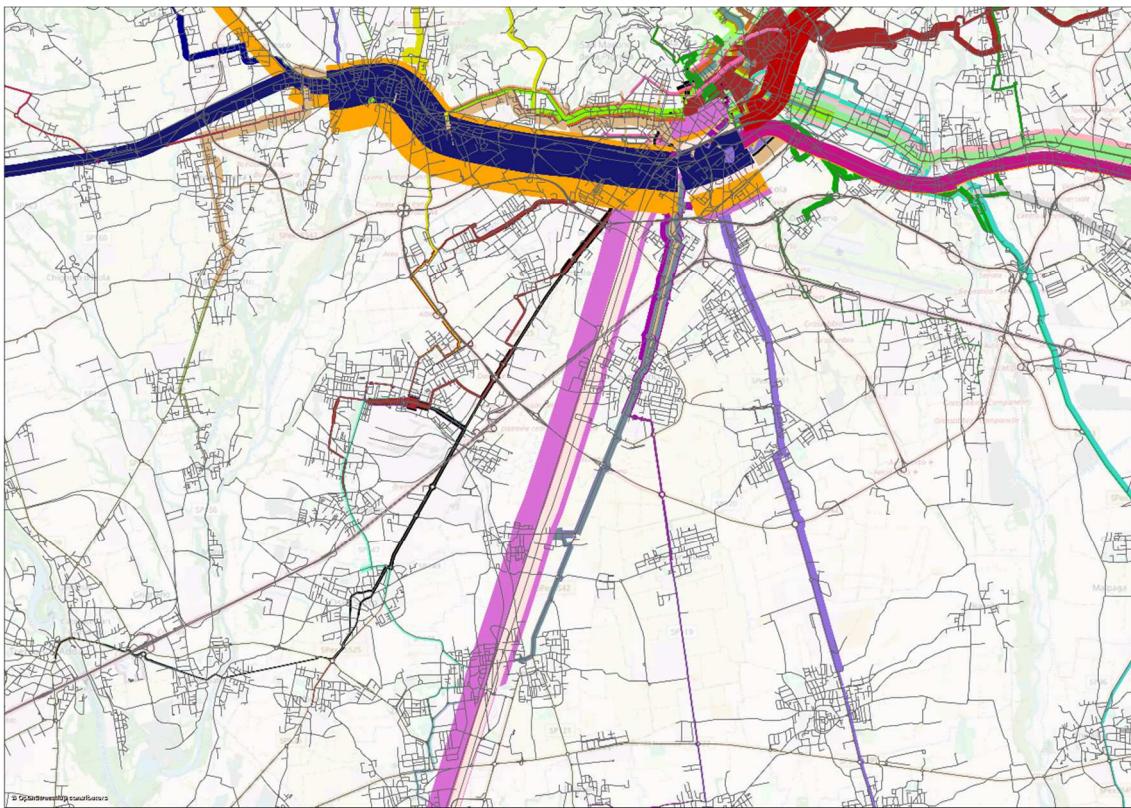


Figura 38 Flussogramma dello stato di fatto 2018, trasporto pubblico

### 3 PREVISIONE DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ AGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 PREMESSA

La stima della domanda di mobilità per gli scenari temporali futuri si fonda sull'assunzione di una relazione tra l'andamento della popolazione e la domanda di mobilità. Di conseguenza si procede in primo luogo alla stima della popolazione futura per l'area di studio, per poi, sulla base di questo dato, stimare il trend di domanda di mobilità.

#### 3.2 STIMA DELLA POPOLAZIONE FUTURA

Una stima di larga massima dell'andamento demografico atteso all'orizzonte 2026 (9 anni dal 2017) e 2036 (19 anni) può essere ottenuta assumendo che in ciascuna zona di traffico si manifestino tassi medi di crescita analoghi a quelli riscontrati nel periodo 1991-2017 (26 anni).

Operativamente, si è proceduto come segue.

- 1) Calcolo del tasso medio (composto) di incremento demografico annuo per zona di traffico, secondo la formula:

$$i = (\text{Pop}_{2017}/\text{Pop}_{1991})^{1/26}-1$$

- 2) Calcolo della popolazione residente attesa all'orizzonte temporale 2026:

$$\text{Pop}_{2026} = \text{Pop}_{2017} * (1 + i)^9$$

- 3) Calcolo della popolazione residente attesa all'orizzonte temporale 2036:

$$\text{Pop}_{2036} = \text{Pop}_{2026} * (1 + i)^{10}$$

La metodologia applicata, di carattere speditivo, non tiene conto dei dati relativi alla struttura demografica delle singole zone (sesto, piramide delle età, ecc...) e dunque non è in grado di verificare l'esistenza di fattori d'inerzia connessi, ad esempio, alla maggiore presenza in alcune zone di anziani, donne in età fertile, ecc.

Zona	Stima 2026		Stima 2036	
	ab.	incr.su 17	ab.	incr.su 17
Alta Val Brembana Ovest	2,411	-8.8%	2,175	-17.8%
Alta Val Brembana Est	1,851	-5.1%	1,748	-10.4%
Piazza B. + Lenna + Valnegra + Moio de' C.	2,218	-0.2%	2,214	-0.4%
<b>Alta Val Brembana</b>	<b>6,481</b>	<b>-4.9%</b>	<b>6,137</b>	<b>-10.0%</b>
Val Taleggio	692	-8.6%	626	-17.3%
S.Pellegrino + S.Giovanni B.	11,034	-1.1%	10,896	-2.4%
<b>Media Val Brembana</b>	<b>11,726</b>	<b>-1.6%</b>	<b>11,523</b>	<b>-3.3%</b>
Ubiale-Clanezzo + Zogno	12,924	+1.2%	13,099	+2.6%
Val Brembilla	4,339	-1.5%	4,268	-3.1%
Val Serina	5,613	-1.1%	5,543	-2.4%
<b>Bassa Val Brembana</b>	<b>22,875</b>	<b>+0.1%</b>	<b>22,910</b>	<b>+0.3%</b>
Valle Imagna	14,320	+4.7%	15,068	+10.2%
<b>Valle Imagna</b>	<b>14,320</b>	<b>+4.7%</b>	<b>15,068</b>	<b>+10.2%</b>
Valbrembo	4,687	+9.5%	5,185	+21.1%
Brembate di sopra	8,497	+8.0%	9,254	+17.6%
Almenno S. S. e Almenno S. B. + Palazzago	20,303	+10.3%	22,648	+23.1%
Val San Martino	16,079	+6.0%	17,162	+13.2%
<b>Val San Martino</b>	<b>49,566</b>	<b>+8.4%</b>	<b>54,250</b>	<b>+18.7%</b>
Sorisole	9,385	+3.8%	9,781	+8.2%
Villa d'Almè	7,004	+5.0%	7,393	+10.8%
Almè	5,541	-1.1%	5,471	-2.4%
Paladina	4,429	+9.4%	4,894	+20.9%
Ponteranica	6,787	-1.1%	6,704	-2.3%
<b>Cintura nord BG</b>	<b>33,146</b>	<b>+2.8%</b>	<b>34,244</b>	<b>+6.3%</b>
Bergamo	123,067	+1.8%	125,494	+3.8%
<b>Bergamo città</b>	<b>123,067</b>	<b>+1.8%</b>	<b>125,494</b>	<b>+3.8%</b>
<b>TOTALE AREA DI STUDIO</b>	<b>261,181</b>	<b>+2.8%</b>	<b>269,626</b>	<b>+6.1%</b>
Provincia BG est	184,456	+2.6%	189,883	+5.7%
Provincia BG sud-est	315,844	+11.0%	354,631	+24.6%
Provincia BG sud	233,914	+10.0%	259,945	+22.2%
Provincia BG sud-ovest	201,320	+10.4%	224,783	+23.3%
<b>Resto della Provincia di Bergamo</b>	<b>935,534</b>	<b>+8.9%</b>	<b>1,029,243</b>	<b>+19.8%</b>
<b>TOTALE PROVINCIA DI BERGAMO</b>	<b>1,196,715</b>	<b>7.5%</b>	<b>1,298,869</b>	<b>16.7%</b>

Tabella 13 Stime Andamento Popolazione.

### 3.3 STIMA DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ FUTURA

La crescita prevista nell'anno 2026 viene applicata alla matrice di mobilità in funzione delle diverse zone. Per gli anni successivi si assume cautelativamente che la domanda di mobilità si mantenga invece costante, senza ulteriori crescite.

Questa assunzione viene utilizzata, in via cautelativa, per tenere adeguatamente in conto possibili dinamiche future difficilmente controllabili tra cui:

- Riduzione della mobilità media per persona per effetto dell'invecchiamento della popolazione;
- Riduzione della domanda di mobilità legata a variazioni delle modalità di lavoro (diffusione del telelavoro, orari flessibili, ecc.);
- Potenziale diffusione di sistemi a guida autonoma capaci di attrarre parte della domanda e di aggongarla in sistemi tipo GRT;

Procedendo in questo modo si ottengono i seguenti valori di matrice complessivi per gli scenari futuri:

- 2026: 251.278
- 2036: 251.278

## 4 SCENARIO 2026

Per quanto riguarda l'orizzonte temporale del 2026, corrispondente all'anno in cui si prevede l'entrata in funzione della nuova linea eBRT, si è proceduto a testare per via modellistica due scenari principali:

- Scenario di riferimento, comprendente tutte le infrastrutture e le modifiche alla rete di trasporto privato e pubblico previste, oltre alla crescita prevista per la domanda di mobilità; e;
- Scenario di progetto, in cui in aggiunta alle modifiche già incluse nello scenario di riferimento si inseriscono quelle legate all'inserimento della nuova infrastruttura e alla sua attivazione.

A seguire vengono descritte le modifiche considerate e i risultati ottenuti.

### 4.1 OFFERTA INFRASTRUTTURALE

Per quanto riguarda gli interventi infrastrutturali a scala provinciale relativi al traffico privato si considerano concluse e operative entro il 2026 le seguenti opere:

- Riqualificazione della tangenziale Sud di Bergamo (1° Tratta da Treviolo a Paladina): il progetto prevede il potenziamento dell'infrastruttura stradale esistente mediante il suo allargamento e la realizzazione di svincoli a due livelli, la seconda tratta, più complessa tecnicamente è prevista in scenari successivi;
- Variante di Cisano Bergamasco: questa variante, della lunghezza di circa 3.2 km, consente al traffico proveniente prevalentemente dall'area del Lecchese di raggiungere la Bergamasca più direttamente aggirando l'abitato di Cisano Bergamasco ed evitando alcuni passaggi particolarmente complessi per i mezzi pesanti;
- Variante di Zogno, è una variante alla S.P. Ex SS 470 della "valle Brembana" e ha come obiettivo la riqualificazione del tratto di strada provinciale che attraversa l'abitato di Zogno, allontanando dal centro i veicoli che lo attraversano per raggiungere gli altri paesi della Valle Brembana.

Analizzando inoltre interventi più locali e puntuali si includono:

- Riqualificazione della rotatoria di Via Autostrada a Bergamo, tale nodo rappresenta il punto di congiunzione tra la viabilità urbana, il sistema autostradale, la circonvallazione di Bergamo e l'asse interurbano e presenta una serie di criticità. Si prevede il potenziamento del nodo e quindi un miglioramento della capacità di interscambio tra i diversi assi stradali;

- Nuovo casello autostradale di Dalmine, il casello attualmente risulta il più trafficato in provincia di Bergamo e attualmente presenta una configurazione geometrica inadeguata. Si prevede una riqualificazione dello stesso al fine di garantire una maggiore capacità e una connessione diretta con la tangenziale Sud.

La seguente immagine mostra schematicamente le modifiche considerate e la loro posizione geografica.

