



COMUNE DI BRESCIA

Assessorato alle Politiche della Mobilità e ai Servizi Istituzionali

Area Pianificazione Urbana e Mobilità

Settore Mobilità, Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto Pubblico

SINDACO

Dott. Emilio Del Bono

ASSESSORE

Avv. Federico Manzoni

DIRIGENTE

Ing. Stefano Sbardella

COORDINATORE

Ing. Andrea Debernardi



ADOZIONE

Deliberazione G.C. n. 761 del 12 dicembre 2017

APPROVAZIONE

Deliberazione C.C. n. 7 del 19 febbraio 2018

ALL. I MODELLO DI TRAFFICO

DATA

Febbraio 2018

SEGRETERIA TECNICA

Ing. Silvia Docchio

Brescia Mobilità – Ufficio Studi, Innovazione e Sviluppo

GRUPPO DI LAVORO

Ing. Nadia Bresciani

Comune di Brescia - Settore Mobilità, Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto Pubblico

Dott. Alberto Sutura

Comune di Brescia - Settore Mobilità, Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto Pubblico

Geom. Michele Mombelli

Comune di Brescia - Settore Mobilità, Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto Pubblico

Dott. Marco Palamenghi

Comune di Brescia – Ufficio Statistica

Arch. Fabio Gavazzi

Comune di Brescia – Settore Urbanistica

Arch. Elena Pivato

Comune di Brescia – Urban Center

Dott. Daniele Gussago

Brescia Mobilità – Ufficio Studi, Innovazione e Sviluppo

Ing. Chiara Ragnoli

Brescia Mobilità – Ufficio Studi, Innovazione e Sviluppo

Arch. Aldo Ciocia

Studio META-ing.A.Debernardi – Monza

Ing. Gabriele Filippini

Studio META-ing.A.Debernardi – Monza

Dott. Emanuele Ferrara

Studio META-ing.A.Debernardi – Monza

CONTRIBUTI ALLA REDAZIONE DEL PRESENTE ALLEGATO

Dott. Daniele Gussago, Ing. Andrea Debernardi

SOMMARIO

SOMMARIO	3
1 PREMESSA	5
1.1 Le motivazioni per l'uso del modello	5
1.2 Sintesi delle attività svolte	5
1.3 Organizzazione del rapporto.....	6
2 ARCHITETTURA COMPLESSIVA DEL MODELLO MULTIMODALE	7
2.1 I modelli di traffico	7
2.2 Reti di trasporto.....	8
2.3 Matrici di domanda.....	9
2.4 I modelli di Brescia.....	10
2.5 Struttura generale del modello a due stadi.....	14
2.6 Cruscotto di presentazione dei risultati.....	15
3 IL MODULO DI TRASPORTO PRIVATO	18
3.1 Grafo stradale.....	18
3.2 Criteri di assegnazione.....	20
3.3 Simulazione dei sistemi Park&Ride	21
3.4 Calibrazione del modello	22
4 IL MODULO DI TRASPORTO PUBBLICO	26
4.1 Grafo del trasporto pubblico	26
4.2 Criteri di assegnazione.....	28
4.3 Calibrazione del modello	30
5 MODULO DI RIPARTIZIONE MODALE	32
5.1 Generalità	32
5.2 Algoritmo generale di ripartizione	33
5.3 Costi generalizzati di spostamento	34
5.4 Componenti obbligate	35
5.5 Costanti modali.....	36
6 RICOSTRUZIONE DELLE MATRICI O/D DI RIFERIMENTO	38
6.1 Generalità	38
6.2 Matrice O/D assegnata dal modulo HW al 2011	39
6.3 Confronto con matrice O/D istat.....	40
6.4 Confronto con matrice O/D Lombardia	42
6.5 Confronto con le rilevazioni al cordone del 2010	44

6.6	ripartizione della matrice o/d 2011 per motivo di viaggio.....	45
7	VALIDAZIONE DEL MODELLO	48
7.1	Struttura generale della procedura.....	48
7.2	Validazione del modello al 2011	49
7.3	Stima della matrice o/d al 2016	53
7.4	Validazione del modello al 2016	53
8	COSTRUZIONE DELLO SCENARIO DI RIFERIMENTO	56
8.1	Generalità	56
9	COSTRUZIONE DEGLI SCENARI DI Piano	62
9.1	Generalità	62
9.2	Scenario bus (10 anni)	63
9.3	Scenario tram (10 anni).....	65
9.4	Scenario metro (10 anni)	67
9.5	Scenario di piano (10 anni)	69
9.6	Scenario tram plus (10 anni)	71
10	Riferimenti bibliografici	73
11	Pro memoria files stima matrici	74

1 PREMESSA

1.1 LE MOTIVAZIONI PER L'USO DEL MODELLO

La redazione del PUMS di Brescia si basa, conformemente alle linee-guida in materia, su una **metodologia per scenari**, finalizzata a stimare in modo articolato gli effetti attesi delle singole misure di piano. Data la complessità del sistema di trasporto bresciano, questa metodologia può essere implementata soltanto mediante l'ausilio di **modelli di simulazione del traffico**, che permettano di ricostruirne su una base rigorosa la funzionalità nella situazione attuale e in quelle attese in futuro, a seconda delle tendenze in atto (scenario di riferimento) e delle diverse possibili strategie perseguibili da parte dell'Amministrazione (scenari di piano). La simulazione degli effetti indotti in ciascuno scenario costituisce così un passaggio fondamentale per la **comparazione degli scenari**, utile anche in sede di Valutazione Ambientale Strategica (VAS), e in definitiva per la selezione della strategia di piano.

Fortunatamente, nel caso bresciano lo sviluppo del piano può contare sulla disponibilità, presso l'Ufficio Studi, Innovazione e Sviluppo di Brescia Mobilità, di un buon patrimonio strumentale finalizzato alla simulazione del sistema di trasporto locale, strutturato su due distinti modelli relativi al trasporto privato e al trasporto pubblico, implementati in ambiente CUBE®. In considerazione del rilievo attribuito dal PUMS alle strategie di trasferimento modale, nel corso della sua redazione si è proceduto a integrare questi due moduli di calcolo in **un unico modello di simulazione multimodale**, atto a riprodurre non soltanto la funzionalità della rete viaria e di quella del trasporto pubblico, ma anche le scelte di uso dei singoli modi di trasporto da parte dei cittadini.

Questo modello, sviluppato in corso d'opera, è stato quindi utilizzato per supportare l'analisi degli scenari di piano, restando successivamente in dotazione all'Ufficio Studi per eventuali ulteriori utilizzi.

1.2 SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

Nello specifico, le attività di carattere modellistico, sviluppate a supporto della redazione del PUMS prendendo a riferimento i più consolidati approcci proposti dalla letteratura scientifica¹, hanno incluso:

- una prima verifica di funzionalità dei due moduli di trasporto privato (HW) e pubblico (PT), precedentemente elaborati con riferimento sia alla situazione pre-metrò, che a quella conseguente alla sua realizzazione;
- la definizione di un terzo modulo di calcolo, finalizzato alla ripartizione modale dei flussi (*Modal Split* – MS) riferiti al trasporto motorizzato sia privato sia pubblico e anche alla mobilità ciclopeditone, sviluppato per motivi di semplicità e immediatezza d'uso in ambiente Microsoft Excel® sulla base della zonizzazione contratta (72-82 zone) adottata in sede di redazione del PUMS;
- l'ulteriore definizione di una procedura operativa volta a interfacciare il modulo MS con i due moduli HW e PT, in modo tale da predisporre un'unica procedura modellistica a due stadi che, a partire dalla matrice O/D multimodale degli spostamenti dell'ora di punta, consente di stimare i flussi assegnati sia sulla rete stradale (espressi in veicoli/ora), sia sulla rete di trasporto pubblico (espressi in passeggeri/ora);
- l'affinamento del modulo HW mediante predisposizione di una modalità di assegnazione dei flussi a itinerari misti sulla rete stradale e sulla rete di forza del trasporto pubblico urbano, in modo da

¹ Vedi in particolare Ben Akiva [1985], Ortuzar e Willumsen [1990], Cascetta [1990, 2006], Cantarella [2001], Vuchic [2005].

ottenere una stima dell'attrattività dei parcheggi di interscambio esistenti (Prealpino, S. Eufemia) e previsti nei diversi scenari di piano;

- validazione dell'intera procedura, effettuata con riferimento dapprima alla situazione pre-metrò (anno 2011) - per la quale si è mirato a riprodurre con la massima verosimiglianza le matrici O/D e le assegnazioni dei flussi già sviluppate con i preesistenti moduli HW e PT, e quindi alla situazione attuale (anno 2016), per la quale si è avuto cura di riprodurre l'effetto di trasferimento modale conseguente alla realizzazione della linea della metropolitana;
- simulazione dello scenario di riferimento, ottenuto utilizzando, da un lato, la matrice O/D multimodale proiettata all'anno 2026 e, dall'altro, una descrizione dell'offerta di trasporto (grafi infrastrutturali e dei servizi) integrata con gli interventi già programmati a scala regionale e provinciale;
- simulazione degli scenari di piano, ottenuti rapportando la medesima matrice O/D a descrizioni alternative dell'offerta, definite in funzione delle opzioni strategiche sviluppate in sede di redazione del PUMS (scenari B, T e M).

Considerata nel suo complesso, la procedura modellistica a due stadi si è dimostrata in grado di supportare il processo di comprensione degli effetti attesi delle possibili alternative di piano e di conseguente selezione dello scenario di intervento proposto dal PUMS. Questo risultato non deve peraltro far dimenticare che ogni procedura modellistica è per sua natura affetta da limitazioni specifiche, che ne attenuano la capacità predittiva richiedendo in ogni caso attenzione e spirito critico nella verifica e accettazione dei risultati. Tali limitazioni verranno di volta in volta esplicitate a margine dell'illustrazione metodologica contenuta nei paragrafi seguenti.

È inoltre opportuno sottolineare che il lavoro di sviluppo modellistico, effettuato a supporto del PUMS, lascia in eredità una procedura multimodale a due stadi riutilizzabile a supporto di scelte a carattere "strategico". Tale eredità potrà essere opportunamente consolidata attraverso la trasposizione in ambiente CUBE del modulo MS, che renderà più agevole e veloce l'esecuzione delle simulazioni basate sulla preventiva ripartizione dei flussi fra le tre macro-modalità di trasporto prese in esame.

1.3 ORGANIZZAZIONE DEL RAPPORTO

I contenuti dell'allegato verranno presentati secondo una logica espositiva basata sui seguenti blocchi logici:

- Descrizione dell'architettura complessiva del modello multimodale (capitolo 2);
- Descrizione del modulo di trasporto privato (capitolo 3);
- Descrizione del modulo di trasporto pubblico (capitolo 4);
- Descrizione del modulo di ripartizione modale (capitolo 5);
- Validazione del modello al 2011/16 (capitolo 6);
- Costruzione dello scenario di riferimento (capitolo 7);
- Costruzione degli scenari di piano (capitolo 8).

2 ARCHITETTURA COMPLESSIVA DEL MODELLO MULTIMODALE

2.1 I MODELLI DI TRAFFICO

La modellazione delle reti di trasporto è uno strumento sviluppato a supporto della pianificazione dei trasporti. Ogni qual volta che si deve analizzare un problema specifico di intervento sul settore dei trasporti (ad esempio una nuova strada, un nuovo sistema tariffario nel trasporto pubblico) si ha l'esigenza di quantificare la soluzione ottima e gli effetti attesi dal nuovo intervento.

Il modello di trasporto si sviluppa nell'ottica, quindi, di rappresentare una certa realtà (chiamata stato di fatto), nel descrivere le variabili maggiormente rilevanti per il problema che si sta analizzando, e nel valutare come tale realtà evolverà applicando cambiamenti volti a risolvere il problema stesso (scenario futuro).

L'attività di pianificazione, che si sintetizza poi in un modello matematico, è caratterizzata dai seguenti passi logici:

- l'identificazione delle esigenze di mobilità delle persone e delle merci in una data area territoriale;
- l'analisi critica del sistema di trasporto per l'identificazione dei punti critici;
- la definizione degli interventi progettuali alternativi finalizzati a soddisfare le esigenze di mobilità emerse nei punti precedenti;
- la valutazione e il confronto degli effetti ottenibili con i vari interventi progettuali comparandone i costi di realizzazione e i vari benefici ottenibili;
- la scelta del progetto che soddisfa maggiormente i requisiti definiti preliminarmente.

Tutti questi passi di analisi vengono tradotti in operazioni che sono effettuate nella costruzione del modello di traffico:

- la rappresentazione dell'offerta di trasporto: schematizzazione della rete e dei servizi di trasporto attuali e futuri in un dato contesto territoriale;
- analisi della domanda di trasporto: quantificazione della mobilità che interessa l'area di intervento (area di piano) ed eventualmente le aree circostanti (area di studio);
- l'iterazione della domanda e dell'offerta: determinazione dei flussi di traffico presenti sulla rete attuale e su quella futura.

L'offerta di trasporto è l'insieme delle infrastrutture e dei servizi disponibili per effettuare degli spostamenti; si caratterizza nella rappresentazione delle caratteristiche fisiche e funzionali dell'infrastruttura, nelle prestazioni dei veicoli, nelle caratteristiche del servizio (orari, frequenze, fermate) e nelle caratteristiche organizzative (tariffe, condizioni di ammissione, ecc.).

La domanda di trasporto rappresenta gli spostamenti che vengono effettuati in una certa area; si caratterizza in base all'origine e alla destinazione dello spostamento, al motivo per cui ci si sposta, alla categoria di utente che effettua lo spostamento, alla modalità di trasporto utilizzata per effettuare lo spostamento (trasporto individuale, collettivo, intermodale) e ai mezzi di trasporto utilizzati all'interno di ogni modalità. Inoltre è sempre riferita a una specifica ora o fascia oraria, alla ricorrenza dello spostamento (sistematico o occasionale) e alla frequenza dello stesso.

Gli elementi che concorrono alla definizione del modello sono quindi:

- i dati che descrivono l'offerta e la domanda di trasporto;
- i metodi matematici applicati per rappresentare i diversi fenomeni;

- il software utilizzato per applicare i modelli matematici.

La definizione del modello matematico dipende da diverse valutazioni, quali:

- il tipo di problema da rappresentare:
 - se si deve analizzare un intervento rilevante in termini infrastrutturali (un nuovo ponte, una nuova linea ferroviaria, una nuova autostrada) allora l'analisi è riferita a un'area vasta, ovvero si ha un problema a Larga Scala;
 - se si deve analizzare un intervento allo schema di circolazione per un centro urbano, o effettuare modifiche alla tipologia delle intersezioni per citare due esempi, si ha un problema di Scala Locale;
 - se si deve valutare l'impatto di un nuovo grande centro attrattore e/o generatore quali un nuovo centro commerciale o una nuova area residenziale allora si deve analizzare l'uso del suolo e la demografia;
- i dati fondamentali disponibili, che dipendono dal tipo di problema da rappresentare;
- la struttura del modello che dipende dai due punti precedenti.

Un modello di trasporto deve essere quindi costruito tenendo conto del problema da analizzare, della disponibilità dei dati e della possibile descrizione modellistica applicabile.

Il software Voyager è adatto per l'analisi della mobilità delle persone e delle merci e per modelli matematici macroscopici, modelli in cui le variabili rilevanti (come il numero di spostamenti effettuati, la velocità dei veicoli, ecc.) sono rappresentati con valori medi.

Per ogni componente del modello si devono utilizzare dati appropriati, questi dati possono essere però classificati in macrogruppi di caratteristiche omogenee:

- le reti per la descrizione dell'offerta;
- le matrici per la descrizione della domanda;
- le equazioni matematiche per elaborare i dati di ingresso e per la stima delle diverse componenti di domanda.

Nel presente paragrafo si descrive ognuna di queste classi in via generale e specificando in dettaglio la loro rappresentazione nel software Voyager.

2.2 RETI DI TRASPORTO

Una rete di trasporto è rappresentata tramite il grafo, ovvero una configurazione formata da un insieme di nodi tra loro collegati da linee dette archi, a cui sono associate le caratteristiche fisiche e funzionali.

In Voyager esistono due classi di reti di trasporto:

- trasporto privato;
- trasporto pubblico: in genere utilizza come base la rete di trasporto privato e in aggiunta archi per descrivere tutti i modi che transitano su sede riservata (treno, metropolitana, ecc.).

Gli elementi fondamentali per descrivere una rete di **trasporto privato** sono:

- la **rete base** formata da archi e nodi. I nodi sono divisi in nodi centroidi (punti in cui si considerano concentrati tutte le partenze e gli arrivi degli spostamenti) e nodi fisici. Un nodo fisico può rappresentare un'intersezione, uno stop, ecc. Un arco è una connessione direzionale tra due nodi.

Un arco che connette un centroide con un nodo fisico è definito arco connettore. In Voyager le caratteristiche necessarie per definire la rete base sono:

- la tabella dei nodi con l'indicazione del numero di nodo (indicato con la notazione N), le coordinate X e Y;
- il massimo numero di zone (definito come attributo di rete). I centroidi sono i primi n nodi ($\leq \text{MaxNumZOne}$); mentre dal massimo numero di zona più 1 è possibile definire i nodi fisici;
- la tabella degli archi, con il nodo iniziale e finale A e B, la capacità (C), la lunghezza (DISTANCE), la classe funzionale (LINKCLASS) e la velocità (SPEED). La descrizione funzionale degli archi fisici è definita applicando una classificazione e di seguito delle curve di deflusso alla stessa.
- le **manovre di svolta** che rappresentano le possibili svolte a un'intersezione. Possono rappresentare sia il tempo perso per effettuare la svolta sia la manovra impedita (uso più comune). Una manovra di svolta è rappresentata dalla tripletta di nodi che ne indica la direzione, ovvero con A, B e C e dall'insieme a cui appartiene (SET). L'insieme è utilizzato per applicare specifici ritardi o manovre impedita a classi veicolari diverse. Un esempio di manovra di svolta è il seguente:
101 102 105 1 5
101 102 104 1 -1
dove i primi tre numeri del record rappresentano la tripletta di nodi indicante la svolta, il quarto numero l'insieme di appartenenza e il quinto numero i MINUTI di ritardo (se il numero è positivo) o la manovra impedita (se pari a -1).
- la **modellazione delle intersezioni**, indicante il tipo di regolazione e il modello adottato per il calcolo dei ritardi.

Gli elementi fondamentali per descrivere una rete di **trasporto pubblico** sono:

- i **modi presenti nella rete** di trasporto pubblico (ad esempio modo ferroviario, tranviario, bus, filoviario, metro);
- i **modi ausiliari**, intendendo con ausiliari i modi di tipo pedonale o park&ride, tutti quei modi che rappresentano quindi l'accessibilità ai modi di trasporto pubblico;
- le **curve di attesa**, ovvero del legame tra la frequenza del servizio e il tempo medio di attesa per l'utente;
- la **descrizione delle linee di trasporto pubblico**, rappresentate dall'elenco degli archi della linea, il nome e la frequenza della stessa, i nodi di fermata e di transito;
- attributi rappresentanti la definizione della scelta del percorso in fase di carico della rete e il costo generalizzato.

2.3 MATRICI DI DOMANDA

La rappresentazione della domanda avviene mediante la formulazione di matrici Origine/Destinazione o matrici O/D, le quali non sono altro che tabelle aventi tante righe e tante colonne quante sono le zone O/D dell'area alla quale si riferiscono. È consolidato l'uso di rappresentare le zone origine sulle righe e le zone destinazione sulle colonne e Voyager adotta questo criterio.

Ogni elemento della matrice rappresenta una coppia O/D identificata da una zona i di origine (corrispondente alla riga dell'elemento) e da una zona j di destinazione (corrispondente alla colonna

dell'elemento), ed esprime il numero di elementi relativo a quella coppia O/D, cioè gli spostamenti che partono dalla zona origine e sono diretti alla zona destinazione.

Ogni coppia O/D è descritta compiutamente in VOYAGER da una tripletta di valori, I, J e VOL, dove:

- **I**: zona origine;
- **J**: zona destinazione;
- **VOL**: numero di spostamenti che partono dalla zona I e arrivano nella zona J.

2.4 I MODELLI DI BRESCIA

Per la definizione dei modelli, a partire dai primi anni '90, è stata stabilita una zonizzazione del Comune di Brescia basata sulle sezioni di Censimento 1991 estesa negli anni successivi a tutta la Provincia e mantenendola coerente con i successivi Censimenti del 2001 e del 2011. Per la definizione del grafo stradale, dopo una primissima fase che vedeva assente la parte grafica e cartografica, è stato utilizzato come riferimento il grafo TeleAtlas 2004 e 2009 successivamente integrato con gli sviluppi della rete stradale. Durante lo sviluppo dei modelli sono stati effettuati successivi affinamenti e correzioni. Ad esempio, rispetto alla situazione dei primi anni, sono stati aggiunti centroidi, e quindi zone della matrice O/D, relative a specifici attrattori/generatori di traffico quali parcheggi in struttura, scuole superiori, centri commerciali, ospedali ed entità produttive di particolare rilievo attuale (ad esempio Alfa Acciai, Ori Martin, IVECO, ASM-A2A, Lonati) e potenziale per il futuro (Ex Pietra, Ex Magazzini Generali) oltre ai caselli autostradali. Al momento infatti la rete autostradale non è codificata in quanto tale ma come entità che ha i suoi punti di contatto con la rete ordinaria tramite i caselli di Brescia. Con la recente apertura dell'A35 BreBeMi è stata parimenti definita come nuova zona la barriera di Chiari Est. Normalmente i Comuni della Provincia sono rappresentati da un centroide corrispondente al nucleo principale di un Comune. Per alcuni comuni della prima cintura interessati dallo sviluppo del sistema di trasporto locale da urbano a suburbano, a partire dalla rete del 2004, è stato necessario effettuare una suddivisione in due o più parti per poter meglio rappresentare il comportamento della rete di trasporto. I comuni coinvolti sono: Rezzato, Bovezzo, Borgosatollo, Botticino, Concesio, Castelmella, Collebeato, Flero e Nave. La zonizzazione di riferimento e quindi l'associazione con le zone del modello privato e pubblico è identica per i due sistemi che vengono tuttavia gestiti come entità singole e separate.

Le attuali matrici O/D utilizzate nel modello sono composte da 535 zone. I modelli privato e pubblico differiscono sul fronte dell'offerta che viene rappresentata da due grafi distinti date le diverse necessità di calcolo dei due modelli.

Nelle figure seguenti vengono rappresentate la zonizzazione di Brescia, quella della prima cintura e quella provinciale.

