



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
ASSESSORE
DIRIGENTE
COORDINATORE

Dott. Emilio Del Bono
Avv. Federico Manzoni
Ing. Stefano Sbardella
Ing. Andrea Debernardi



ADOZIONE
APPROVAZIONE

Deliberazione G.C. n. 761 del 12 dicembre 2017
Deliberazione C.C. n. 7 del 19 febbraio 2018

ALL. H **INDICATORI AMBIENTALI**

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 Sutera

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

Ing. Silvia Docchio, Dott. Daniele Gussago

SOMMARIO

SOMMARIO	3
1 PREMESSA	4
1.1 Indicatori e modello di traffico.....	5
1.2 Scenari a confronto.....	6
2 INDICATORI PER LA MOBILITÀ	7
2.1 Ripartizione modale	7
2.2 Tasso motorizzazione autovetture	10
2.3 Tempi e modi di spostamento nelle ore di punta.....	11
2.4 Congestione della rete stradale.....	12
2.5 Popolazione residente direttamente servita da servizi di forza del TPL	14
2.6 Passeggeri trasporto pubblico.....	19
2.7 Offerta trasporto pubblico	20
3 INDICATORI PER IL CONSUMO ENERGETICO	22
3.1 Consumo energetico.....	22
4 INDICATORI PER IL SUOLO	25
4.1 Consumo di suolo.....	25
5 INDICATORI PER L'ARIA.....	28
5.1 Cambiamenti climatici.....	28
5.2 Inquinamento atmosferico	28
6 INDICATORI PER IL RUMORE.....	31
6.1 Inquinamento acustico	31
7 INDICATORI PER LA SICUREZZA.....	33
7.1 Esposizione al rischio incidentale (con particolare riferimento agli utenti deboli)	33
8 INDICATORI PER LA QUALITÀ DELLA VITA	35
8.1 Disturbo visuale al paesaggio naturale e urbano	35
9 RIEPILOGO	37

1 PREMESSA

Il PUMS all'interno del processo di VAS ha definito una serie di indicatori per la valutazione degli impatti ambientali derivanti dalle proprie iniziative e anche per il successivo monitoraggio del piano.

I capitoli successivi si occuperanno di descrivere gli indicatori, la metodologia adottata per il loro calcolo e la relativa comparazione tra gli scenari.

Gli indicatori selezionati sono connessi agli obiettivi strategici del PUMS:

1. una **città più accessibile**, nella quale le esigenze di mobilità dei cittadini vengano soddisfatte con elevati standard di qualità e comfort di viaggio, garantendo altresì piena accessibilità a tutte le componenti di traffico, ivi inclusi gli utenti vulnerabili (tra cui in generale la popolazione anziana, prevista in forte aumento nei prossimi due decenni);
2. una **città più efficiente**, capace di impiegare le risorse disponibili (finanziarie, energetiche, territoriali) in modo commisurato ai benefici ottenuti;
3. una **città più salubre**, con un minore inquinamento atmosferico e acustico;
4. una **città più sicura**, in cui nessun cittadino sia più esposto al rischio di morte o di lesioni gravi a seguito di un incidente stradale (secondo la “visione zero” già applicata nel Nord Europa);
5. una **città più bella**, caratterizzata da spazi pubblici vivibili, e da una generale qualificazione del patrimonio paesaggistico e storico-monumentale.

Per la determinazione degli indicatori si è deciso di concentrare maggiormente l'attenzione sugli impatti che possono derivare dalle azioni di governo della mobilità a livello locale, e che possono essere identificati e quantificati già nel corso della redazione del piano. Gli indicatori proposti sono suddivisi in 7 macrocategorie: mobilità, consumi energetici, suolo, aria, rumore, sicurezza, qualità della vita. In particolare sono:

- Mobilità
 - Ripartizione modale
 - Tasso motorizzazione autovetture
 - Tempi e modi di spostamento nelle ore di punta
 - Congestione della rete stradale
 - Popolazione residente direttamente servita da servizi di forza del TPL
 - Passeggeri trasporto pubblico
 - Offerta trasporto pubblico
- Consumi energetici
 - Consumi energetici
- Suolo
 - Consumo di suolo
- Aria
 - Cambiamenti climatici
 - Inquinamento atmosferico

- Rumore
 - Inquinamento acustico
- Sicurezza
 - Esposizione al rischio incidentale (con particolare riferimento agli utenti deboli)
- Qualità della vita
 - Disturbo visuale al paesaggio naturale e urbano

1.1 INDICATORI E MODELLO DI TRAFFICO

La maggior parte degli indicatori sono stati dedotti dal modello di simulazione multimodale predisposto appositamente per la stesura del PUMS¹.

Il modello è basato sul software CUBE Voyager sia per le simulazioni del trasporto pubblico sia per le simulazioni del trasporto privato. Al software CUBE sono stati affiancati specifici moduli di calcolo basati su Excel, Access e QlikView.

L'approccio modellistico risponde essenzialmente alla domanda "Cosa succede se ...". È importante sottolineare che un modello di simulazione non fornisce la risposta ottimale ma semplicemente valuta le ipotesi analizzate. La scelta dello scenario "ottimo" viene quindi effettuata a posteriori sulla base del comportamento degli scenari analizzati.

Come avviene tipicamente nell'utilizzo dei modelli di simulazione è stata inizialmente implementata una fase di calibrazione dei modelli pubblico e privato basati su uno scenario al 2011, quindi ante realizzazione della metropolitana. Successivamente è stato implementato un modulo di calcolo del riparto modale suddiviso nei modi pubblico, privato e non motorizzato che è stato validato creando lo scenario 2016, con l'introduzione della metropolitana (avvenuta nel 2013), e quindi già noto. Questo ha reso possibile verificare il comportamento del modulo di riparto modale con l'introduzione di un'importante infrastruttura utilizzando dati effettivi e noti. Una volta ottenuto un comportamento simulato molto vicino al comportamento registrato nelle realtà del 2011 e del 2016 si è passati alla definizione di scenari di progetto che differiscono tra loro per la tecnologia adottata per l'implementazione delle linee di forza (scenari B-busvie, T-tramvie e M-metropolitana). Per tenere conto dell'evoluzione della domanda di traffico proiettata a 10 anni sono state fatte analisi basate sull'evoluzione prevista della popolazione, sulla realizzazione del PGT, sulla realizzazione di alcune importanti opere viabilistiche di ambito provinciale e regionale e su una rivisitazione generale del trasporto pubblico su ferro previsto a scala regionale. Tutte queste opere sono state considerate "invarianti" nel senso che si ipotizza verranno comunque realizzate entro l'orizzonte temporale del 2026-2030 e vengono quindi ereditate da tutti gli scenari di progetto. Questo ha consentito la definizione di un ulteriore scenario, chiamato scenario di Riferimento² (ScenarioRIF), che consente di valutare cosa potrebbe succedere se non fosse presa in considerazione alcuna delle opzioni analizzate. Si tratta quindi di uno scenario "Do nothing" previsto a 10 anni che ha lo scopo di mettere in evidenza eventuali criticità che potrebbero emergere in futuro. L'analisi comparata di questi scenari ha permesso la definizione di uno Scenario di Piano³ (ScenarioP) che raccoglie le parti migliori dei vari scenari B, T e M creando una sintesi efficace. La fascia oraria considerata nel modello di simulazione è la classica ora di punta mattutina 7.30-8.30 valutata in città.

¹ Si veda l'allegato I

² Si veda l'allegato J

³ Si veda la relazione finale

1.2 SCENARI A CONFRONTO

Nel processo di VAS la comparazione viene effettuata considerando tre scenari:

- Lo scenario attuale 2016
- Lo scenario di riferimento, a 10 anni
- Lo scenario di piano P, a 10 anni

Questa scelta è stata fatta perché il PUMS ha già operato una valutazione e una sintesi degli scenari alternativi, discussi con gli stakeholder, durante il suo corso. È quindi utile una comparazione che evidenzi la situazione degli indicatori considerando lo stato attuale della mobilità e delle ricadute sul sistema ambiente (2016), della loro evoluzione in caso della mancanza di un piano a medio termine (RIF a 10 anni), e del miglioramento apportato dalle scelte di piano che il PUMS vuole proporre (P a 10 anni).

Gli indicatori sono espressi sia in termini assoluti sia in termini relativi facendo un confronto tra lo scenario attuale al 2016 e cosa è stimato nel caso del Riferimento e del Piano. È quindi possibile confrontare in modo rapido cosa succederebbe in caso di nessun intervento e in caso di realizzazione dello scenario di Piano.

2 INDICATORI PER LA MOBILITÀ

Gli indicatori specifici per il traffico privato sono tutti suddivisi per una macro classificazione della rete stradale comprendente Brescia e i comuni della prima cintura:

- Primaria: il sistema delle tangenziali e delle superstrade provinciali
- Secondaria: il sistema radiale di accesso e interno a Brescia e il ring
- Locale: il sistema distributivo finale dei quartieri e il centro storico

Gli indicatori del traffico pubblico sono suddivisi per i vari modi di trasporto definiti nel modello di simulazione:

- Metropolitana
- Tram
- Busvia (linee di forza)
- Rete urbana di superficie basata su bus
- Ferrovie
- Bus Extraurbani

2.1 RIPARTIZIONE MODALE

2.1.1 Descrizione dell'indicatore

L'indicatore è correlato agli obiettivi strategici "per una città più accessibile" e "per una città più efficiente". Esprime il totale degli spostamenti in ora di punta, suddivisi per modi (trasporto pubblico, trasporto privato e non motorizzato) e per direzione rispetto a Brescia. Informazioni essenziali per la comprensione della struttura della domanda di mobilità (accessibilità) e la tipologia dei mezzi utilizzati per soddisfarla (efficienza).