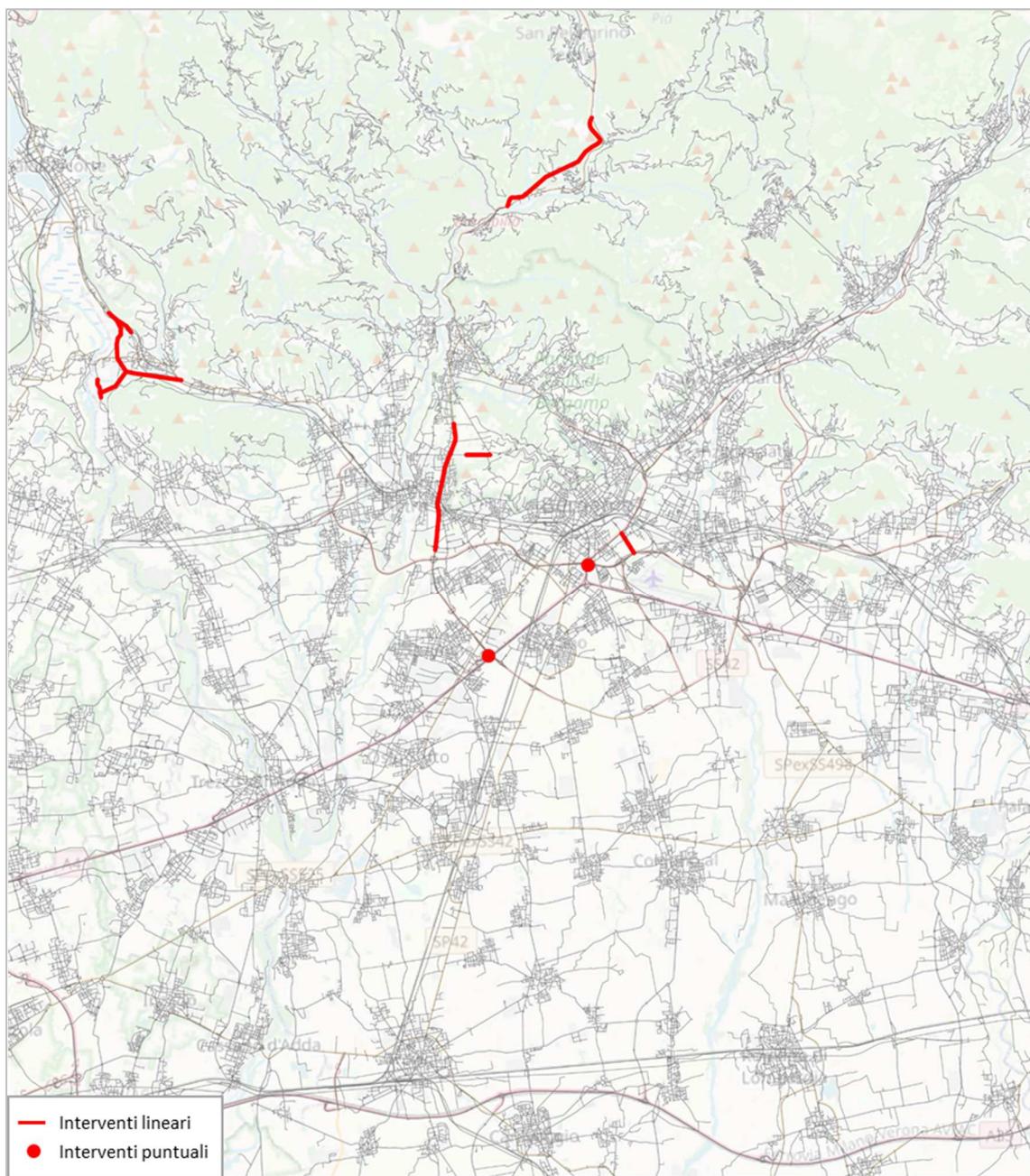


Figura 39 Sintesi degli interventi considerati (2026)

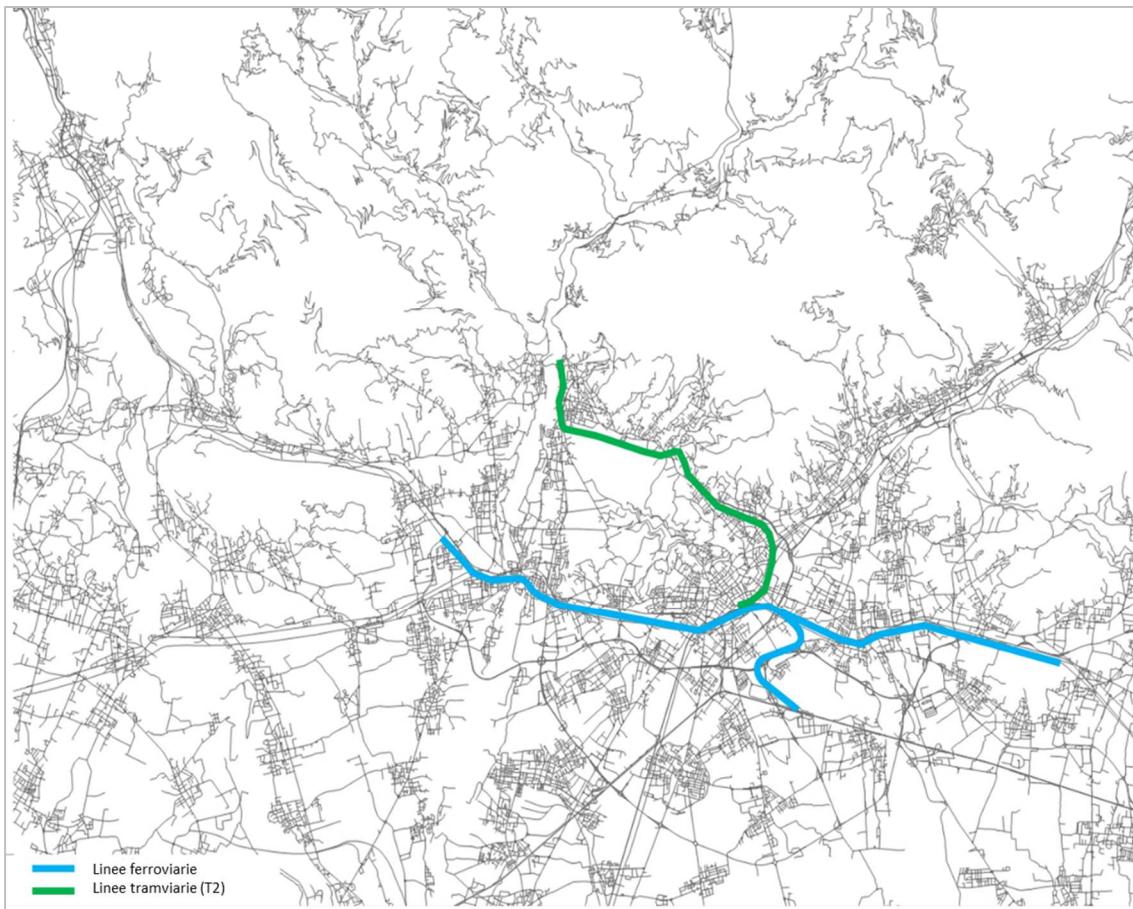
## 4.2 INTERVENTI TRASPORTO PUBBLICO

Analogamente a quanto fatto per il traffico privato, sono state inserite nel modello le modifiche previste per la rete del trasporto pubblico.

In questo caso la rete modellata è differente tra lo scenario di riferimento e quello progettuale, infatti nel primo sono incluse le seguenti modifiche:

- Connessione ferroviaria Bergamo – Aeroporto di Orio al Serio, con frequenza di 3 treni ora;
- Raddoppio selettivo tratta ferroviaria Ponte San Pietro – Montello e introduzione servizio ferroviario suburbano, con frequenza di 3 treni ora.
- Nuova linea tramviaria T2 da Bergamo a Villa d'Almè. Questa modifica comprende anche la rimodulazione di linee esistenti secondo le ipotesi del progetto della tramvia (Rlink R04, Rlink R05, Linea B610, Linea B618, Linea 10).

L'immagine a seguire schematizza le modifiche previste per la rete del trasporto pubblico ferroviario e tramviario



• Figura 40 Sintesi degli interventi previsti sul trasporto pubblico ferroviario e tramviario (2026)

#### 4.2.1 Interventi progettuali

Nello scenario progettuale si introduce la nuova linea eBRT Bergamo-Dalmine. In Figura 41 si riporta uno schema del percorso della linea di progetto come inserita nel modello di simulazione. La linea è stata simulata con un intertempo pari a 10 minuti nel periodo di punta.

La velocità commerciale della linea si stima in circa 25km/h. Questa velocità viene calcolata direttamente nel modello di simulazione sotto le seguenti ipotesi:

- Tempo medio di sosta in fermate: 30 secondi.
- La velocità di percorrenza nei tratti protetti è pari alla velocità media alla quale i veicoli privati percorrono oggi il tratto in analisi durante i periodi di morbida. Questa velocità viene calcolata in base ai tempi di percorrenza di Google Maps. In questo modo il perdistempo alle intersezioni viene quindi considerato indirettamente nella velocità definita per gli archi. La velocità media di percorrenza degli archi è stata comunque limitata ad un massimo di 45km/h nei tratti più veloci.

- La velocità di percorrenza nei tratti condivisi con la circolazione di veicoli privati viene calcolata in ogni iterazione di assegnazione in base alla velocità media sull'arco, dipendente quindi dal livello di congestione veicolare.

Per quanto riguarda i dettagli relativi al tracciato e al modello di esercizio si rimanda ai documenti progettuali di riferimento.

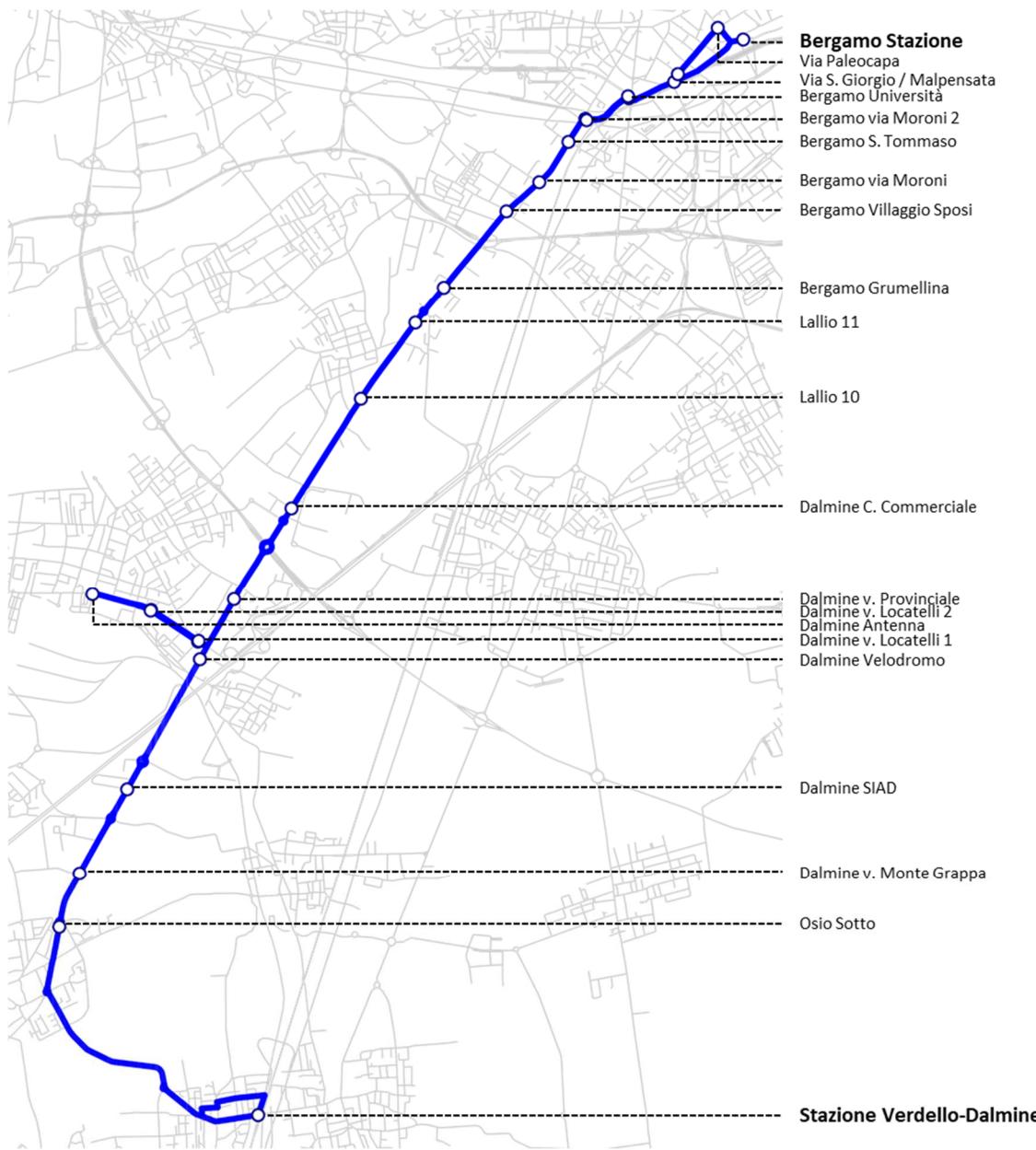


Figura 41. Percorso linea di progetto eBRT Bergamo-Dalmine

Si precisa inoltre che le linee di trasporto pubblico su gomma nello scenario progettuale vengono modificate in funzione dell'inserimento della nuova linea. In particolare, sono state effettuate le seguenti modifiche:

- Linea 5: Le corse della linea 5 che ad oggi servono l'area direttamente interessata dal progetto (Lallio, Treviolo e Dalmine) vengono modificati, attestandosi nella stazione di Bergamo per garantire un adeguato interscambio con la linea di progetto eBRT. I percorsi ad est della stazione rimangono invariati.

Le immagini sotto riportano i percorsi della linea 5 negli scenari di riferimento e di progetto.