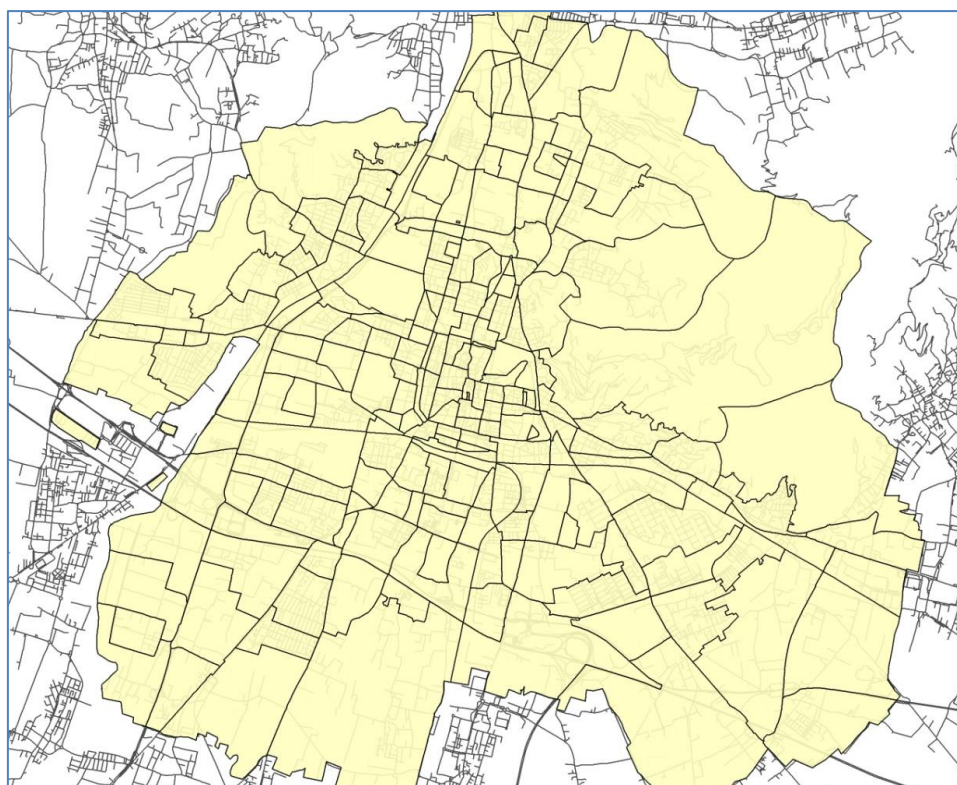


Figura 2.1 – Zonizzazione di Brescia

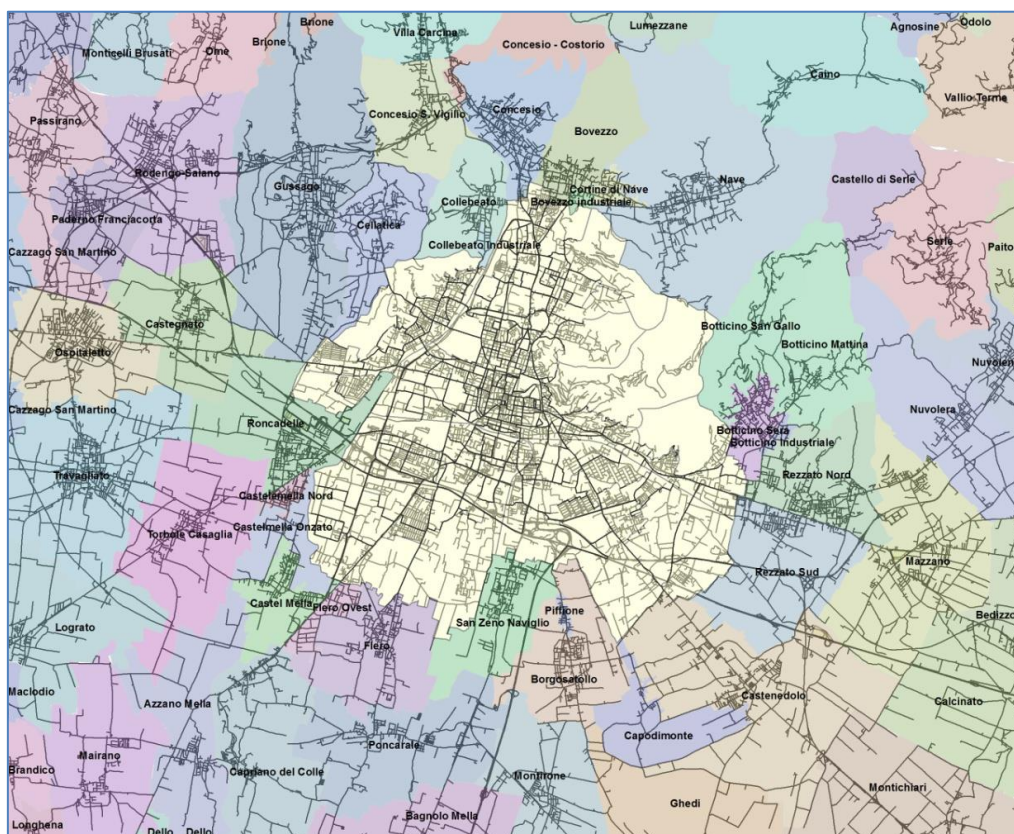


Figura 2.2 – Zonizzazione prima cintura con alcuni Comuni divisi in più parti

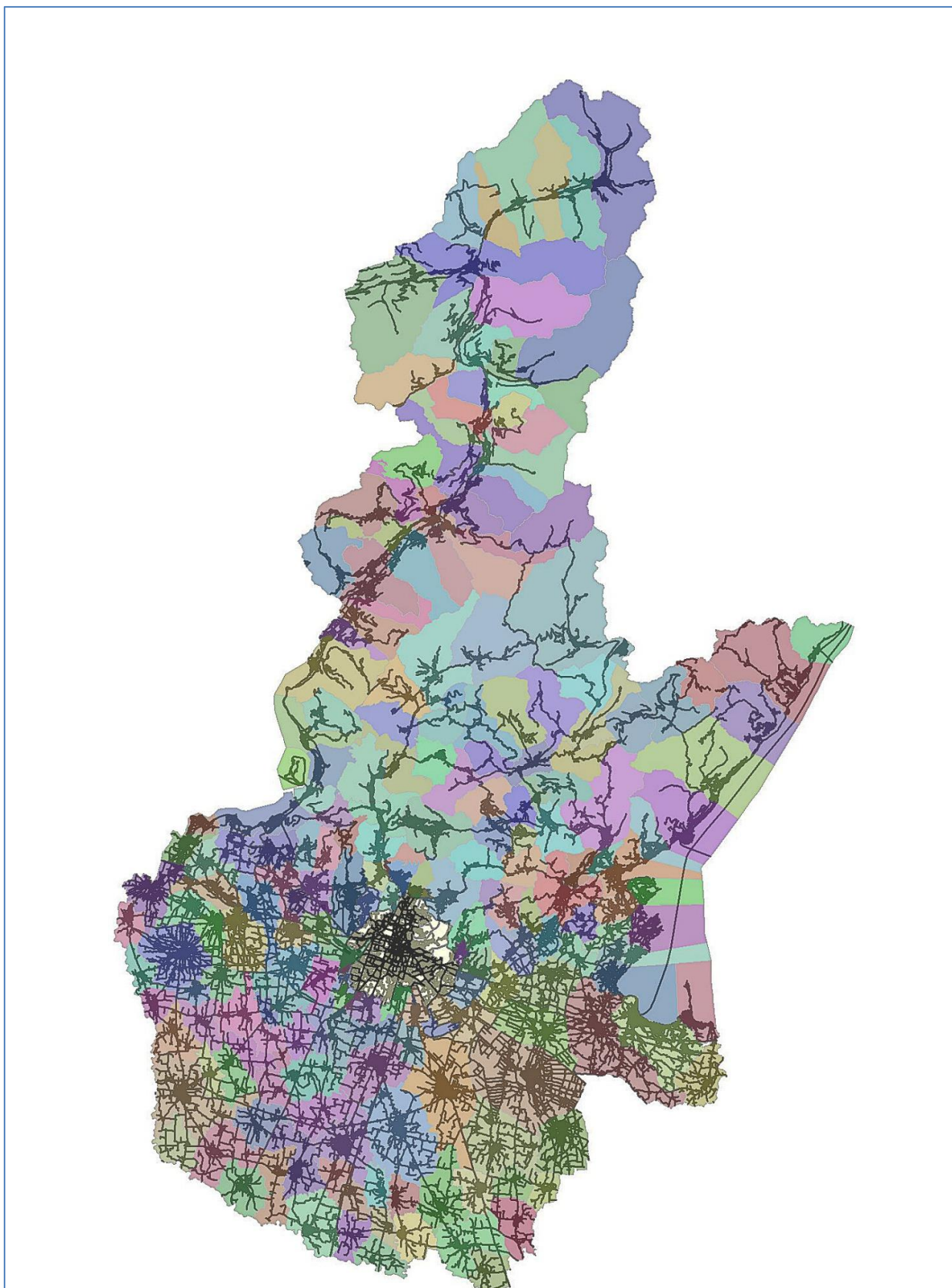


Figura 2.3 – Zonizzazione provinciale

A questa zonizzazione è stata affiancata un'ulteriore suddivisione in 78/82 macro-zone di traffico², di cui 44 interne al Comune di Brescia e 34 esterne ad esso, corrispondente a quella utilizzata dal PUMS in sede di analisi della domanda di mobilità. Tale zonizzazione, in particolare, è stata presa a riferimento del modulo MS per tenere conto, da un lato, delle limitazioni computazionali connesse all'ambiente di calcolo utilizzato e, dall'altro, alla necessità di limitare l'articolazione della descrizione di alcuni *input* funzionali del modello che, negli scenari futuri di piano, possono non essere dettagliati a livello sufficiente per alimentarne una descrizione al dettaglio delle 535 zone di base. Le macro zone sono state ottenute per aggregazione delle zone del modello Voyager seguendo i confini dei quartieri, per la città, e i confini comunali per le macro zone esterne alla città.

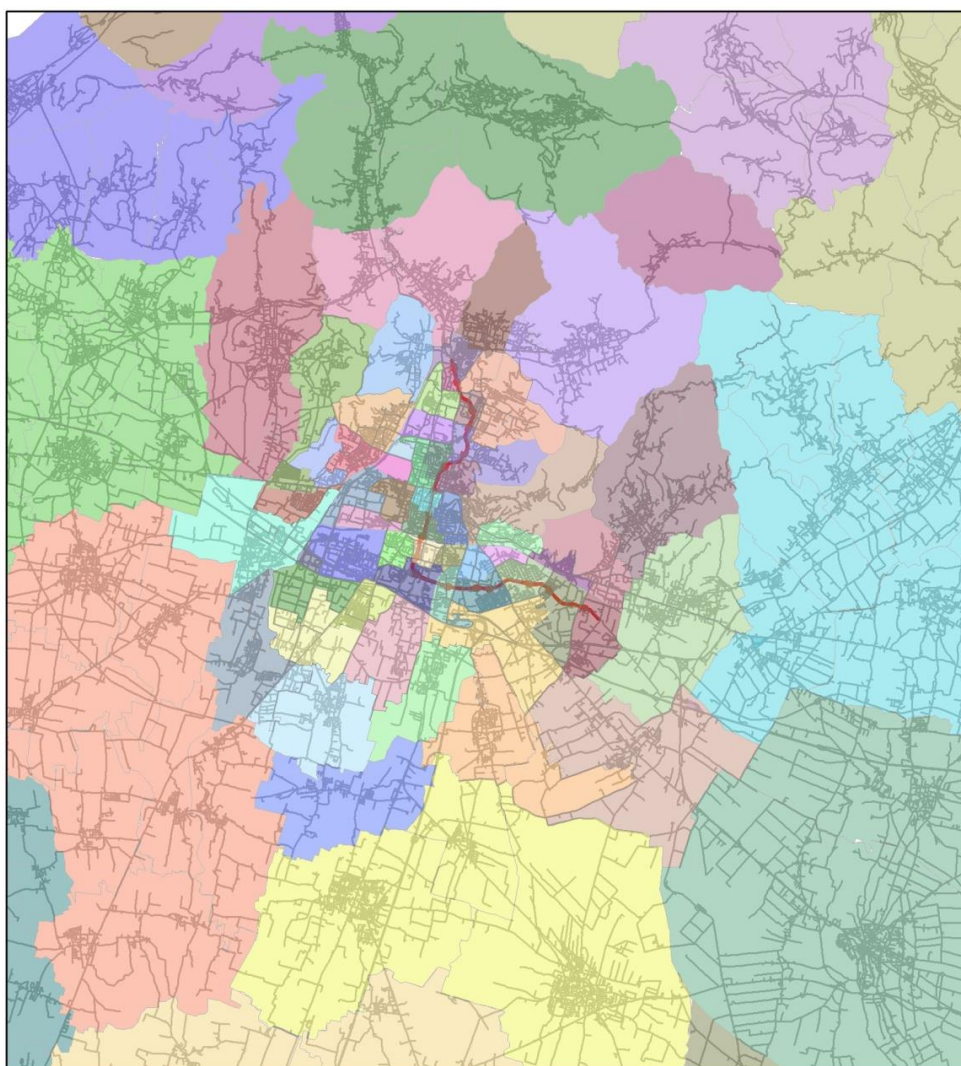


Figura 2.4 – Zonizzazione macro, città e prima cintura

² Alle 78 macrozone utilizzate in sede analitica, se ne aggiungono 4 corrispondenti ai tre svincoli autostradali di Brescia Ovest, Brescia Centro e Brescia Est, nonché alla stazione ferroviaria, che rappresentano nel modello altrettanti punti di accesso al grafo, modellizzati utilizzando altrettanti connettori di zona. Ulteriori zone, corrispondenti ai parcheggi di interscambio, vengono poi definite al solo scopo di trasporre al modulo di trasporto pubblico la sottomatrice dei flussi stradali assegnata al sistema Park&Ride.

2.5 STRUTTURA GENERALE DEL MODELLO A DUE STADI

In considerazione del rilievo assunto dalle politiche di trasferimento modale nelle strategie complessive di piano, lo sviluppo del modello di simulazione si è accompagnata alla definizione di un modulo di calcolo volto appositamente alla stima delle quote di domanda orientate al trasporto pubblico, anziché a quello privato, o anche alla mobilità non motorizzata.

L'inserimento di tale modulo di calcolo nello schema di simulazione già sviluppato in precedenza ha dato così vita a un **modello a due stadi**, così definiti:

- 1) stadio di **RIPARTIZIONE MODALE**, volto a suddividere la matrice O/D totale, riferita al complesso della domanda di mobilità bresciana, nelle tre matrici O/D modali, riferite rispettivamente al trasporto pubblico (PT), a quello privato (HW), e alla mobilità non motorizzata;
- 2) stadio di **ASSEGNAZIONE**, volto a stimare i carichi di passeggeri e/o di veicoli stradali sui singoli archi del grafo stradale e di quello del trasporto pubblico.

L'architettura tecnica del modulo di ripartizione modale, definita in base a consolidati riferimenti scientifici (cfr. in particolare Ortúzar e Willumsen 1990; Cascetta 2006), affida la scelta del modo di trasporto al confronto tra i rispettivi costi generalizzati di trasporto, come dettagliatamente indicato nel capitolo 5.

Poiché la variazione dei carichi veicolari, indotti dalle modifiche dei costi generalizzati di trasporto pubblico o privato, determinano a loro volta variazioni dei tempi di viaggio in auto, la procedura, considerata nel suo complesso, assume una forma iterativa.

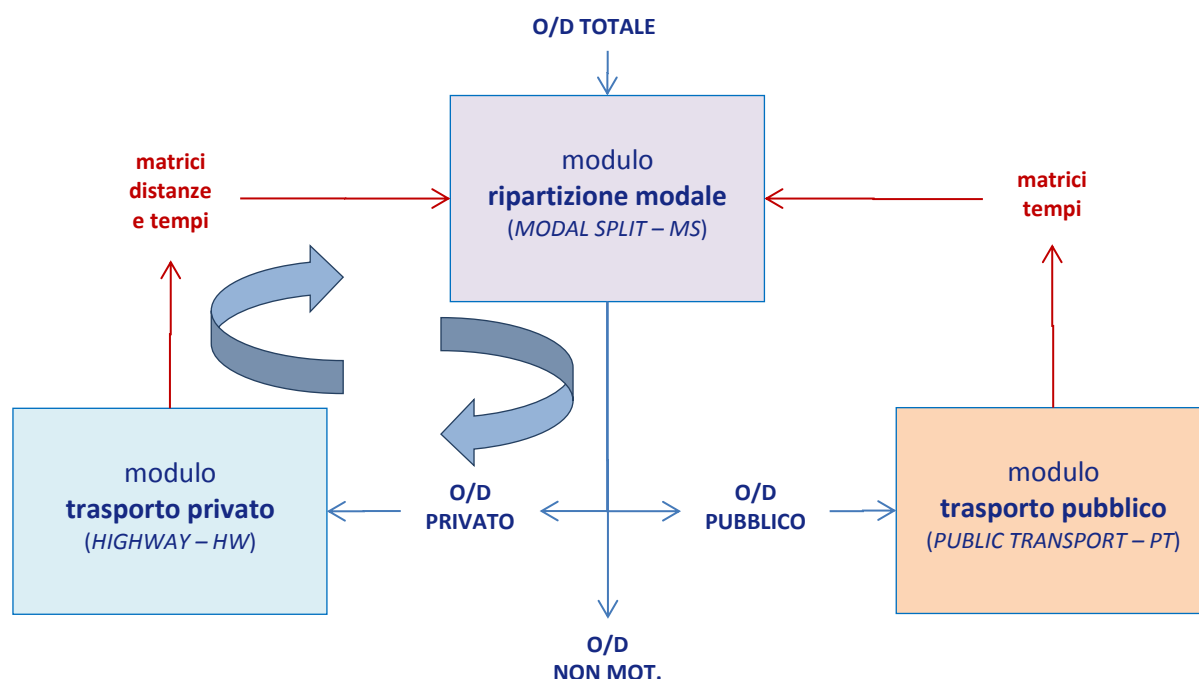


Figura 2.5 – Struttura generale del modello a due stadi

È da osservare altresì che la nuova architettura di calcolo consente di tenere conto anche degli spostamenti con interscambio tra mezzi privati e mezzi pubblici (schemi Park&Ride), come meglio specificato nel seguito. Gli algoritmi e le procedure di calcolo adottate in ciascun modulo sono oggetto dei capitoli 3, 4 e 5.

2.6 CRUSCOTTO DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Al fine di garantire leggibilità e ampia diffusione ai risultati delle simulazioni di traffico, nell'ambito della costruzione del modello multimodale è stato anche definito uno specifico "cruscotto" illustrativo dei principali parametri e indicatori, relativi a ciascuno scenario preso in esame.

Tale cruscotto, di cui si riporta un esempio nelle due pagine seguenti, si compone di cinque **tabelle riepilogative**, inerenti rispettivamente:

- all'identificazione dello scenario (offerta di trasporto e anno di simulazione);
- alla ripartizione per modo di trasporto (privato, pubblico, non motorizzato) della domanda di mobilità afferente ai tre motivi di viaggio presi in considerazione (studio, lavoro, altro);
- alla funzionalità della rete stradale, descritta attraverso i volumi di traffico (veicoli-km), i tempi di percorrenza (veicoli-h) e le velocità medie (km/h) per ciascuna categoria stradale (rete primaria, secondaria, locale);
- alla funzionalità della rete di trasporto pubblico, con dettaglio delle singole linee di forza urbane (metropolitana, bus, eventuali altri modi contenuti negli scenari simulati) e riepilogo delle altre componenti di rete (resto rete urbana, rete bus extraurbana, ferrovia);
- all'impatto ambientale, stimato in relazione ai risultati delle assegnazioni di traffico, secondo gli specifici indicatori definiti dal rapporto di *scoping* della VAS (*Valutazione Ambientale Strategica*) del piano.

A seconda delle situazioni, queste tabelle includono anche righe di raffronto con lo scenario attuale o con quello di riferimento.

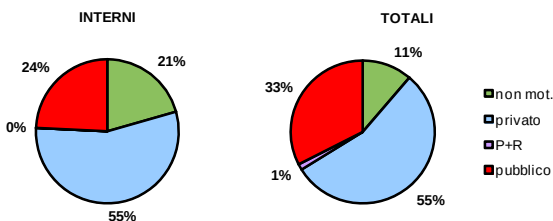
Le tabelle sono accompagnate, nella pagina a fronte, dai due **flussogrammi del trasporto pubblico e privato in area urbana**, rappresentati di volta in volta in valore assoluto o come variazioni rispetto alla situazione attuale o allo scenario di riferimento.

Esempio di cruscotto:

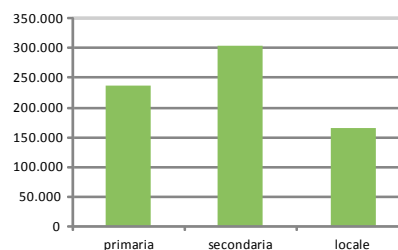
Scenario		
Offerta	T	
Anno	2016	
		Data

RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)				
	interni	entrate	uscite	TOT	var.
non motorizzato	11.925	1.820	872	14.617	+0,9%
privato	32.029	25.181	13.876	71.086	+10,7%
P+R		1.738		1.738	+223,4%
pubblico	14.057	26.504	1.389	41.951	+16,6%
TOTALE	58.011	55.244	16.137	129.392	+12,3%
Variazione su 2016	+6,3%	+19,7%	+11,1%	+12,3%	


TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione su scenario 2016
	km	vk	vh	km/h	vk	%
primaria	99	237.660	5.260	45,2	49.603	-10,4%
secondaria	322	303.500	15.478	19,6	42.553	-16,9%
locale	751	165.777	13.722	12,1	16.892	+22,6%
TOTALE	1.172	706.937	34.460	20,5	109.048	-9,4%
Variazione su 2016	+3,3%	+10,0%	+8,6%	+1,3%	-9,4%	


TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI							
	percorrenze offerte		passenger trasportati	tempi percor.	volumi di traffico	variazione	percorrenze medie	velocità medie
	veic*km	posti*km	pax	pax*h	pax*km		km/pax	km/h
Metropolitana M1	397		12.983	2.366	66.203	+184,6%	5,10	28,0
Tram T2+T3	311		14.040	2.474	39.620	=	2,82	16,0
Tram T3						=		
Busvia B4	490		10.219	1.637	27.454	=	2,69	16,8
Resto rete area urb.	1.790		23.536	5.323	111.134	-15,0%	4,72	20,9
SUBTOTALE	2.988		60.778	11.801	244.411	+58,6%	4,02	20,7
Variazione su 2016	-2,9%	=	+54,5%	+47,4%	+58,6%		+2,6%	+7,6%
Ferrovia			21.632	7.878	526.089	+15,0%	24,32	66,8
Bus extraurbano	3.241		27.576	11.711	386.592	-22,1%	14,02	33,0
TOTALE GEN.			109.986	31.390	1.157.092	+4,4%	10,52	36,9
Variazione su 2016	=	=	+18,3%	-5,7%	+4,4%		-11,7%	+10,7%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL **62,9** milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario di riferimento (blu aumento, arancione diminuzione).



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario di riferimento (verde aumento, rosso diminuzione).

3 IL MODULO DI TRASPORTO PRIVATO

3.1 GRAFO STRADALE

La definizione del grafo del modello privato segue con maggiore precisione la rete stradale del Comune di Brescia e dei comuni contermini mentre per quanto riguarda la descrizione della rete dell'intera Provincia si utilizzano gli assi principali trascurando il dettaglio all'interno del singolo comune. Infatti, dato che i comuni extra cintura sono rappresentati con un singolo centroide, non ha senso definire una rete più fitta non disponendo di informazioni con un pari livello di dettaglio.

Altre informazioni importanti riguardano la codifica delle intersezioni. Infatti, in ambito urbano sono spesso le intersezioni a causare i maggiori problemi di congestione e una corretta definizione delle manovre di svolta consentite è cruciale per avere una risposta corretta dei flussi di traffico calcolati.

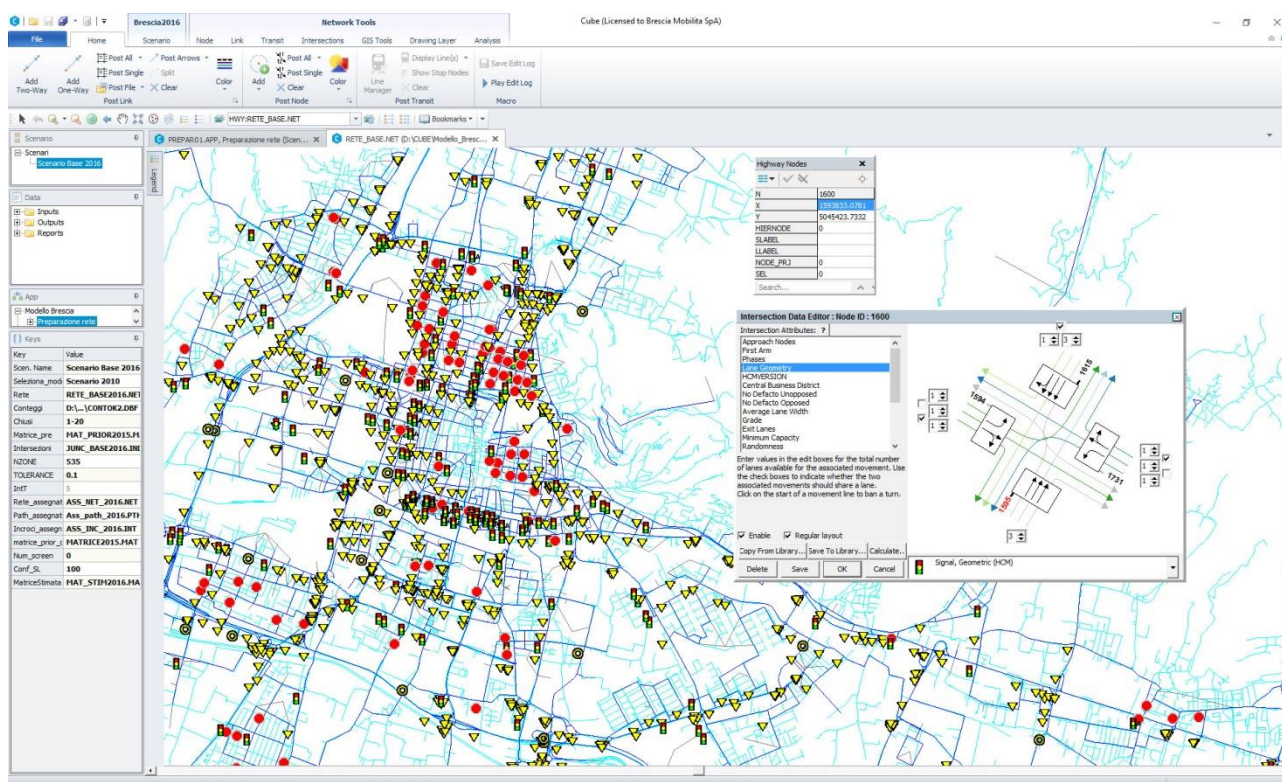


Figura 3.1 – Codifica delle intersezioni



Figura 3.2 – Grafo del Modello Privato con punti di misura

3.2 CRITERI DI ASSEGNAZIONE

Nel modello Cube i principali parametri che definiscono un arco stradale sono:

- **Lunghezza:** lunghezza lineare dell'arco, in km;
- **Capacità:** massima quantità di veicoli che possono transitare in un'ora, dipendente da numero corsie e da eventuali disturbi provocati ad esempio da parcheggi lungo la via e presenza di interferenza pedonale, in Veicoli/h;
- **Classificazione curva di deflusso:** è una grandezza numerica che descrive una specifica curva di deflusso all'interno di un insieme di curve;
- **Velocità media a flusso libero:** la velocità di percorrenza dell'arco da parte di un solo veicolo, in Km/h.

Le curve di deflusso definiscono il degrado della velocità media di percorrenza con l'aumentare del traffico. Nel caso di Brescia è stato costruito nel tempo un database di curve di deflusso osservando le velocità medie in rapporto al flusso rilevato da sistemi automatici di conteggio. Nel Cube una curva di deflusso è costruita per punti (successivamente interpolati) e presenta in ascissa il rapporto Flusso/Capacità e in ordinata la velocità media. Alcune delle curve di deflusso rilevate sono riportate nella figura seguente.

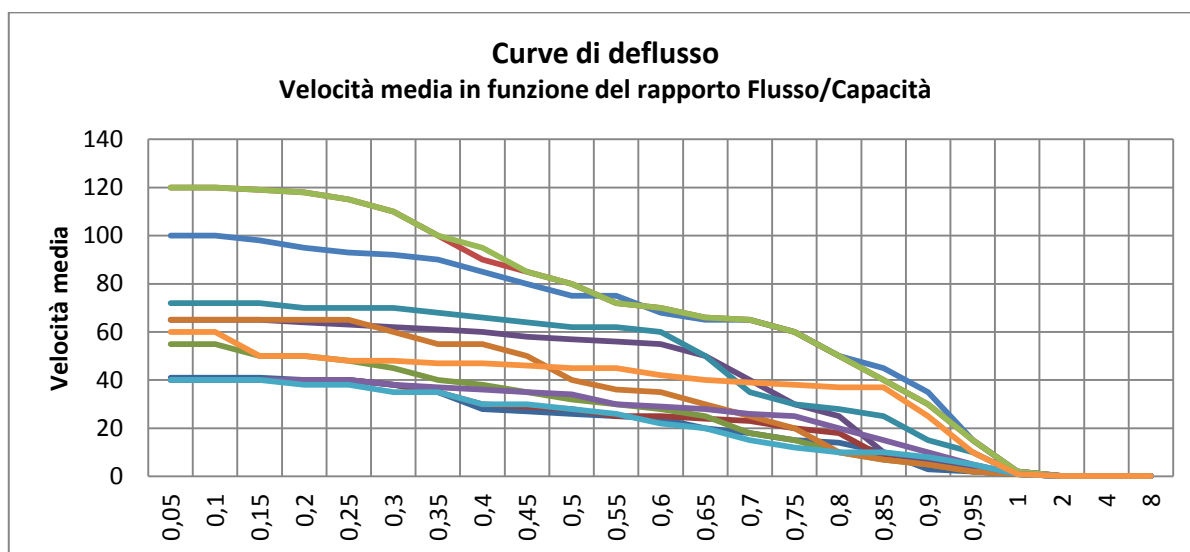


Figura 3.3 – Curve di deflusso

Ai tempi di percorrenza così definiti si aggiungono poi specifici perditempo ai nodi finali, definiti in rapporto alle singole manovre di svolta interessate dall'assegnazione dei flussi.

La procedura di assegnazione avviene mediante iterazioni che mediano il carico di ogni arco assegnato all'*i-esima* iterazione con il carico assegnato all'*i-1-esima* iterazione. Lo start avviene con i tempi di percorrenza degli archi con velocità a flusso libero. Le iterazioni terminano sulla base di un criterio di convergenza che valuta il numero e l'entità delle variazioni tra l'iterazione corrente e quella precedente.