Sono stati valutati gli spostamenti generati e attratti all'interno di Brescia (interni), gli spostamenti generati esternamente ed entranti a Brescia (entrate) e quelli generati da Brescia e diretti all'esterno (uscite).

Ai modi privato, pubblico e non motorizzato, grazie alla struttura del modello, è stato possibile identificare anche il modo Park&Ride particolarmente interessante data la presenza, attuale e futura, di appositi parcheggi asserviti alle principali linee di trasporto pubblico. Questo modo è caratterizzato da una parte di viaggio effettuata in auto e una parte effettuata su mezzo pubblico contrariamente ai modi privato (spostamento interamente in auto) e pubblico (spostamento interamente su TPL). Data la sua peculiarità e importanza è stato quindi fatto uno sforzo particolare per la stima di questa componente.

L'indicatore esprime la domanda di traffico complessiva nell'ora di punta del mattino. Nello scenario dello stato attuale 2016 i valori derivano da analisi svolte tramite i database ISTAT del censimento 2011 aggiornati mediante specifici rilievi di traffico. Negli scenari di riferimento e di progetto la domanda di traffico risulta modificata dal tipo e dall'importanza degli interventi. Un nuovo assetto della rete di trasporto, sia pubblica sia privata, e che rappresenta l'offerta, è infatti in grado di modificare la domanda che si adatta al nuovo sistema.

2.1.2 Metodologia di calcolo

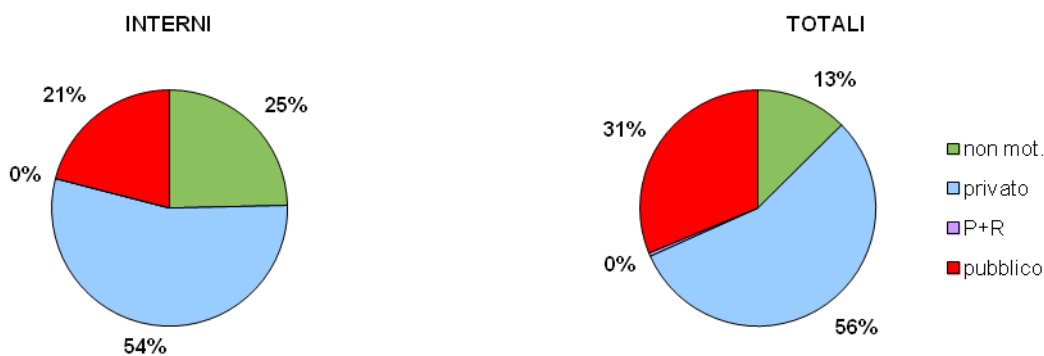
Grazie al modulo di riparto modale basato su alcuni parametri di costo generalizzato estratti dai moduli Cube, su ipotesi di gestione della sosta e sulla struttura generale della rete TPL è stato possibile stimare le componenti del riparto modale per ogni scenario creando quindi delle matrici Origine-Destinazione dedicate in modo da ottenere una maggiore verosimiglianza delle simulazioni.

2.1.3 Risultati

L'analisi dei risultati evidenzia il trend di aumento del traffico privato, la contrazione del trasporto pubblico e la stasi del non motorizzato nel caso dello scenario di Riferimento a 10 anni, cioè in assenza di interventi. Lo scenario di Piano proposto è invece in grado di invertire decisamente il trend a favore del trasporto pubblico e del non motorizzato.

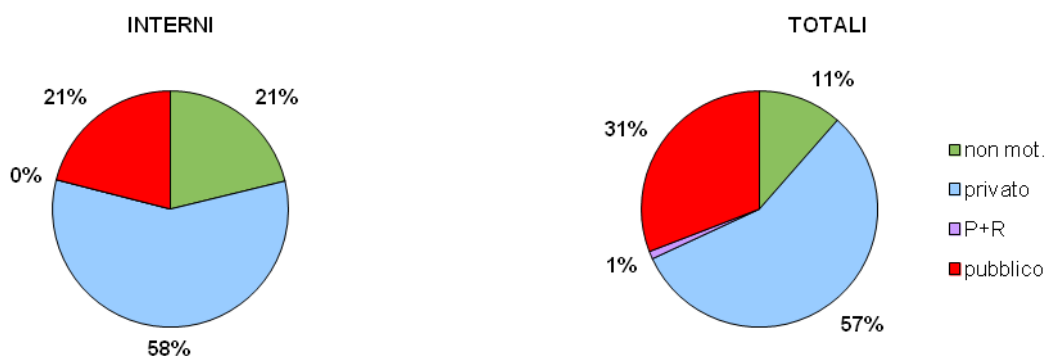
Scenario 2016

Mezzo di trasporto		SPOSTAMENTI (ora punta mattina)			TOT
		interni	entrate	uscite	
■	non motorizzato	13,445	740	309	14,494
■	privato	29,677	21,615	12,943	64,235
■	P+R		538		538
■	pubblico	11,441	23,260	1,269	35,970
TOTALE		54,564	46,152	14,521	115,236

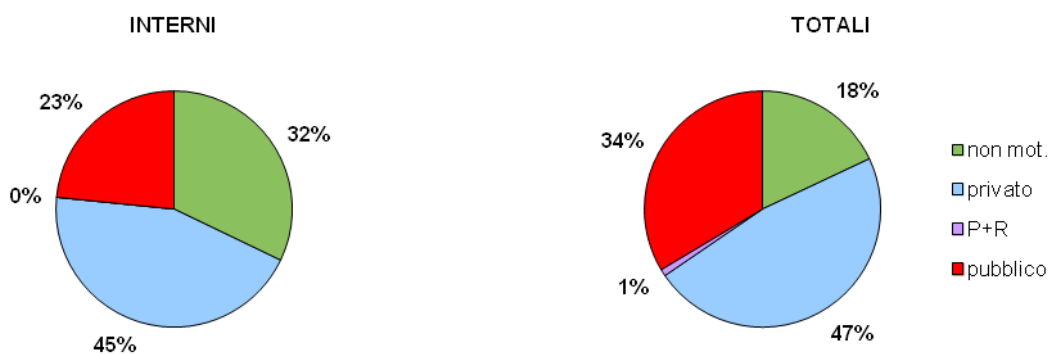


Scenario di Riferimento a 10 anni

Mezzo di trasporto		SPOSTAMENTI (ora punta mattino)			TOT	var. % 2016
		interni	entrate	uscite		
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 % 2016		+3.2%	+19.7%	+10.9%	+10.7%	


Scenario di Piano a 10 anni

Mezzo di trasporto		SPOSTAMENTI (ora punta mattino)			TOT	var. % 2016
		interni	entrate	uscite		
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 % 2016		+8.8%	+20.8%	+8.5%	+13.6%	



2.2 TASSO MOTORIZZAZIONE AUTOVETTURE

2.2.1 Descrizione dell'indicatore

Il tasso di motorizzazione autovetture (n di autoveicoli per 100 abitanti) è un indicatore che descrive in sintesi il rapporto tra il sistema della mobilità individuale e il sistema residenziale, infrastrutturale e culturale. Ad esempio quanto meno una città sarà densa quanto più sarà difficile servire con sistemi collettivi efficienti e capillari il territorio, ciò si rifletterà nell'uso più elevato dell'auto per gli spostamenti quotidiani. A questo proposito è messo in correlazione con gli obiettivi 1 e 2 del PUMS.

Il tasso di motorizzazione è logicamente connesso alle esternalità tipiche della massiccia presenza dei veicoli motorizzati privati sul territorio quali congestione, inquinamento e occupazione di spazio.

Valori molto elevati di tasso di motorizzazione o la sua crescita continua, se dapprima erano considerati spie del benessere economico raggiunto, oggi sono ritenuti fattori insostenibili poiché si scontrano con evidenti limiti sanitari, ambientali e territoriali.

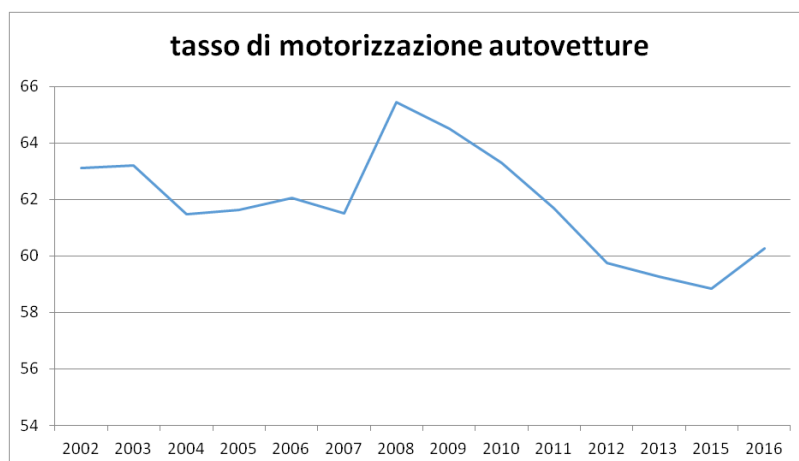
Il tasso di motorizzazione potrebbe quindi essere impiegato come uno degli indicatori di sostenibilità.

Tuttavia, il tasso di motorizzazione, come può risultare intuibile non è determinato solamente da fattori che sono in relazione alle politiche di mobilità e urbanistiche. Infatti, la scelta dell'acquisto di un'auto è determinata anche da altre dinamiche che non sono direttamente influenzabili dalle amministrazioni. Ad esempio: il costo dei carburanti, pedaggi autostradali, il costo stesso delle autovetture, le congiunture economiche su ampia scala ecc. In particolare anche la qualità del parco veicolare può incidere sulle scelte all'acquisto, ad esempio le auto elettriche, la cui produzione e immissione segue però dinamiche di mercato poco orientabili. Di fatto la serie storica 2002-2016 appare molto discontinua, in particolare si nota un rapido calo dal 2008, anno di inizio della crisi economica in Italia.