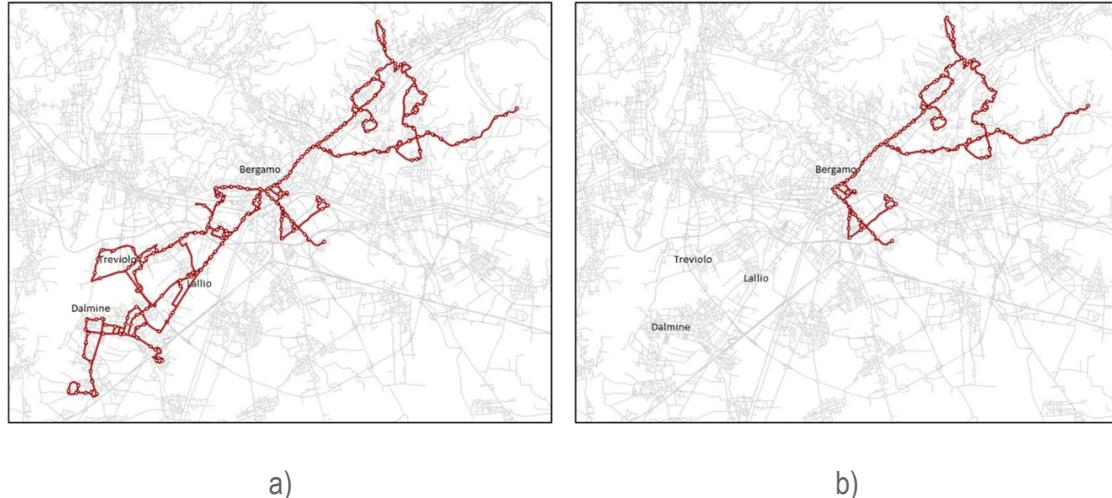
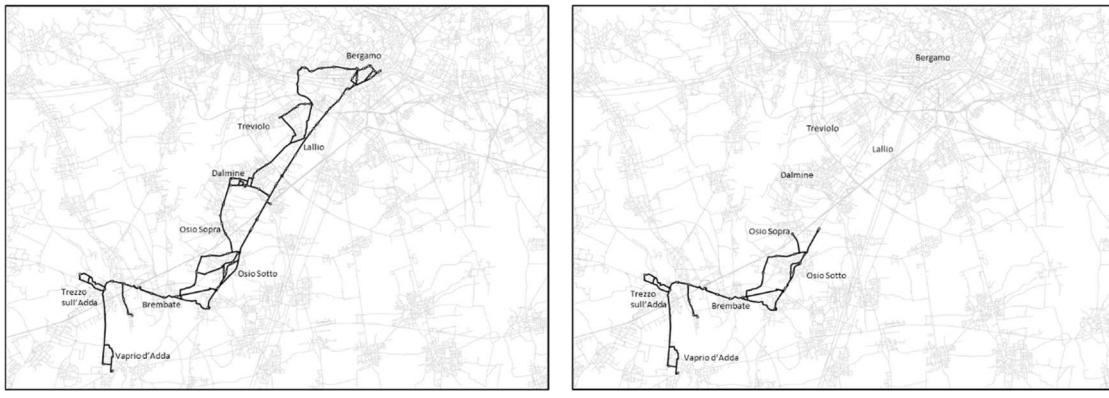


Figura 42. Percorso linea 5. a) Stato di Fatto e Riferimento, b) Scenario di progetto

- Linea V: La linea extraurbana V, che ad oggi segue in gran parte il percorso proposto per la nuova linea eBRT, viene accorciata nello scenario di progetto per servire solo le relazioni OD non coperte dalla nuova linea, garantendo anche la possibilità di interscambio con la stessa.

Le immagini sotto riportano i percorsi della linea V negli scenari di riferimento e di progetto.



a)

b)

Figura 43. Percorso linea V. a) Stato di Fatto e Riferimento, b) Scenario di progetto

- Il servizio della linea extraurbana V10 viene ridotto in modo da ottimizzare la risorse, mantenendo solo i percorsi non coperte dalla nuova linea BRT.
- Linee di adduzione:** Lo scenario di progetto prevede l'inserimento di 3 nuove linee di adduzione che consentono di mantenere alta la capillarità del sistema proposto. Il sistema non solo garantisce maggiore accessibilità alla linea principale di progetto, ma offre anche collegamenti diretti tra centri abitati e punti di attrazione come l'ospedale.

L'immagine sotto riporta i percorsi delle linee di adduzione proposte

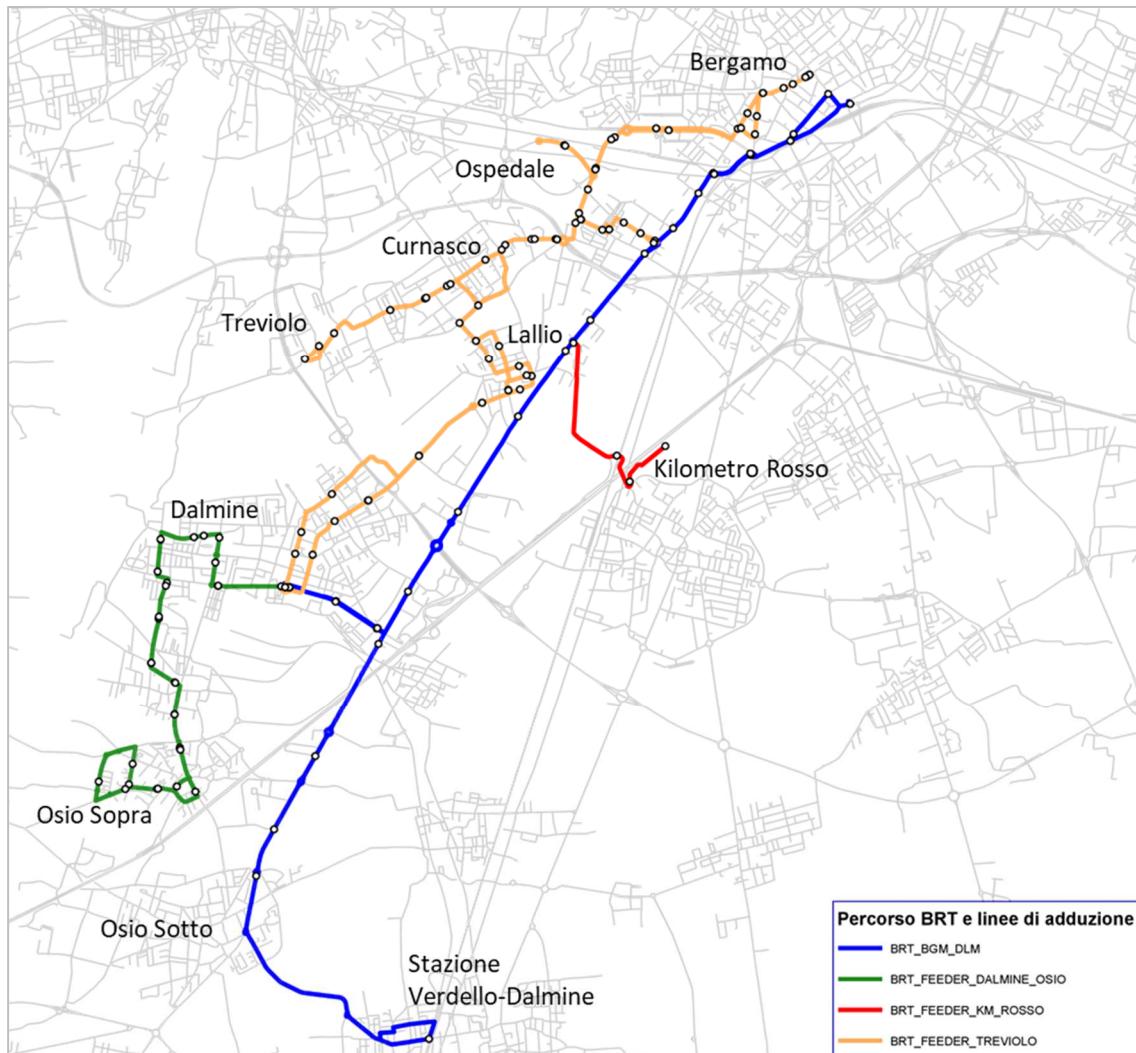


Figura 44. Percorsi delle linee di adduzione

#### 4.3 SCENARIO DI RIFERIMENTO

Lo scenario di riferimento per l'anno 2026 contempla tutti gli interventi descritti in precedenza, sia in relazione al traffico privato che al trasporto pubblico, ad eccezione degli interventi progettuali (nuova linea eBRT e conseguenti modifiche alle linee di TPL dell'area di intervento).

Come illustrato in precedenza anche la domanda di mobilità è stata incrementata in considerazione di quanto illustrato nel capitolo 3.

Alla luce di queste modifiche si ottengono i seguenti risultati:

- Totale Spostamenti Auto: 194.092
- Totale Spostamenti TPL: 57.186
- Veicoli\*km (privato) [km]: 2.910.759
- Passeggeri\*km (TPL) [km]: 329.239
- Lunghezza media spostamento Auto [km]: 17,2
- Lunghezza media spostamento TPL [km]: 12,2

A seguire si riportano i flussogrammi e i diagrammi relativi a questo scenario. L'estensione della rete con un rapporto tra il volume di veicoli e la capacità maggiore di 0,9 sale a circa 250 km.

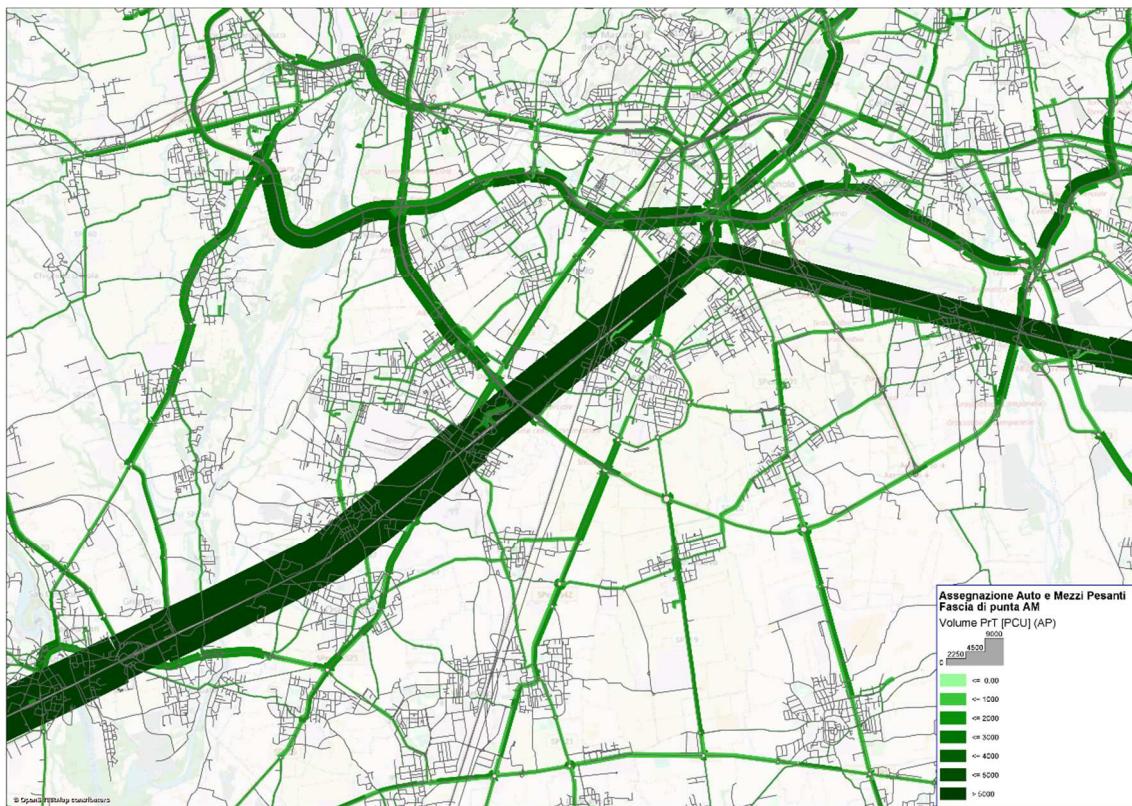


Figura 45 Flussogramma traffico privato (2026 - Riferimento)

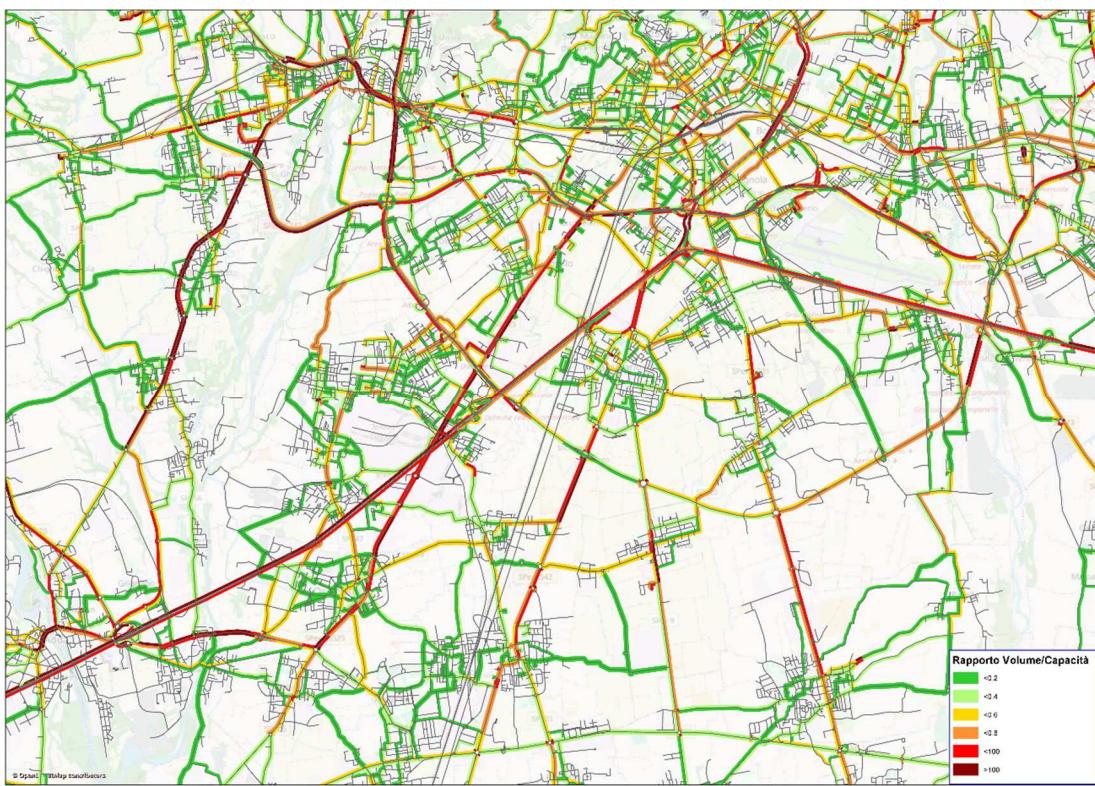


Figura 46 Diagramma saturazione rete privata (2026 - Riferimento)