La funzione di costo tiene conto del tempo di percorrenza (calcolato mediante le curve di deflusso), della lunghezza dell'arco e di un parametro di pesatura per ogni arco.

3.3 SIMULAZIONE DEI SISTEMI PARK&RIDE

Rispetto alla sua configurazione originale, nell'ambito del PUMS il modulo di assegnazione è stato arricchito mediante una specifica procedura di calcolo, volta a riprodurre i carichi veicolari indirizzati verso i nodi di interscambio, e i successivi proseguimenti a bordo dei servizi di trasporto pubblico.

Tale procedura si basa sull'introduzione di **archi ausiliari**, rappresentativi della rete di forza del trasporto pubblico attestata sui nodi di interscambio, e caratterizzati da condizioni di deflusso costanti, uguali a quelle assicurate dai corrispondenti servizi.

Questi archi sono collegati al grafo stradale da un insieme di **connettori intermodali**, che consentono di accedervi nei soli nodi di interscambio, mentre in tutte le altre fermate è fatta salva, attraverso opportuni connettori, unicamente la possibilità di raggiungere a piedi le zone circostanti.

In tal modo, già in sede di assegnazione il modulo di trasporto privato è in grado di identificare le relazioni O/D per le quali l'interscambio tra mezzi pubblici e privati consente un risparmio di costi generalizzati, riproducendo i carichi sui corrispondenti itinerari (Figura 3.4).

La quota-parte degli spostamenti, afferente al sistema del trasporto pubblico, viene quindi scorporata dal grafo stradale e inserita attraverso opportuni connettori d'appoggio, in forma di precarico, nel grafo che descrive la rete di forza (vedi capitolo 4).

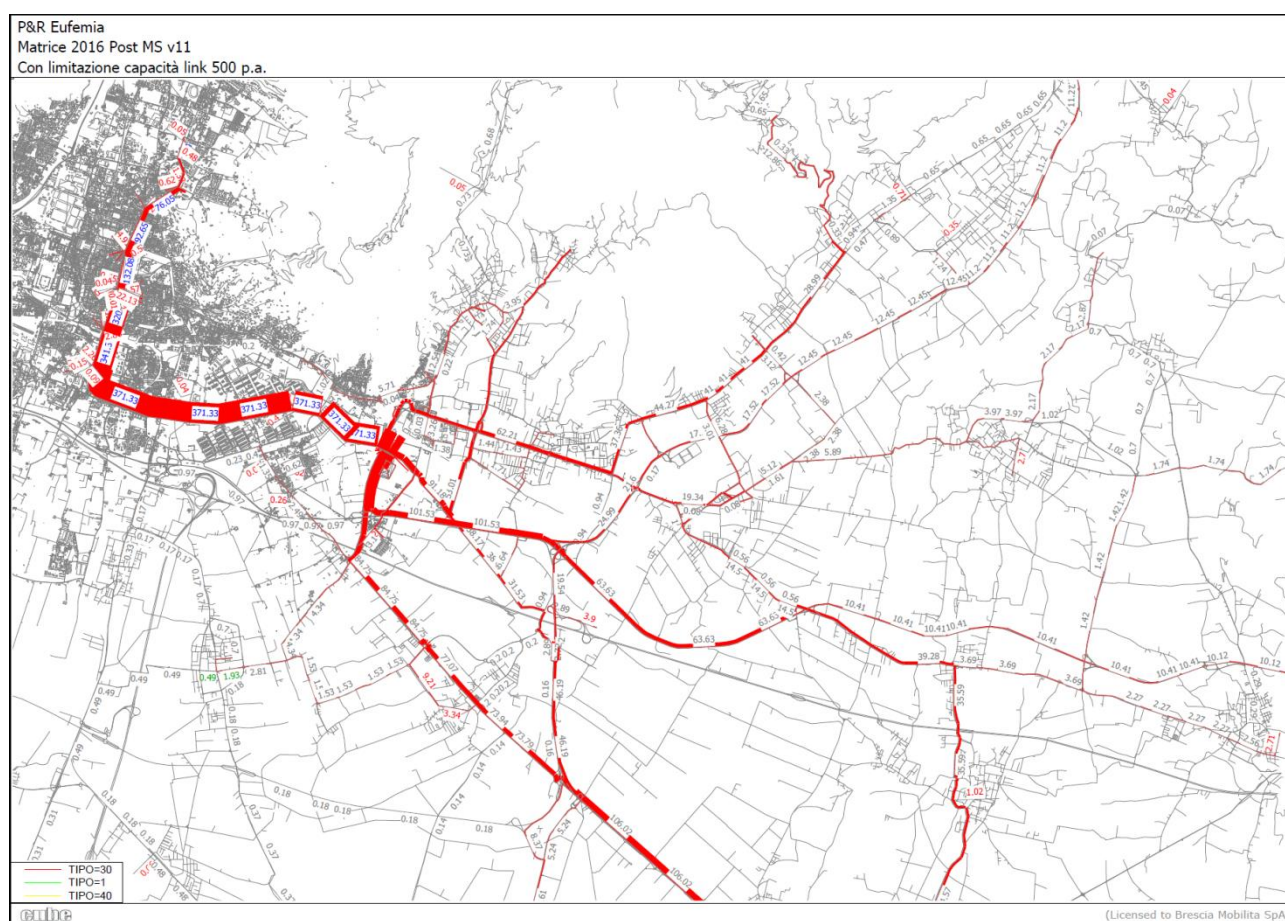


Figura 3.4 – Flussogramma relativo alla componente P+R nell'interscambio di S.Eufemia

3.4 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Nella Figura 3.2 sono inoltre evidenziate in rosso le posizioni dove sono disponibili informazioni di conteggio nell'ora di punta. Queste postazioni corrispondono in massima parte al sistema di rilevazione del traffico utilizzate dal sistema di controllo semaforico, nell'ambito del Comune di Brescia, e della rete di monitoraggio periodico della Provincia per quanto riguarda i punti di misura esterni al Comune di Brescia. Oltre ai dati di monitoraggio continuo dei due sistemi sono stati inseriti nel modello anche tutte le informazioni provenienti da campagne di rilievo effettuate durante studi specifici. La metodologia di questi rilievi può variare da conteggi manuali a conteggi a mezzo radar e/o video.

Tutte queste informazioni vengono utilizzate per la cruciale fase di calibrazione del modello di simulazione con l'obiettivo di avvicinare il più possibile a dati reali il comportamento del calcolo della situazione di riferimento. Una volta raggiunta una convergenza generale accettabile è possibile definire gli scenari di progetto.

Nel caso specifico del modello privato di Brescia il diagramma scatter dei 600 punti di misura evidenzia una convergenza più che accettabile indicata da un R-quadro pari a 0,94.

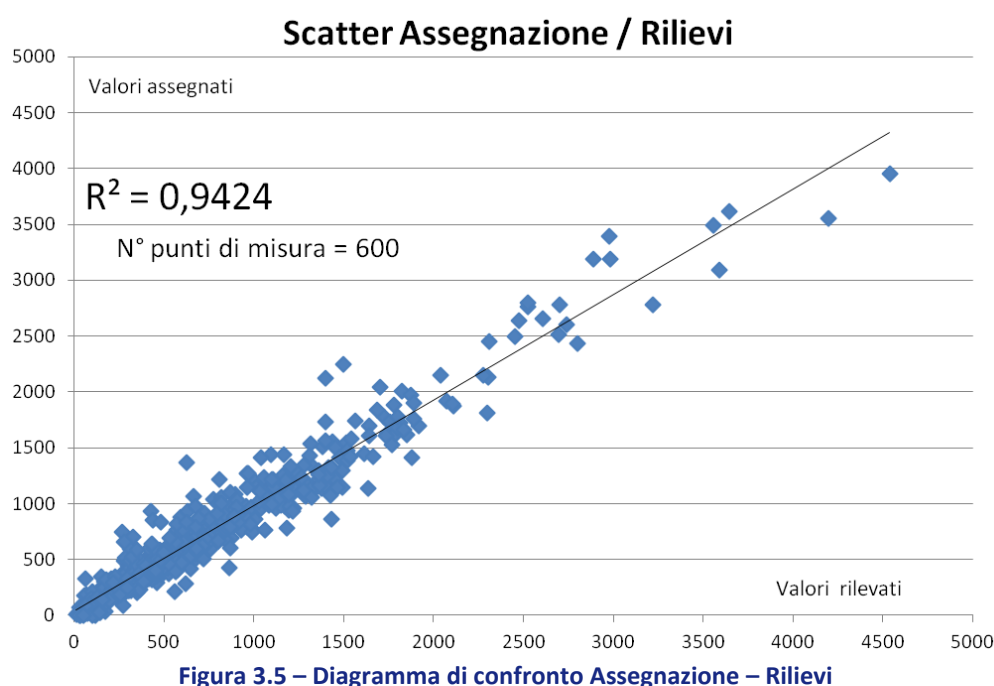


Figura 3.5 – Diagramma di confronto Assegnazione – Rilievi

Da un modello calibrato è possibile ottenere molte informazioni:

- l'assegnazione, una rappresentazione grafica dei flussi orari su ogni arco codificato;
- i volumi di svolta alle intersezioni codificate e altri parametri connessi come code, tempi di svolta e livelli di servizio;
- visualizzazione di percorsi tra zone che utilizzano uno o più archi stradali;
- visualizzazione di linee di desiderio dalla matrice O/D;
- matrici di costo in output.



Figura 3.6 – Assegnazione Modello Privato

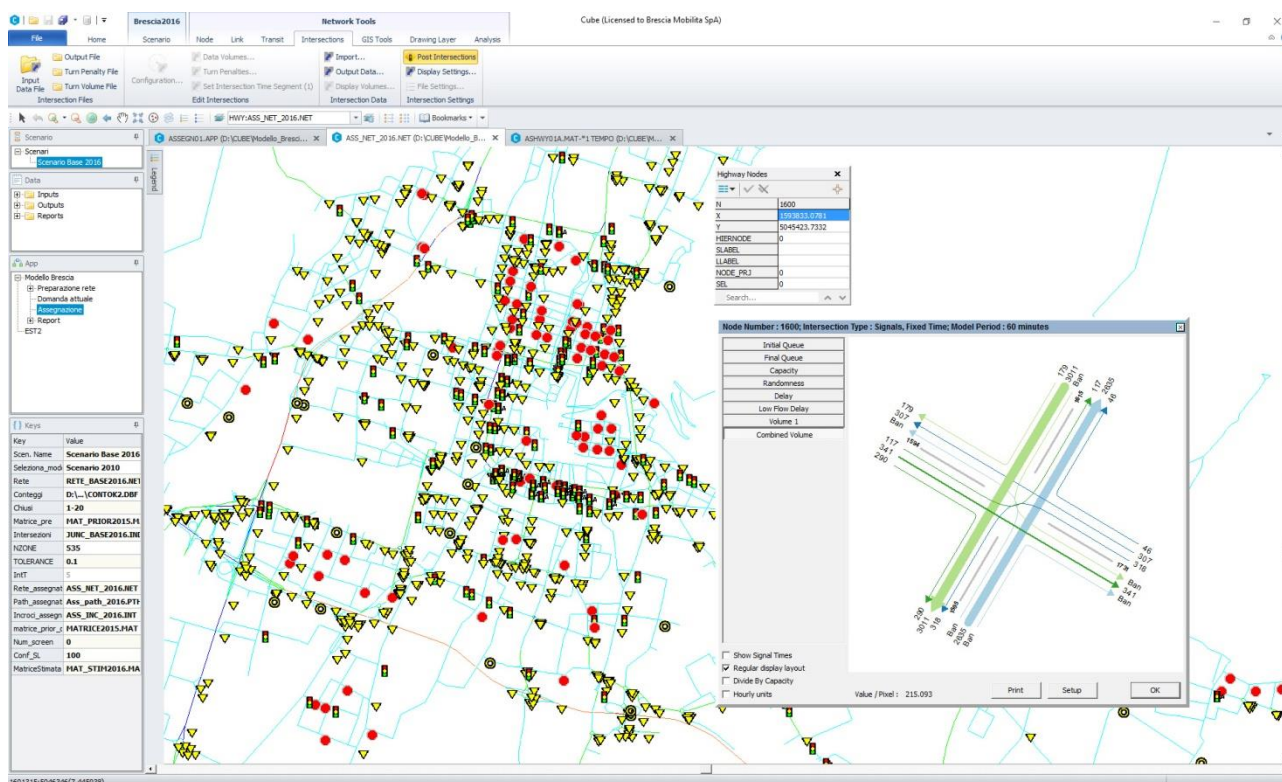


Figura 3.7 – Volumi di svolta assegnati

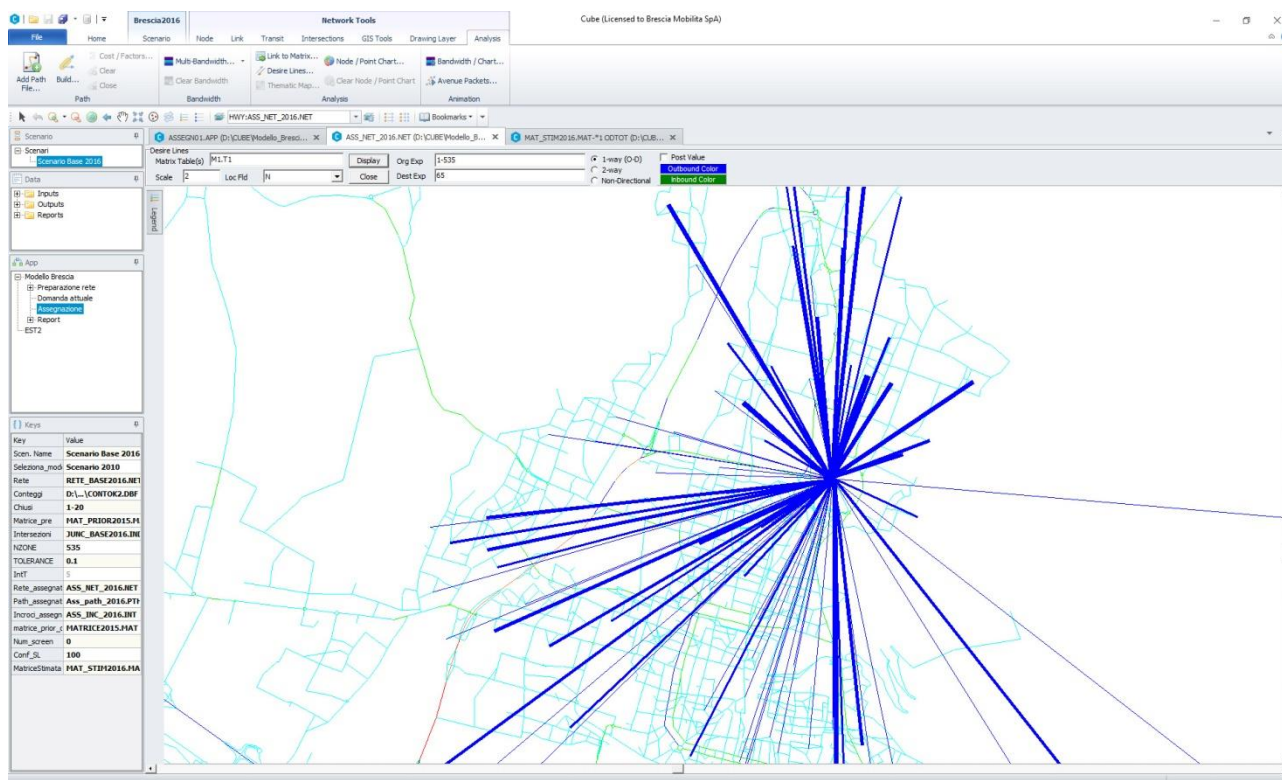


Figura 3.8 – Linee di desiderio verso Ospedale Civile

Modello Privato
Percorsi su Cavalcavia Kennedy
Ora di punta 7:30-8:30



Figura 3.9 – Percorsi che utilizzano un arco

4 IL MODULO DI TRASPORTO PUBBLICO

4.1 GRAFO DEL TRASPORTO PUBBLICO

La definizione del grafo per il modello di trasporto pubblico è in linea di principio analoga a quella per il grafo privato. La differenza sostanziale è la presenza di archi che rappresentano linee di trasporto pubblico in sede propria, come ferrovie e metropolitana, e archi che rappresentano itinerari pedonali. Nella descrizione dell'arco stradale si codifica normalmente la velocità media delle linee di trasporto su gomma, velocità che viene utilizzata nel calcolo del tempo di viaggio. Nel caso di vie particolarmente congestionate e prive di corsie riservate è da valutare attentamente la velocità da attribuire ai mezzi pubblici. Per il Comune di Brescia è stato possibile inserire la velocità media per tratte attingendo le informazioni sui tempi di viaggio dal sistema di telerilevazione degli autobus di Brescia Trasporti. Nel modello di simulazione non è previsto il calcolo del perditempo alle intersezioni che risulta compreso nella velocità commerciale fornita dal sistema.

L'altro elemento chiave è ovviamente la definizione dei percorsi delle linee di trasporto con la posizione delle fermate e dei nodi di transito. Ulteriori informazioni da definire per ogni linea sono:

- frequenza oraria (HEADWAY cadenzamento in minuti);
- posti a sedere e in piedi (SEATCAP e CRUSHCAP);
- operatore;
- modo (MODE Bus, Treno, Tram o Metro).

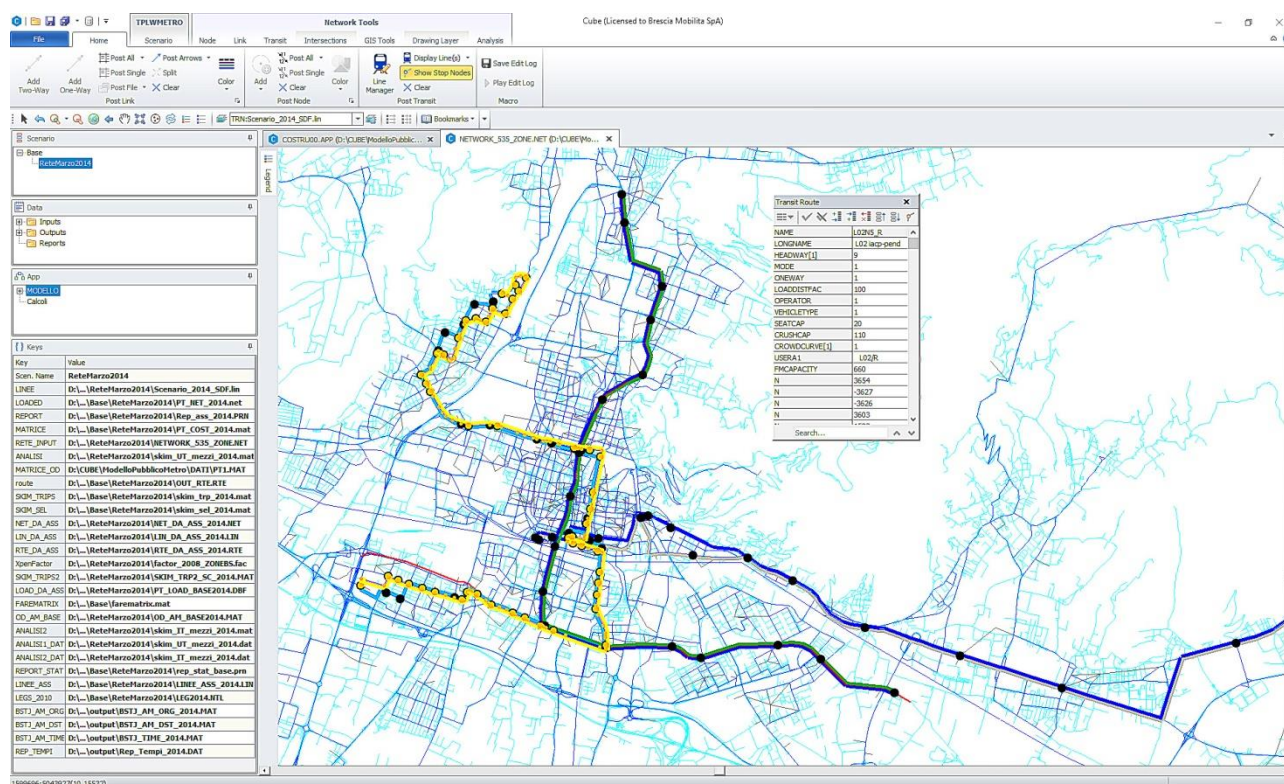


Figura 4.1 – Descrizione linee di trasporto pubblico



Figura 4.2 – Grafo rete PT (Trasporto Pubblico) con Metro

La codifica del “Modo” riveste un ruolo importante perché è tramite questo parametro che si stabiliscono le relazioni di interazione tra i vari modi di trasporto rendendo possibile stabilire fattori di penalità per il passaggio da un modo all’altro.

4.2 CRITERI DI ASSEGNAZIONE

L’assegnazione del modello pubblico fornisce i seguenti risultati:

- flussogramma del carico globale della rete in termini di passeggeri totali trasportati dalle linee;
- flussogramma del carico pedonale degli archi della rete;
- diagramma di carico per linea;
- profili di carico di ogni linea;
- report tabellare con i passeggeri trasportati da ogni linea;
- matrice di spostamento dei passeggeri per modo e per operatore;
- matrici di costo suddivise per le componenti di viaggio: tempi di attesa, tempo a bordo, numero di interscambi, costo tariffario, costo generalizzato.

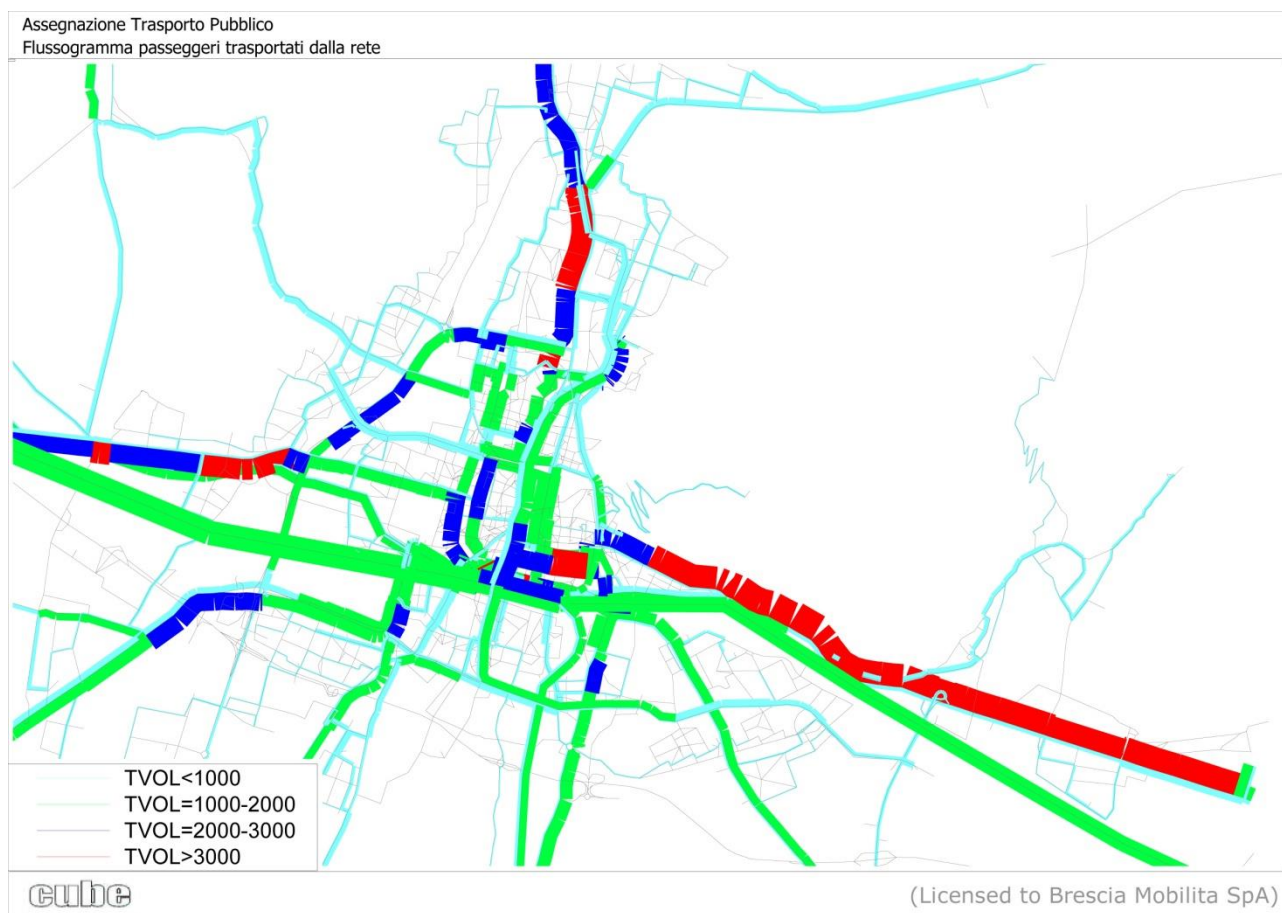


Figura 4.3 – Flussogramma passeggeri trasportati

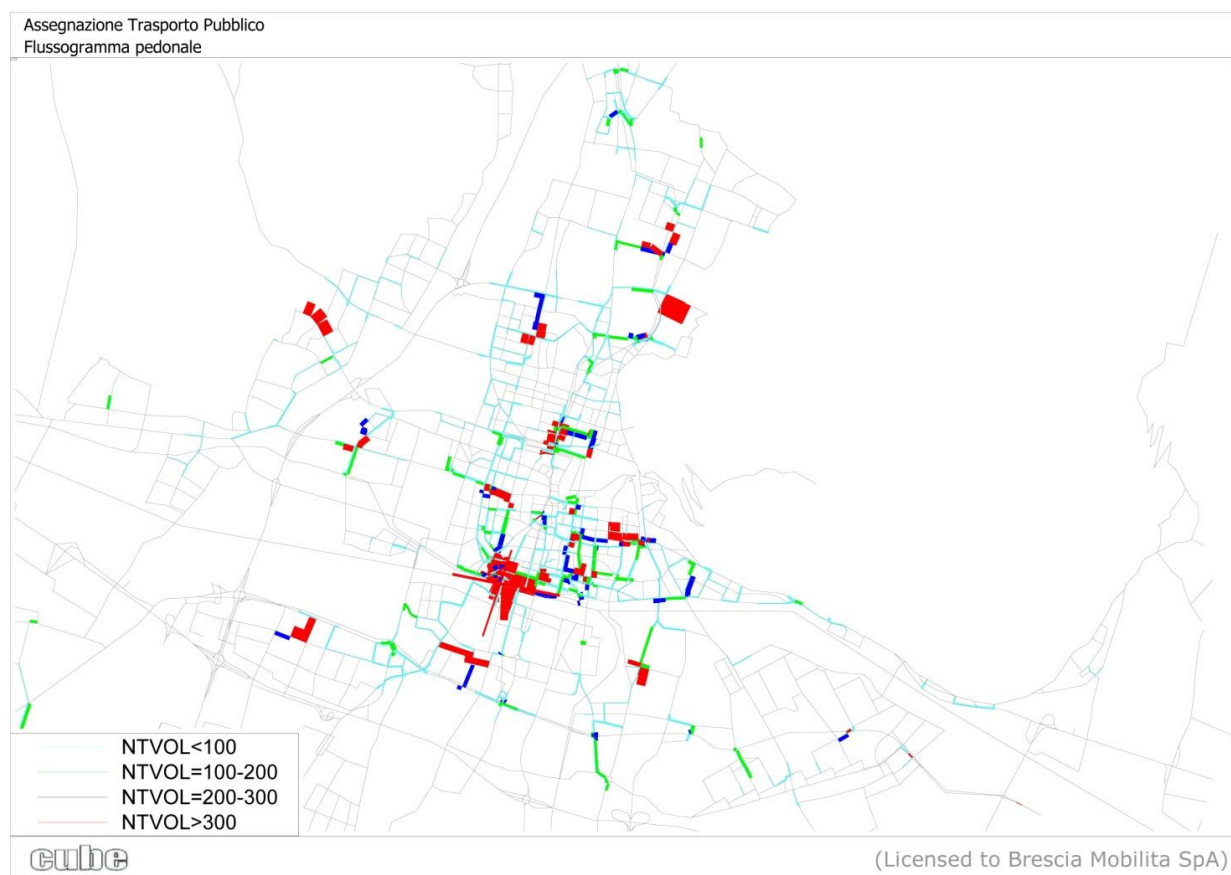


Figura 4.4 – Flussogramma pedonale

4.3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Il modulo di trasporto pubblico è validato, agli anni 2011 e 2016, sulla base dei carichi rilevati sulla rete di forza della rete urbana, comprensiva della linea di metropolitana e delle principali linee bus (in particolare la 2 e la 3).