Il PUMS ha quindi scelto di proiettare l'ultimo dato rilevato (al 2016) a 10 anni, attuando una proiezione cautelativa che associa all'aumento di popolazione un aumento del numero di autovetture proporzionale, mantenendo così invariato il tasso di motorizzazione.

2.2.2 Metodologia di calcolo

$(N \text{ di autoveicoli} / n \text{ abitanti}) * 100$. Come dato di base si è utilizzata la serie storica 2002-2016 del numero di autovetture nel comune di Brescia (fonte ACI) e dati di popolazione forniti dall'Ufficio Statistica del Comune di Brescia.



2.2.3 Risultati

	Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
Tasso di motorizzazione	60,3	60,3	60,3

Come anticipato, il PUMS sceglie cautelativamente di mantenere invariato il tasso di motorizzazione a partire da valori attuali (2016).

2.3 TEMPI E MODI DI SPOSTAMENTO NELLE ORE DI PUNTA

2.3.1 Descrizione dell'indicatore

L'indicatore ed è correlato agli obiettivi strategici "per una città più accessibile" e "per una città più efficiente". Esprime la quantità di tempo spesa in viaggio dai veicoli per ogni tipologia stradale, nel caso del trasporto privato, e dai passeggeri del TPL per ogni modo nel caso del trasporto pubblico nella fascia oraria 7.30-8.30. Consente quindi di rappresentare l'effetto combinato del flusso veicolare e del flusso di passeggeri con i tempi di percorrenza del singolo tratto stradale. Rappresenta una stima del tempo speso per gli spostamenti sui vari tipi di strade o sui diversi modi del TPL.

2.3.2 Metodologia di calcolo

Per il traffico privato è calcolato attraverso la sommatoria delle moltiplicazioni tra il tempo di percorrenza di ogni arco modellizzato per il volume orario di traffico calcolato dal modello di assegnazione. È espresso in VeicoliOra.

$$\sum_{\text{archi trasporto privato}} \text{Veicoli}_{\text{arco}} \cdot \text{TempoPercorrenza}_{\text{arco}}$$

Per il traffico pubblico l'indicatore è ottenuto dalla somma dei prodotti, per ogni arco percorso da almeno una linea TPL, del flusso dei passeggeri sullo specifico modo per il tempo di percorrenza dell'arco. È espresso in Pax*h.

$$\sum_{\text{archi TPL per modo}} \text{Passeggeri}_{\text{TP}L_{\text{arcoT}PL}} \cdot \text{TempoPercorrenza}_{\text{TP}L_{\text{arcoT}PL}}$$

2.3.3 Risultati

Componente di rete		tempi di percorrenza trasporto privato (ora di punta)				
		2016	Riferimento 10 anni	Piano 10 anni	variazione RIF su 2016	variazione Piano su 2016
		vh	vh	vh	%	%
primaria	6,269	6,069	4,079	-3.2%	-34.9%	
secondaria	13,803	18,416	13,132	+33.4%	-4.9%	
locale	11,668	14,983	10,868	+28.4%	-6.9%	
TOTALE	31,739	39,468	28,079	+24.4%	-11.5%	

Componente di rete		tempi di percorrenza trasporto pubblico (ora di punta)				
		2016	Riferimento 10 anni	Piano 10 anni	variazione RIF su 2016	variazione Piano su 2016
		pax*h	pax*h	pax*h	%	%
Metropolitana	832	2,074	2,651	+149.3%	+218.6%	
Tram			2,154	=	=	
Busvia di forza			1,104	=	=	
Resto rete area urbana	7,172	8,129	5,755	+13.3%	-19.8%	
TOTALE	8,004	10,203	11,663	+27.5%	+45.7%	

Dal confronto risulta un significativo trasferimento di tempi di percorrenza dal modo privato al modo pubblico con l'introduzione dello scenario di Piano. Nello scenario di Riferimento a 10 anni, in assenza di interventi, si assiste a un notevole aumento del tempo in auto e solo a un modesto aumento del tempo su linee TPL.

2.4 CONGESTIONE DELLA RETE STRADALE

2.4.1 Descrizione dell'indicatore

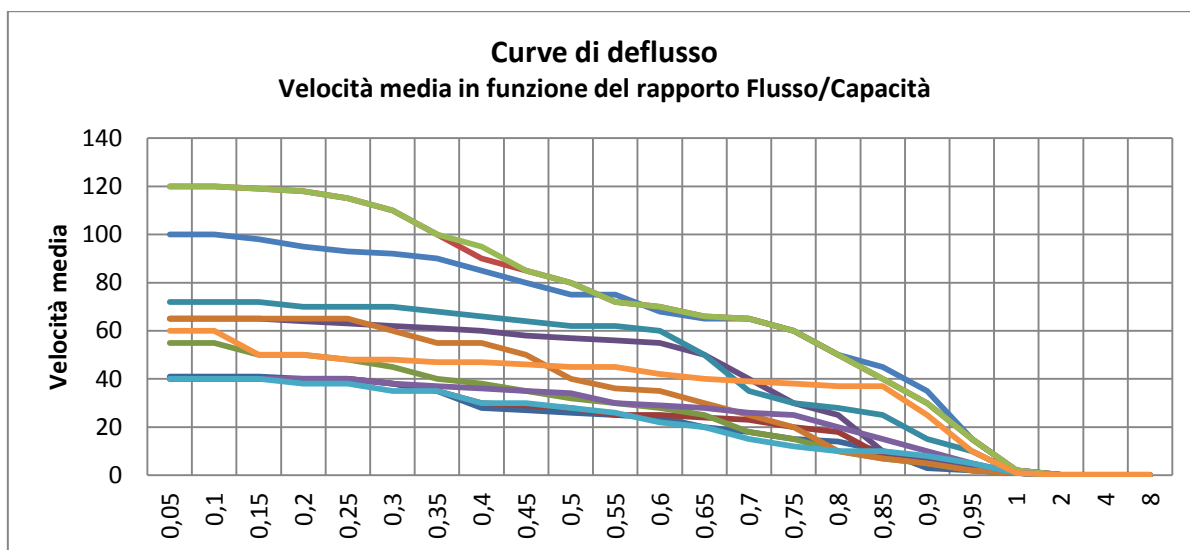
L'indicatore è correlato agli obiettivi strategici "per una città più accessibile" e "per una città più efficiente". Rappresenta un fattore chiave per la valutazione del comportamento dell'efficienza di una rete stradale attraverso la stima della sua congestione. Non necessariamente alti valori di traffico implicano congestione. È il rapporto tra la capacità della rete e il traffico che vi insiste che può fornire indicazioni su uno dei fattori più critici percepiti dagli utenti della rete stradale.

2.4.2 Metodologia di calcolo

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.



Per la definizione di traffico in congestione è stato scelto un rapporto Flusso/Capacità superiore a 0.8.

Nel calcolo del volume di traffico in congestione sono stati selezionati solo gli archi nei quali il rapporto Flusso/Capacità risulta ≥ 0.8 . Esprime il grado di congestione per ogni tipologia stradale. Espresso in VeicoliKm in un'ora.

$$\sum_{\text{archi con } \frac{F}{C} \geq 0.8} Veicoli_{arco} \cdot Lunghezza_{arco}$$

2.4.3 Risultati

Componente di rete		volume di traffico in congestione				
		2016	Riferimento 10 anni	Piano 10 anni	variazione RIF su 2016	variazione Piano su 2016
		vkm	vkm	vkm	%	%
primaria	55,388	52,175	41,227	-5.8%	-25.6%	
secondaria	51,180	70,315	40,653	+37.4%	-20.6%	
locale	13,775	20,233	13,975	+46.9%	+1.5%	
TOTALE	120,343	142,723	95,855	+18.6%	-20.3%	

Dal confronto risulta evidente che in assenza di interventi la congestione sulla rete stradale è destinata a un notevole incremento in particolare sulle componenti della rete secondaria e locale. I miglioramenti sulla rete primaria (tangenziali) sono da attribuire all'aumento delle corsie in Tangenziale Sud e alla riqualificazione della Tangenziale Montelungo.

2.5 POPOLAZIONE RESIDENTE DIRETTAMENTE SERVITA DA SERVIZI DI FORZA DEL TPL

2.5.1 Descrizione dell'indicatore

L'indicatore vuole descrivere la qualità del servizio TPL per i residenti del Comune di Brescia in relazione alle linee di forza calcolando la quantità di popolazione residente servita. Quest'indicatore descrive quindi quanta popolazione residente può avere accesso a quella parte di rete di trasporto pubblico che per definizione ha caratteristiche elevate di confort e qualità (obiettivo 1 del PUMS).

La metodologia di calcolo si basa su determinate scelte:

- Si ammette una distanza massima di 450m dalla fermata per il servizio di metropolitana, che in generale risulta più attrattivo, mentre si è scelto di essere più cautelativi per quanto riguarda gli altri sistemi di trasporto (busvie e tranvie) assumendo una distanza massima di 350m dall'intera linea.
- La scelta di calcolare il buffer considerando l'intera linea per busvie e tranvie (e non quindi considerando le singole fermate) riflette l'impostazione pianificatoria di non superare mai tra una fermata e l'altra una distanza pari al doppio di 350m. Risulta quindi del tutto accettabile tale approssimazione.
- Il calcolo dei valori dell'indicatore per il 2016 si è basato sulla popolazione residente al 2016 per area censuaria così come determinate dall'Ufficio statistica del Comune di Brescia. La popolazione al 2026 (utilizzata per il calcolo dell'indicatore dello scenario di riferimento e di quello di piano) invece, è stata determinata, sommando al dato di popolazione 2016 per area censuaria la previsione di nuove realizzazioni residenziali al 2030, così come definito dall'Ufficio Urbanistica del Comune di Brescia (applicando alla stima di realizzazione delle aree residenziali un coefficiente di 50mq/abitante derivate da Aree di Trasformazione, Piano dei Servizi, Piano delle Regole e Piani Attuativi Vigenti). Si tenga presente che la metodologia di calcolo, basata sull'assegnazione del numero di residenti associati alle sezioni censuarie intersecate dal buffer definito per ciascuna linea, può dare adito a sovrastime in relazione al fatto che anche qualora la porzione intersecata sia piccola la quantità di residenti considerata è pari a quella che insiste sul totale dell'area.