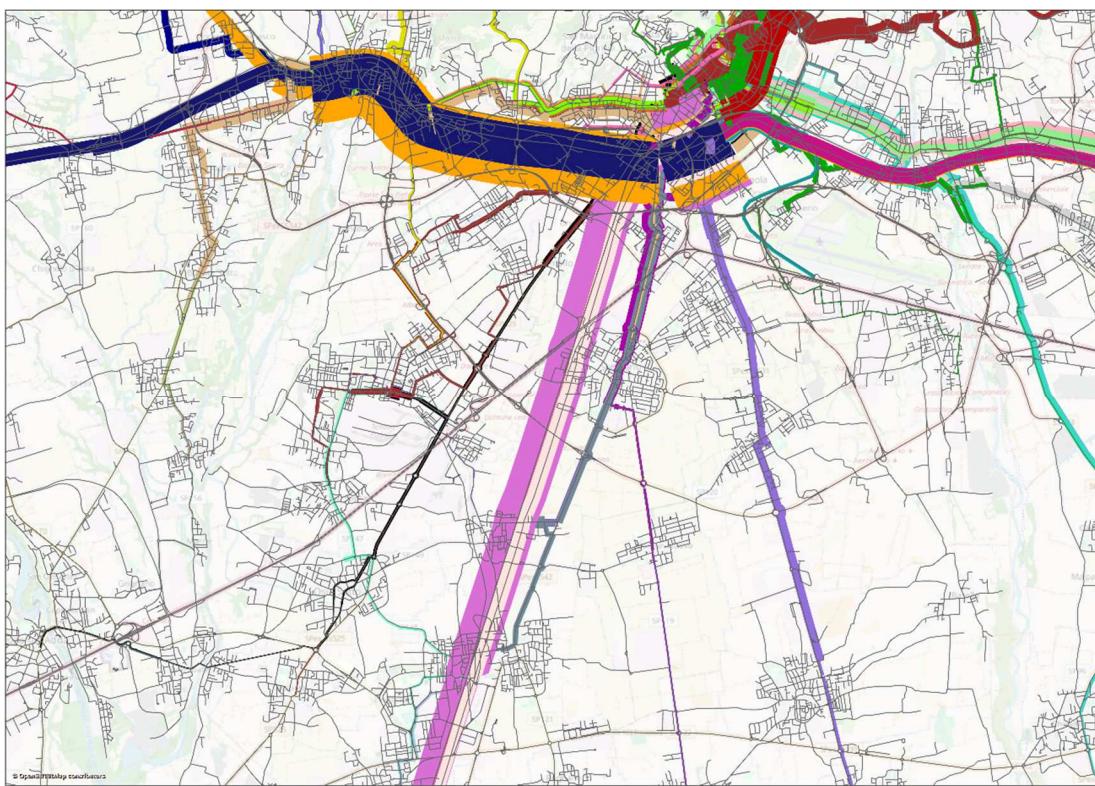


Figura 47 Flussogramma trasporto pubblico (2026 - Riferimento)

#### 4.4 SCENARIO DI PROGETTO

Lo scenario progettuale per l'anno 2026 contempla tutti gli interventi infrastrutturali considerati per lo scenario di riferimento a cui si aggiungono la nuova linea eBRT e le conseguenti modifiche alle linee di TPL dell'area di intervento.

Alla luce di queste modifiche si ottengono i seguenti risultati:

- Totale Spostamenti Auto: 193.873
- Totale Spostamenti TPL: 57.406
- Veicoli\*km (privato) [km]: 2.907.116
- Passeggeri\*km (TPL) [km]: 333.259
- Lunghezza media spostamento Auto [km]: 17,2
- Lunghezza media spostamento TPL [km]: 12,3

A seguire si riportano i flussogrammi e i diagrammi relativi a questo scenario. Si sottolinea inoltre che l'estensione della rete con un rapporto tra il volume di veicoli e la capacità maggiore di 0.9 si riduce a circa 246 km.

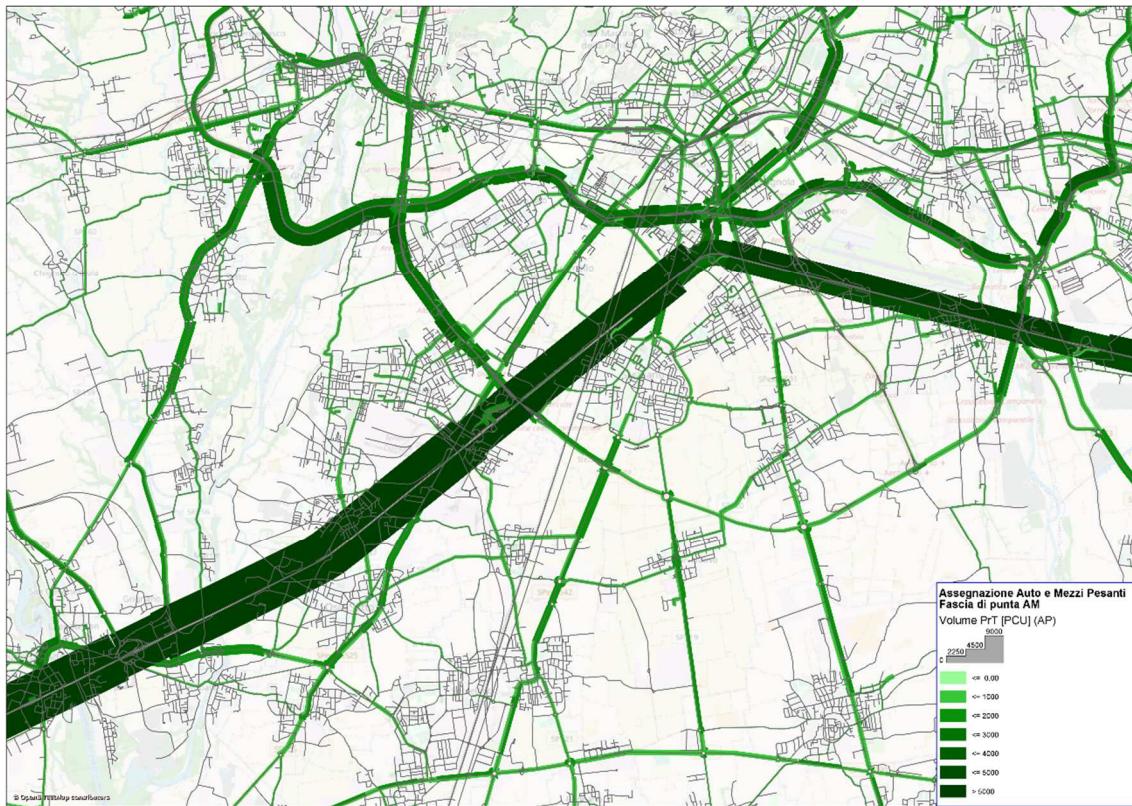


Figura 48 flussoogramma traffico privato (2026 - Progetto)

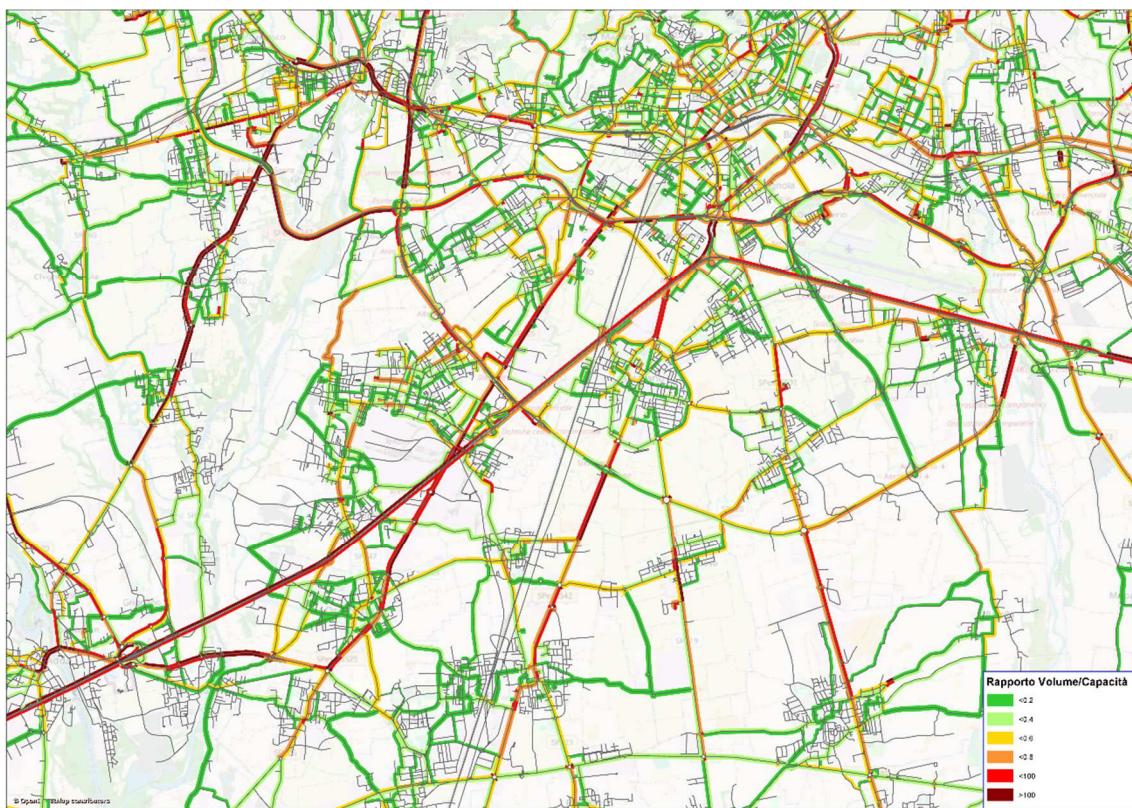


Figura 49 Diagramma saturazione rete privata (2026 - Progetto)

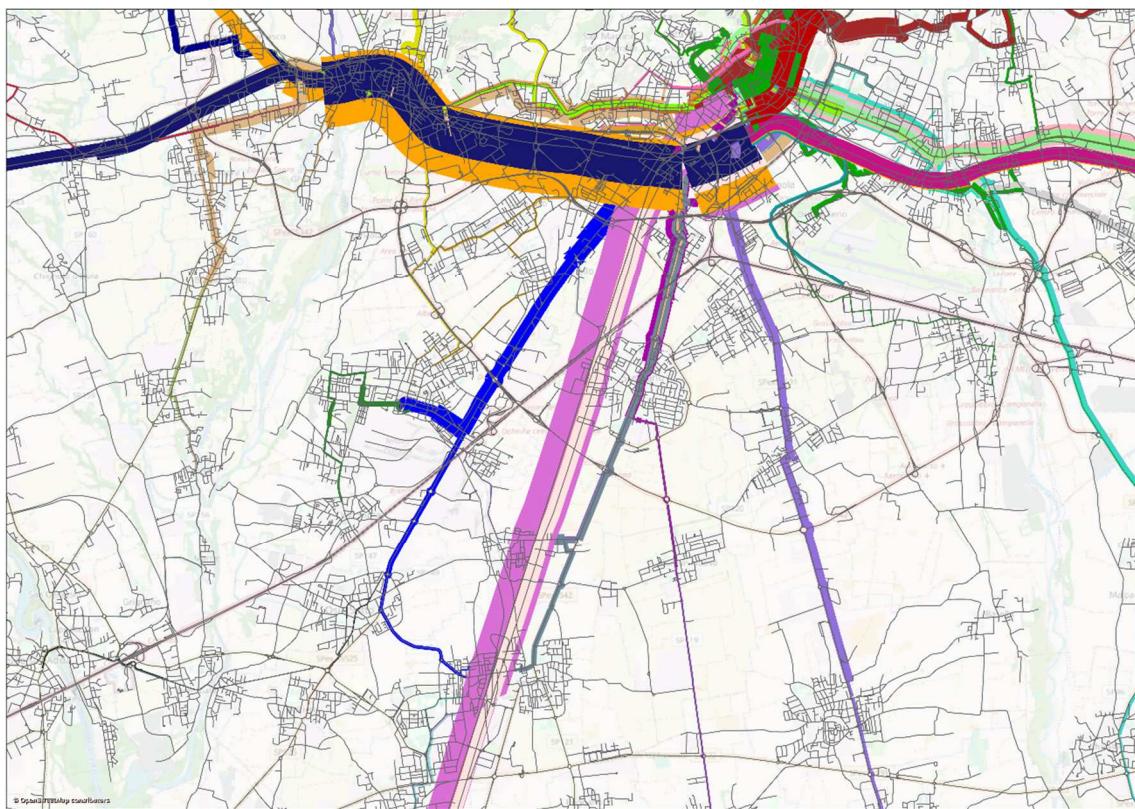


Figura 50 Flussogramma trasporto pubblico (2026 - Progetto)

Nello specifico, in relazione alla linea di progetto oggetto di studio, si precisa che il modello multimodale implementato fornisce una stima di circa 1.980 passeggeri/ora e circa 8.976 passeggeri\*km nell'ora di punta della mattina. Tali valori, se espansi all'anno, conducono a una domanda complessiva di circa 4,2 Milioni di passeggeri l'anno.