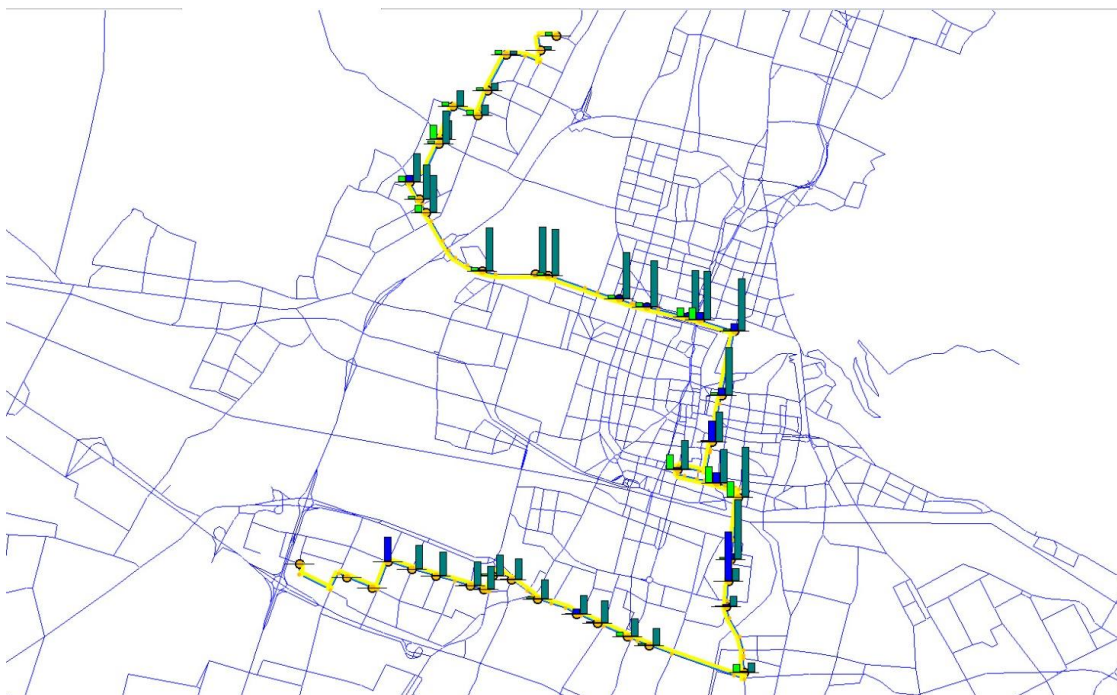


Figura 4.5 – Diagramma di carico Linea 2 Andata

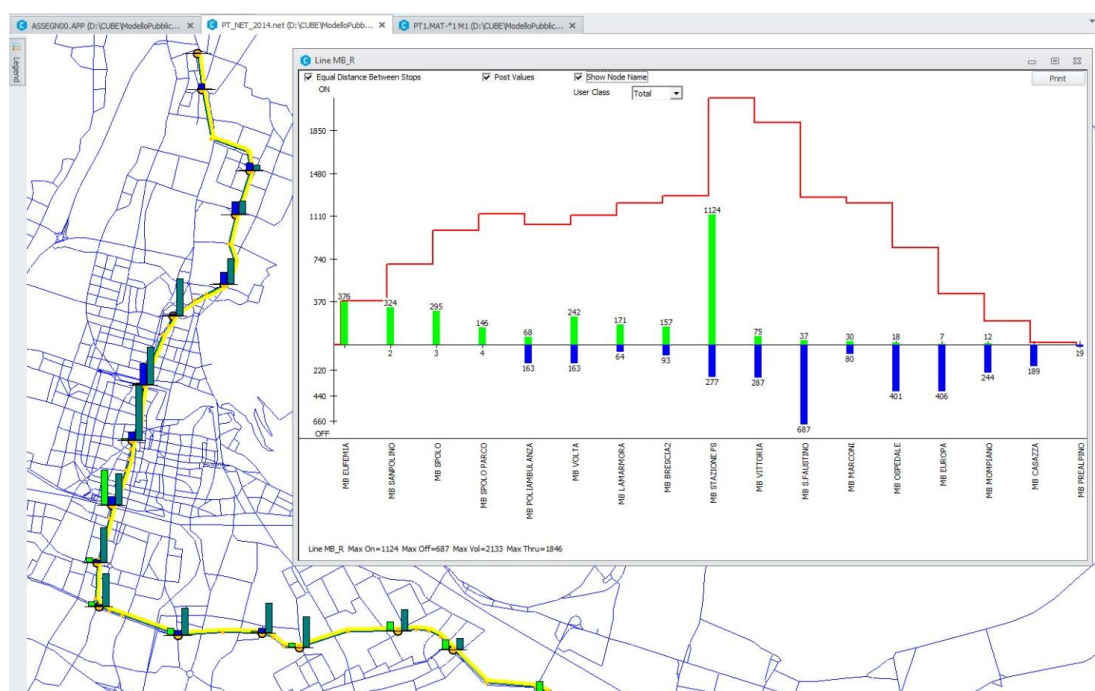


Figura 4.6 – Diagramma e profilo di carico linea Metro ritorno

REPORT Xfersum=TMODE UserClass=1							
TMODE	1	2	3	4	5	6	8
1	4,967.4	1,254.2	162.1	43.0	883.0	1,081.5	--
2	5,959.9	4,649.5	132.6	48.0	649.0	1,413.5	1,221.8
3	396.8	74.9	102.7	30.0	6.3	794.2	122.7
4	28.7	6.6	23.4	5.7	94.8	91.7	--
5	1,377.2	110.2	--	188.4	--	415.2	--
6	2,112.4	660.3	72.2	1,049.4	796.1	918.5	200.8
8	--	1,242.7	581.3	--	--	1,291.9	697.3

MODE names:
 1 = BT
 2 = EB
 3 = SE
 4 = SU
 5 = Metro
 6 = Treno
 8 = Prov

REPORT Xfersum=OPERATOR UserClass=1					
OPERATOR	1	2	3	6	10
1	7,588.2	716.6	467.4	372.6	1,588.4
2	3,602.2	2,717.5	368.7	1,101.8	1,430.1
3	1,893.0	145.0	812.7	704.7	326.0
6	1,594.6	1,019.1	610.2	973.3	1,465.5
10	3,958.0	200.1	389.6	333.0	918.5

Figura 4.7 – Report matrice spostamenti per Modo e Operatore

REPORT LINES UserClass=1									
Name	Mode	Op	Stp	Cr	Distance	Time	Pass	PassDist	PassHr
Sort=MODE									
L10N21_Ponc_Pr	1	1	42	-	20.12	58.58	170.78	766.32	38.44 L10 ponc-conc
L11S1_Colle_Bo	1	1	47	-	20.65	68.83	669.61	2,372.69	139.39 L11 colle-caio
L13R-poli-guss	1	1	34	-	16.83	46.78	921.70	2,870.81	140.28 L13 poli-guss
L11S4_Stoc_Cai	1	1	40	-	15.04	52.22	285.08	713.01	46.17 L11 stoc-caio
L14A-staz-cpdm	1	1	20	-	11.79	33.35	209.34	542.63	28.05 L14 staz-cpdm
L14R-cpdm-staz	1	1	18	-	13.57	38.65	387.11	2,735.84	125.70 L14 cpdm-staz
L17A-cmel-ospe	1	1	43	-	19.22	57.28	998.77	4,098.83	198.61 L17 cmel-ospe
L17R-ospe-cmel	1	1	34	-	17.88	49.37	503.24	1,707.47	76.00 L17 ospe-cmel
L17A-Forn-ospe	1	1	39	-	16.07	51.76	547.38	1,442.02	78.96 L17 Forn-ospe
L18A	1	1	8	-	4.64	20.43	95.78	92.92	8.02 L18 ivec-cast
L18R	1	1	10	-	4.89	19.75	43.98	41.18	3.27 L18 cast-ivec
L15R-Noce-Mont	1	1	50	-	16.08	57.88	963.50	2,260.94	132.92 L15 noce-mont
L12S1_Fium_Ver	1	1	28	-	11.71	43.74	1,082.54	1,729.59	134.16 L12 fium-spol
L15A-Mont-Gire	1	1	38	-	16.77	51.56	528.43	1,136.25	63.32 L15A Viv-gire
L12N1_Verrocch	1	1	25	-	9.43	35.01	819.82	2,388.39	145.51 L12 verroc-fium
L13S1_Guss_Pol	1	1	33	-	15.64	44.12	1,517.64	7,882.63	344.96 L13 guss-poli
L16A-onza-spol	1	1	64	-	26.71	86.34	773.47	2,871.38	147.26 L16 onza-gior
L16A-viol-spol	1	1	57	-	21.57	74.58	334.01	903.26	50.84 L16 viol-gior
L16R-spolino-o	1	1	59	-	25.32	81.78	447.85	1,628.13	85.49 L16 gior-onza
L16R-spolino-v	1	1	53	-	20.18	70.01	476.12	1,662.24	94.18 L16 gior-viol
L02S1_A	1	1	43	-	13.53	50.66	2,163.60	5,131.31	316.81 L02 pend-iacp
L10S15_Conc_It	1	1	47	-	21.56	67.83	263.71	979.99	52.55 L10 conc-ponc
L02N5_R	1	1	48	-	14.48	53.93	1,687.80	3,717.00	224.53 L02 iacp-pend
L03S1_A-RezN	1	1	44	-	19.32	70.05	451.71	1,572.95	101.60 L03 badi-rezN
L03S2_A-RezS	1	1	45	-	19.39	70.42	267.56	958.98	59.37 L03 badi-rezS
L03S4_A-StazFS	1	1	14	-	3.95	14.41	104.10	268.74	16.48 L03 badi-past
L03S7_A-Mand_S	1	1	21	-	6.35	28.95	47.67	128.74	9.40 L03 badi-rezS
L03S9_A-StazFS	1	1	25	-	13.19	41.81	147.39	380.60	21.33 L03 badi-rezN
L03S20_A-Mand	1	1	41	-	17.65	60.51	465.24	1,522.91	98.36 L03 badi-rezS
L03S21_A-StazM	1	1	2	-	1.99	4.44	0.23	0.46	0.02 L03 badi-rezS
L03N2-RezS	1	1	43	-	21.13	74.54	729.81	2,271.17	124.90 L03 rezS-badi
L03N4-Oberd	1	1	27	-	17.64	60.16	247.64	1,534.76	84.87 L03 rezS-itis
L03N5-Abruz	1	1	23	-	13.22	44.98	164.15	613.79	33.29 L03 rezS-badi
L03N14-MetroEu	1	1	34	-	13.52	49.18	273.57	669.50	39.93 L03 rezS-badi
L03N19_R_Seufe	1	1	5	-	4.46	10.36	--	--	--

Figura 4.8 – Report passeggeri trasportati per linea

5 MODULO DI RIPARTIZIONE MODALE

5.1 GENERALITÀ

In considerazione del rilievo giocato nel quadro della redazione del PUMS dalle politiche di diversione verso il trasporto pubblico e la mobilità dolce, il sistema di modelli in uso presso Brescia Mobilità è stato integrato da un modulo di ripartizione modale, finalizzato a simulare i cambiamenti nella scelta del modo di trasporto, derivanti dalle azioni di piano.

Tale modulo si basa su un algoritmo di tipo *nested logit*, dotato di componenti di domanda obbligata (*captive*) e applicato alle tre macromodalità di trasporto che seguono:

- mobilità non motorizzata (*piedi, bici, n*);
- mobilità motorizzata individuale (*auto, moto, i*);
- mobilità motorizzata pubblica (*bus, metro, eventuali altri sistemi in sede propria, p*).

Lo sviluppo del modulo, riferito come i modelli esistenti all'ora di punta del mattino di un tipico giorno feriale lavorativo/scolastico, tiene inoltre conto in maniera separata di tre distinti motivi di viaggio:

- Studio (S);
- Lavoro (L);
- Occasionale (O).

Applicando a ciascuno di essi parametri comportamentali, sottesi alla scelta del modo (valore del tempo, costi operativi, ecc.), opportunamente differenziati in base alle caratteristiche socio-economiche dello strato di popolazione che effettua gli spostamenti, e calibrati in rapporto ai rilievi di traffico e di frequentazione disponibili.

La base di riferimento per lo sviluppo del modulo è rappresentata dalle esistenti matrici O/D del trasporto privato (2011 e aggiornamento 2016), nonché dalla matrice O/D del trasporto pubblico, riferita all'anno 2011 e, dunque, alla situazione antecedente all'entrata in esercizio della metropolitana.

	MODO DI TRASPORTO	
Anno	PRIVATO	PUBBLICO
2011	●	●
2016	●	

Tabella 5.1 – Riepilogo delle matrici attualmente in uso

In linea di principio, la procedura di costruzione del modulo di ripartizione modale assume le matrici disponibili come un input di lavoro, mirando a determinare:

- per l'anno 2011, la quota modale della mobilità non motorizzata, definita come componente integrativa rispetto alla matrice O/D degli spostamenti totali;
- per l'anno 2016, a stimare le quote modali relative sia alla mobilità non motorizzata sia al trasporto pubblico, in modo tale da supportare l'aggiornamento della calibrazione del corrispondente modello, con incorporazione degli effetti derivanti dall'apertura al traffico della metropolitana.

In altri termini, il modulo di ripartizione modale viene costruito, con riferimento al 2011, in modo tale da riprodurre le quote relative afferenti ai tre modi di trasporto:

$$F_{TOT}(i,j) = F_n(i,j) + F_i(i,j) + F_p(i,j) = (q_n + q_i + q_p)F_{TOT}(i,j)$$

Dove:

$$q_n + q_i + q_p = 1$$

$$\frac{q_i}{q_p} = \frac{F_i(i,j)}{F_p(i,j)}$$

Di modo che la stessa matrice dei flussi complessivi, $F_{TOT}(i,j)$, possa essere considerata un risultato della procedura di stima.

5.2 ALGORITMO GENERALE DI RIPARTIZIONE

La ripartizione dei flussi di traffico interzonali $F(i,j)$ viene simulata per mezzo di un modello *logit* con parametri funzionali differenziati per motivo di viaggio (studio, lavoro, altri motivi) e componenti obbligate all'utilizzo di specifici modi.

Al livello più generale, vengono prese in considerazione le tre macro-modalità di trasporto che seguono:

- mezzi motorizzati privati (auto, moto) (a)
- mezzi motorizzati pubblici (ferrovia, metropolitana, tram, bus) (p)
- mezzi non motorizzati (piedi, bici) (b)

Come noto, il modello logit si basa sul confronto tra i costi generalizzati di viaggio stimati, su ciascuna coppia O/D, per le singole scelte modali. Assumendo ad esempio la mobilità ciclopedonale, la funzione utilizzata è del tipo:

$$F_b(i,j) = F(i,j) \cdot \alpha' + \frac{\exp(-\beta \cdot g_b)}{\exp(-\beta \cdot g_p) + \exp(-\beta \cdot g_b) + \exp(-\beta \cdot g_a)} \cdot F(i,j) \cdot (1 - \alpha)$$

Dove:

$F_b(i,j)$ = flusso non motorizzato sulla relazione (i,j)

α, α' = componenti obbligate all'uso dell'auto e della bici (esprese come % del flusso totale)

g_a, g_b, g_p = costi generalizzati degli spostamenti effettuati in auto, con trasporto pubblico o in bici/a piedi

β = parametro di dispersione, il cui valore è definito in fase di calibrazione del modello

5.3 COSTI GENERALIZZATI DI SPOSTAMENTO

I costi generalizzati sono definiti secondo algoritmi che tengono conto delle specificità dei differenti modi.

Per l'auto privata si ha:

$$g_a(i, j) = c_a \cdot d_a(i, j) + \gamma \cdot [t_{0a} + t_a(i, j)] + p_a(j) \cdot T$$

Dove:

$d_a(i, j)$ = distanza stradale (automobilistica) da i a j

c_a = costo operativo unitario dell'uso dell'auto (€/km)

γ = valore del tempo (variabile per motivo)

t_{0a} = tempo di accesso al veicolo (sosta, spostamento a piedi)

$t_a(i, j)$ = tempo di percorrenza stradale da i a j

$p_a(j)$ = tariffa di sosta a destino

T = tempo di permanenza a destino (variabile per motivo)

Per il trasporto pubblico si ha:

$$g_b(i, j) = \gamma \cdot t_b(i, j) + p_b(i, j)$$

Dove:

γ = valore del tempo (variabile per motivo)

$t_b(i, j)$ = tempo di percorrenza stradale da i a j (incluso accesso/attesa/egresso)

$p_b(i, j)$ = tariffa (c.s./abbonati)

Mentre per i modi non motorizzati si può scrivere:

$$g_p(i, j) = \gamma \cdot [t_{0p} + t_p(i, j)] + k \cdot [t_p(i, j)]^n = \gamma \cdot [t_{0p} + d_p(i, j)/v_p] + k \cdot [d_p(i, j)/v_p]^n$$

$$g_b(i, j) = \gamma \cdot [t_{0b} + t_b(i, j)] + k \cdot [t_b(i, j)]^n = \gamma \cdot [t_{0b} + d_b(i, j)/v_b] + k \cdot [d_b(i, j)/v_b]^n$$

Dove:

$d_p(i, j)$ = distanza pedonale/ciclistica da i a j

γ = valore del tempo

t_{0p} = tempo di accesso

$v_p(i, j), v_b(i, j)$ = velocità media pedonale/ciclabile

k, n = coefficienti di affaticamento (finalizzati a limitare l'uso della bici su relazioni medio-lunghe)³

³ Per quanto riguarda la stima dei coefficienti di scelta del modo ciclistico, cfr. Drufuca [2007], Ricci [2012].

5.4 COMPONENTI OBBLIGATE

Per tener conto, all'interno dell'universo degli spostamenti, di componenti escluse dalla scelta di determinate modalità di trasporto (ad esempio persone senza patente), gli algoritmi di ripartizione della domanda sono stati applicati alla sola quota di domanda ottenuta escludendo le porzioni:

- **escluse dall'uso dell'auto**, e dunque obbligate scegliere tra i modi di trasporto residui (trasporto pubblico o mezzi non motorizzati);
- **obbligate all'uso dell'auto**.

L'incidenza di queste quote, variabile a seconda del motivo di viaggio, è stata definita in fase di calibrazione del modello all'anno 2011, e non è più stata oggetto di modifica. I valori adottati sono indicati nella tabella riportata di seguito.

	Motivo di viaggio	Componenti obbligate		
		auto	non auto	contendibile
S	Studio	0,0%	97,0%	3,0%
L	Lavoro	30,0%	5,5%	64,5%
A	Altri motivi	30,0%	5,5%	64,5%

Operativamente, la stima delle quote modali afferenti ai diversi modi, avviene, per ciascun motivo, secondo l'ordine che segue:

- 1) Componente obbligata all'uso dell'auto → completamente attribuita al modo PRIVATO;
- 2) Componente esclusa dall'uso dell'auto → ripartita fra NON MOTORIZZATO e PUBBLICO;
- 3) Componente residua, contendibile fra i tre modi → ripartita fra NON MOTORIZZATO, PUBBLICO E PRIVATO.

5.5 COSTANTI MODALI

L'evidenza delle modifiche nella scelta del mezzo di trasporto, indotte dall'entrata in esercizio della metropolitana di Brescia, rende chiaro che tale scelta è motivata da una pluralità di fattori non direttamente riconducibili ai tempi e ai costi di viaggio. Infatti, in diversi casi, il nuovo sistema è risultato in grado di sottrarre traffico al trasporto privato pure in presenza di risparmi di tempo, rispetto al precedente servizio automobilistico, molto ridotti se non addirittura nulli.

Nella costruzione del modello di riparto modale è risultato pertanto necessario introdurre ulteriori variabili di costo percepito, cioè opportune **costanti modali** genericamente riconducibili al comfort di viaggio, e determinate come penalità temporale attribuita ai tempi di attesa o a quelli trascorsi a bordo del mezzo.

I valori assegnati alle diverse modalità, verificati in sede di validazione del modello (in particolare per quanto concerne la capacità di riprodurre gli effetti indotti dalla metropolitana tra il 2011 e il 2016), sono i seguenti:

- Tempo di attesa: 105% del tempo effettivo;
- Tempo a bordo bus: 84% del tempo di viaggio effettivo;
- Tempo a bordo metrò: 0% del tempo di viaggio effettivo.

Procedendo per analogia, per le penalità dei modi oggi non presenti sono stati adottati invece i valori di seguito indicati:

- Tempo a bordo busvia veloce: 56% del tempo di viaggio effettivo;
- Tempo a bordo tram: 28% del tempo di viaggio effettivo.

L'attribuzione delle penalità al tempo di viaggio effettivo deve tener conto del fatto che, nel corso dell'assegnazione, il modulo di simulazione del trasporto pubblico riproduce spesso più itinerari fra loro concorrenti, per ciascuno dei quali restituisce un tempo di viaggio specifico. In altri termini, per ciascuna relazione O/D il modello restituisce un insieme di tempi che possono corrispondere a spostamenti contemporanei di diverse porzioni di domanda su mezzi diversi, e che dunque non possono essere sommati tra loro a dar luogo al tempo complessivo di viaggio tra le due zone. In queste condizioni, attribuire le penalità indicate a tutti i tempi di viaggio simulati determinerebbe una chiara sottostima del comfort medio offerto dal sistema.

Per ovviare a questo problema, a ciascuna relazione O/D è stata attribuita la media ponderata delle penalità attribuibili ai tempi di viaggio dei mezzi più rappresentativi in esercizio sulla relazione stessa, determinati attribuendo a ciascuna zona di origine e di destinazione un mezzo di riferimento per il calcolo della costante modale, come indicato nella tabella riportata nella pagina seguente:

Zona	Costanti modali			
	RIF	B	T	M
1 BRESCIA ANTICA	M	M	M	M
2 BORGO TRENTO	M	M	M	M
3 PORTA MILANO	B	L	L	B
4 CENTRO STORICO NORD	M	M	M	M
5 CHIUSURE NORD	B	L	T	B
6 CHIUSURE SUD	B	L	L	B
7 DON BOSCO	B	L	T	M
8 FIUMICELLO	B	B	B	B
9 FOLZANO	B	B	B	B
10 FORNACI	B	B	B	B
11 LAMARMORA	M	M	M	M
12 BRESCIA DUE	M	M	M	M
13 MOMPIANO SUD	M	M	M	M
14 MOMPIANO NORD	M	M	M	M
15 PORTA CREMONA NORD	B	B	B	B
16 PORTA CREMONA SUD	M	M	M	M
17 BUFFALORA	B	B	B	B
18 PORTA VENEZIA OVEST	B	L	T	B
19 PORTA VENEZIA EST	B	L	T	B
20 VILLAGGIO PREALPINO	M	M	M	M
21 CAIONVICO	B	L	T	B
22 SAN BARTOLOMEO NORD	B	B	B	B
23 SAN BARTOLOMEO SUD	B	L	L	B
24 SANT'EUFEMIA	B	L	T	B
25 SAN POLO CASE	B	B	B	B
26 CHIESANUOVA NORD	B	L	T	M
27 CHIESANUOVA SUD	B	B	B	B
28 URAGO MELLA	B	L	T	B
29 CASAZZA	M	M	M	M
30 VILLAGGIO BADIA	B	L	L	B
31 VILLAGGIO SERENO	B	B	B	B
32 VILLAGGIO VIOLINO	B	L	L	B
33 I MAGGIO	B	B	B	B
34 CENTRO STORICO SUD	M	M	M	M
35 SANT'EUSTACCHIO NORD-OVEST	B	L	L	B
36 SANT'EUSTACCHIO EST	B	L	T	B
37 SANT'EUSTACCHIO SUD-OVEST	B	L	T	B
38 SAN ROCCHINO	M	M	M	M
39 CROCEFISSA DI ROSA	B	B	B	B
40 SAN POLO CIMABUE NORD	B	L	L	B
41 SAN POLO CIMABUE SUD	M	M	M	M
42 SANPOLINO	M	M	M	M
43 SAN POLO PARCO NORD	B	L	L	B
44 SAN POLO PARCO SUD	M	M	M	M
45 Collebeato	B	B	B	B
46 Concesio	B	B	B	M

Nota esplicativa: la tabella indica il modo di trasporto maggiormente rappresentativo posto a servizio delle singole macrozone nei diversi scenari di piano (M = Metropolitana, T = Tramvia, L = Busvia veloce/LAM, B = bus)

Tabella 5.2 – Costanti modali adottate: mezzi di trasporto rappresentativi per macrozona e scenario

6 RICOSTRUZIONE DELLE MATRICI O/D DI RIFERIMENTO

6.1 GENERALITÀ

Attesa l'importanza del motivo di viaggio nel determinare la scelta del modo di trasporto, il modulo si applica separatamente alle matrici relative agli spostamenti per studio, lavoro o altri motivi.