- Le tabelle con i risultati riportano due totali di tipo differente: il primo è calcolato sommando algebricamente il contributo in popolazione residente di ogni singola linea di forza considerata; il secondo, è calcolato considerando il contributo dell'intera rete nel suo complesso, non ammettendo sovrapposizioni. Ad esempio, se su una sezione censuaria che conta 50 residenti insistono tre linee di forza, il primo totale sarà pari a 150, mentre il secondo sarà pari a 50.

2.5.2 Metodologia di calcolo

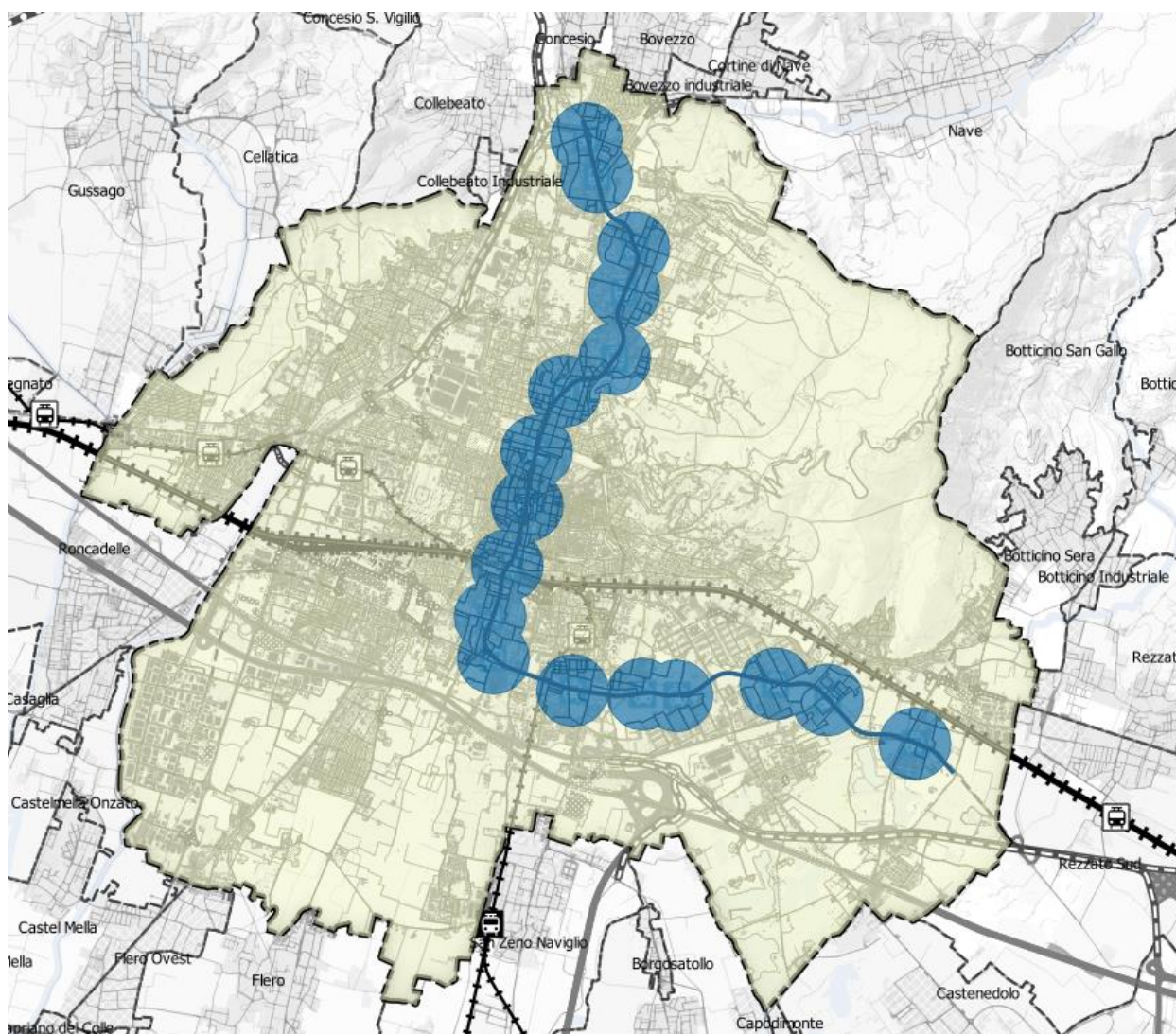
Analisi condotta attraverso l'intersezione delle aree con distanza in linea d'aria massima di 450m da ogni fermata per quanto riguarda il servizio di metropolitana e di 350m da ogni linea per quanto riguarda busvie e tramvie calcolate attraverso un buffer GIS e intersecate con i dati di popolazione desunti dalle sezioni censuarie cui sono stati applicati i dati di popolazione al 2016 e al 2026.

Lo strumento utilizzato per il calcolo dell'indicatore è il GIS (Qgis), il dato di popolazione 2016 è stato fornito dall'Ufficio statistica del comune, il dato di popolazione 2026 è stato calcolato sommando il dato 2016 con il calcolo dei residenti eseguito su ciascuna porzione di area residenziale riconducibile alle previsioni del PGT (50mq/ab) secondo dati forniti dall'Ufficio Urbanistica del comune, le basi cartografiche sono elaborazioni di Brescia Mobilità.

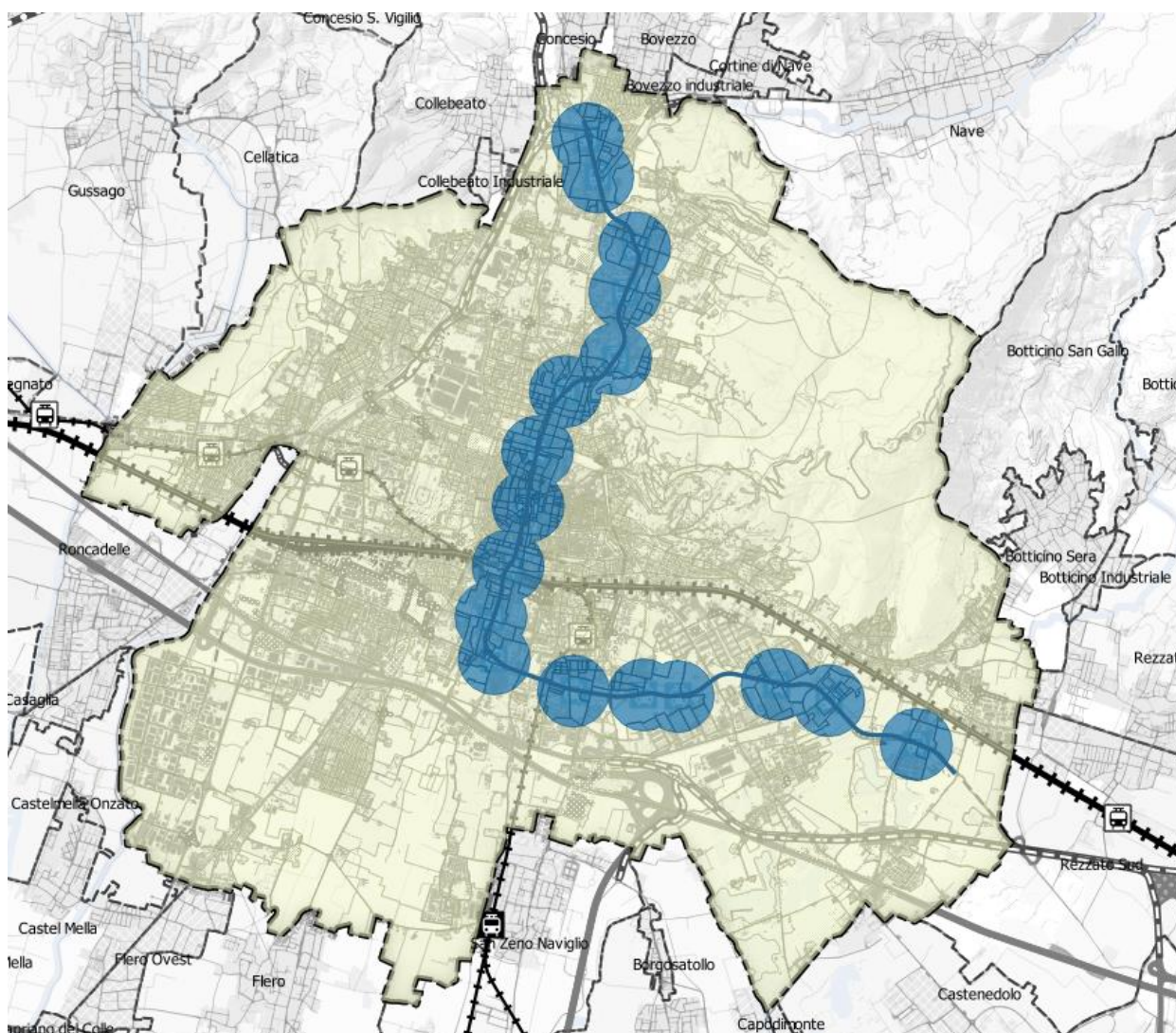
L'indicatore è espresso in abitanti [ab].