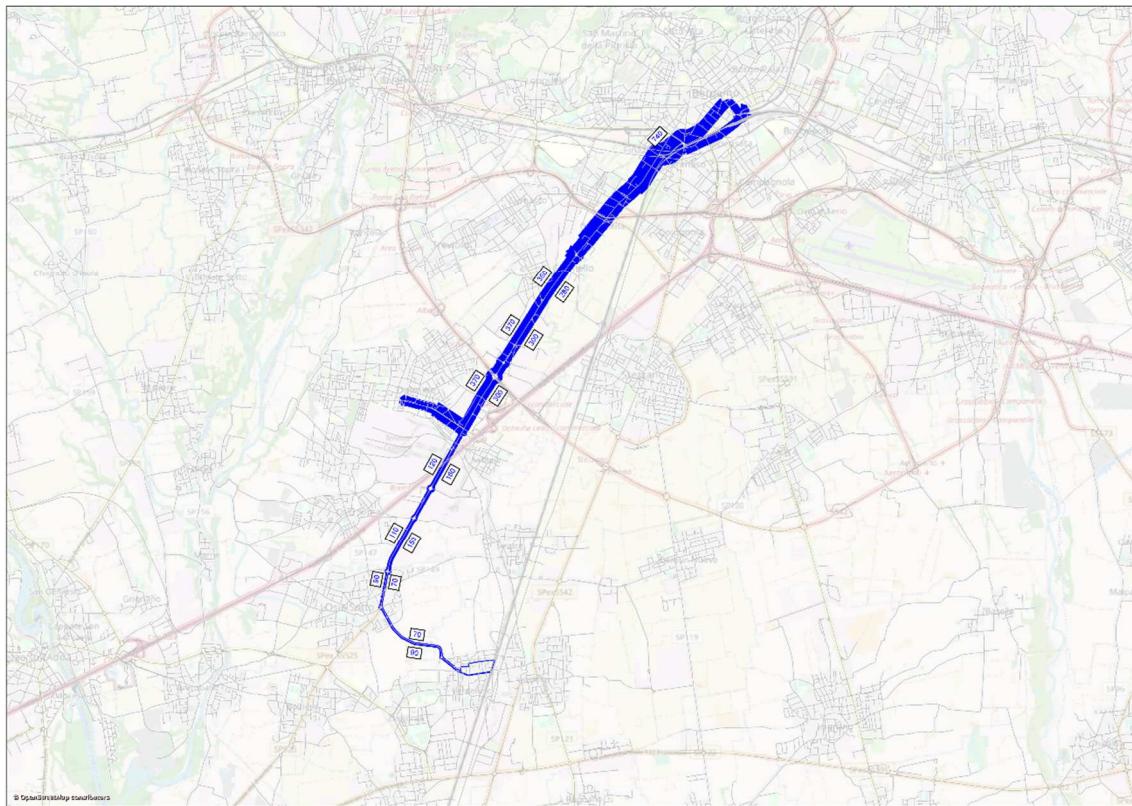


Figura 51 Dettaglio passeggeri linea eBRT Bergamo-Dalmine (2026)

Di seguito si riportano i diagrammi di carico della linea eBRT per entrambe le direzioni nello scenario di progetto 2026. I diagrammi indicano i passeggeri saliti e discesi ad ogni fermata, nonché il carico di linea e i corrispondenti valori del grado di saturazione per ogni tratta. La saturazione è stata calcolata in base ad un intertempo di 10 minuti e mezzi con capacità di 150 passeggeri.

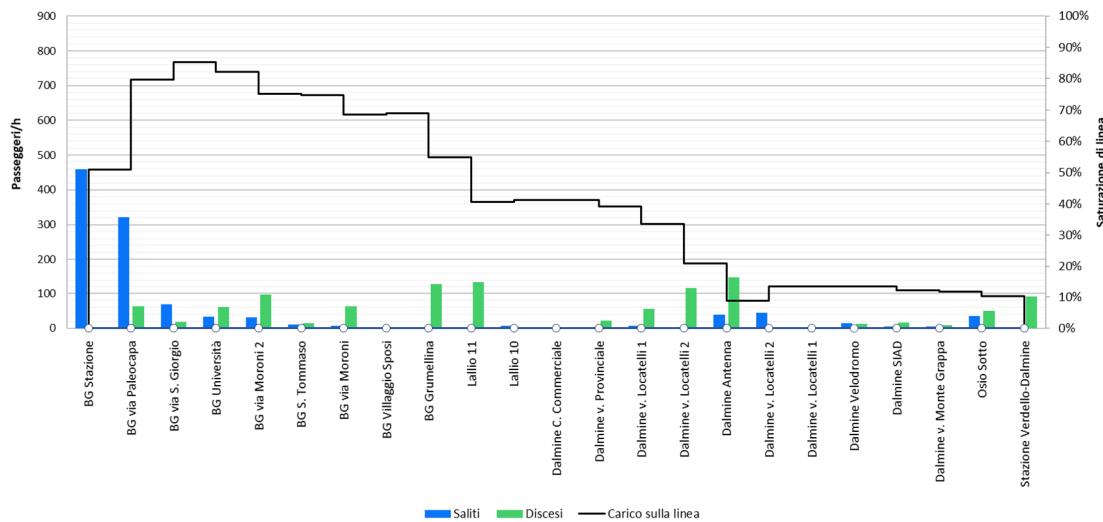


Figura 52. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Bergamo-Verdello/Dalmine. Scenario 2026.

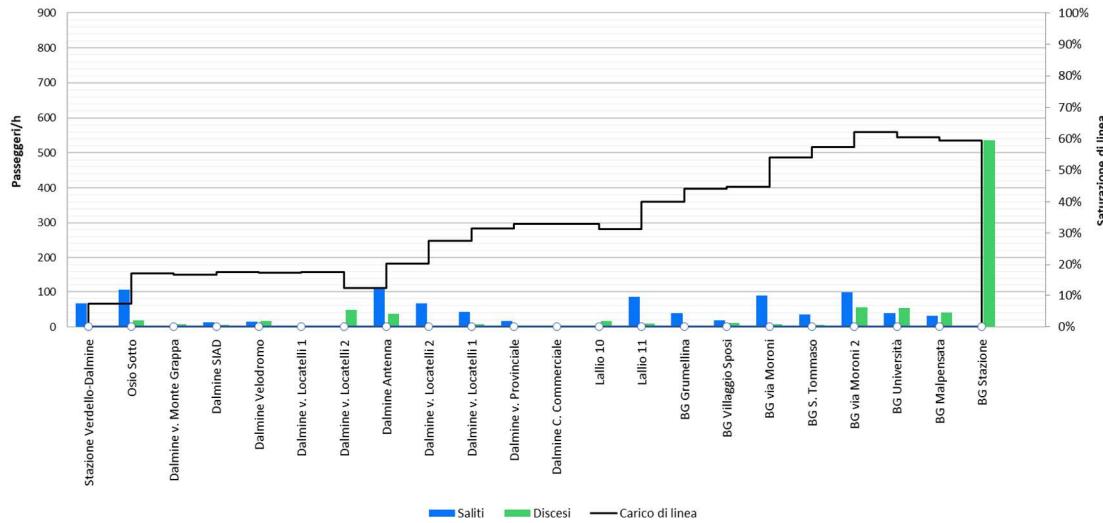


Figura 53. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Verdello/Dalmine - Bergamo. Scenario 2026.

Inoltre, al fine di analizzare l'attrattivit della nuova linea di progetto, si  proceduto con lo sviluppo di un'analisi di composizione di flusso. Tale analisi permette di mappare i percorsi di tutti gli utenti che usano la linea di progetto come parte del loro itinerario di viaggio. L'immagine a seguire evidenzia che la nuova linea eBRT  utilizzata anche come parte di spostamenti TPL

piuttosto lunghi, confermando l'adeguata integrazione con le altre linee del sistema di trasporto pubblico della città, in particolare grazie agli interscambi nella stazione di Bergamo.

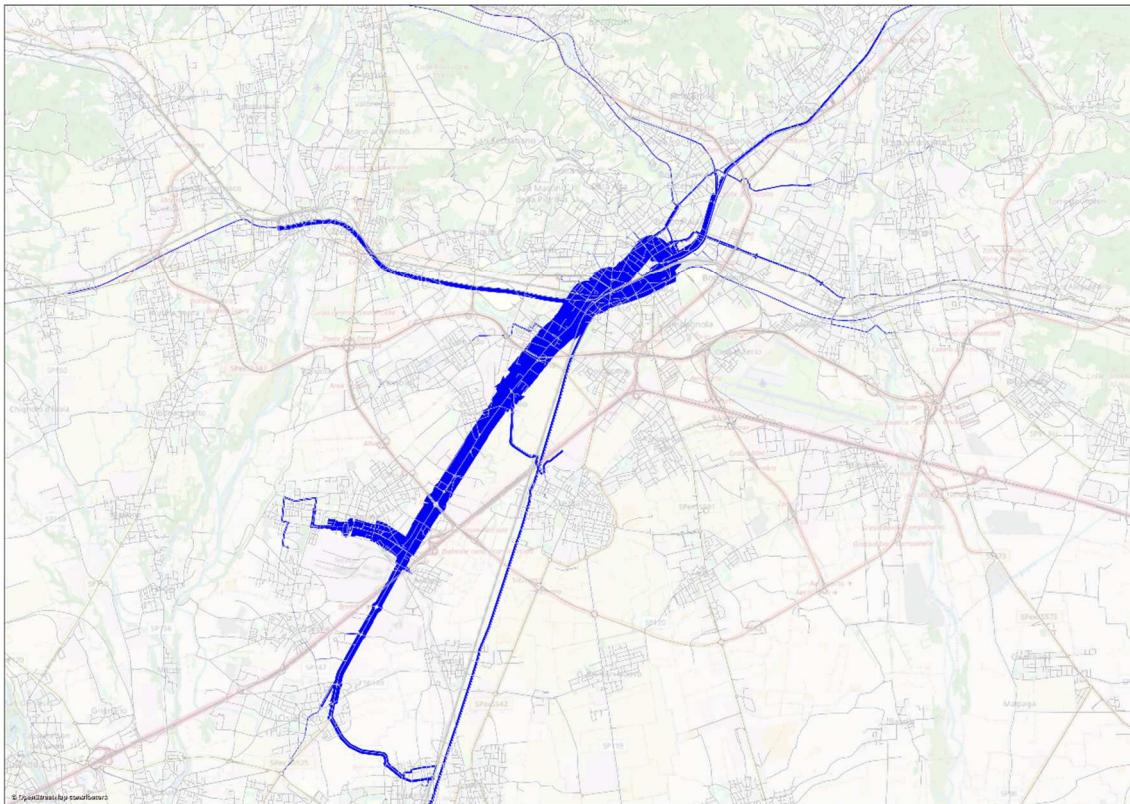


Figura 54 Composizione di flusso – utenti della linea eBRT Bergamo-Dalmine

## 5 SCENARIO 2036

Analogamente a quanto fatto per l'orizzonte temporale del 2026 sono stati sviluppati gli scenari di riferimento e progettuale relativi all'anno 2036.

### 5.1 OFFERTA INFRASTRUTTURALE

L'offerta infrastrutturale relativa al traffico privato per l'anno 2036 presenta, in aggiunta a quanto già previsto per l'anno 2026, anche l'Interconnessione Pedemontana – Brebemi (IPB): tale asse stradale andrà a connettere il casello di Treviglio della A35 (Brebemi) con la tangenziale Sud di Bergamo in prossimità del casello di Dalmine. In questo modo metterà in connessione le autostrade A35 e A4 oltre a Treviglio con Bergamo. L'infrastruttura sarà completamente in sede propria con 5 svincoli per consentire lo scambio con la viabilità locale;

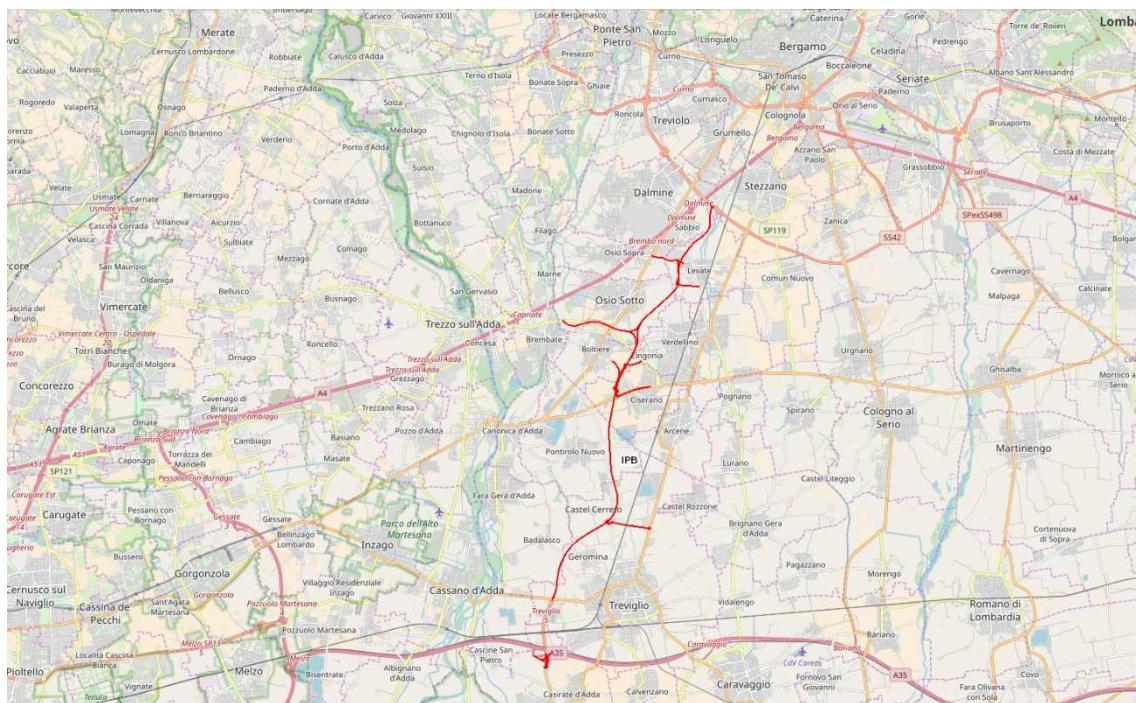


Figura 55 Schema tracciato IPB

La seguente immagine riassume gli elementi infrastrutturali che differenziano lo scenario 2036 dallo stato di fatto in relazione al traffico privato.