Pertanto risulta necessario ripartire le due matrici in uso nelle corrispondenti componenti modali, così determinate:

$$F_i(i, j) = F_i^S(i, j) + F_i^L(i, j) + F_i^O(i, j)$$

$$F_p(i, j) = F_p^S(i, j) + F_p^L(i, j) + F_p^O(i, j)$$

Tale operazione comporta alcune difficoltà, in quanto la matrice O/D Istat 2011, che costituisce la base fondamentale per la stima delle matrici dei flussi per motivi di studio e di lavoro, non è codificata in destinazione per le sezioni censuarie interne al Comune di Brescia.

È risultato dunque necessario procedere utilizzando le informazioni desumibili dalla matrice O/D Istat 2001, secondo i passaggi di seguito descritti:

- a) Analisi separata delle matrici O/D 2011 per motivi di studio e di lavoro, con determinazione del totale degli spostamenti generati per zona di origine e della sua distribuzione per zone di destinazione interne alla città di Brescia;
- b) Correzione del risultato così ottenuto in funzione delle variazioni demografiche intercorse nelle zone di origine nel periodo 2001-2011;
- c) Verifica della distribuzione degli spostamenti in destinazione (somma di tutti i motivi) in rapporto alle matrici attualmente utilizzate dal modello;
- d) Proiezione all'anno 2011 della distribuzione ottenuta.

Il procedimento adottato, e dettagliatamente descritto nei paragrafi che seguono, ha assunto come vincolo le due matrici O/D utilizzate dei moduli HW e PT all'anno 2011, in modo da poter mantenere valida la calibrazione effettuata nella situazione pre-metrò. Ciò ha determinato la necessità di modificare invece le matrici assegnate all'anno 2016 (situazione post-metrò) quanto meno per le parti non coerenti con le variazioni di domanda intervenute nel quinquennio 2011-2016.

Lo sviluppo delle singole attività elencate è avvenuto, in via preliminare, facendo riferimento alla suddivisione della città di Brescia in 9 zone di traffico, corrispondenti alle vecchie circoscrizioni, nonché alle sub-zone comunali utilizzate dalla matrice O/D della Regione Lombardia. I risultati sono stati quindi trasposti alla zonizzazione utilizzata dal modello (535 x 535 zone).

6.2 MATRICE O/D ASSEGNATA DAL MODULO HW AL 2011

La matrice O/D utilizzata dal modulo HW, riferito al 2011, rappresentativa della totalità degli spostamenti motorizzati privati, include un totale di circa 200 mila movimenti veicolari, di cui quasi 37 mila interni al territorio comunale, 17.500 in entrata, circa 9.000 in uscita e poco più di 137 mila in attraversamento.

	interno	esterno	Totale
interno	36.865	8.899	45.764
esterno	17.505	137.103	154.608
Totale	54.370	146.002	200.372

Tabella 6.1 – Matrice O/D 2011HW, espressa in movimenti veicolari/ora

Applicando a tali valori opportuni coefficienti medi di occupazione veicolare⁴, e trascurando la componente di transito, è possibile stimare la corrispondente quota di domanda specifica in circa 69 mila spostamenti/ora, di cui 40 mila interni, 19 mila in ingresso e 10 mila in uscita.

	interno	esterno	Totale
interno	40.552	9.789	50.340
esterno	19.256		19.256
Totale	59.807	9.789	69.596

Tabella 6.2 – Matrice O/D 2011HW, espressa in passeggeri/ora

Per contro, la matrice O/D assegnata alla rete del trasporto pubblico (modulo PT) include circa 69 mila spostamenti/ora, di cui 5 mila interni alla città, 21 mila in entrata, poco meno di 1.000 in uscita e oltre 40 mila in attraversamento.

	interno	esterno	Totale
interno	5.031	973	6.004
esterno	21.263	42.178	63.441
Totale	26.294	43.151	69.445

Tabella 6.3 – Matrice O/D 2011PT, espressa in passeggeri/ora

Sommando la matrice privata e quella pubblica si ottiene una matrice complessiva, riferita alla sola mobilità motorizzata (escludendo cioè gli spostamenti ciclopeditoni), che presenta un totale di circa 97 mila spostamenti/ora, di cui 46 mila interni alla città, 40 mila in entrata e 11 mila in uscita.

⁴ La matrice assegnata al modulo HW, espressa in veicoli/ora, viene qui riportata ad un'espressione in passeggeri/ora utilizzando un coefficiente medio di occupazione veicolare variabile tra 1,07 ed 1,60, a seconda del motivo e della componente di domanda (spostamenti interni, entranti, uscenti, di transito).

	interno	esterno	Totale
interno	45.583	10.762	56.344
esterno	40.519		40.519
Totale	86.101	10.762	96.863

Tabella 6.4 – Stima matrice O/D 2011 HW+PT, espressa in passeggeri/ora

Questi valori costituiscono i punti di riferimento essenziali per il confronto con le matrici O/D disponibili, finalizzato alla ripartizione della domanda di mobilità per motivo di spostamento.

6.3 CONFRONTO CON MATRICE O/D ISTAT

Dall'esame dell'intera matrice O/D ISTAT 2001 (totale spostamenti sistematici per studio o per lavoro) è possibile desumere che il Comune di Brescia è interessato, in un tipico giorno feriale, da 163 mila spostamenti di andata, di cui:

- circa 110 mila per motivi di lavoro e 53 mila per motivi di studio;
- circa 76 mila interni alla città, 70 mila in entrata e 18 mila in uscita;
- circa 112 mila in auto, 34 mila con trasporto pubblico (ferrovia + autobus) e 18 mila con mezzi non motorizzati.

STUDIO					LAVORO					TOTALE				
TUTTI I MODI					TUTTI I MODI					TUTTI I MODI				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		26.875	1.690	28.565	Brescia		48.709	16.237	64.946	Brescia		75.584	17.927	93.511
esterno		24.724		24.724	esterno		45.099		45.099	esterno		69.823		69.823
TOTALE		51.599	1.690	53.289	TOTALE		93.808	16.237	110.045	TOTALE		145.407	17.927	163.334
NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		7.867	21	7.888	Brescia		9.179	196	9.375	Brescia		17.046	217	17.263
esterno		78		78	esterno		400		400	esterno		478		478
TOTALE		7.945	21	7.966	TOTALE		9.579	196	9.775	TOTALE		17.524	217	17.741
MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		13.053	914	13.967	Brescia		34.799	14.420	49.219	Brescia		47.852	15.334	63.186
esterno		8.849		8.849	esterno		39.723		39.723	esterno		48.572		48.572
TOTALE		21.902	914	22.816	TOTALE		74.522	14.420	88.942	TOTALE		96.424	15.334	111.758
MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		5.955	755	6.710	Brescia		4.731	1.621	6.352	Brescia		10.686	2.376	13.062
esterno		15.797		15.797	esterno		4.976		4.976	esterno		20.773		20.773
TOTALE		21.752	755	22.507	TOTALE		9.707	1.621	11.328	TOTALE		31.459	2.376	33.835

Tabella 6.5 – Riepilogo della matrice O/D ISTAT 2001

Questi valori possono essere opportunamente confrontati con quelli rilevati dieci anni dopo, in occasione del censimento 2011, dal quale è possibile desumere che, nel primo decennio del nuovo millennio, la

domanda di mobilità sistematica ha subito un incremento da circa 162 mila a 183 mila spostamenti di andata/giorno, di cui:

- circa 124 mila per motivi di lavoro e 59 mila per motivi di studio;
- circa 77 mila interni alla città, 86 mila in entrata e 21 mila in uscita;
- circa 120 mila in auto, 41 mila con trasporto pubblico (ferrovia + autobus) e 23 mila con mezzi non motorizzati.

STUDIO					LAVORO					TOTALE				
TUTTI I MODI					TUTTI I MODI					TUTTI I MODI				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		28.705	1.149	29.854	Brescia		48.262	19.465	67.727	Brescia		76.967	20.614	97.581
	esterno	28.864		28.864		esterno	56.702		56.702		esterno	85.566		85.566
TOTALE		57.569	1.149	58.718	TOTALE		104.964	19.465	124.429	TOTALE		162.533	20.614	183.147
NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		10.321	5	10.326	Brescia		11.358	381	11.739	Brescia		21.679	386	22.065
	esterno	292		292		esterno	1.025		1.025		esterno	1.317		1.317
TOTALE		10.613	5	10.618	TOTALE		12.383	381	12.764	TOTALE		22.996	386	23.382
MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		10.857	336	11.193	Brescia		31.529	16.698	48.227	Brescia		42.386	17.034	59.420
	esterno	9.240		9.240		esterno	50.371		50.371		esterno	59.611		59.611
TOTALE		20.097	336	20.433	TOTALE		81.900	16.698	98.598	TOTALE		101.997	17.034	119.031
MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		7.527	808	8.335	Brescia		5.374	2.386	7.760	Brescia		12.901	3.194	16.095
	esterno	19.332		19.332		esterno	5.307		5.307		esterno	24.639		24.639
TOTALE		26.859	808	27.667	TOTALE		10.681	2.386	13.067	TOTALE		37.540	3.194	40.734

Tabella 6.6 – Riepilogo della matrice O/D ISTAT 2011

I dati desunti dalla fonte censuaria rappresentano un riferimento essenziale per ogni analisi della domanda di mobilità a scala locale, bresciana e non. Tuttavia, essi non si prestano, di fatto, quanto meno per l'anno 2011, ad alcuna affidabile modalità di disaggregazione interna al territorio della città⁵. È pertanto necessario fare riferimento anche alla matrice O/D resa disponibile dalla Regione Lombardia, come illustrato nel paragrafo che segue.

⁵ Infatti, come noto, a differenza dei precedenti il censimento del 2011 ha proceduto a rilevare la mobilità sistematica su base campionaria, senza diretto riferimento all'universo della popolazione. Conseguentemente, i record relativi alle singole sezioni censuarie, che nei casi precedenti potevano prestarsi alla ricostruzione di matrici O/D anche alla scala subcomunale, si presentano lacunosi e non tali da consentire una affidabile riaggregazione del dato a questo livello.

6.4 CONFRONTO CON MATRICE O/D LOMBARDIA

Analizzando la matrice O/D della Regione Lombardia riferita all'anno 2014, elaborata secondo un approccio in parte difforme da quello censuario⁶, è possibile quantificare la domanda di mobilità che interessa la Città di Brescia nel corso di un normale giorno feriale lavorativo/scolastico in circa 559 mila spostamenti, di cui 246 mila ritorni a casa. Più specificamente, la domanda stimata da questa matrice si articola in:

- circa 44 mila spostamenti/giorno per motivi di studio, 121 mila per motivi di lavoro, 19 mila per motivi d'affari, 128 mila per altri motivi occasionali, e la restante quota per ritorni a casa;
- circa 140 mila spostamenti/giorno interni alla città, 34 mila in entrata e 38 mila in uscita (valori riferiti ai soli spostamenti di andata);
- circa 195 mila spostamenti/giorno con mezzo motorizzato individuale, 38 mila con mezzo motorizzato collettivo, 44 mila con mezzo non motorizzato.

STUDIO					LAVORO					AFFARI				
TUTTI I MODI					TUTTI I MODI					TUTTI I MODI				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		10.117	1.486	11.603	Brescia		46.429	19.769	66.198	Brescia		5.794	5.605	11.399
	esterno	32.529		32.529		esterno	55.199		55.199		esterno	7.351		7.351
	TOTALE	42.646	1.486	44.132		TOTALE	101.628	19.769	121.397		TOTALE	13.145	5.605	18.750
NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		3.695	5	3.700	Brescia		9.926	660	10.586	Brescia		454	206	660
	esterno	241		241		esterno	1.000		1.000		esterno	194		194
	TOTALE	3.936	5	3.941		TOTALE	10.926	660	11.586		TOTALE	648	206	854
MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		3.432	580	4.012	Brescia		31.185	16.671	47.856	Brescia		4.201	3.512	7.713
	esterno	12.552		12.552		esterno	46.863		46.863		esterno	5.493		5.493
	TOTALE	15.984	580	16.564		TOTALE	78.048	16.671	94.719		TOTALE	9.694	3.512	13.206
MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		2.970	889	3.859	Brescia		5.214	2.269	7.483	Brescia		832	498	1.330
	esterno	19.712		19.712		esterno	7.061		7.061		esterno	551		551
	TOTALE	22.682	889	23.571		TOTALE	12.275	2.269	14.544		TOTALE	1.383	498	1.881

⁶ Tale matrice in particolare include gli spostamenti effettuati anche per motivi occasionali, escludendo però dal campo di osservazione la domanda di mobilità espressa dai minori di 14 anni e gli spostamenti a piedi di durata non superiore ai 20 minuti.

OCCASIONALI					TOTALE (senza rit.a casa)					RITORNI A CASA				
TUTTI I MODI					TUTTI I MODI					TUTTI I MODI				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		78.214	11.564	89.778	Brescia		140.554	38.424	178.978	Brescia		109.710	109.871	219.581
	esterno	38.623		38.623		esterno	133.702		133.702		esterno	27.280		27.280
TOTALE		116.837	11.564	128.401	TOTALE		274.256	38.424	312.680	TOTALE		136.990	109.871	246.861
NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO					NON MOTORIZZATO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		25.473	877	26.350	Brescia		39.548	1.748	41.296	Brescia		31.582	1.756	33.338
	esterno	845		845		esterno	2.280		2.280		esterno	1.235		1.235
TOTALE		26.318	877	27.195	TOTALE		41.828	1.748	43.576	TOTALE		32.817	1.756	34.573
MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE					MOTORIZZATO INDIVIDUALE				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		40.279	8.054	48.333	Brescia		79.097	28.817	107.914	Brescia		61.085	69.839	130.924
	esterno	21.782		21.782		esterno	86.690		86.690		esterno	21.166		21.166
TOTALE		62.061	8.054	70.115	TOTALE		165.787	28.817	194.604	TOTALE		82.251	69.839	152.090
MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO					MOTORIZZATO COLLETTIVO				
O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE	O	D	Brescia	esterno	TOTALE
Brescia		1.163	2.518	3.681	Brescia		8.184	3.158	11.342	Brescia		15.950	37.881	53.831
	esterno	15.905		15.905		esterno	26.773		26.773		esterno	4.768		4.768
TOTALE		17.068	2.518	19.586	TOTALE		34.957	3.158	38.115	TOTALE		20.718	37.881	58.599

Tabella 6.7 – Riepilogo della matrice O/D Regione Lombardia (2014) – intera giornata

In considerazione della diversa base territoriale della matrice regionale rispetto a quella censuaria, i valori relativi agli spostamenti dell'ora di punta possono essere articolati anche a livello subcomunale, come indicato nella tabella che segue: nel complesso la domanda su mezzo motorizzato privato si traduce in quasi 47 mila movimenti veicolari/ora, di cui 14.600 interni ai confini comunali, 19.200 in ingresso, 8.400 in uscita, e 4.600 in attraversamento⁷.

Matrice O/D Lombardia 2014															
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)															
TUTTI I MOTIVI - AUTO (CONDUCENTE)															
Macrozona di destinazione															
Macrozona di origine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	TOT	
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	355	251	103	101	167	124	95	67	491	147	372	283	232	2.790	
2 Brescia 2 (Mompiano)	221	386	54	119	107	138	100	55	558	164	325	279	251	2.757	
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	214	156	276	181	217	95	100	46	540	123	250	204	193	2.596	
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	148	104	68	154	69	91	69	36	329	94	183	155	144	1.644	
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	114	146	46	85	254	90	85	17	296	128	248	212	196	1.916	
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	87	91	64	83	88	164	128	40	427	107	209	185	165	1.839	
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	237	264	103	124	178	150	475	166	725	165	320	278	256	3.444	
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	80	119	42	32	63	102	136	171	401	92	175	152	147	1.710	
9 Brescia 9 (Centro storico)	261	292	108	120	147	254	188	156	826	310	634	520	479	4.295	
10 Quadrante Nord	297	337	246	196	253	216	321	175	687		1.314	326	768	5.137	
20 Quadrante Ovest	845	745	535	433	547	484	703	380	1.526	973				7.171	
30 Quadrante Sud	648	661	478	384	494	427	630	347	1.363	257				5.688	
40 Quadrante Est	546	596	434	343	445	379	565	309	1.209	957				5.781	
Totale	4.053	4.149	2.558	2.354	3.029	2.715	3.595	1.964	9.380	3.515	4.030	2.597	2.831	46.770	

Tabella 6.8 – Riepilogo della matrice O/D Regione Lombardia (2014) – ora di punta del mattino

⁷ Tale componente comprende qui gli scambi da e per la Val Trompia, che restano il più delle volte vincolati all'attraversamento dell'area urbana di Brescia. Vengono invece esclusi gli scambi tra gli altri quadranti, che possono interessare sia la A4 che la tangenziale Sud, ma che risultano più difficilmente selezionabili a priori rispetto ai confini cittadini (ad esempio, un movimento veicolare tra Manerbio e Lonato può avvenire in autostrada, interessando il territorio urbano, o anche per via ordinaria, aggirandolo dall'esterno).

6.5 CONFRONTO CON LE RILEVAZIONI AL CORDONE DEL 2010

Il dato relativo ai movimenti veicolari dell'ora di punta del mattino risulta di particolare interesse, perché può essere messo in diretta relazione con i risultati dell'indagine al cordone del 2010, unica altra fonte disponibile relativamente all'insieme della mobilità di scambio tra Brescia e l'esterno su mezzo privato, nella situazione pre-metrò.

Come si può osservare nella tabella riportata nella pagina che segue, il cordone urbano esterno, considerato escludendo i caselli autostradali, intercettava un flusso pari a circa 18.700 veicoli in ingresso e 14 mila in uscita, a loro volta ripartiti in 3.500 interni, 14.900 entranti, 6.800 uscenti e 1.500 in transito.

CORDONE ESTERNO				IN_m	IN_s	OUT_m	OUT_s
1	34	via Conicchio		1.580	750	679	1.036
2	35	via Triumplina (N)		1.860	1.386	1.089	1.605
3	40	via Stretta		719	438	299	450
4	1	via Collebeato		541	452	410	548
5	3	via Torricella di Sopra		1.140	856	593	850
6	207	via del Santellone		258	316	301	221
7	7	via Valcamonica		1.036	920	865	1.023
8	9	via Violino di Sotto		379	482	323	421
9	151	via Orzinuovi		1.598	1.152	1.072	2.031
10	12	Tangenziale Ovest		2.579	1.998	1.563	1.897
11	13	via Fornaci		292	316	232	364
12	16	via Flero		1.042	619	406	998
13	19	via Industriale		636	302	303	500
14	20	via della Volta		1.416	1.202	545	774
15	21	via Borgosatollo		1.100	1.021	811	1.244
16	23	via Bettole		345	259	346	372
17	27	via Agostino Chiappa		159	59	44	108
18	29	v.le S.Eufemia		1.395	1.323	983	1.148
19	30	via S.Orsola		634	270	288	550
TOTALE (senza tang.)				18.709	14.121	11.152	16.140

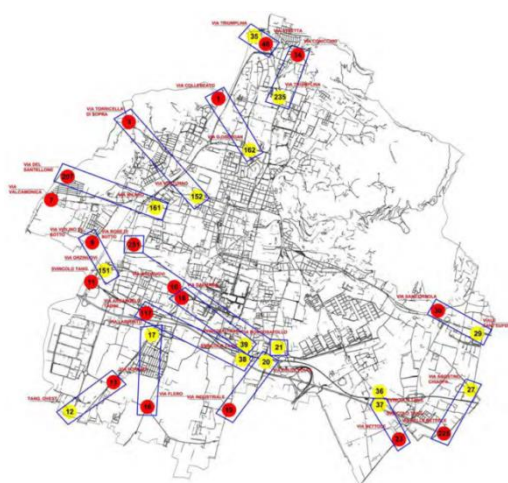


Tabella 6.9 – Flussi veicolari in transito al cordone stradale – ora di punta

Matrice O/D cordone (solo sezioni esterne, esclusa autostrada)																
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8) - 2016																
TUTTI I MOTIVI - TRASPORTO PRIVATO																
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	TOT		
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	33	0	41	6	71	11	0	24	64	457	168	135	68	1.078		
2 Brescia 2 (Mompiano)	0	247	33	23	36	14	14	21	0	408	112	196	95	1.199		
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	38	26	74	22	98	56	57	50	44	204	682	195	64	1.611		
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	0	0	0	22	61	0	12	8	10	66	99	99	73	450		
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	94	41	93	99	104	16	49	16	41	23	135	330	72	1.114		
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	86	16	19	0	8	15	98	1	25	28	131	238	8	673		
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	29	65	81	44	94	193	296	38	205	54	142	501	291	2.033		
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionico-S.Eufemia)	0	22	0	0	5	40	35	88	18	61	146	164	147	726		
9 Brescia 9 (Centro storico)	6	0	39	0	0	32	48	0	49	461	302	311	128	1.376		
10 Quadrante Nord	617	976	160	266	239	205	128	238	1.111		356	315	121	4.733		
20 Quadrante Ovest	447	303	565	320	390	224	261	68	593	292				3.463		
30 Quadrante Sud	289	481	206	144	1.165	1.018	577	199	1.192	322				5.593		
40 Quadrante Est	68	376	60	22	46	157	509	705	552	109				2.604		
Totale	1.708	2.554	1.371	968	2.317	1.981	2.083	1.457	3.903	2.486	2.273	2.484	1.067	26.651		

Tabella 6.10 – Riepilogo della matrice O/D al cordone (2010) – ora di punta del mattino, senza autostrade

I valori risultanti dall'indagine al cordone debbono ovviamente essere integrati con quelli relativi ai flussi transitanti dai caselli autostradali che, secondo i dati resi disponibili dalle Società Concessionarie, sono risultati nel 2014 pari a circa 25.500 veicoli leggeri/giorno (bidirezionali) a Brescia Ovest, quasi 22.000 a Brescia Centro, circa 13.500 a Brescia Est, altrettanti ad Ospitaletto, e meno di 4.000 a Brescia Sud, per un totale di circa 65.000 unità.

Stazione	TRAFFICO GIORNALIERO MEDIO				Variazione percentuale			
	2001	2008	2011	2014	2001-08	2008-11	2011-14	2001-14
Ospitaletto	8.905	15.584	14.733	13.556	+75,0%	-5,5%	-8,0%	+52,2%
Brescia Ovest	24.547	20.954	29.017	25.575	-14,6%	+38,5%	-11,9%	+4,2%
Brescia Centro	19.393	22.259	22.779	21.913	+14,8%	+2,3%	-3,8%	+13,0%
Brescia Sud	0	670	3.196	3.869	=	=	+21,1%	=
Brescia Est	10.605	15.503	14.679	13.389	+46,2%	-5,3%	-8,8%	+26,3%
TOTALE	54.544	59.386	69.671	64.747	+8,9%	+17,3%	-7,1%	+18,7%
senza ASPI	29.998	38.432	40.654	39.172	+28,1%	+5,8%	-3,6%	+30,6%

Tabella 6.11 – Flussi giornalieri rilevati agli svincoli autostradali (2001-2014)

Limitandosi ai soli impianti collocati entro il territorio comunale (Brescia Ovest e Brescia Centro), e assumendo un fattore dell'ora di punta pari a 0,08, si ottengono valori pari rispettivamente a:

- $25.000 \times 0,08 = \text{ca. } 2.000$ veicoli/ora bidirezionali a Brescia Ovest
- $22.000 \times 0,08 = \text{ca. } 1.800$ veicoli/ora bidirezionali a Brescia Centro

per un totale di 3.800 veicoli/ora, pari a un migliaio di veicoli entranti e altrettanti uscenti dal cordone urbano, riferito all'ora di punta del mattino.

Ipotizzando poi che questi flussi si ripartiscano equamente nei due sensi di marcia, è possibile stimare che il flusso automobilistico entrante/uscente in città nella fascia oraria in esame sia pari approssimativamente:

- in entrata, a $14.900 + 1.900 = 16.800$ veicoli leggeri/ora
- in uscita, a $6.800 + 1.900 = 8.700$ veicoli leggeri/ora

in buon accordo con i valori risultanti dalla matrice O/D 2014 della Regione Lombardia (rispettivamente, 19.200 e 8.400 veicoli/ora).

Se ne deduce la ragionevole possibilità di utilizzare quest'ultima matrice come base di riferimento per stimare l'articolazione per motivo degli spostamenti di scambio fra l'esterno e l'area urbana.

6.6 RIPARTIZIONE DELLA MATRICE O/D 2011 PER MOTIVO DI VIAGGIO

Sulla base delle valutazioni descritte nei precedenti paragrafi, è risultato possibile impostare una specifica procedura di calcolo, volta a ripartire la matrice O/D 2011 nei tre motivi di viaggio (studio, lavoro, altro).

Questa procedura opera separatamente per il modo privato (HW) e per quello pubblico (PT), scorporando gli spostamenti destinati verso zone corrispondenti a istituti scolastici, e dunque attribuibili al motivo "studio". I successivi passaggi di calcolo sono implementati nella base dati Rip.Mod.mdb secondo i passi descritti di seguito.

100_Calcola_OD2011_Priv: ripartisce la matrice HW2011 in tre quote, una corrispondente a HW2011_S (per zone) e l'altra ottenuta ripartendo la quota residua in funzione del coefficiente IncANS_HW (rappresentativo dell'incidenza degli altri motivi rispetto al lavoro) stimata sulla base della matrice O/D Lombardia 2014 (15x15 zone).