2.5.3 Risultati

Scenario 2016				
	450m dalla fermata	350m dalla linea		
Linee di forza	Metro	Busvia	Tramvia	Totale
M1	65.955			
Totale 1	65.955			65.955
Totale 2	65.955			65.955



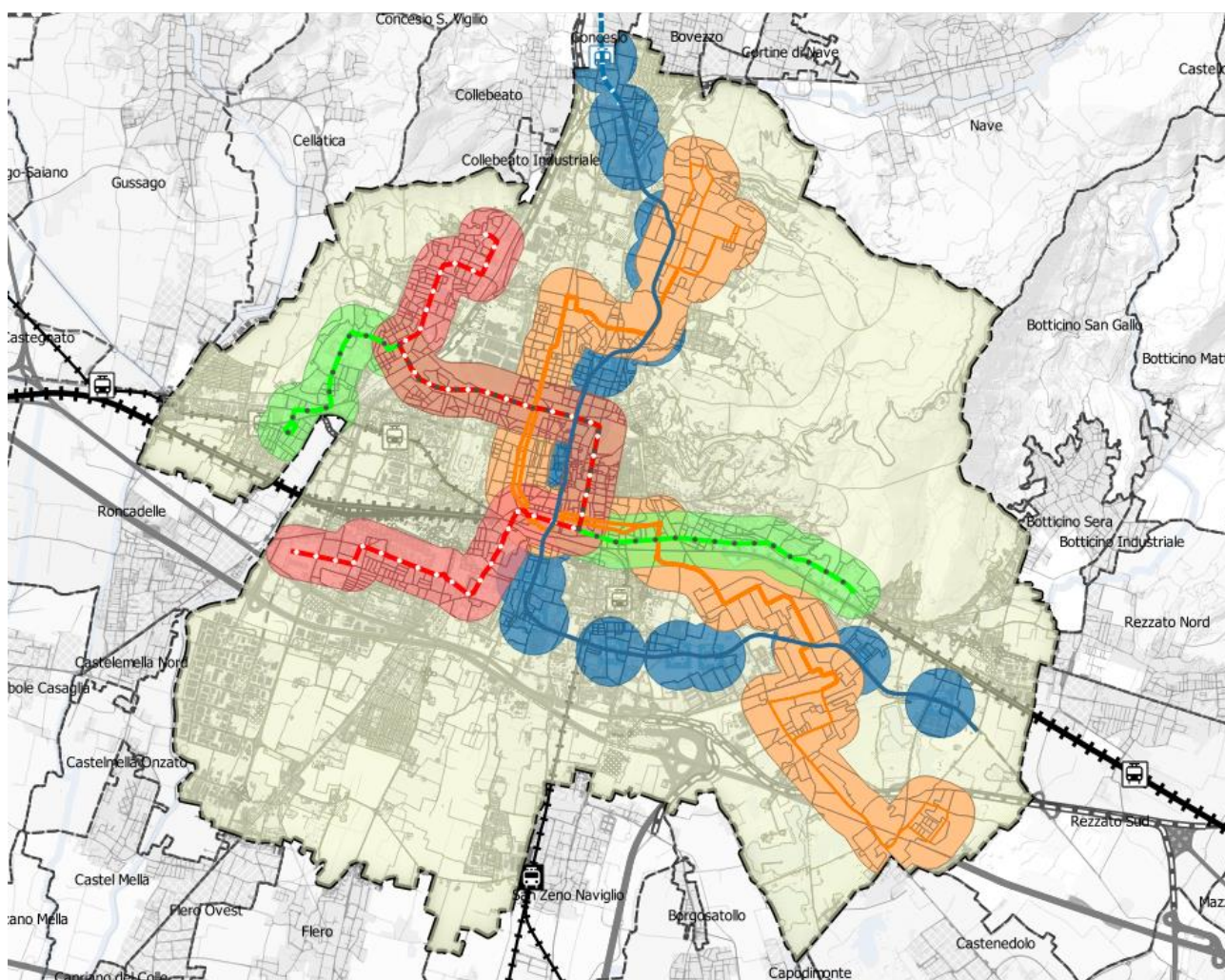
Scenario RIF a 10 anni				
	450m dalla fermata	350m dalla linea		
Linee di forza	Metro	Busvia	Tramvia	Totale
M1	69.410			
Totale 1	69.410			69.410
Totale 2	69.410			69.410



L'incremento di popolazione servita dalla linea di metropolitana (unica linea di forza presente nello scenario di riferimento a 10 anni) è dato esclusivamente dall'aumento di popolazione previsto dal PGT.

Si consideri che gli abitanti in più raggiunti, 3.455, sono circa il 40% del totale dei nuovi residenti previsti dal PGT.

Piano P a 10 anni				
	450m dalla fermata	350m dalla linea		
Linee di forza	Metro	Busvia	Tramvia	Totale
M1 + Prolungamento VT	69.801			
T2			60.520	
T3			55.916	
B4		78.060		
Totale 1	69.801	78.060	116.436	264.297
Totale 2	69.801	78.060	84.348	160.310



L'incremento di popolazione servita dalla rete del Piano P, composta dall'estensione verso nord della linea di metropolitana, dall'introduzione delle linee 2 e 3 di tram e dell'affiancamento della busvia B4, si attesta in torno a 90.900 abitanti, più del doppio di quelli precedentemente raggiunti nella situazione di riferimento.

Se si calcola anche la quota di residenti serviti dalle linee di forza del Piano P con la sola popolazione 2016, si hanno 152.794 residenti raggiunti. La differenza tra i 160.310 calcolati sulla popolazione al 2026 e i 152.794 calcolati sulla popolazione 2016 mostra come la quasi totalità degli interventi proposti dal PGT

riguardanti la residenza (il totale degli abitanti insediabili da PGT tra aree di trasformazione, piano dei servizi, piano delle regole e piani attuativi vigenti è 8.589) è servita da linee di forza del trasporto pubblico (in particolare la quota si attesta intorno all'88%). Questo fatto sottintende una forte coerenza tra le previsioni del PGT e del PUMS.

2.6 PASSEGGERI TRASPORTO PUBBLICO

2.6.1 Descrizione dell'indicatore

L'indicatore è correlato all'obiettivo strategico "per una città più accessibile". È suddiviso in due componenti: i passeggeri trasportati nell'ora di punta e il totale dei passeggeri trasportati proiettato all'anno. Esprime il volume di traffico complessivo del sistema di trasporto pubblico.

2.6.2 Metodologia di calcolo

Passeggeri ora di punta. Indicatore che totalizza il numero di utenti che salgono a bordo di ogni mezzo appartenente a uno specifico modo (Metro, Tram o Bus). Da notare che se un viaggio comporta l'utilizzo di più mezzi il singolo passeggero viene conteggiato per ogni modo che utilizza. Questo indicatore è utilizzato per stimare la quantità di persone che utilizzano ogni modo di trasporto. Risulta quindi confrontabile con sistemi di conteggio passeggeri e di bigliettazione elettronica. Viene espresso in passeggeri nell'ora di punta.

$$\sum_{\text{Modi TPL}} \sum_{\text{Linee}} \text{Passeggeri}_{\text{Linea}}$$

Passeggeri/anno. Questo indicatore esprime il totale dei passeggeri trasportati dai sistemi di trasporto: Bus urbani, Busvie di forza, Tram e Metro. Sono esclusi gli autobus extraurbani e le ferrovie. Il calcolo è fatto a partire dalle matrici OD e dal P&R e non sommando semplicemente i passeggeri trasportati nell'ora di punta dai vari sistemi e proiettato all'anno. Facendo in questo modo si sarebbe ottenuta una sovrastima dei passeggeri trasportati dato che la struttura delle nuove reti induce a un maggior numero di interscambi tra i vari sistemi. Si sarebbe quindi corso il rischio di contare più volte troppi utenti, distorcendo quindi il reale utilizzo del TPL visto come un unico sistema di trasporto. La modalità di calcolo effettuata invece tiene conto degli indicatori di riparto modale e del sistema di P&R proiettati dall'ora di punta al giorno e quindi all'anno. Espresso in passeggeri/anno [Pax/anno].

2.6.3 Risultati

Componente di rete	passeggeri trasportati				
	2016	Riferimento 10 anni	Piano 10 anni	variazione RIF su 2016	variazione Piano su 2016
	<i>pax</i>	<i>pax</i>	<i>pax</i>	%	%
Metropolitana	5,581	11,637	13,794	+108.5%	+147.2%
Tram			11,818	=	=
Busvia di forza			7,168	=	=
Resto rete area urbana	33,745	38,371	27,260	+13.7%	-19.2%
TOTALE ora di punta	39,326	50,008	60,040	+27.2%	+52.7%
TOTALE anno (milioni)	52.6	58.6	65.1	+11.4%	+23.8%

Dal confronto emerge che il volume di trasportati dal sistema pubblico è previsto in crescita in entrambi gli scenari futuri con un maggiore incremento per lo scenario di Piano.

2.7 OFFERTA TRASPORTO PUBBLICO

2.7.1 Descrizione dell'indicatore

L'indicatore è correlato all'obiettivo strategico "per una città più accessibile". Viene calcolato, per ogni modo di trasporto, il numero di VettureKm del trasporto pubblico. Esprime la quantità di trasporto offerta dalle diverse modalità e dipende dal cadenzamento orario delle linee e dalla loro lunghezza. Espresso in VettureKm. Esprime quindi una valutazione dell'estensione della rete del trasporto pubblico.