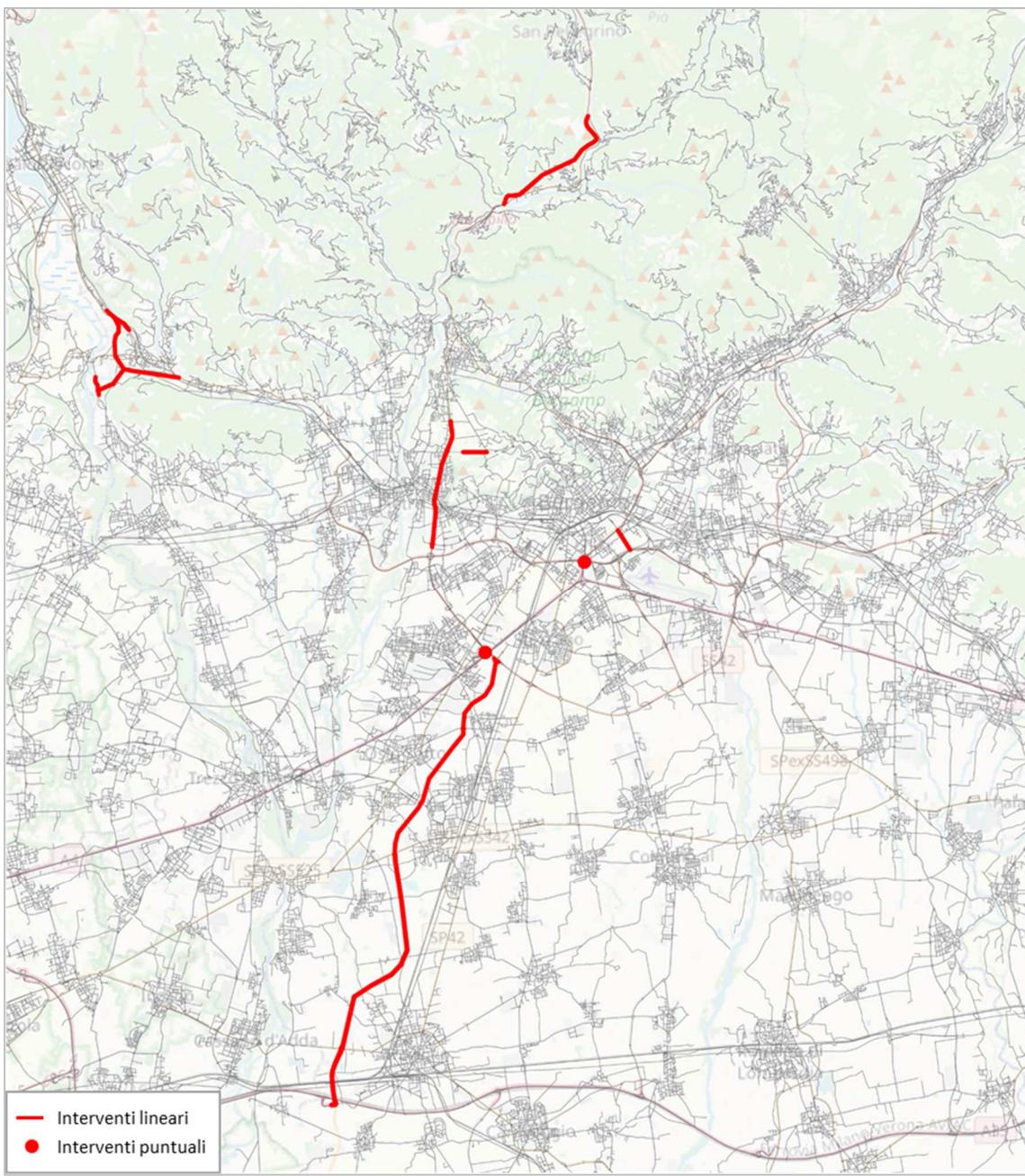


Figura 56 Sintesi degli interventi infrastrutturali considerati (2036)

## 5.2 INTERVENTI TRASPORTO PUBBLICO

Analogamente a quanto fatto per il traffico privato, sono state inserite nel modello le modifiche previste per la rete del trasporto pubblico.

In aggiunta a quanto già previsto per l'anno 2026 si considera operativo il prolungamento della linea Tramviaria T1 da Albino a Vertova. Tale soluzione prevede di prolungare la tramvia della

Val Seriana (T1) attualmente esistente dal capolinea di Albino fino al comune di Vertova, incrementandone quindi il bacino di utenza.

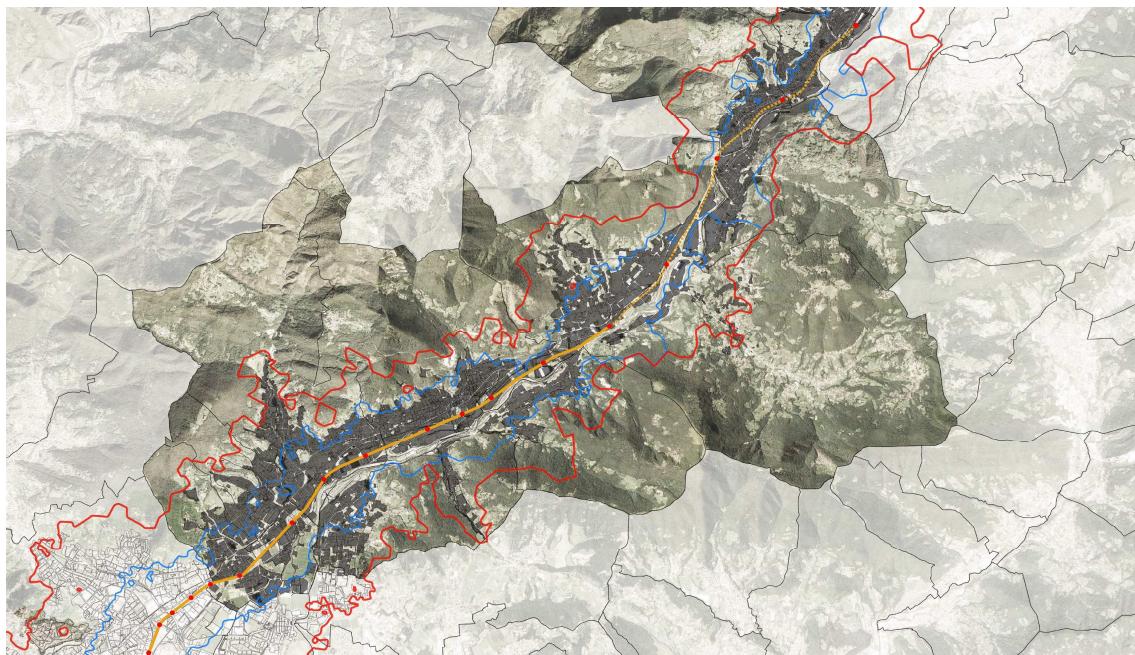


Figura 57 Schema del prolungamento della linea T1

Inoltre, nello scenario progettuale, si introducono le stesse modifiche riportate nel paragrafo 4.2.1

### 5.3 SCENARIO DI RIFERIMENTO

Lo scenario di riferimento per l'anno 2036 contempla tutti gli interventi infrastrutturali descritti in precedenza, sia in relazione al traffico privato che al trasporto pubblico, ad eccezione della nuova linea eBRT e delle modifiche alle altre linee TPL che deriverebbero dalla sua implementazione (paragrafo 4.2.1).

Come illustrato in precedenza anche la domanda di mobilità è stata incrementata in considerazione di quanto illustrato nel capitolo 3.

Alla luce di queste modifiche si ottengono i seguenti risultati:

- Totale Spostamenti Auto: 193.395
- Totale Spostamenti TPL: 57.883
- Veicoli\*km (privato) [km]: 2.904.665
- Passeggeri\*km (TPL) [km]: 331.774
- Lunghezza media spostamento Auto [km]: 17,3
- Lunghezza media spostamento TPL [km]: 12,2

A seguire si riportano i flussogrammi e i diagrammi relativi a questo scenario.

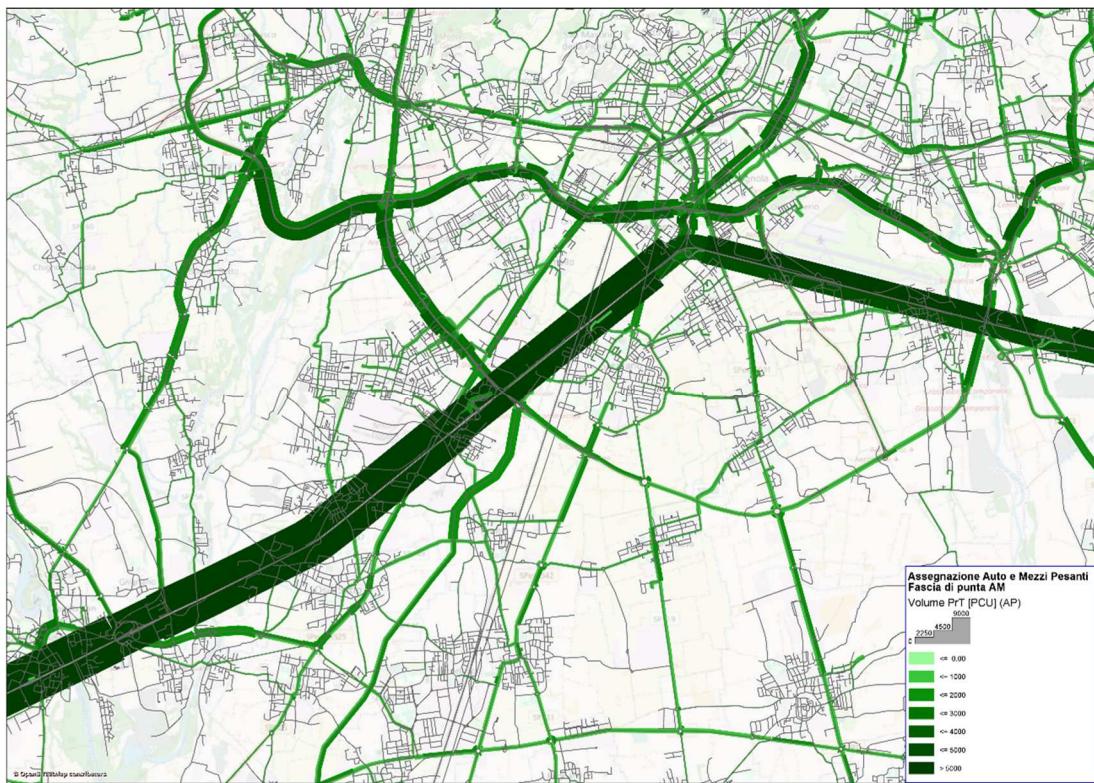


Figura 58 Flussogramma traffico privato (2036 - Riferimento)

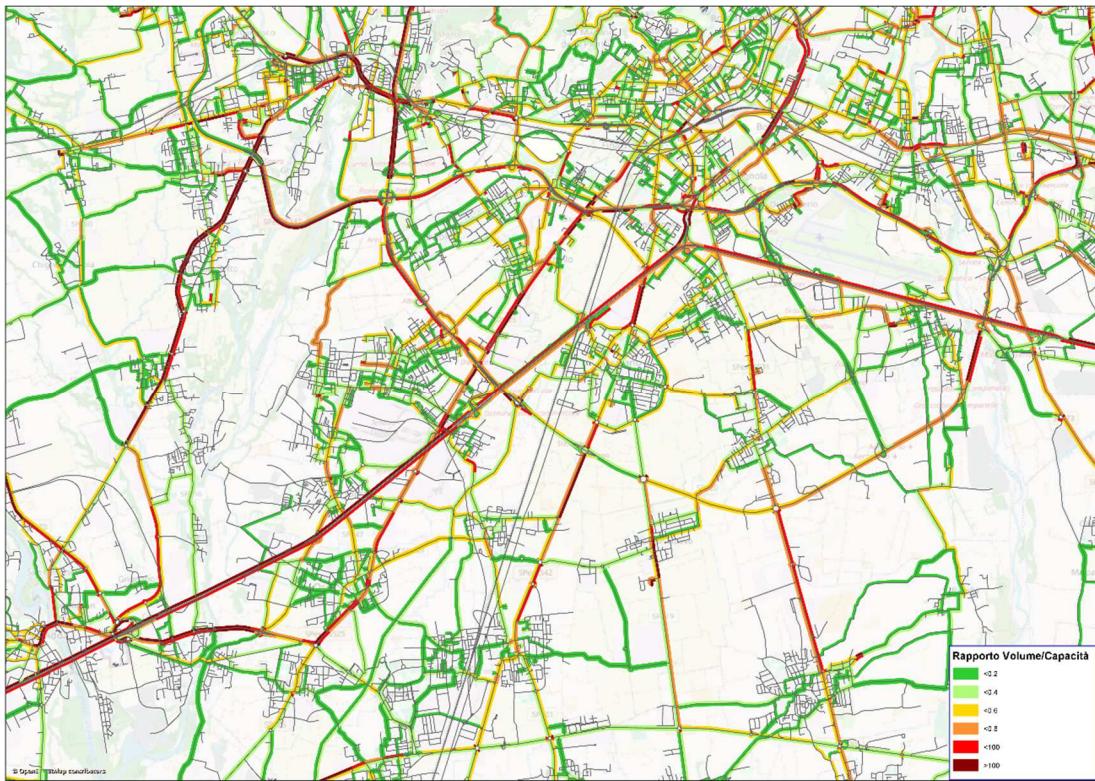


Figura 59 Diagramma saturazione rete privata (2036 - Riferimento)