Matrice ASSEGNATA 2011 - stima															
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)															
TUTTI I MOTIVI - AUTO (MODELLO 2011)															
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	TOT
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	654	442	208	375	347	587	238	189	795	480	550	374	317	160	5.716
2 Brescia 2 (Mompiano)	446	664	228	265	207	386	182	175	670	558	470	383	250	109	4.992
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	422	335	481	418	111	92	101	30	304	360	594	193	103	45	3.587
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	219	193	96	327	217	298	171	101	369	145	155	189	158	101	2.737
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	191	160	60	241	713	476	311	90	296	91	165	385	334	588	4.101
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	160	141	47	139	255	317	346	76	268	109	137	403	135	559	3.090
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	406	603	198	285	403	495	951	378	762	276	328	617	713	732	7.148
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	184	229	48	128	131	236	224	298	437	130	179	229	607	175	3.234
9 Brescia 9 (Centro storico)	190	279	56	213	203	253	270	194	412	198	231	386	253	387	3.525
10 Quadrante Nord	766	1.012	317	177	163	289	254	129	575		1.610	594	973	133	6.991
20 Quadrante Ovest	458	358	417	264	412	435	364	168	475	1.081				576	5.008
30 Quadrante Sud	321	287	143	308	585	738	599	201	702	334				566	4.783
40 Quadrante Est	406	820	163	244	562	465	914	869	1.169	1.034				132	6.777
50 Esterno Prov.	296	198	141	188	630	262	521	192	398	53	153	647	446	11	4.136
Totale	5.120	5.721	2.602	3.570	4.938	5.328	5.447	3.087	7.632	4.848	4.572	4.399	4.291	4.273	65.826

Tabella 6.12 – Matrice O/D assegnata (2011) – trasporto privato – tutti i motivi

Matrice ASSEGNATA 2011 - stima															
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)															
STUDIO - AUTO (MODELLO 2011)															
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	TOT
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	35	25	12	3	7	23	24	10	30	0	2	0	1	1	174
2 Brescia 2 (Mompiano)	37	49	8	1	6	11	15	8	37	1	2	0	1	1	178
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	38	32	4	4	1	0	2	1	20	0	1	0	3	2	108
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	5	9	2	2	1	6	6	3	12	0	0	0	1	0	48
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	14	22	3	0	4	7	38	4	19	0	2	0	4	3	121
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	10	9	2	0	2	3	42	2	12	0	1	0	4	2	89
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	56	111	25	7	10	10	32	13	65	0	2	0	5	5	341
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	28	27	5	2	2	3	12	5	23	0	1	0	2	2	115
9 Brescia 9 (Centro storico)	7	9	5	2	7	3	15	2	10	4	6	3	9	10	92
10 Quadrante Nord	16	17	3	0	0	1	1	1	18	0	0	0	0	0	57
20 Quadrante Ovest	20	16	7	0	2	5	4	1	18	0	0	0	0	0	75
30 Quadrante Sud	10	14	2	0	1	2	18	0	15	0	0	0	0	0	62
40 Quadrante Est	5	35	0	2	0	3	3	8	59	0	0	0	0	0	115
50 Esterno Prov.	2	2	2	0	3	2	3	2	11	0	0	0	0	0	26
Totale	285	377	82	23	46	79	216	60	348	6	16	3	30	27	1.599

Tabella 6.13 – Matrice O/D assegnata (2011) – trasporto privato – motivo studio

Matrice ASSEGNATA 2011 - stima															
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)															
ALTRI MOTIVI - AUTO (MODELLO 2011)															
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	TOT
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	78	41	40	44	27	93	25	97	33	130	99	50	104	136	1.000
2 Brescia 2 (Mompiano)	131	39	78	33	24	63	27	116	28	152	85	51	41	100	968
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	34	109	42	20	4	13	7	17	9	99	109	26	17	39	546
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	24	37	45	24	29	38	13	57	15	40	28	26	27	94	497
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	24	15	13	67	34	79	21	69	17	25	30	52	51	533	1.032
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	29	16	7	17	75	37	22	50	10	30	25	54	23	518	913
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	37	32	19	26	30	202	57	136	22	75	59	83	118	678	1.574
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	25	12	6	16	10	49	50	76	13	36	33	31	87	159	603
9 Brescia 9 (Centro storico)	50	55	26	67	60	67	76	116	24	53	41	52	42	345	1.075
10 Quadrante Nord	35	30	11	9	6	17	6	18	0	0	39	181	63	111	527
20 Quadrante Ovest	20	10	13	14	14	25	8	23	45	0	0	0	0	288	461
30 Quadrante Sud	11	7	4	13	16	35	10	23	14	0	0	0	0	283	416
40 Quadrante Est	15	20	5	11	16	23	17	103	122	0	0	0	0	66	397
50 Esterno Prov.	66	56	47	78	221	113	116	127	42	0	77	323	223	6	1.493
Totale	579	478	355	439	566	856	456	1.029	394	639	626	930	797	3.356	11.501

Tabella 6.14 – Matrice O/D assegnata (2011) – trasporto privato – componenti residue (lavoro+altri motivi)

Analogamente si procede per il modo pubblico, mediante l'analoga procedura indicata di seguito.

100_Calcola_OD2011_Pubb: ripartisce la matrice PT2011 in tre quote, una corrispondente ad PT2011_S (per zone) e l'altra ottenuta ripartendo la quota residua in funzione del coefficiente IncANS_PUBB (rappresentativo dell'incidenza degli altri motivi rispetto al lavoro) stimata sulla base della matrice O/D Lombardia 2014 (15x15zone).

Matrice ASSEGNATA 2011 - stima																
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)																
TOTALE - TRASPORTO PUBBLICO																
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	TOT	
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	132	129	51	55	105	93	147	77	165	11	65	17	29	29	1.105	
2 Brescia 2 (Mompiano)	147	143	60	68	126	114	158	86	195	10	59	16	26	26	1.234	
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	155	161	57	57	107	94	160	88	176	10	63	17	30	30	1.207	
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	84	91	33	34	66	57	93	50	101	7	40	11	18	18	700	
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	77	87	30	32	57	56	83	44	95	6	35	9	16	16	644	
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	109	136	44	45	85	77	125	68	140	9	51	13	23	23	950	
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	240	262	94	98	201	177	241	131	279	14	86	22	42	42	1.929	
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	93	99	34	35	70	59	92	53	104	6	39	10	17	17	728	
9 Brescia 9 (Centro storico)	120	138	49	55	128	105	138	71	158	13	68	19	29	29	1.120	
10 Quadrante Nord	544	568	183	172	248	255	523	324	554		240	49	251	251	4.161	
20 Quadrante Ovest	1.083	1.154	381	371	545	594	1.029	637	1.145	86					7.025	
30 Quadrante Sud	949	1.029	323	307	435	460	904	560	969	27					5.964	
40 Quadrante Est	785	858	272	263	384	413	749	462	825	73					5.083	
50 Esterno Prov.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
Totale	4.520	4.854	1.611	1.590	2.555	2.555	4.441	2.651	4.907	272	746	183	482	482	31.849	

Tabella 6.15 – Matrice O/D assegnata (2011) – trasporto pubblico – tutti i motivi

Matrice ASSEGNATA 2011 - stima																
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)																
STUDIO - TRASPORTO PUBBLICO																
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	TOT	
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	85	94	28	24	36	34	86	52	86	0	2	1	1	1	529	
2 Brescia 2 (Mompiano)	85	99	28	24	37	36	86	52	87	1	3	1	1	1	540	
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	111	127	35	29	45	41	108	65	108	0	0	0	0	0	669	
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	55	64	18	15	24	22	58	35	58	0	0	0	0	0	349	
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	48	60	16	14	22	21	48	29	48	0	2	0	0	0	310	
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	71	94	25	21	32	30	78	47	77	0	0	0	0	0	475	
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	157	189	51	43	68	68	158	96	159	0	2	0	0	0	993	
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	66	74	21	17	27	25	64	39	63	0	1	0	0	0	397	
9 Brescia 9 (Centro storico)	64	80	21	18	29	27	69	41	68	0	1	0	0	0	421	
10 Quadrante Nord	482	533	154	128	194	186	476	291	467	0	0	0	0	0	2.911	
20 Quadrante Ovest	872	1.027	278	230	354	340	863	528	841	0	0	0	0	0	5.332	
30 Quadrante Sud	815	951	260	215	319	307	802	491	781	0	0	0	0	0	4.942	
40 Quadrante Est	648	775	207	171	263	251	642	392	627	0	0	0	0	0	3.978	
50 Esterno Prov.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totale	3.559	4.166	1.142	948	1.452	1.388	3.538	2.159	3.471	2	10	3	3	3	21.845	

Tabella 6.16 – Matrice O/D assegnata (2011) – trasporto pubblico – motivo studio

Matrice ASSEGNATA 2011 - stima																
Flussi interessanti il territorio comunale di Brescia nell'ora di punta del mattino (7-8)																
ALTRI MOTIVI - TRASPORTO PUBBLICO																
Macrozona di origine	Macrozona di destinazione															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	TOT	
1 Brescia 1 (S.Bartolomeo-Casazza)	13	8	9	8	12	20	16	19	15	9	43	12	25	24	232	
2 Brescia 2 (Mompiano)	36	6	20	12	24	28	25	29	25	8	38	10	20	24	306	
3 Brescia 3 (Chiusure-Urago)	9	21	4	3	6	16	8	18	9	9	44	12	22	27	208	
4 Brescia 4 (P.ta Milano-Fiumicello)	6	10	10	3	11	8	5	12	6	6	28	7	13	16	142	
5 Brescia 5 (Fornaci-Chiesanuova)	8	5	6	9	4	11	6	13	12	5	23	6	12	15	134	
6 Brescia 6 (Folzano-Lamarmora)	13	11	6	6	27	12	7	17	10	7	34	9	19	21	199	
7 Brescia 7 (P.ta Cremona-S.Polo)	19	11	11	11	23	71	12	22	17	11	59	15	33	39	355	
8 Brescia 8 (P.ta Venezia-Caionvico-S.Eufemia)	9	3	4	5	9	14	13	7	6	5	27	7	13	16	138	
9 Brescia 9 (Centro storico)	27	22	20	19	50	37	35	23	19	10	46	13	24	26	371	
10 Quadrante Nord	22	5	6	21	10	24	9	16	0		32	33	54	222	455	
20 Quadrante Ovest	80	22	24	75	37	96	39	59	21	0				0	452	
30 Quadrante Sud	57	18	16	50	25	70	28	36	7	0				0	307	
40 Quadrante Est	46	14	13	40	19	58	22	30	42	0				0	282	
50 Esterno Prov.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totale	345	156	148	264	255	465	226	301	189	69	374	125	236	430	3.583	

Tabella 6.17 – Matrice O/D assegnata (2011) – trasporto pubblico – componenti residue (lavoro+altri motivi)

Successivamente, si procede a determinare la componente non motorizzata, secondo la procedura seguente.

120_Calcola_OD2011_NonM: calcola la componente NM per ciascun motivo (studio, lavoro, altro) come prodotto della somma del flusso assegnato (pubblico+privato) per il coefficiente IncrNM, rappresentativo dell'incidenza della mobilità ciclopeditone, stimata in base alla matrice O/D Lombardia 2014 (15x15zone).

La somma delle nove matrici, riferite all'ora di punta del mattino e articolate per motivo (studio, lavoro, altro) per modo (motorizzato pubblico, motorizzato privato, non motorizzato), ha costituito la base essenziale per la validazione del modello all'anno 2011.

7 VALIDAZIONE DEL MODELLO

7.1 STRUTTURA GENERALE DELLA PROCEDURA

Come anticipato nei precedenti paragrafi, la validazione del modello multimodale a due stadi è avvenuta assumendo che esso sia in grado di riprodurre l'effetto di trasferimento modale indotto dall'entrata in esercizio della linea metropolitana, verificatasi il 2 marzo 2013.

Ciò corrisponde, di fatto, alla verifica che il modello sia in grado, sotto opportune ipotesi circa l'evoluzione della domanda di mobilità e dell'offerta di trasporto intercorse nel periodo, di simulare correttamente due situazioni così definite:

- lo **scenario “storico” di validazione pre-metrò**, riferito all'anno 2011 e interfacciato con i dati censuari, nonché con i risultati dell'indagine al cordone stradale, per il quale si assume l'obiettivo di una piena coerenza con le assegnazioni condotte separatamente con i moduli HW e PT relativamente al periodo considerato;
- lo **scenario “attuale”, post metrò**, riferito all'anno 2016 e validato, da un lato, sulla base dei dati di frequentazione del trasporto pubblico e, dall'altro, sui risultati delle rilevazioni continue di traffico condotte sulla rete viaria.

Lo schema generale della procedura di validazione è riassunto nel box seguente.

PASSO 1

Utilizzando la matrice O/D 2011 (tutti i modi) stimata come illustrato nel cap.6, nonché i tempi di percorrenza derivanti dalle due simulazioni “storiche”, si esegue il modulo MS ottenendo le due matrici HW 2011 e PT 2011, che vengono riassegnate alla rete. La coerenza con il quadro precedente è verificata attraverso un test di verosimiglianza fra le due matrici e quelle utilizzate dal preesistenti moduli HW e PT.

PASSO 2

Prendendo a riferimento l'andamento demografico delle zone sia interne che esterne al Comune tra il 2011 e il 2016, si procede a stimare, per semplice incremento dei flussi generati a parità di distribuzione a destino, la nuova matrice O/D 2016 (tutti i modi).

PASSO 3

A questo punto, la matrice 2016 (tutti i modi) viene utilizzata, insieme ai tempi derivati dall'assegnazione delle matrici 2011 al grafo 2016, come elemento di input per il modulo MS, con stima delle due matrici HW 2016 e PT 2016, che vengono assegnate alla rete. Sui risultati viene effettuato un test di verosimiglianza riferito ai conteggi stradali (HW) ed ai carichi rilevati sulla rete di trasporto pubblico (linee di forza e intera rete).

PASSO 4

Stima delle matrici future (5anni-10anni-20anni) costruite in relazione ai trend demografici in atto, nonché al quadro delle trasformazioni urbanistiche e delle variazioni d'offerta contenute nello scenario di riferimento.

PASSO 5

Utilizzo delle matrici future per simulare gli scenari di piano.

7.2 VALIDAZIONE DEL MODELLO AL 2011

La validazione del modello al 2011 è stata ottenuta utilizzando la matrice 2011 come input del modello di ripartizione modale, e ricercando un insieme di parametri di calibrazione tali da riprodurre in modo soddisfacente le due matrici 2011 HW e 2011 PT, già utilizzate dal modello in uso presso l'Ufficio studi di Brescia Mobilità.

L'insieme di parametri che, a seguito di successive correzioni, è risultato migliore, è indicato nella tabella seguente. Come si osserva, la riproduzione delle quote modali rilevate ha comportato l'introduzione:

- di una componente obbligata all'uso dell'auto pari al 30% della domanda per motivi diversi dallo studio;
- di un sovracosto generalizzato di trasporto pubblico pari al 105% del valore del tempo di attesa e all'84% del valore del tempo a bordo bus. Tali parametri, definiti in modo euristico, possono essere interpretati come stima del discomfort percepito per l'utilizzo della rete TPL nello scenario pre-metrò.

CALCOLO DEI COSTI GENERALIZZATI									
		Costi op.	(Val. tempo	Durata		Componenti obbligate			
		€/km	€/h	h		auto	non auto	cont	
S	Studio	0,100	5,00	5		0,0%	97,0%	3,0%	
L	Lavoro	0,100	12,00	8		30,0%	5,5%	64,5%	
A	Altri motivi	0,100	11,00	2		30,0%	5,5%	64,5%	
	Fatt.corr.tempi auto		0,380						
	FUNZIONE LOGIT						TARIFFE		
							urbana	extraurban	abbon.
	costo critico					tempo acc	€	€/km	riduz. %
		€	beta		Pubblico	0	1,4	0,08	40%
S	Studio	2,4	0,416667		Auto	0		COEFF.AFFATICAME	
L	Lavoro	3,0	0,333333		Bici	10		5	5
A	Altri motivi	1,5	0,666667		Piedi	5		2	5
						ABBON	35 €		0,7
	PENALITA' TPL	attesa	bus	LAM	tram	metrò			
	Incremento %	105%	84%	42%	28%	0%			
	MATRICI ASSEGNATE								
	interni	entrate	uscite	attravers.	TOT	interni	entrate	uscite	attravers.
Priv	31.078	24.702	12.652	199.987	268.418	12%	9%	5%	75%
Pubb	8.388	21.251	954	726	31.319	27%	68%	3%	2%
TOT	39.466	45.953	13.606	200.713	299.737				
	21%	46%	7%	0%					

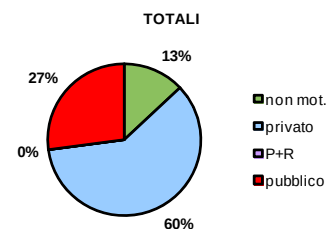
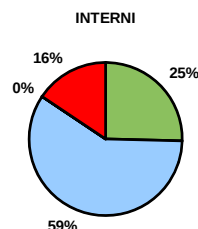
Tabella 7.1 – Riepilogo parametri funzionali – scenario di validazione (2011)

I risultati ottenuti sono illustrati dal cruscotto riportato nelle due pagine seguenti.

SCENARIO DI CALIBRAZIONE (2011)

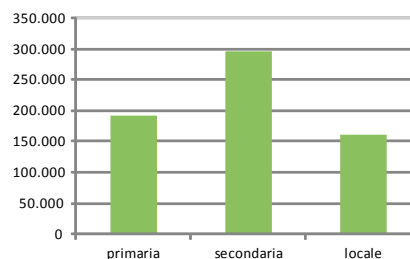
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)			
	interni	entrate	uscite	TOT
non motorizzato	13.564	758	312	14.634
privato	31.528	23.375	12.342	67.245
P+R				0
pubblico	8.344	20.897	1.148	30.389
TOTALE	53.436	45.030	13.802	112.267



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI				
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione
	km	vkm	vh	km/h	vkm
primaria	79	192.165	5.338	36,0	59.767
secondaria	278	295.764	18.349	16,1	70.241
locale	726	160.777	8.981	17,9	16.474
TOTALE	1.084	648.706	32.668	19,9	146.483

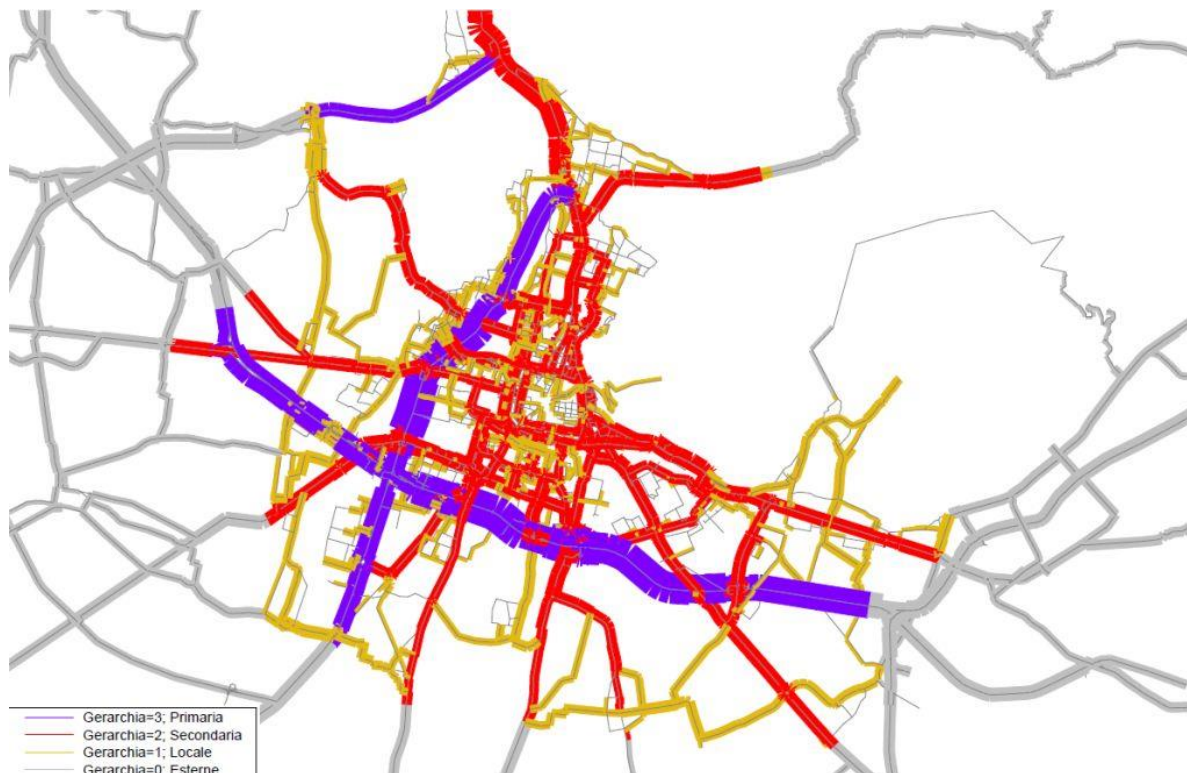


TRASPORTO PUBBLICO

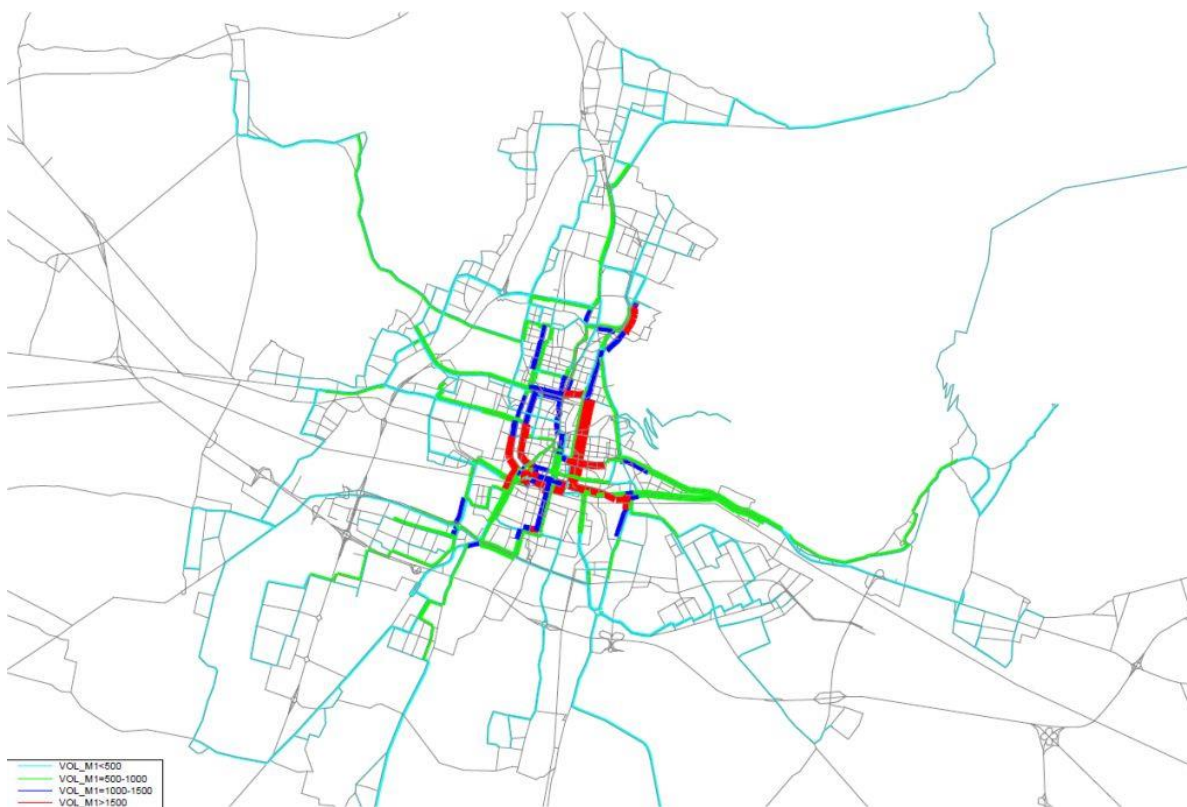
Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	percorrenze offerte		passengeri trasportati	tempi percor.	volume di traffico	percorrenze medie
	veic*km	posti*km	pax	pax*h	pax*km	km/pax
Metropolitana M1			0	0	0	
Tram T2			0	0	0	
Tram T3			0	0	0	
Busvia B4			0	0	0	
Resto rete area urbana	3.077		34.438	7.662	136.262	3,96
SUBTOTALE	3.077		34.438	7.662	136.262	3,96
Ferrovia			16.829	7.564	467.113	27,76
Bus extraurbano	5.605		32.699	15.307	481.374	14,72

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL

43,8 milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO per componente di rete



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO per tutti i modi di trasporto pubblico

Il confronto con le matrici così ottenute evidenzia una correlazione più che buona nel caso del trasporto privato (figura 7.1) e ancora soddisfacente nel caso del trasporto pubblico (figura 7.2).

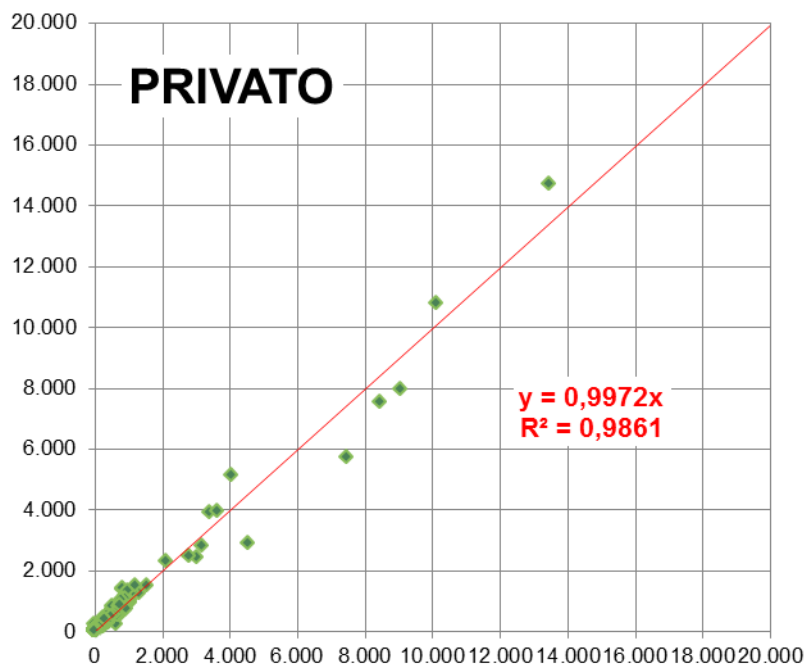


Figura 7.1 – Modello HW: confronto fra matrice stimata e matrice assegnata

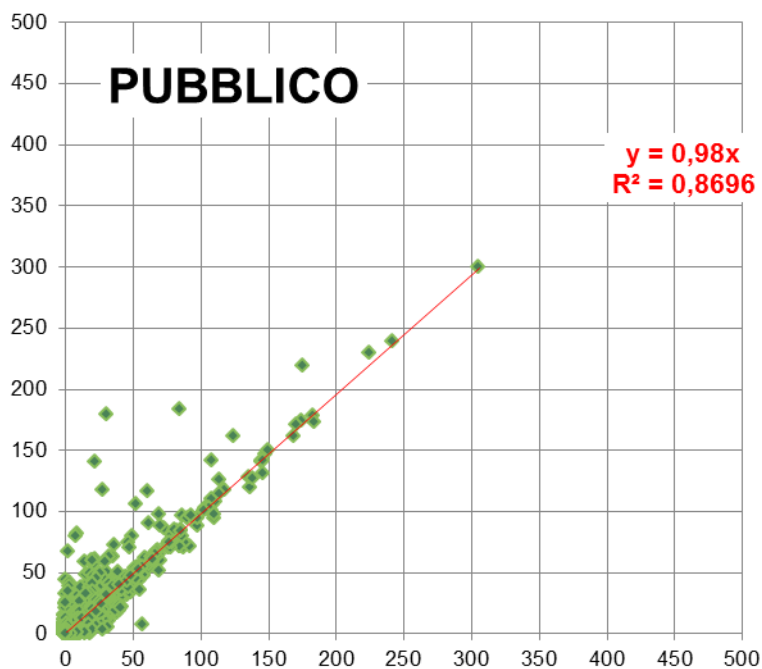


Figura 7.2 – Modello PT: confronto fra matrice stimata e matrice assegnata

7.3 STIMA DELLA MATRICE O/D AL 2016

Passando allo scenario attuale (2016), esso è stato ottenuto utilizzando una matrice direttamente derivata da quella relativa all'anno 2011, semplicemente applicando tassi di crescita in origine coerenti con l'andamento demografico riscontrato nel quinquennio 2011-16 nelle singole zone di traffico.