2.7.2 Metodologia di calcolo

Sulla base del cadenzamento (chiamata anche frequenza) dei transiti dei veicoli per ogni linea è stato effettuato il calcolo del numero orario di vetture in linea necessarie per il livello di servizio proposto. Il numero di vetture risulta dal rapporto tra la durata della fascia oraria (nel caso dello studio l'ora di punta del mattino) e il cadenzamento della linea (es. una linea con cadenzamento di 10 minuti richiede in un'ora l'impiego di 6 veicoli). Successivamente è stato totalizzato il prodotto tra il numero di vetture di ogni linea per la sua lunghezza per ogni tipologia.

$$\sum_{\text{Modi TPL}} \sum_{\text{Linee}} \text{Vetture}_{\text{Linea}} \cdot \text{Lunghezza}_{\text{Linea}}$$

2.7.3 Risultati

Componente di rete		percorse offerte				
		2016	Riferimento 10 anni	Piano 10 anni	variazione RIF su 2016	variazione Piano su 2016
		<i>veic*km</i>	<i>veic*km</i>	<i>veic*km</i>	%	%
Metropolitana	397	397	513	+0.0%	+29.2%	
Tram			260	=	=	
Busvia di forza			262	=	=	
Resto rete area urbana	1,920	1,974	1,989	+2.8%	+3.6%	
TOTALE	2,317	2,371	3,024	+2.3%	+30.5%	

Dal confronto emerge che l'offerta di trasporto pubblico prevista con lo scenario di Piano è nettamente superiore all'attuale dato l'inserimento delle nuove tipologie Tram e Busvia di forza e il prolungamento della Metropolitana fino a Costorio.

3 INDICATORI PER IL CONSUMO ENERGETICO

3.1 CONSUMO ENERGETICO

3.1.1 Descrizione dell'indicatore

I sistemi di trasporto contemporanei si basano per lo più sul consumo diretto di combustibili fossili, risorse quindi non rinnovabili, con noti impatti sia in termini di emissioni di gas serra che di inquinanti.

Verranno pertanto stimate le tonnellate equivalenti di petrolio per ora o giorno riconducibili alla mobilità comunale, (obiettivo strategico 2 del PUMS).

3.1.2 Metodologia di calcolo

I consumi di combustibili fossili attuali vengono stimati secondo la metodologia europea COPERT/CORINAIR, sulla base dell'entità attuale dei flussi e delle velocità medie di percorrenza, dedotte dal modello di traffico, nonché sulla composizione del parco veicolare. Espresso in tep/anno.

La stima dei consumi energetici e delle emissioni di inquinanti atmosferici è stata sviluppata secondo la metodologia COPERT/CORINAIR (Linee-guida EEA 2013), facendo riferimento all'approccio di maggior dettaglio (Tier 3)⁴.

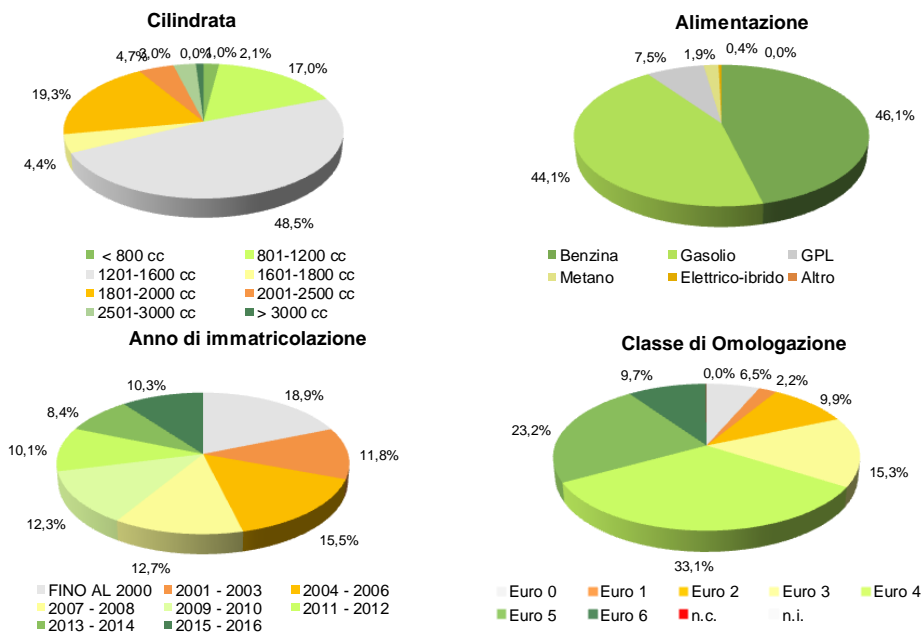
I coefficienti unitari di consumo/emissione sono stati determinati rapportando i valori della banca-dati europea con la composizione del parco veicolare circolante, riportata dai dati ACI 2016 con riferimento all'intera Provincia di Brescia.

Il parco autovetture si caratterizza per una forte presenza di veicoli alimentati a benzina, pari a circa il 58% del totale, a fronte del 38% delle auto a gasolio. La maggior parte dei veicoli ha una cilindrata compresa fra gli 800 e i 2000 cc, con una netta prevalenza di quelle medie (1200- 1600), corrispondenti a quasi la metà del parco circolante.

L'anno mediano di immatricolazione è il 2004, per un'età media di circa 9 anni (i dati sono riferiti al 2016), con una forte presenza dei veicoli ad elevata classe di omologazione (Euro 4 o superiore, pari al 58% dei circolanti).

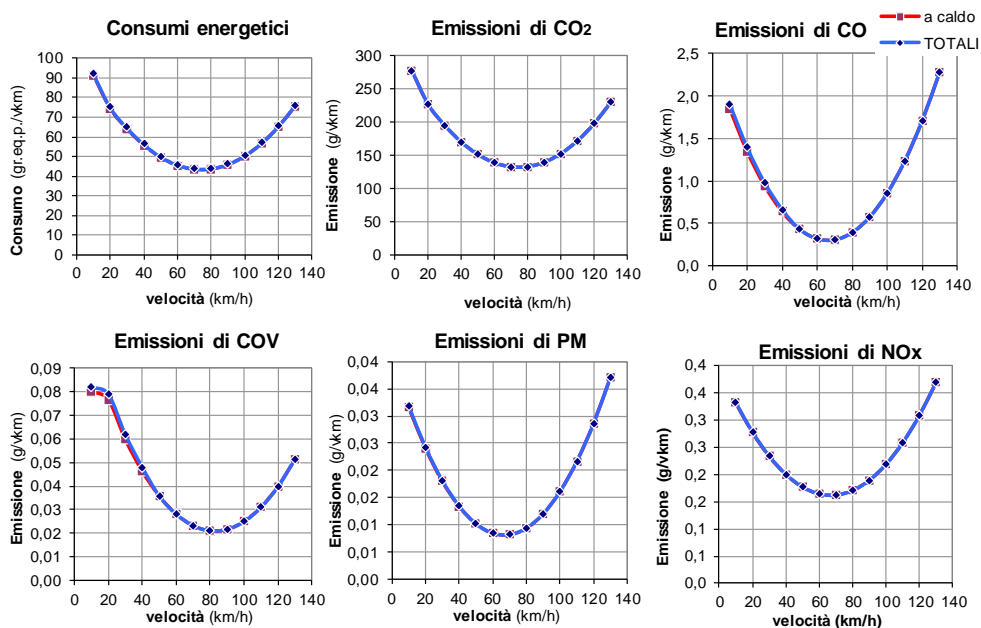
⁴ Il gruppo di lavoro CORINAIR (COOrdination INformation AIR) attivato dalla Commissione delle Comunità Europee elabora ed aggiorna periodicamente i fattori unitari relativi al consumo di carburante, e alle emissioni inquinanti (CO, NOx, COV, SO2, CO2), relativi a diverse categorie e sottocategorie di autoveicolo. In particolare, sono attualmente disponibili i fattori unitari relativi alle autovetture a benzina (a loro volta articolate per tre classi di cilindrata e per regolamento ECE vigente all'anno di immatricolazione); alle autovetture diesel (suddivise in due classi di cilindrata) e autovetture a GPL; ai veicoli commerciali leggeri (a benzina e diesel); ai veicoli diesel commerciali pesanti (suddivisi in tre classi di peso); agli autobus e ai motocicli (tre classi di cilindrata). Per quanto riguarda in particolare le autovetture a benzina e diesel, i fattori sono espressi mediante relazioni continue in funzione della velocità media di marcia (per velocità comprese fra 10 e 130 km/h), mentre i fattori relativi alle altre categorie di autoveicolo sono espressi con riferimento a tre condizioni di marcia tipo (urbana, extraurbana, autostradale). I coefficienti sono riportati nel rapporto: Commission of the European Communities (AA.VV.), CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Bruxelles, 1991; e dai suoi successivi aggiornamenti: Ntziachristos L., Samaras Z.; COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1); technical report n.49, European Environmental Agency, Copenhagen, november 2000. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z.; COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport; user manual, European Environmental Agency, Copenhagen, december 2007.

Analisi del parco autovetture (Provincia di Brescia 2016)



Questa dettagliata lettura del parco veicolare permette il calcolo di coefficienti di emissioni medi, operazione che viene effettuata incrociando la ripartizione del parco veicolare dei veicoli leggeri per classe di omologazione, con le emissioni medie associate in funzione della velocità a ognuna di queste, disponibili nella banca-dati europea COPERT-CORINAIR.

Assegnando quindi questi coefficienti ai flussi veicolari simulati, è possibile quindi stimare le emissioni per ogni arco di rete e, per aggregazione, per comparto di analisi.

**STIMA DEI COEFFICIENTI UNITARI DI EMISSIONE
VEICOLI LEGGERI**

3.1.3 Risultati

Consumi energetici (tep/anno)				
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	83.663	83.663	83.663
	primaria	33.684	37.572	38.902
	secondaria	49.944	52.104	47.899
	locale	39.326	45.375	38.644
	TOTALE	206.617	218.714	209.109
	trasp.pubblico	8.929	7.447	7.197
	TOTALE	215.546	226.161	216.306

4 INDICATORI PER IL SUOLO

4.1 CONSUMO DI SUOLO

4.1.1 Descrizione dell'indicatore

La realizzazione di nuovi tratti stradali e di parcheggi, si traduce spesso nell'occupazione di suolo. Questo suolo può avere delle caratteristiche molto differenti a seconda che sia inserito in un contesto già urbanizzato o sia un'area dismessa, oppure sia un suolo utilizzato per la produzione agricola o ancora se rappresenti un'area naturale e di pregio dal punto di vista paesaggistico. In questi ultimi due casi (aree agricole e aree di pregio) si parla di vero e proprio consumo di suolo.