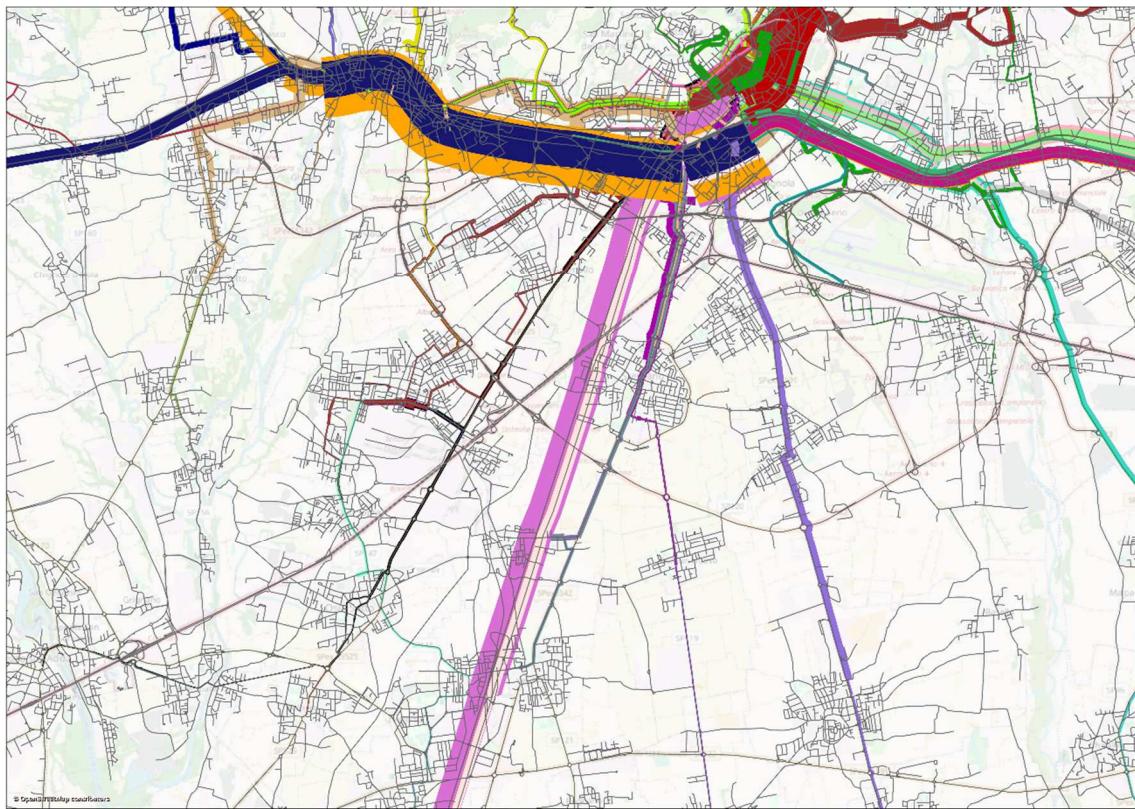


Figura 60 Flussogramma trasporto pubblico (2036 - Riferimento)

## 5.4 SCENARIO DI PROGETTO

Lo scenario progettuale per l'anno 2036 contempla tutti gli interventi infrastrutturali considerati per lo scenario di riferimento a cui si aggiungono la nuova linea eBRT e le modifiche alle altre linee TPL che deriverebbero dalla sua implementazione (paragrafo 4.2.1).

Alla luce di queste modifiche si ottengono i seguenti risultati:

- Totale Spostamenti Auto: 193.257
- Totale Spostamenti TPL: 58.021
- Veicoli\*km (privato) [km]: 2.902.712
- Passeggeri\*km (TPL) [km]: 334.396
- Lunghezza media spostamento Auto [km]: 17,3
- Lunghezza media spostamento TPL [km]: 12,2

A seguire si riportano i flussogrammi e i diagrammi relativi a questo scenario.

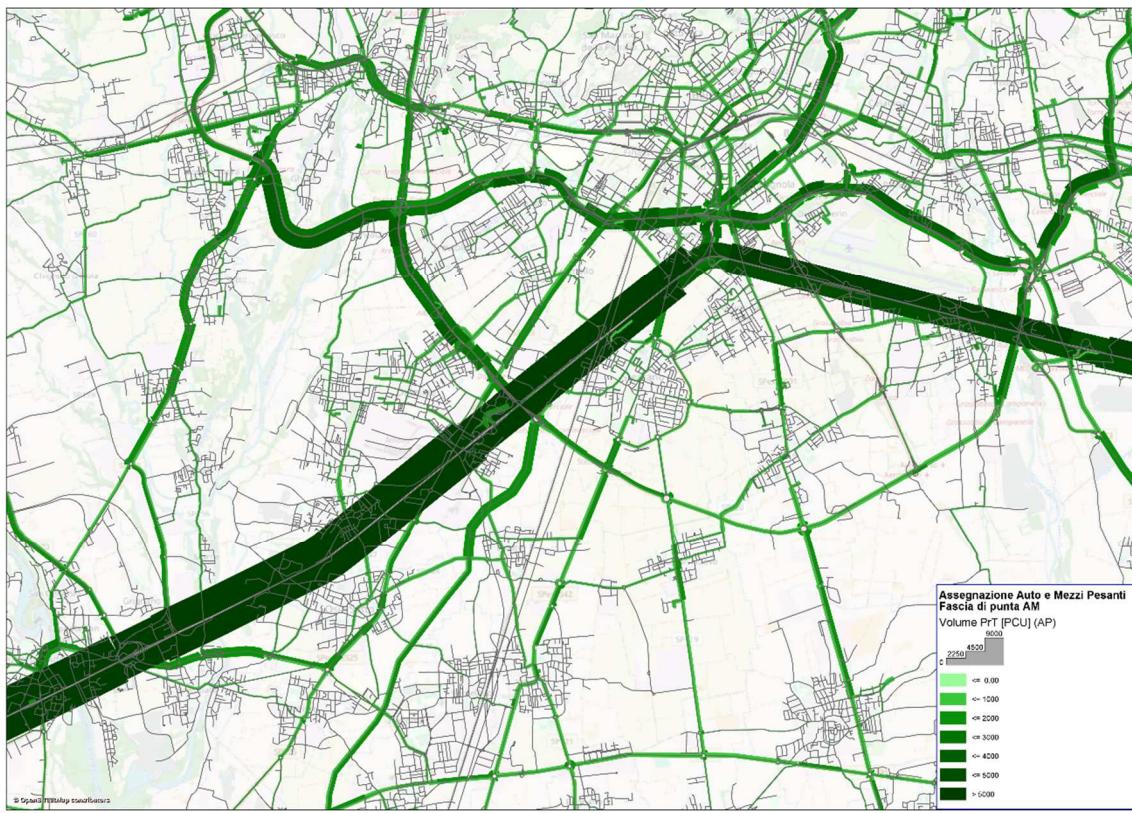
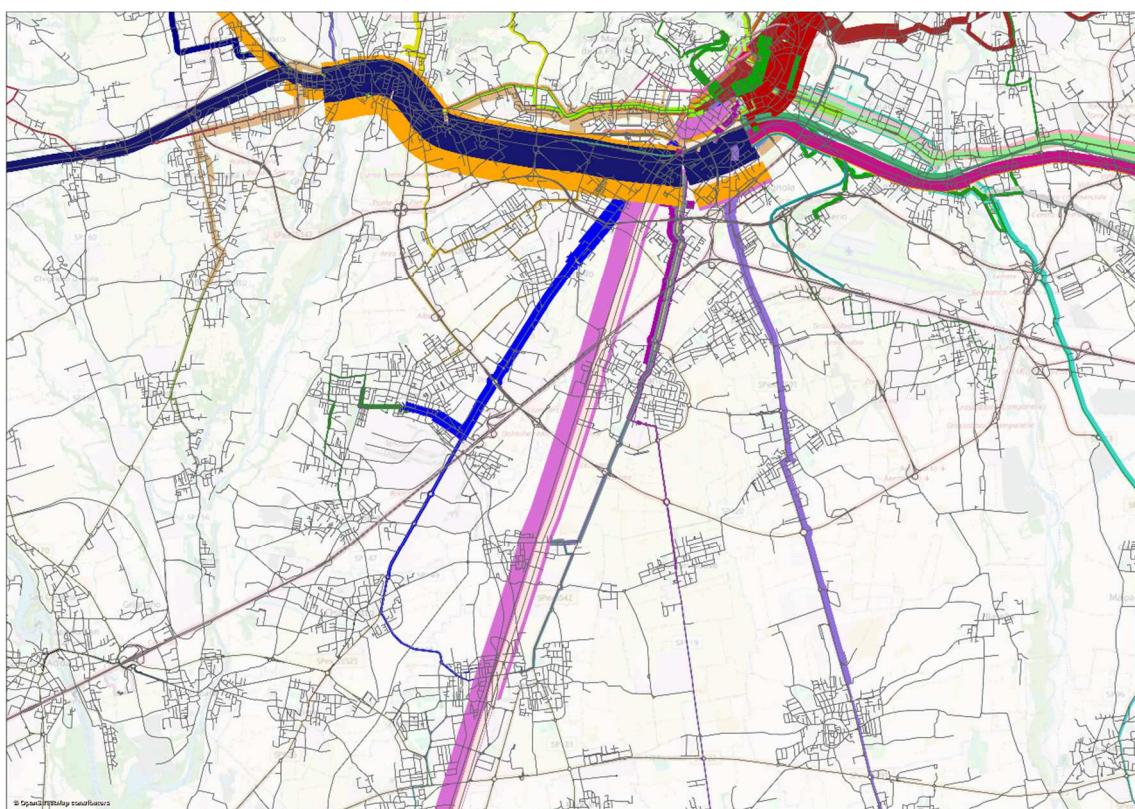
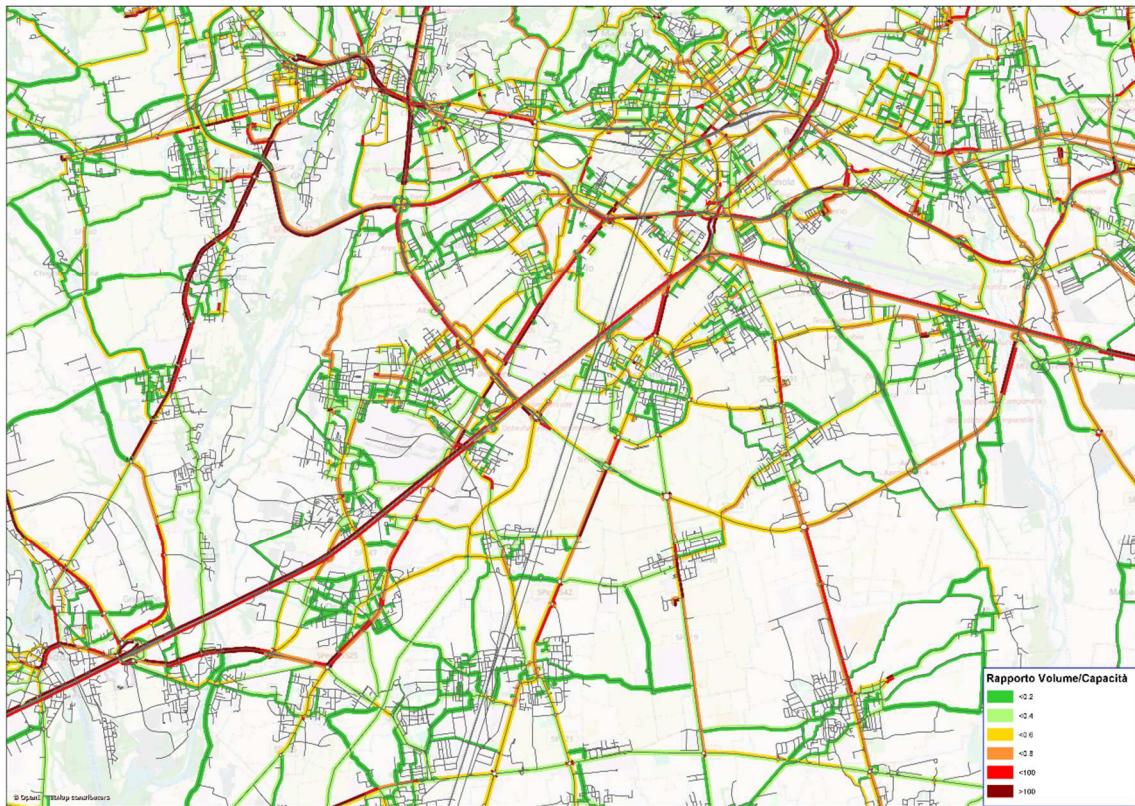


Figura 61 flussogramma traffico privato (2036 - Progetto)



Nello specifico, in relazione alla linea eBRT oggetto di studio, si precisa che il modello multimodale implementato fornisce una stima di circa 1.883 passeggeri/ora e circa 8.314 passeggeri\*km nell'ora di punta della mattina. Tali valori, se espansi all'anno, conducono a una domanda complessiva di circa 3,95 Milioni di passeggeri l'anno.