Pertanto, non si è tenuto conto di eventuali variazioni della distribuzione degli spostamenti in destinazione, che dovessero essersi verificati in questo periodo.

7.4 VALIDAZIONE DEL MODELLO AL 2016

La stima delle matrici HW e PT, relative allo scenario post-metrò (2016), è avvenuta applicando alla matrice totale 2016 la medesima procedura e gli stessi parametri di ripartizione modale utilizzati nello scenario di validazione al 2011, con l'unica eccezione dei parametri relativi al costo dello stazionamento veicolare nelle zone di destinazione centrali e subcentrali, che sono stati incrementati per tener conto delle variazioni intercorse nelle politiche della sosta nel corso del periodo.

Si evidenzia, peraltro, che in questo scenario l'impiego della metropolitana non comporta da parte degli utenti la percezione di alcun sovracosto rispetto all'auto.

I risultati ottenuti sono in linea con i carichi rilevati sul trasporto pubblico, e in particolare sulla linea metropolitana, il che evidenzia la capacità della procedura di ripartizione modale di simulare in modo soddisfacente gli impatti indotti da variazioni strutturali dell'offerta di trasporto pubblico.

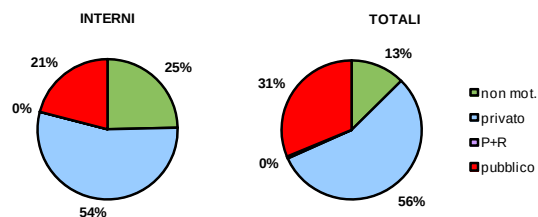
CALCOLO DEI COSTI GENERALIZZATI									
		Costi op. (Val. temp		Durata h	Componenti obbligate				
		€/km	€/h		auto	non auto	cont		
S	Studio	0,100	5,00	5	0,0%	97,0%	3,0%		
L	Lavoro	0,100	12,00	8	30,0%	5,5%	64,5%		
A	Altri motivi	0,100	11,00	2	30,0%	5,5%	64,5%		
Fatt.corr.tempi auto			0,380						
FUNZIONE LOGIT						TARIFFE			
						urbana	extraurban	abbon.	
						€/km	riduz.%		
		costo critico			tempo acc	€			
		€	beta		Pubblico	0	1,4	0,08	40% TEMPO ACCES:
S	Studio	2,4	0,416667		Auto	0			COEFF.AFFATICAMENTO
L	Lavoro	3,0	0,333333		Bici	10		5	5
A	Altri motivi	1,5	0,666667		Piedi	5		2	5
					ABBON	35 €		0,7	
PENALITA' TPL		attesa	bus	LAM	tram	metrò			
Incremento %		105%	84%	42%	28%	0%			
MATRICI ASSEGNATE									
	interni	entrate	uscite	attravers.	TOT	interni	entrate	uscite	attravers.
Priv	30.309	24.463	12.622	199.987	267.382	11%	9%	5%	75%
Pubb	8.411	21.263	956	37.910	68.540	12%	31%	1%	55%
TOT	38.720	45.727	13.578	237.897	335.922				

Tabella 7.2 – Riepilogo parametri funzionali – scenario di validazione (2016)

SCENARIO ATTUALE (2016)

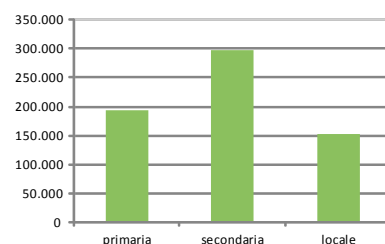
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)				
	interni	entrate	uscite	TOT	var.
non motorizzato	13.445	740	309	14.494	-1,0%
privato	29.677	21.615	12.943	64.235	-4,5%
P+R		538		538	=
pubblico	11.441	23.260	1.269	35.970	+18,4%
TOTALE	54.564	46.152	14.521	115.236	+2,6%
Variazione su 2011	+2,1%	+2,5%	+5,2%	+2,6%	



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione
	km	vk	vh	km/h	vk	%
primaria	86	192.547	6.269	30,7	55.388	-7,3%
secondaria	293	296.863	13.803	21,5	51.180	-27,1%
locale	755	153.320	11.668	13,1	13.775	-16,4%
TOTALE	1.134	642.729	31.739	20,3	120.343	-17,8%
Variazione su 2011	+4,6%	-0,9%	-2,8%	+2,0%		-17,8%



TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI							
	percorrenze offerte		passengeri trasportati	tempi percor.	volume di traffico	variazione	percorrenze medie	velocità medie
	veic*km	posti*km	pax	pax*h	pax*km	%	km/pax	km/h
Metropolitana M1	397		5.581	832	23.263	=	4,17	28,0
Tram T2			0	0	0	=		
Tram T3			0	0	0	=		
Busvia B4			0	0	0	=		
Resto rete area urbana	1.920		33.745	7.172	130.812	-4,0%	3,88	18,2
SUBTOTALE	2.317		39.326	8.004	154.075	+13,1%	3,92	19,3
Variazione su 2011	-24,7%	=	+14,2%	+4,5%	+13,1%		-1,0%	+8,2%
Ferrovia			16.131	7.141	457.471	-5,0%	28,36	64,1
Bus extraurbano	4.701		37.526	18.131	496.279	=	13,22	27,4
TOTALE GEN.			92.984	33.276	1.107.824		11,91	33,3
Variazione su 2011	=	=	=	=	=		=	=

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL

52,6 milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario 2011 (blu aumento, arancione diminuzione)



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario 2011 (verde aumento, rosso diminuzione)

8 COSTRUZIONE DELLO SCENARIO DI RIFERIMENTO

8.1 GENERALITÀ

La costruzione dello scenario di riferimento costituisce un passaggio essenziale nell'economia del PUMS, perché è proprio in relazione alla situazione attesa negli anni a venire che risulta necessario valutare le diverse possibili strategie di governo del sistema della mobilità a scala urbana.

Rimandando per la descrizione delle relative ipotesi al corrispondente allegato J, in questa sede si illustrano la procedura adottata ed i risultati ottenuti in sede modellistica, con riferimento specifico alla previsione a 10 anni.

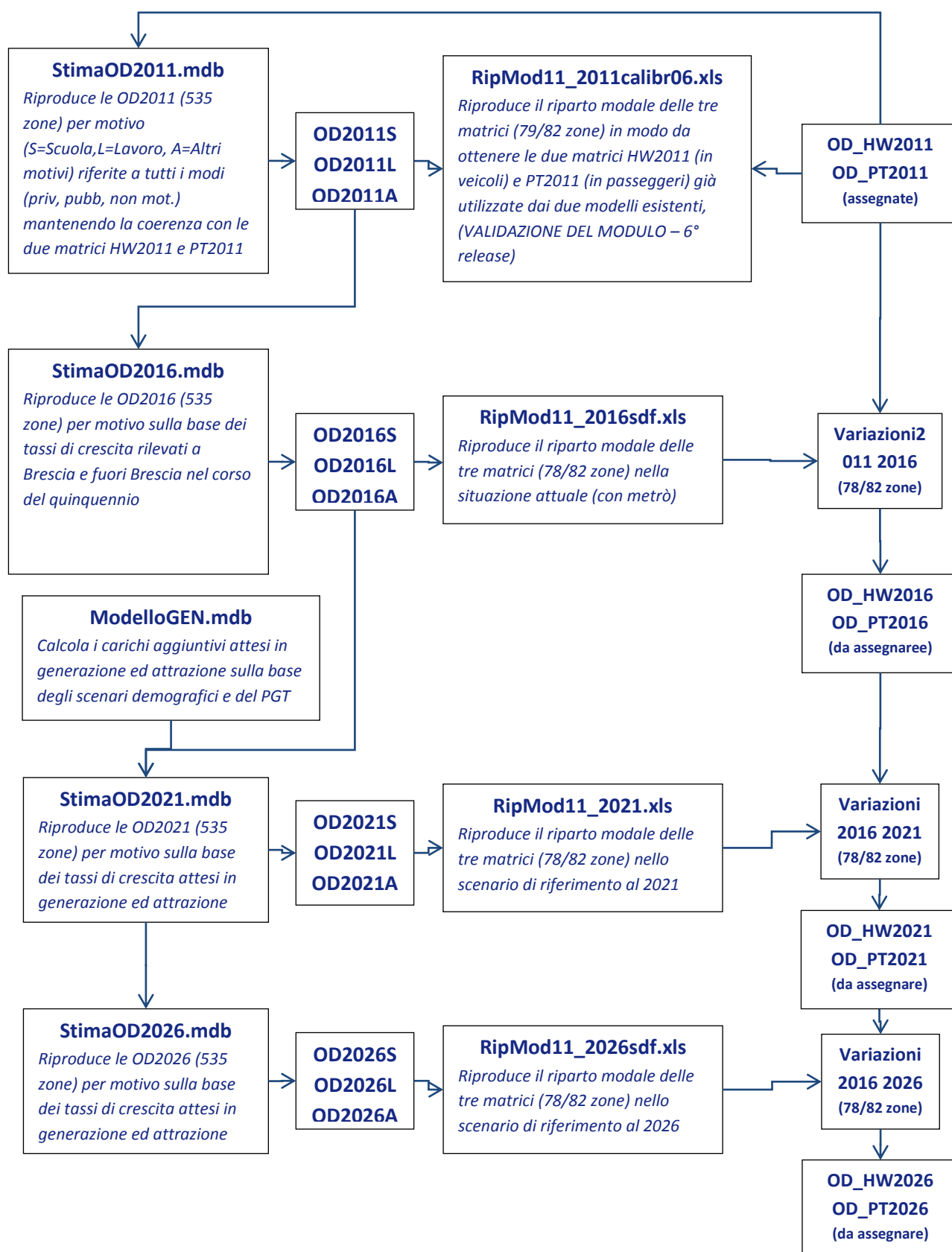
Dal punto di vista strettamente tecnico, la simulazione dello scenario di riferimento è stata ottenuta operando congiuntamente sulla descrizione sia della domanda sia dell'offerta di trasporto:

- sul **lato offerta**, si è tenuto conto dell'insieme degli interventi già programmati, la cui realizzazione è attesa a breve, medio e lungo termine (rispettivamente 5 anni, 10 anni, 20 anni⁸);
- sul **lato domanda**, si sono invece considerate le tendenze demografiche attese nelle zone esterne, così come le conseguenze dei nuovi carichi urbanistici programmati nelle zone interne.

La stima della matrice O/D relativa alla previsione sui 10 anni (tutti i modi) è avvenuta sommando ai totali di riga e di colonna gli spostamenti aggiuntivi generati o attratti in ragione delle trasformazioni citate, e procedendo quindi alla loro quadratura secondo un procedimento iterativo a doppio vincolo in origine/destinazione (metodo Fratar), con obiettivo di minimo scarto dalla distribuzione rilevata nel 2016.

I singoli passaggi della procedura sono illustrati nello schema della pagina seguente.

⁸ Va osservato a questo proposito che in alcuni casi interventi previsti a lungo termine sono stati comunque inseriti nello scenario di riferimento a 10 anni, in modo da consentirne l'esame in relazione agli scenari di piano, valutati comparativamente facendo riferimento a questo orizzonte temporale.

SCHEMA GENERALE DI RIFERIMENTO PER LA STIMA DELLA MATRICE O/D A 10 ANNI


PROCEDURA ITERATIVA PER IL PASSAGGIO DA OD2016 A OD2026

Il passaggio dalla OD2016 alla OD2026 richiede una procedura iterativa, finalizzata a stabilizzare i costi del modello HW a fronte degli incrementi di domanda. Infatti, la crescita tendenziale della matrice automobilistica genera un incremento dei tempi di percorrenza che influenza la ripartizione modale, e di questo è necessario tener conto nella costruzione dello scenario di riferimento.

Al fine di contenere le possibili oscillazioni nella stima dei tempi stradali, è parso preferibile parzializzare gli incrementi attesi in dieci singole annualità, ottenendo così le matrici:

OD2017, OD2018, OD2019, OD2020 (interpolazione lineare tra OD2016 e OD2021)

OD2022, OD2023, OD2024, OD2025 (interpolazione lineare tra OD2021 e OD2026)

L'insieme di queste matrici è contenuto nel file MatriciOD2016-2026_COMPLETO.mdb

Per ogni annualità si è dunque reso necessario ripetere la procedura di stima della matrice dei tempi stradali secondo lo schema di seguito indicato.

Anno 2016

Inserire le OD2016 (S, L, A) in RipMod11_2016sdf.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2016.

Assegnare la matrice HW2016 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2016.

Anno 2017

Inserire le OD2017 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2016 in RipMod11_2017.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2017.

Assegnare la matrice HW2017 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2017.

Anno 2018

Inserire le OD2018 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2017 in RipMod11_2017-18.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2018.

Assegnare la matrice HW2018 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2018.

Anno 2019

Inserire le OD2019 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2018 in RipMod11_2018-19.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2019.

Assegnare la matrice HW2019 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2019.

Anno 2020

Inserire le OD2020 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2019 in RipMod11_2019-20.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2020.

Assegnare la matrice HW2020 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2020.

Anno 2021

Inserire le OD2021 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2020 in RipMod11_2020-21.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2021.

Assegnare la matrice HW2021 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2021.

Anno 2022

Inserire le OD2022 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2021 in RipMod11_2021-22.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2022.

Assegnare la matrice HW2022 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2022.

Anno 2023

Inserire le OD2023 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2022 in RipMod11_2022-23.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2023.

Assegnare la matrice HW2023 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2023.

Anno 2024

Inserire le OD2024 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2023 in RipMod11_2023-24.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2024.

Assegnare la matrice HW2024 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2024.

Anno 2025

Inserire le OD2025 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2024 in RipMod11_2024-25.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2025.

Assegnare la matrice HW2025 ottenendo la matrice dei tempi stradali T2025.

Anno 2026

Inserire le OD2026 (S, L, A) e la matrice dei tempi T2025 in RipMod11_2025-26.xls ottenendo i moltiplicatori per determinare HW2026 e PT2026.

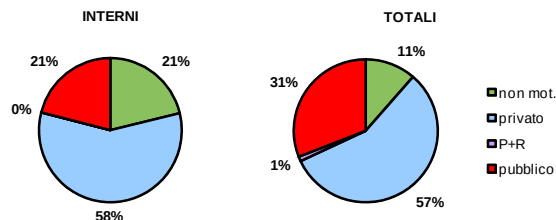
Assegnare la matrice HW2026 e la matrice PT2026 ottenendo le simulazioni dello scenario di riferimento.

La matrice di riferimento a 10 anni, quindi, è stata utilizzata come dato di ingresso per una nuova procedura di ripartizione modale, basata su parametri identici a quelli dello scenario attuale (2016), ottenendo così le due matrici HW e PT che, assegnate alla rete, hanno condotto ai risultati evidenziati nelle due pagine seguenti.

SCENARIO DI RIFERIMENTO (10 anni)

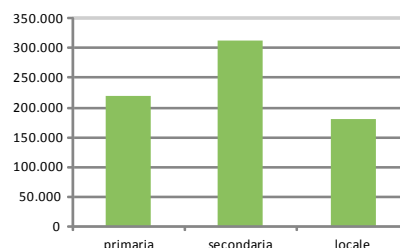
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)				
	interni	entrate	uscite	TOT	var.
non motorizzato	11.925	1.820	872	14.617	+0,9%
privato	32.558	25.802	13.921	72.281	+12,5%
P+R		1.342		1.342	+149,6%
pubblico	11.821	26.259	1.304	39.384	+9,5%
TOTALE	56.304	55.223	16.098	127.624	+10,7%
Variazione su 2016	+3,2%	+19,7%	+10,9%	+10,7%	



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione su scenario 2016
	km	veh	vh	km/h	veh	%
primaria	99	219.522	6.069	36,2	52.175	-5,8%
secondaria	314	312.603	18.416	17,0	70.315	+37,4%
locale	751	179.800	14.983	12,0	20.233	+46,9%
TOTALE	1.164	711.925	39.468	18,0	142.723	+18,6%
Variazione su 2016	+2,6%	+10,8%	+24,4%	-10,9%	+18,6%	



TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI						
	percorrenze offerte		passenger trasportati	tempi percor.	volume di traffico	variazione	percorrenze medie
	veic*km	posti*km	pax	pax*h	pax*km	%	km/pax
Metropolitana M1	397		11.637	2.074	58.023	+149,4%	4,99
Tram T2						=	
Tram T3						=	
Busvia B4						=	
Resto rete area urb.	1.974		38.371	8.129	152.525	+16,6%	3,97
SUBTOTALE	2.371		50.008	10.203	210.547	+36,7%	4,21
Variazione su 2016	-22,9%	=	+27,2%	+27,5%	+36,7%		+7,5%
Ferrovia			22.166	7.962	531.951	+16,3%	24,00
Bus extraurbano	3.482		27.871	12.100	398.740	-19,7%	14,31
TOTALE GEN.			100.045	30.265	1.141.238	+3,0%	11,41
Variazione su 2016	=	=	+7,6%	-9,0%	+3,0%		-4,3%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL
58,6 milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario 2016 (blu aumento, arancione diminuzione).



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario 2016 (verde aumento, rosso diminuzione).

9 COSTRUZIONE DEGLI SCENARI DI PIANO

9.1 GENERALITÀ

L'affinamento del modello di simulazione in sede di PUMS è finalizzata evidentemente alla valutazione comparata degli scenari di piano.

Dal punto di vista tecnico, la valutazione dei singoli scenari è avvenuta modificando lo scenario di riferimento a 10 anni di volta in volta con le modificazioni previste in termini di offerta di trasporto e/o di politiche di domanda, senza modificare alcun parametro funzionale rispetto al modello validato.

Si segnala che, per quanto concerne i modi di trasporto pubblico oggi non implementati, i sovracosti generalizzati di trasporto sono stati assunti come segue:

- per quanto concerne le tramvie: 28% del tempo trascorso a bordo;
- per quanto concerne le busvie: 42% del tempo trascorso a bordo.

In tal modo si assume che il livello di confort percepito per questi modi di trasporto si ponga su livelli intermedi rispetto a quelli stimati, in sede di validazione del modello, per la metropolitana e per il bus.

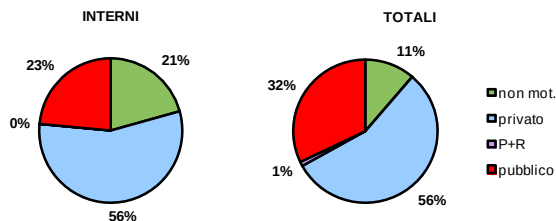
Facendo invece riferimento alle politiche di domanda, che per loro natura costituiscono interventi qualitativi di difficile modellizzazione, si è assunto che le misure di sensibilizzazione all'uso del trasporto pubblico o della bicicletta si traducano in una riduzione della componente obbligata all'uso dell'auto dal 30% al 20% della domanda complessiva. Ciò non significa, evidentemente, il trasferimento automatico del 10% di spostamenti dal modo privato a quello pubblico, ma più semplicemente un allargamento della platea di soggetti che valutano tutte le alternative modali per effettuare i loro spostamenti, preferendo i mezzi pubblici nei soli casi in cui essi garantiscano un tempo generalizzato migliore, al netto dei coefficienti volti a rappresentare il discomfort di attesa e/o di marcia.

Nelle pagine seguenti si riportano i risultati ottenuti nei singoli scenari considerati in sede di definizione delle strategie di piano.

9.2 SCENARIO BUS (10 ANNI)

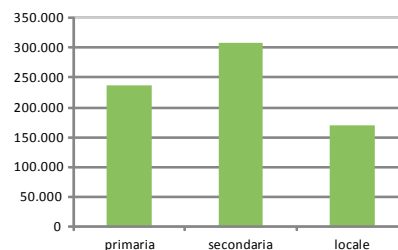
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)				
	interni	entrate	uscite	TOT	var.
non motorizzato	11.925	1.820	872	14.617	+0,9%
privato	32.246	25.770	13.881	71.896	+11,9%
P+R		1.261		1.261	+134,6%
pubblico	13.578	26.400	1.386	41.364	+15,0%
TOTALE	57.748	55.252	16.139	129.139	+12,1%
Variazione su 2016	+5,8%	+19,7%	+11,1%	+12,1%	



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione su scenario 2016
	km	vk	vh	km/h	vk	%
primaria	99	236.047	4.933	47,9	55.847	+0,8%
secondaria	322	307.880	15.431	20,0	47.686	-6,8%
locale	753	168.827	13.733	12,3	17.017	+23,5%
TOTALE	1.175	712.754	34.097	20,9	120.550	+0,2%
Variazione su 2016	+3,6%	+10,9%	+7,4%	+3,2%	+0,2%	



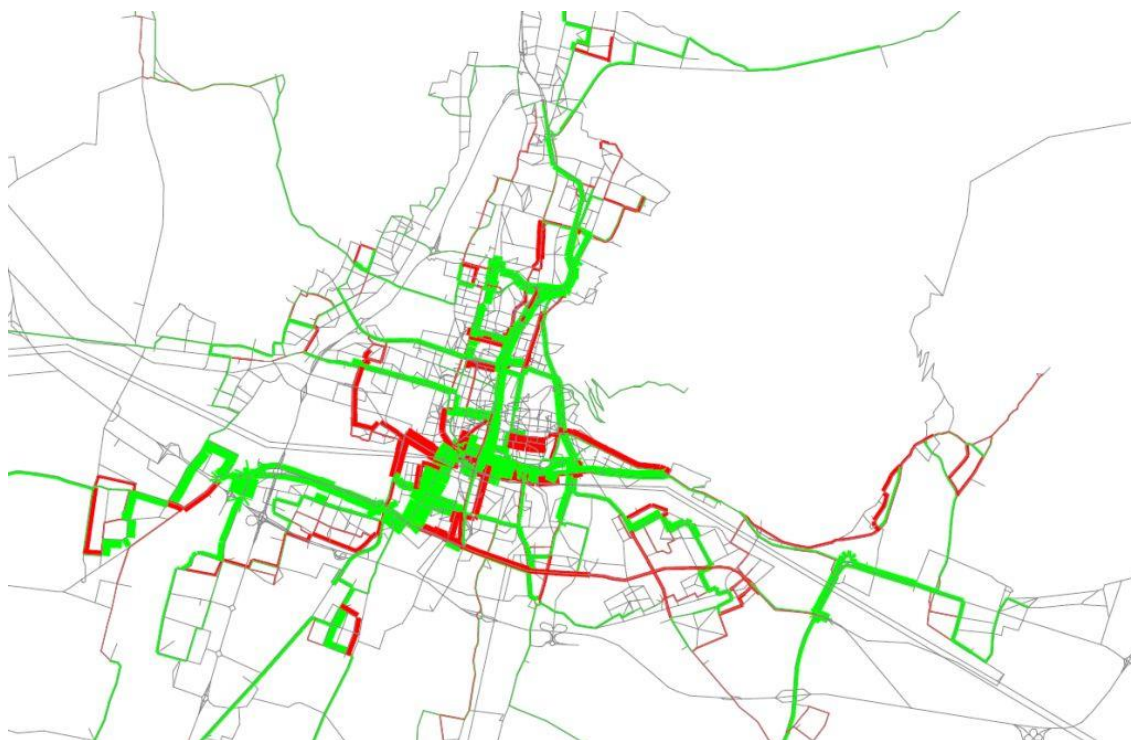
TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	percorrenze offerte	passenger trasportati	tempi percor.	volume di traffico	variazione	percorrenze medie
	veic*km	post*km	pax	pax*h	pax*km	%
Metropolitana M1	397		13.068	2.208	61.773	+165,5%
Tram T2						=
Tram T3						=
Busvia B4	875		22.889	4.540	82.067	=
Resto rete area urb.	1.674		21.372	4.669	95.536	-27,0%
SUBTOTALE	2.946	57.329	11.417	239.376	+55,4%	4,18
Variazione su 2016	-4,3%	=	+45,8%	+42,7%	+55,4%	+6,6%
Ferrovia			21.835	7.896	525.978	+15,0%
Bus extraurbano	3.363		27.555	11.880	393.626	-20,7%
TOTALE GEN.			106.719	31.192	1.158.980	+4,6%
Variazione su 2016	=	=	+14,8%	-6,3%	+4,6%	-8,8%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL **61,4** milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario di riferimento (blu aumento, arancione diminuzione)

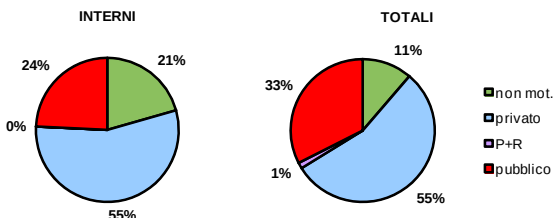


ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario di riferimento (verde aumento, rosso diminuzione)

9.3 SCENARIO TRAM (10 ANNI)

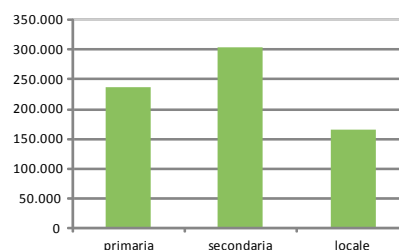
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattina)				var.
	interni	entrate	uscite	TOT	
non motorizzato	11.925	1.820	872	14.617	+0,9%
privato	32.029	25.181	13.876	71.086	+10,7%
P+R		1.738		1.738	+223,4%
pubblico	14.057	26.504	1.389	41.951	+16,6%
TOTALE	58.011	55.244	16.137	129.392	+12,3%
Variazione su 2016	+6,3%	+19,7%	+11,1%	+12,3%	



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione su scenario 2016
	km	vk	vh	km/h	vk	%
primaria	99	237.660	5.260	45,2	49.603	-10,4%
secondaria	322	303.500	15.478	19,6	42.553	-16,9%
locale	751	165.777	13.722	12,1	16.892	+22,6%
TOTALE	1.172	706.937	34.460	20,5	109.048	-9,4%
Variazione su 2016	+3,3%	+10,0%	+8,6%	+1,3%	-9,4%	