L'indicatore per il consumo di suolo quindi, correlato all'obiettivo strategico 2 del PUMS, rende conto della quantità di aree agricole o di pregio (in metri quadrati) perse per la costruzione di nuove infrastrutture.

4.1.2 Metodologia di calcolo

L'ingombro delle nuove infrastrutture viene intersecato con le aree agricole in ambito GIS.

L'ingombro delle nuove infrastrutture viene calcolato a partire dagli shapefile di piano del PGT per le infrastrutture recepite dal piano (fonte: Ufficio Urbanistica del comune di Brescia).

Il suolo occupato dalle nuove infrastrutture come da PUMS è calcolato come segue:

- Strade: viene assegnata una larghezza minima data dal regolamento viario secondo la classificazione funzionale, e moltiplicata per la lunghezza del tracciato (incluse banchine ed esclusi piazzali esterni alla carreggiata o altri elementi accessori)
- Parcheggi: viene calcolata l'area delle nuove superfici a parcheggio, stimata per confronto con l'attuale.

Il calcolo viene effettuato per la sola superficie territoriale comunale.

4.1.3 Risultati

Lo scenario attuale al 2016 parte da una situazione di consumo di suolo pari a 0mq.

Lo scenario di riferimento a 10 anni, per come è stato costruito, fa proprie alcune delle previsioni della pianificazione sovraordinata e del PGT che non dipendono dalle scelte del PUMS e che implicano un consumo di suolo agricolo per la realizzazione di nuove infrastrutture. Queste sono:

- la riqualificazione della Tangenziale Sud con la realizzazione della terza corsia,
- la realizzazione della nuova variante di S. Zeno,
- la realizzazione della bretella tra via Vallecamonica e via Rose.

Le altre opere infrastrutturali previste nello scenario riferimento che insistono sul suolo comunale o non danno adito a consumo di suolo poiché insistono su aree già urbanizzate oppure, ad esempio nel caso di realizzazione di rotatoria al posto di uno svincolo già in essere in ambito agricolo, portano un contributo comunque trascurabile.

Lo scenario P, oltre a comprendere le succitate opere comprese nello scenario di riferimento, prevede le seguenti nuove opere che producono consumo di suolo agricolo:

- sottopasso Girelli,
- bretella di Caionvico,
- connessione tra la tangenziale e il parcheggio di S. Eufemia (via Chiappa) con allargamento del sedime della strada già in essere),
- apertura al traffico di via Bazoli e adeguamento della sede stradale.

Scenario	Opera	Consumo di suolo (mq)
Scenario 2016		0
Scenario RIF		81.149
	Tangenziale Sud (aggiunta terza corsia)	57.645
	Variante S. Zeno	21.461
	Bretella Vallecamonica-Rose	2.043
Scenario P		98.038
	Scenario 2026 RIF	81.149
	Sottopasso Girelli	5.040
	Bretella di Caionvico	1.914
	Connessione tangenziale sud-Metro S. Eufemia	1.915
	Via Bazoli	8.020



5 INDICATORI PER L'ARIA

5.1 CAMBIAMENTI CLIMATICI

5.1.1 Descrizione dell'indicatore

L'uso di combustibili fossili si traduce nell'emissione di gas serra nell'aria, con particolare riferimento alla Anidride Carbonica (CO₂) alimentando così il processo di riscaldamento globale.

L'indicatore stima pertanto le tonnellate equivalenti di Anidride Carbonica riconducibili alla mobilità comunale (obiettivo strategico 3 del PUMS). Espresso in t.

5.1.2 Metodologia di calcolo

Le emissioni vengono stimate secondo la metodologia europea COPERT/CORINAIR, sulla base dell'entità attuale dei flussi e delle velocità medie di percorrenza, dedotte dal modello di traffico, nonché sulla composizione del parco veicolare.

Si veda la metodologia descritta per l'indicatore Consumi energetici.

5.1.3 Risultati

		Emissioni CO ₂ (t/anno)		
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	253.787	253.787	253.787
	primaria	102.186	113.990	118.025
	secondaria	151.541	158.096	145.335
	locale	119.136	137.465	117.067
	TOTALE	626.650	663.338	634.215
	trasp.pubblico	9.469	7.032	6.606
	TOTALE	636.119	670.369	640.821

5.2 INQUINAMENTO ATMOSFERICO

5.2.1 Descrizione dell'indicatore

L'uso di combustibili fossili e l'usura degli pneumatici si traduce nell'emissione di inquinanti nell'aria, con effetti diretti o indiretti sulle persone. I principali inquinanti considerati sono il monossido di Carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO_x), i Composti Organici Volatili (COV) e le Polveri Totali Sospese (PTS).

L'indicatore stima pertanto le tonnellate equivalenti per ognuno di questi inquinanti riconducibili alla mobilità comunale (obiettivo strategico 3 del PUMS). Pur non coincidendo il dato relativo alle emissioni (quantità di inquinante prodotta dal veicolo) da quello relativo alle concentrazioni (quantità di inquinante effettivamente presente nell'aria), a causa della molteplicità delle fonti inquinanti (esempio: riscaldamenti domestici) e dei fenomeni meteorologici (es: vento o pioggia), si stimerà l'esposizione della popolazione alle emissioni di inquinanti.

5.2.2 Metodologia di calcolo

Le emissioni vengono stimate secondo la metodologia europea COPERT/CORINAIR, sulla base dell'entità attuale dei flussi e delle velocità medie di percorrenza, dedotte dal modello di traffico, nonché sulla composizione del parco veicolare. Espresso in t.

Si veda la metodologia descritta per l'indicatore Consumi energetici.

5.2.3 Risultati

Emissioni CO (t/anno)				
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	1.467,2	1.467,2	1.467,2
	primaria	543,1	589,1	616,1
	secondaria	446,6	462,9	426,4
	locale	522,9	601,4	520,2
	TOTALE	2.979,8	3.120,6	3.029,9
	trasp.pubblico	43,3	33,1	31,3
	TOTALE	3.023,1	3.153,6	3.061,2

Emissioni COV (t/anno)				
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	361,7	361,7	361,7
	primaria	143,8	160,3	166,4
	secondaria	182,3	189,9	174,6
	locale	141,4	163,2	139,1
	TOTALE	829,2	875,1	841,7
	trasp.pubblico	140,9	107,5	101,7
	TOTALE	970,1	982,6	943,5

Emissioni NOx (t/anno)				
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	45,2	45,2	45,2
	primaria	17,5	19,1	19,7
	secondaria	33,6	35,2	32,4
	locale	31,8	36,7	31,3
	TOTALE	128,2	136,2	128,7
	trasp.pubblico	28,1	22,3	21,3
	TOTALE	156,2	158,5	150,0

Emissioni PTS (t/anno)				
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	27,3	27,3	27,3
	primaria	10,4	11,4	11,9
	secondaria	10,5	10,9	10,1
	locale	10,2	11,8	10,1
	TOTALE	58,5	61,4	59,4
	trasp.pubblico	7,1	5,3	5,0
	TOTALE	65,6	66,7	64,4

6 INDICATORI PER IL RUMORE

6.1 INQUINAMENTO ACUSTICO

6.1.1 Descrizione dell'indicatore

I flussi veicolari generano emissioni acustiche, che diventano particolarmente intense nel caso di livelli di utilizzo della rete medio-alti. Nel momento in cui queste emissioni sono generate in presenza di recettori sensibili (es: abitazioni, uffici, scuole ...) il loro impatto negativo è evidente. In particolare, queste risultano ancora più percepibili quando il tessuto urbano formano dei "canyon" dove il rumore impiega più tempo a disperdersi, aumentando così di intensità.

L'indicatore consiste pertanto in una stima delle emissioni acustiche e da parte della rete stradale (Obiettivo strategico 4 del PUMS).

6.1.2 Metodologia di calcolo

L'uso del modello di traffico permette anche una stima dettagliata dei livelli di rumore generati dai flussi veicolari su ciascun arco del grafo stradale. Ciò consente fra l'altro di aumentare nettamente il livello di dettaglio nella conoscenza del fenomeno.

Le elaborazioni sono state condotte utilizzando l'algoritmo proposto dall'Ufficio Federale per la Protezione dell'Ambiente svizzero, supportato dal Laboratorio Federale di Prova dei Materiali ed Istituto Sperimentale (EMPA):

$$L_{eq} = A + 10 \log(Q) + 10 \log \left\{ \left[1 + \left(\frac{v}{50} \right)^3 \right] \cdot \left[1 + B \cdot \mu \cdot \left(1 - \frac{v}{150} \right) \right] \right\}$$

dove:

- A e B sono costanti empiriche ($A=42\text{dB(A)}$, $B=20$);
- Q è il valore medio del flusso veicolare nel periodo considerato (veicoli/ora);
- v è la velocità media dei veicoli, espressa in km/h;
- μ è il rapporto tra veicoli pesanti e veicoli totali;

Non essendo possibile, nell'ambito del PUMS, definire un modello dettagliato di propagazione del rumore da traffico scala urbana, questa formulazione è stata utilizzata unicamente per determinare i valori di potenza acustica emessa dal traffico transigente su ciascun arco della rete stradale, secondo la nota formulazione:

$$L_w = L_{eq} + 10 \log(V) - 10 \log(Q) + 38$$

L'indicatore utilizzato per la valutazione del fonoinquinamento urbano è dunque rappresentato non dai livelli di pressione, espressi in dB ma non ricostruibili nel dettaglio in corrispondenza alla posizione dei singoli recettori, bensì nella potenza emessa dalla rete nell'unità temporale di riferimento espressa in W, e determinata come:

$$W = 10^{-12} \cdot 10^{L_w/10}$$

In altri termini, l'indicatore utilizzato è dato dall'energia acustica associata al funzionamento della rete viaria, che costituisce, a differenza del precedente, un parametro additivo atto a costruire valutazioni sintetiche aggregabili per comparti urbani, e pertanto maggiormente idonee alle verifiche richieste in sede di Valutazione Ambientale Strategica.