Si sottolinea che la leggera decrescita nel numero di passeggeri rispetto all'anno 2026 è da attribuirsi alla realizzazione di nuove infrastrutture e alla cautelativa assunzione di mantenere la domanda di mobilità invariata rispetto al 2026.

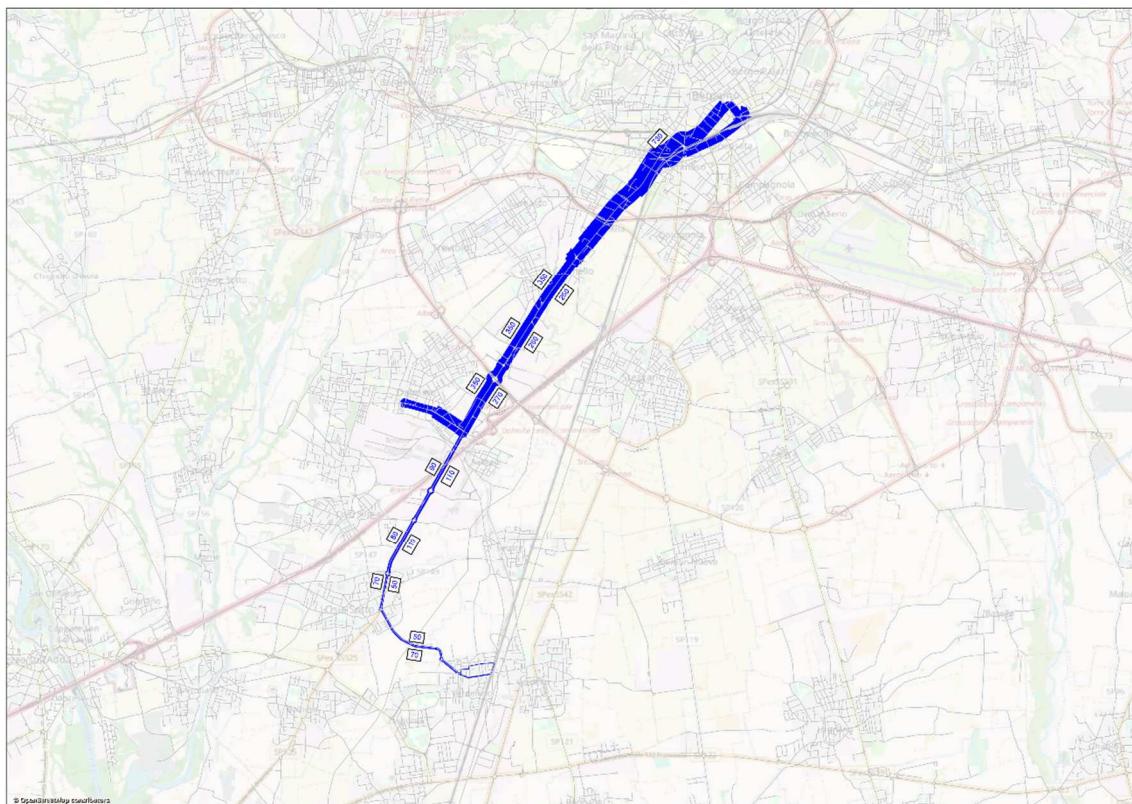


Figura 64 Dettaglio passeggeri linea eBRT Bergamo-Dalmine (2036)

Di seguito si riportano i diagrammi di carico della linea eBRT per entrambe le direzioni nello scenario di progetto 2036. I diagrammi indicano i passeggeri saliti e discesi ad ogni fermata, nonché il carico di linea e i corrispondenti valori del grado di saturazione per ogni tratta.

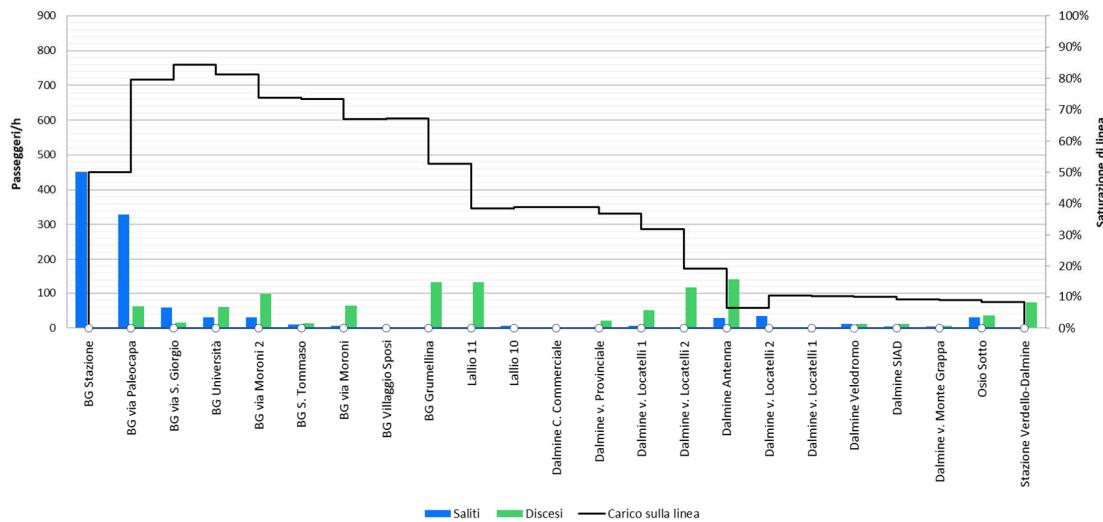


Figura 65. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Bergamo-Verdello/Dalmine. Scenario 2036.

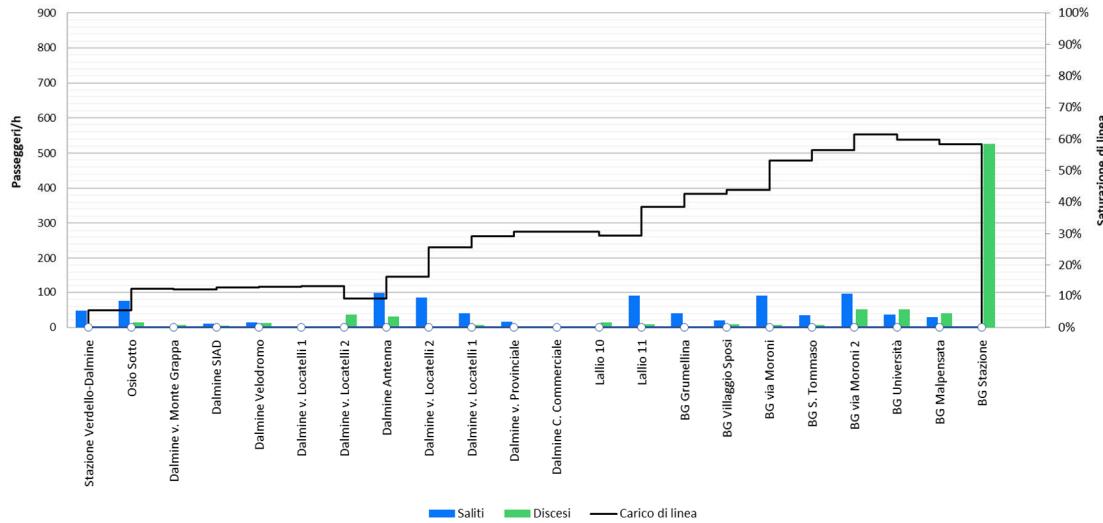


Figura 66. Diagramma di carico linea eBRT Bergamo-Dalmine. Direzione Verdello/Dalmine - Bergamo. Scenario 2036.

## 6 SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI E NOTE SULLA COMPILAZIONE DELLE TABELLE MINISTERIALI

Il presente capitolo punta a sintetizzare brevemente i principali risultati estratti dalla piattaforma modellistica implementata e a fornire alcuni chiarimenti circa le modalità utilizzate per la compilazione delle tabelle di confronto ministeriali.

### 6.1 SINTESI RISULTATI

In primo luogo si riportano a seguire alcuni macro-parametri che consentono un preliminare confronto tra i diversi scenari.

SCENARIO	2026		2036	
	Riferimento	Progetto	Riferimento	Progetto
<b>Spostamenti Veicolo Privato</b>	194.092	193.873	193.395	193.257
<b>Spostamenti Trasporto Pubblico</b>	57.186	57.406	57.883	58.021
<b>Passeggeri*km</b>	329.239	333.259	331.774	334.396
<b>Veicoli*km</b>	2.910.759	2.907.116	2.904.665	2.902.172

Tabella 14 Macro-Parametri estratti dal modello

Le seguenti tabelle riportano invece i valori di domanda della nuova linea eBRT previsti per i 2 orizzonti temporali considerati.

ANNO	SCENARIO	DOMANDA NELL'H DI PUNTA [PASS/H]	DOMANDA GIORNALIERA [PASS/G]	DOMANDA ANNUA [PASS/ANNO]
<b>SDF 2018</b>	-	-	-	-
<b>2026</b>	Riferimento	-	-	-
<b>2026</b>	Progetto	1.980	13.859	4.157.698
<b>2036</b>	Riferimento	-	-	-
<b>2036</b>	Progetto	1.883	13.180	3.954.053

Tabella 15 Domanda passeggeri linea eBRT Bergamo-Dalmine

Dal confronto tra gli scenari di riferimento e di progetto per ogni orizzonte temporale, si conclude che il miglioramento del servizio dato dall'inserimento della linea di progetto porterebbe ad un aumento dell'utenza del trasporto pubblico pari a circa 220 passeggeri nella sola ora di punta AM nel 2026 e 140 nel 2036. Queste variazioni rappresentano la quota di domanda della linea in

diversione modale, e si attestano all'11% del carico della linea al 2026 e al 7% al 2036. Queste quote di domanda in diversione modale risultano allineate con quanto è effettivamente avvenuto per la tramvia elettrica bergamasca (TEB linea T1), inaugurata nel 2009. Un'indagine svolta nel 2011 sui passeggeri della linea T1 ha permesso di rilevare che ben il 12,5% dei passeggeri provenivano dal mezzo privato.

L'effetto della diversione modale, insieme alla riduzione della congestione in alcuni segmenti stradali, comportano una riduzione rilevante dei chilometri percorsi in rete dai veicoli privati (veh\*km) nello scenario di progetto, con circa 3.600 chilometri percorsi in meno nell'ora di punta AM al 2026 rispetto allo scenario di riferimento dello stesso anno.

## 6.2 NOTE SULLA COMPILAZIONE DELLE TABELLE MINISTERIALI

Le tabelle sono state compilate tenendo conto di 5 distinti orizzonti temporali:

- 2017: anno di riferimento per la calibrazione dello stato di fatto
- 2018: stato di fatto aggiornato
- 2026: anno previsto per l'entrata in esercizio della nuova linea eBRT.
- 2036: scenario a medio termine

### 6.2.1 Tabella 3.1 – Mobilità e rete TPL

#### 6.2.1.1 *Mobilità urbana nell'area di studio*

- Numero di spostamenti e ripartizione modale

Gli spostamenti in ora di punta e la ripartizione modale per il 2014 sono estratti dalla matrice OD Lombardia. I dati relativi al 2017 sono calcolati, per quanto riguarda gli spostamenti compiuti con trasporto pubblico e auto privata, come descritto nel capitolo 2, a partire dalla matrice OD a cui vengono aggiunte le analisi cordonali e i conteggi di traffico e passeggeri. Per gli altri modi si applica il medesimo rapporto di proporzionalità che si ottiene sugli spostamenti con veicolo privato.

La stima per gli anni futuri è realizzata applicando ai modi non modellati (moto, bicicletta, piedi, altro) la medesima crescita applicata alla matrice e estraendo invece il numero di spostamenti privati e con sistemi di trasporto pubblico dalla piattaforma modellistica.

Per quanto concerne i dati relativi al numero di spostamenti giornalieri e alla ripartizione modale per l'anno 2014 si riportano i dati estratti dalla matrice OD Lombardia, come illustrato nel capitolo 2.5. Per gli anni successivi tutti i valori sono calcolati utilizzando un fattore di espansione pari a 7 per passare dall'ora di punta mattutina al giorno medio per tutti i modi tranne che per mezzi privati, ai quali è stato applicato un fattore di espansione pari a 10 (in linea con le indicazioni delle "Linee guida per la redazione di Studi di Fattibilità" della Regione Lombardia

- Spostamenti per motivo

I dati relativi alla posizione di spostamenti sistematici e occasionali sono estratti dalla matrice OD Lombardia, escludendo i ritorni a casa dal conteggio. Non avendo a disposizione dati che consentano proiezioni future si assume che la ripartizione per motivo di spostamento si mantenga coerente a quanto rilevato nel 2014.

- Lunghezza media degli spostamenti

Mandataria:



Mandante:



Collaborazione:



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO | Dipartimento  
di Scienze Economiche

Per quanto riguarda la lunghezza media degli spostamenti per modo di trasporto la matrice OD Lombardia non fornisce indicazioni disaggregate, ma combinando i dati estratti dalla matrice con le distanze estratte dal modello per i percorsi tra zone è possibile stimare una distanza media per lo stato di fatto modellistico.

Una volta stimati tali valori, assumendo che la proporzionalità tra le distanze compiute con i vari mezzi si conservi, è possibile stimare la lunghezza media degli spostamenti per modo anche per gli scenari futuri in funzione della distanza media degli spostamenti su trasporto pubblico e veicolo privato, che sono estratti dal modello multimodale.

Analogamente, sempre sulla base dei valori di distanza media per spostamento calcolati per il 2017, è stato possibile definire dei fattori di proporzionalità tra la lunghezza degli spostamenti in ora di punta e quella media giornaliera.