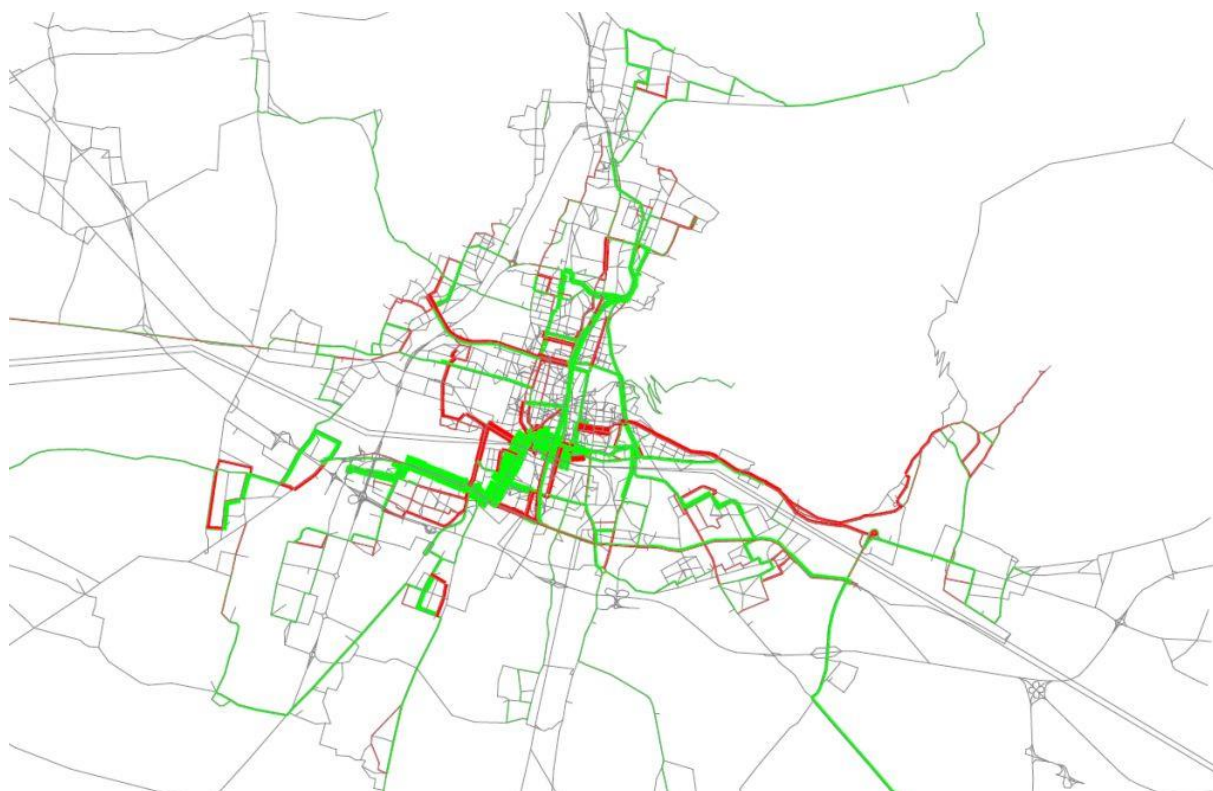
TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI							
	percorrenze offerte		passenger trasportati	tempi percor.	volume di traffico	variazione	percorrenze medie	velocità medie
	veic*km	post*km	pax	pax*h	pax*km	%	km/pax	km/h
Metropolitana M1	397		12.983	2.366	66.203	+184,6%	5,10	28,0
Tram T2+T3	311		14.040	2.474	39.620	=	2,82	16,0
Tram T3						=		
Busvia B4	490		10.219	1.637	27.454	=	2,69	16,8
Resto rete area urb.	1.790		23.536	5.323	111.134	-15,0%	4,72	20,9
SUBTOTALE	2.988		60.778	11.801	244.411	+58,6%	4,02	20,7
Variazione su 2016	-2,9%	=	+54,5%	+47,4%	+58,6%		+2,6%	+7,6%
Ferrovia			21.632	7.878	526.089	+15,0%	24,32	66,8
Bus extraurbano	3.241		27.576	11.711	386.592	-22,1%	14,02	33,0
TOTALE GEN.			109.986	31.390	1.157.092	+4,4%	10,52	36,9
Variazione su 2016	=	=	+18,3%	-5,7%	+4,4%		-11,7%	+10,7%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL **62,9** milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario di riferimento (blu aumento, arancione diminuzione)

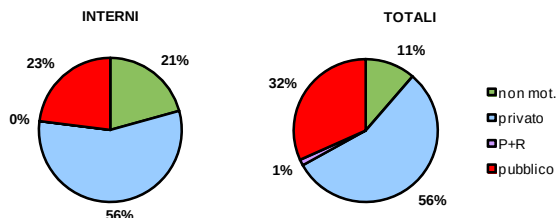


ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario di riferimento (verde aumento, rosso diminuzione)

9.4 SCENARIO METRO (10 ANNI)

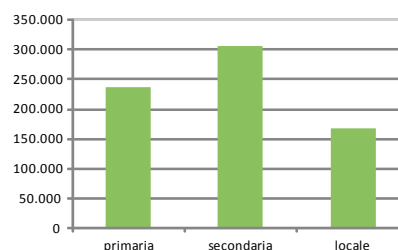
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattina)				
	interni	entrate	uscite	TOT	var.
non motorizzato	11.925	1.820	872	14.617	+0,9%
privato	32.420	25.415	13.933	71.768	+11,7%
P+R		1.738		1.738	+223,4%
pubblico	13.256	26.259	1.325	40.839	+13,5%
TOTALE	57.601	55.232	16.131	128.963	+11,9%
Variazione su 2016	+5,6%	+19,7%	+11,1%	+11,9%	



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione su scenario 2016
	km	vk	vh	km/h	vk	%
primaria	99	237.205	4.877	48,6	48.784	-11,9%
secondaria	322	305.911	15.721	19,5	51.922	+1,4%
locale	753	168.719	14.040	12,0	17.732	+28,7%
TOTALE	1.175	711.835	34.638	20,6	118.438	-1,6%
Variazione su 2016	+3,6%	+10,8%	+9,1%	+1,5%	-1,6%	

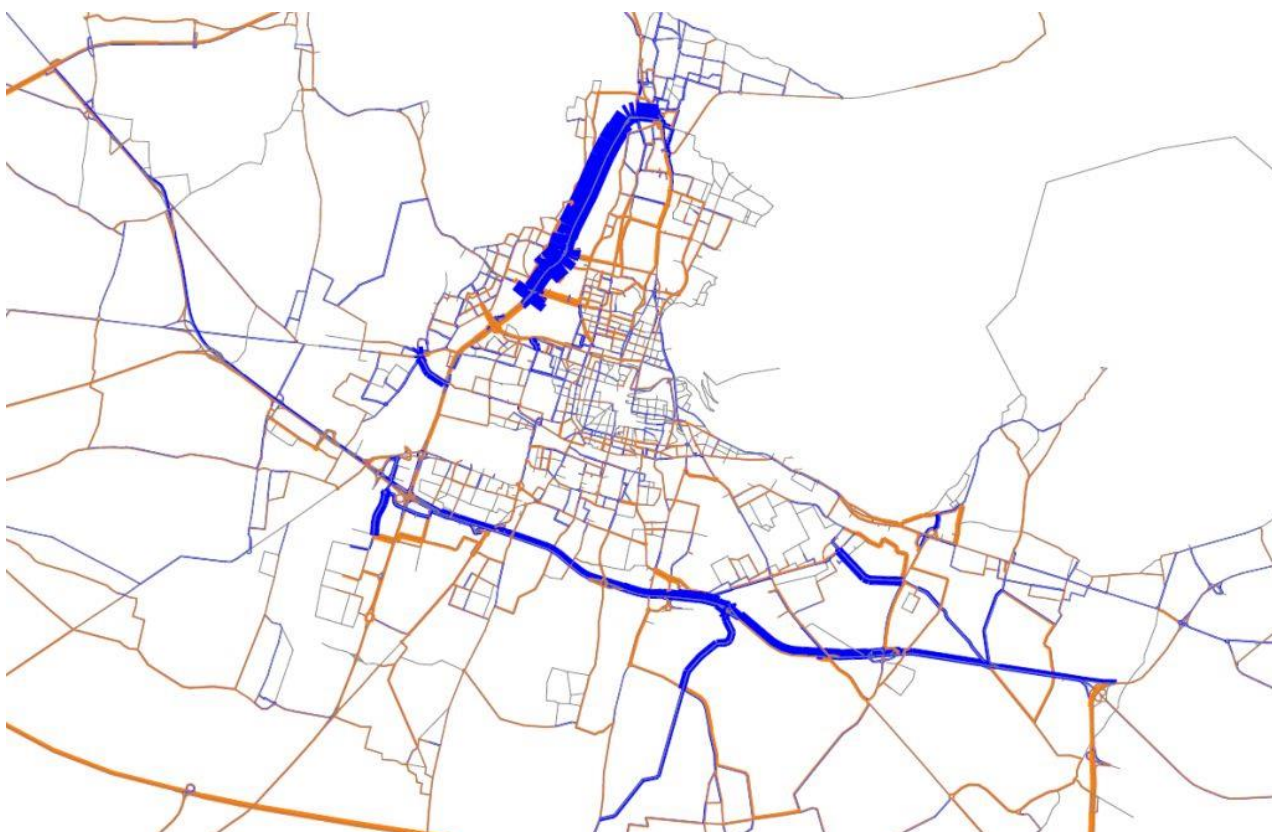


TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI							
	percorrenze offerte		passengeri trasportati	tempi percorr.	volume di traffico	variazione	percorrenze medie	velocità medie
	veic*km	posti*km	pax	pax*h	pax*km	%	km/pax	km/h
Metropolitana M1	548		15.963	2.642	74.017	+218,2%	4,64	28,0
Tram T2						=		
Tram T3						=		
Busvia B4	811		22.601	4.193	71.953	=	3,18	17,2
Resto rete area urb.	1.663		22.550	5.014	105.209	-19,6%	4,67	21,0
SUBTOTALE	3.022		61.114	11.848	251.179	+63,0%	4,11	21,2
Variazione su 2016	-1,8%	=	+55,4%	+48,0%	+63,0%		+4,9%	+10,1%
Ferrovia			21.306	7.834	523.440	+14,4%	24,57	66,8
Bus extraurbano	3.190		27.021	10.926	372.670	-24,9%	13,79	34,1
TOTALE GEN.			109.441	30.608	1.147.289	+3,6%	10,48	37,5
Variazione su 2016	=	=	+17,7%	-8,0%	+3,6%		-12,0%	+12,6%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL

61,3 milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario di riferimento (blu aumento, arancione diminuzione)

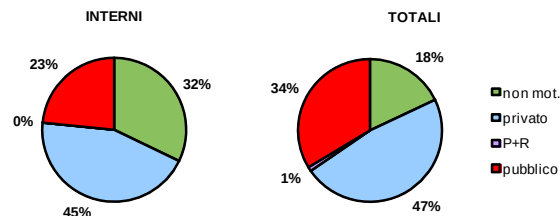


ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario di riferimento per il TPL urbano (verde aumento, rosso diminuzione)

9.5 SCENARIO DI PIANO (10 ANNI)

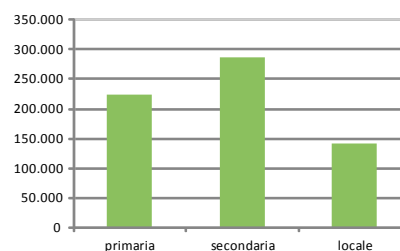
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)				
	interni	entrate	uscite	TOT	var.
non motorizzato	19.076	3.743	731	23.549	+62,5%
privato	26.396	22.157	13.594	62.147	-3,3%
P+R		1.246		1.246	+131,8%
pubblico	13.896	28.620	1.431	43.947	+22,2%
TOTALE	59.368	55.766	15.755	130.889	+13,6%
Variazione su 2016	+8,8%	+20,8%	+8,5%	+13,6%	



TRAFFICO PRIVATO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI				
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	variazione su scenario 2016
	km	vk	vh	km/h	%
primaria	99	223.578	4.079	54,8	-25,6%
secondaria	322	286.386	13.132	21,8	-20,6%
locale	751	142.316	10.868	13,1	+1,5%
TOTALE	1.173	652.280	28.079	23,2	-20,3%
Variazione su 2016	+3,4%	+1,5%	-11,5%	+14,7%	-20,3%



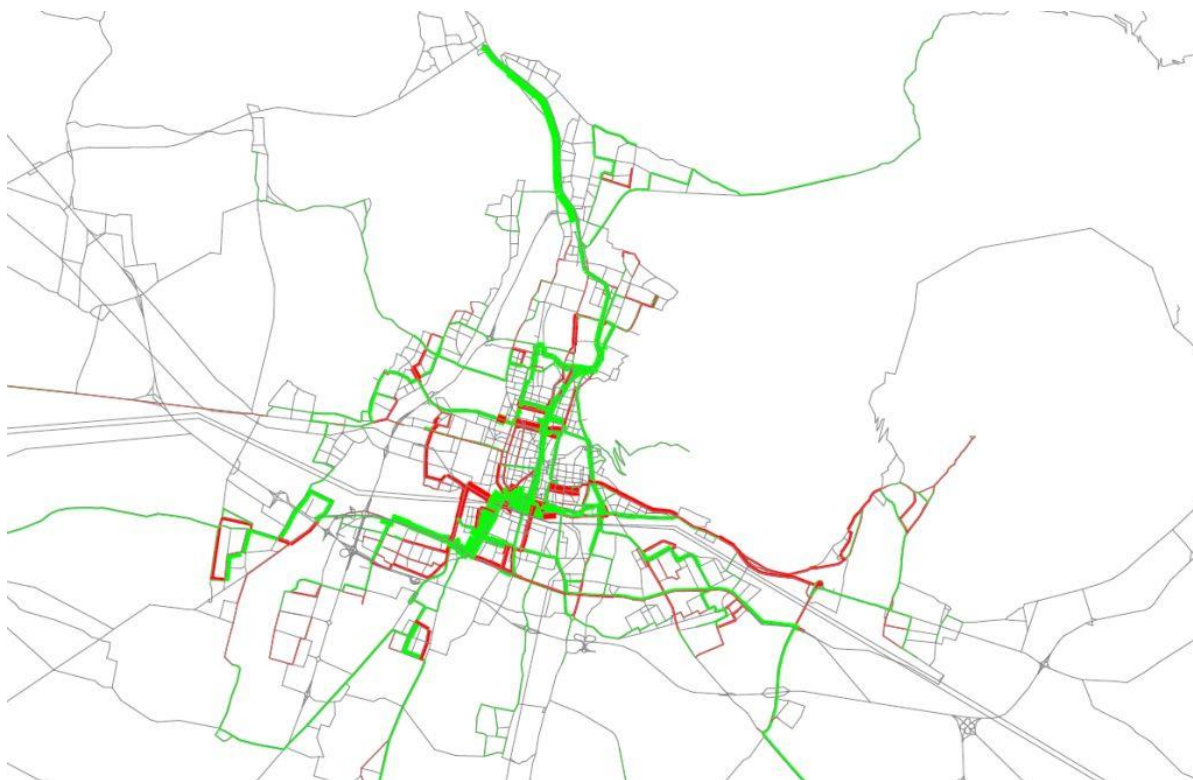
TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					variazione	percorrenze medie	velocità medie
	percorrenze offerte	passenger trasportati	tempi percor.	volumi di traffico				
	veic*km	post*km	pax	pax*h	pax*km	%	km/pax	km/h
Metropolitana M1	513		13.794	2.651	74.300	+219,4%	5,39	28,0
Tram T2	260		11.818	2.154	35.559	=	3,01	16,5
Tram T3						=		
Busvia B4	262		7.168	1.104	18.737	=	2,61	17,0
Resto rete area urb.	1.989		27.260	5.755	118.061	-9,7%	4,33	20,5
SUBTOTALE	3.024	60.040	11.663	246.657	246.657	+60,1%	4,11	21,1
Variazione su 2016	-1,7%	=	+52,7%	+45,7%	+60,1%		+4,9%	+9,9%
Ferrovia			22.486	8.176	543.176	+18,7%	24,16	66,4
Bus extraurbano	3.236		27.468	11.982	395.165	-20,4%	14,39	33,0
TOTALE GEN.			109.994	31.821	1.184.998	+7,0%	10,77	37,2
Variazione su 2016	=	=	+18,3%	-4,4%	+7,0%		-9,6%	+11,9%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL **65,1** milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario di riferimento (blu aumento, arancione diminuzione)

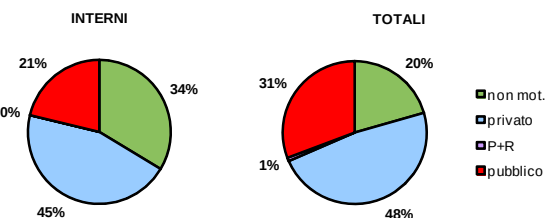


ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario di riferimento per il TPL urbano (verde aumento, rosso diminuzione)

9.6 SCENARIO TRAM PLUS (10 ANNI)

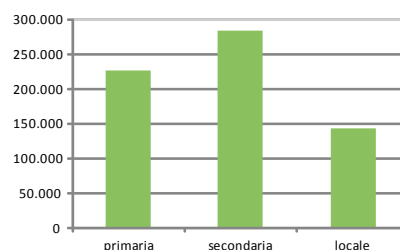
RIPARTIZIONE MODALE

Mezzo di trasporto	SPOSTAMENTI (ora punta mattino)				var.
	interni	entrate	uscite	TOT	
non motorizzato	19.983	5.917	1.032	26.932	+85,8%
privato	26.796	22.541	13.416	62.753	-2,3%
P+R		1.019		1.019	+89,5%
pubblico	12.594	26.296	1.308	40.197	+11,8%
TOTALE	59.372	55.774	15.755	130.901	+13,6%
Variazione su 2016	+8,8%	+20,8%	+8,5%	+13,6%	



TRAFFICO PRIVATO

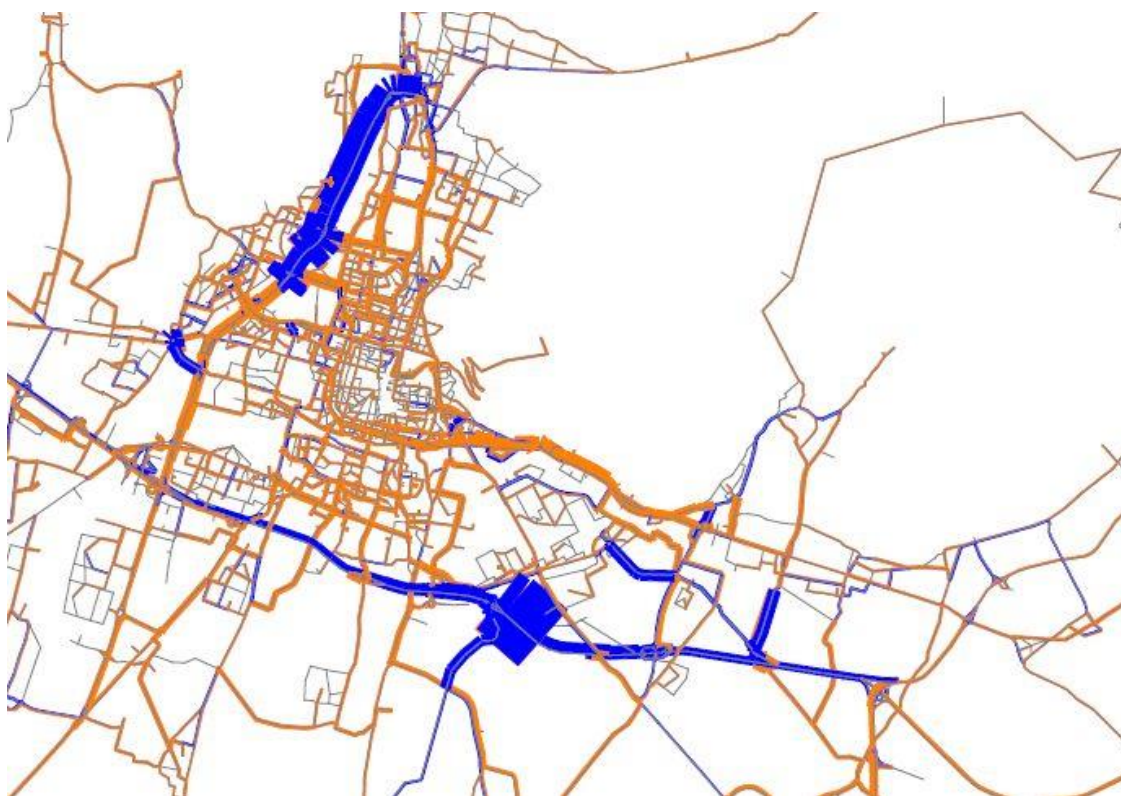
Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI					
	estensione rete stradale	volume di traffico (ora di punta)	tempi di percorrenza (ora di punta)	Velocità medie	volume di traffico in congestione	variazione su scenario 2016
	km	vk	vh	km/h	vk	%
primaria	99	226.240	4.222	53,6	41.430	-25,2%
secondaria	322	284.581	11.313	25,2	29.387	-42,6%
locale	751	143.928	10.663	13,5	13.612	-1,2%
TOTALE	1.172	654.749	26.198	25,0	84.429	-29,8%
Variazione su 2016	+3,3%	+1,9%	-17,5%	+23,4%	-29,8%	



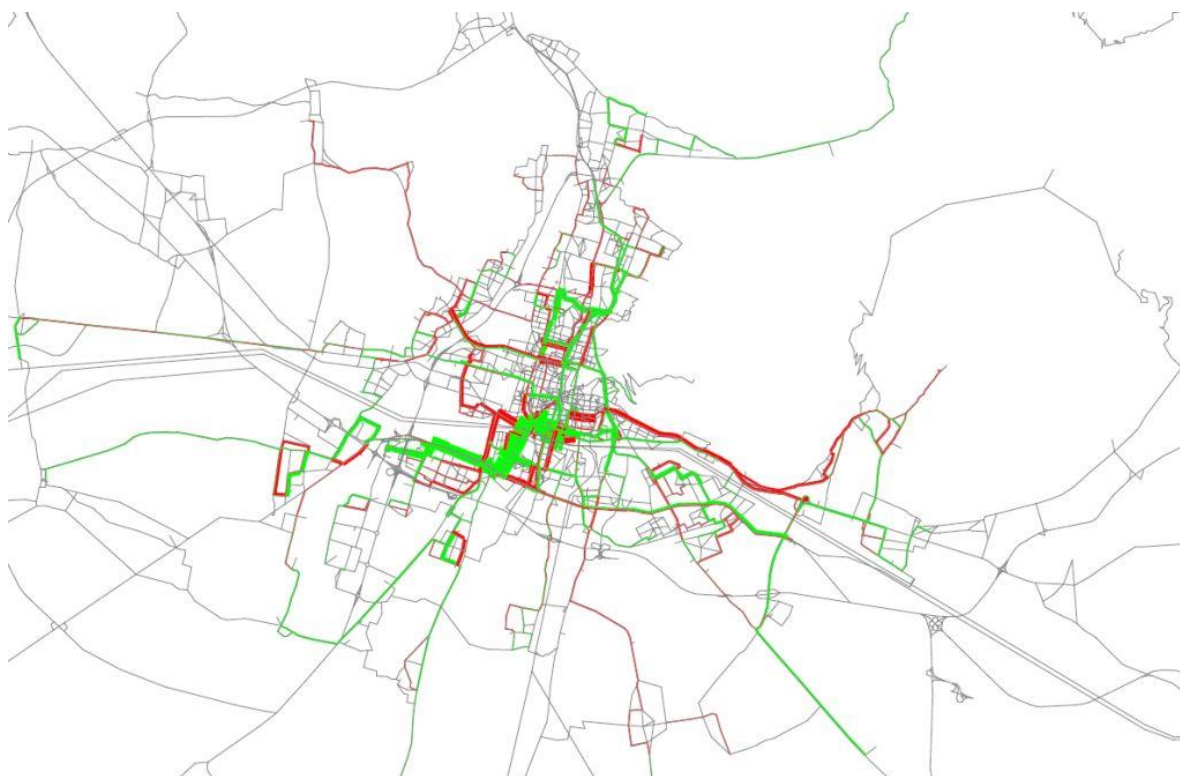
TRASPORTO PUBBLICO

Componente di rete	INDICATORI FUNZIONALI							
	percorrenze offerte		passenger trasportati	tempi percor.	volumi di traffico	variazione	percorrenze medie	velocità medie
	veic*km	post*km	pax	pax*h	pax*km		km/pax	km/h
Metropolitana M1	397		12.262	2.244	62.773	+169,8%	5,12	28,0
Tram T2	311		12.847	2.185	35.022	=	2,73	16,0
Tram T3						=		
Busvia B4	490		9.608	1.541	25.747	=	2,68	16,7
Resto rete area urb.	1.790		20.586	4.478	94.378	-27,9%	4,58	21,1
SUBTOTALE	2.988		55.303	10.447	217.919	+41,4%	3,94	20,9
Variazione su 2016	-2,9%	=	+40,6%	+30,5%	+41,4%		+0,6%	+8,4%
Ferrovia			22.422	8.383	555.611	+21,5%	24,78	66,3
Bus extraurbano	3.241		26.716	11.516	383.132	-22,8%	14,34	33,3
TOTALE GEN.			104.441	30.347	1.156.662	+4,4%	11,07	38,1
Variazione su 2016	=	=	+12,3%	-8,8%	+4,4%		-7,0%	+14,5%

TOTALE PASSEGGERI/ANNO SU TPL **59,4** milioni di pax/anno



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PRIVATO – variazioni sullo scenario di riferimento (blu aumento, arancione diminuzione)



ASSEGNAZIONE TRASPORTO PUBBLICO URBANO – variazioni sullo scenario di riferimento per il TPL urbano (verde aumento, rosso diminuzione)

10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Ben Akiva M., Lerman S. [1985]; *Discrete choice analysis*; MIT Press, Cambridge (Mass.).

Cantarella G.E. (a cura di) [2001]; *Introduzione alla tecnica dei trasporti e del traffico con elementi di economia dei trasporti*; UTET, Torino.

Cascetta E. [1990]; *Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*; UTET, Torino.

Cascetta E. [2006]; *Modelli per i sistemi di trasporto: teoria e applicazioni*; UTET, Torino.

Drufuca A. [2007]; *MiBici: I costi e i benefici della rete*, Milano.

Ortúzar J. de D., Willumsen L.G. [1990]; *Modelling Transport*; Wiley, Chichester.

Ricci A. [2012]; *Studio della scelta del percorso da parte dei ciclisti*; tesi di laurea, facoltà di ingegneria, Università di Bologna.

Vuchic V.R. [2005]; *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*; Wiley, Chichester.

11 PRO MEMORIA FILES STIMA MATRICI

File Access	Contenuto
RipMod.mdb	Test ripartizione modale su matrice contratta (82 x 82 zone)
StimaOD2011	Procedura di stima della matrice O/D 2011 distinta per mezzo di trasporto (HW, PT, NM) e motivo (S, L, A)
Stima OD2016	Procedura di stima della matrice O/D 2016 distinta per motivo (S, L, A) in base all'andamento demografico del periodo
Modello GEN	Modello di generazione dei flussi
StimaOD2026	Procedura di stima delle matrici O/D 2021, 2026 e 2036 distinte per motivo (S, L, A) in base all'andamento demografico (zone esterne) e alle previsioni del PGT (zone interne)