Aggregando per comparto le potenze emesse dai singoli archi, è possibile calcolare i seguenti valori per comparto e classe stradale

6.1.3 Risultati

		Potenza acustica (mW/h)		
Rete		Scenario 2016	Scenario 2026RIF	Scenario P
	autostrada	74,99	74,99	74,99
	primaria	44,22	49,74	51,98
	secondaria	23,13	23,65	21,81
	locale	9,10	10,62	8,90
	TOTALE	151,44	158,99	157,68
	trasp.pubblico	=	=	=
	TOTALE	151,44	158,99	157,68

7 INDICATORI PER LA SICUREZZA

7.1 ESPOSIZIONE AL RISCHIO INCIDENTALE (CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AGLI UTENTI DEBOLI)

7.1.1 Descrizione dell'indicatore

Uno degli impatti più evidenti della mobilità è il rischio di incidente tra veicoli e tra veicoli e utenti deboli della strada come ciclisti e pedoni. La stima probabilistica dell'evento incidente è estremamente complessa e i modelli attuali vengono concentrati su porzioni molto ristrette della rete stradale, tipicamente le intersezioni. Una tale trattazione dettagliata esula completamente dall'orizzonte del PUMS. È stato quindi definito un indicatore di rischio basato essenzialmente sui VeicoliKm e su una macro classificazione della rete stradale concentrando l'interesse sulle strade locali e secondarie. Le strade classificate come principali (in ambito urbano le tangenziali) sono state escluse in quanto il focus dell'indicatore è sulla rete stradale utilizzata anche dall'utenza debole. È stato inoltre definito un semplice fattore di rischio con lo scopo di evidenziare le differenze tra le strade locali (a maggior rischio in quanto più frequentate da pedoni e ciclisti) e le strade secondarie (a minor rischio in quanto dotate di piste ciclabili e marciapiedi adeguati).

7.1.2 Metodologia di calcolo

Per il calcolo è stato utilizzato l'output del modello di simulazione del trasporto privato nell'ora di punta del mattino per gli scenari 2016, Riferimento a 10 anni e Piano a 10 anni.

È stato fatto il confronto ipotizzando per i tre scenari la struttura di classificazione stradale corrispondente allo scenario di Piano per evidenziare come gli interventi previsti sulla viabilità si relazionano con i volumi di traffico dei tre scenari in funzione del fattore di rischio.

Gerarchia scenario di Piano 2026

Rosso: strada locale

Blu: strada secondaria

Verde: strada principale



7.1.3 Risultati

Gerarchia stradale	Veicoli km			Coefficiente di Rischio	Rischio scenario			Delta % rispetto 2016	
	2016	RIF	PIANO		2016	RIF	PIANO	%RIF	%PIANO
Locale	178.498	203.451	164.936	2	356.997	406.903	329.873	14%	-8%
Secondaria	272.085	284.890	263.766	1	272.085	284.890	263.766	5%	-3%

Dalla tabella risulta evidente che il rischio potenziale nello scenario di piano risulta inferiore rispetto allo scenario 2016 a parità di assetto stradale. Nel caso dello scenario di riferimento a 10 anni, pur con gli interventi di declassamento previsti nello scenario di Piano, si evidenzia un rischio potenziale superiore a quanto accadrebbe con il traffico attuale sulla medesima rete.

Questo è dovuto essenzialmente al trasferimento di maggior traffico dalla rete locale verso la rete secondaria e all'effetto del maggior split modale verso il trasporto pubblico.

8 INDICATORI PER LA QUALITÀ DELLA VITA

8.1 DISTURBO VISUALE AL PAESAGGIO NATURALE E URBANO

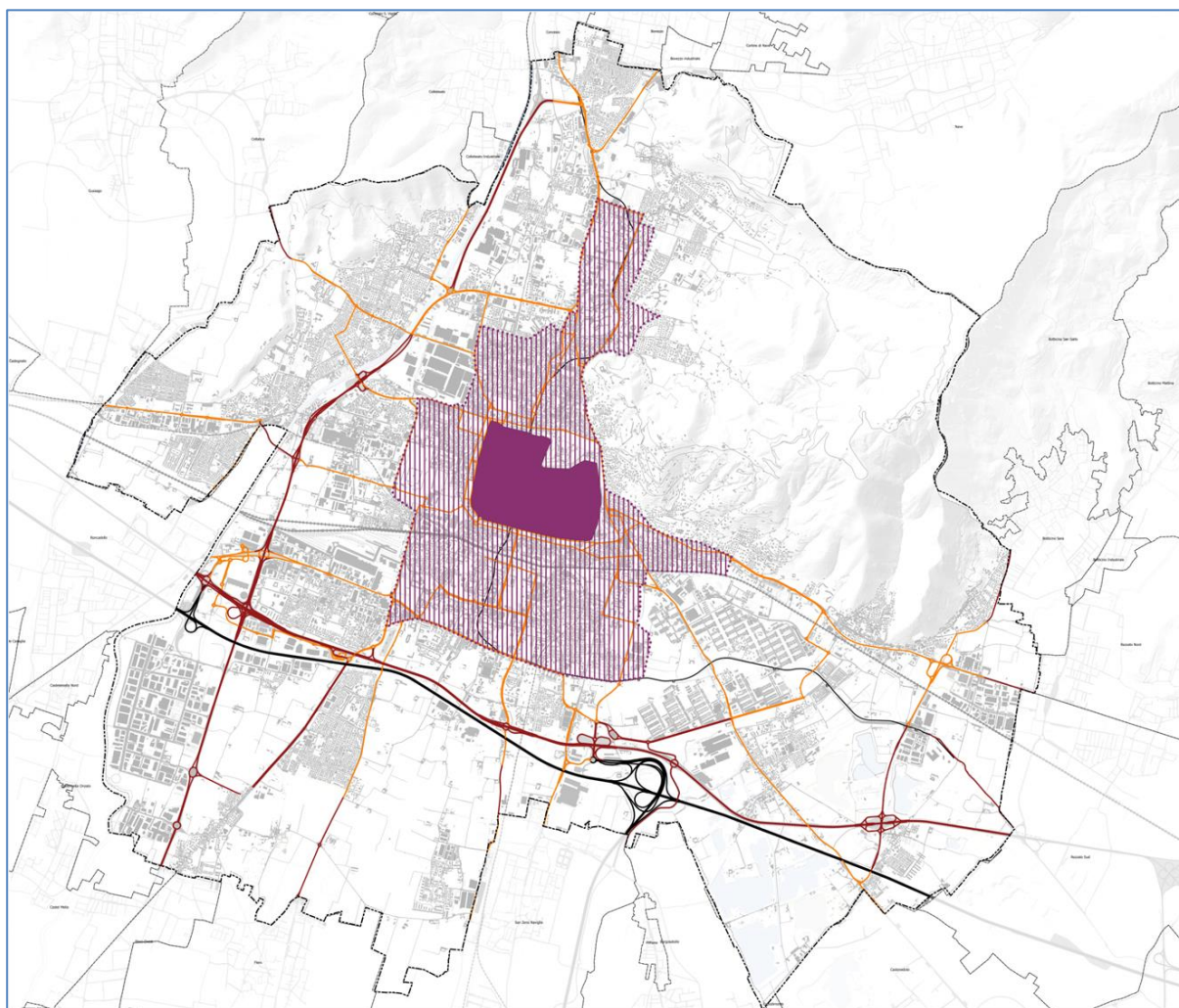
8.1.1 Descrizione dell'indicatore

L'indicatore è correlato all'obiettivo strategico "per una città più bella". Sintetizza l'ingombro volumetrico indotto dalla presenza di veicoli all'interno di una certa area in un intervallo temporale di un'ora. Tiene conto dell'occupazione totale del campo visivo urbano da parte dei veicoli in transito e in sosta. Esso rapporta ogni veicolo presente nell'area a un volume opaco di:

$$2,5 \times 5 \times 1,5 = 15 \text{ m}^3$$

8.1.2 Metodologia di calcolo

Diversamente dagli indicatori precedenti questo indicatore non è suddiviso per la tipologia stradale ma viene valutato all'interno di un'area definita come Zona di Particolare Rilevanza Urbanistica (ZPRU) . L'ingombro di ogni veicolo è fissato a 15 m cubi e l'ora utilizzata per il calcolo è la fascia oraria di punta mattutina.



Zone di Particolare Rilevanza Urbanistica (ZPRU)

Per evidenziare la diversa importanza, all'interno della ZPRU, del centro storico è stato definito un parametro K di pesatura che vale 2 all'interno delle mura storiche (portando quindi a 30 m cubi l'ingombro apparente di un veicolo) e 1 per l'area di ZPRU esterna al centro storico. Il calcolo dell'ingombro è suddiviso in due addendi:

- Ingombro lineare :

$$\sum_{\text{Archi con } K=1} K \cdot \text{Veicoli}_{\text{Arco}} \cdot \text{TempoPercorrenza}_{\text{Arco}} \cdot 15m^3$$

+

$$\sum_{\text{Archi con } K=2} K \cdot \text{Veicoli}_{\text{Arco}} \cdot \text{TempoPercorrenza}_{\text{Arco}} \cdot 15m^3$$

- Ingombro areale:

$$\sum_{\text{ZPRU con } K=1} K \cdot \text{VeicoliDestinati}_{\text{ZPRU}} \cdot 15m^3$$

+

$$\sum_{\text{ZPRU con } K=2} K \cdot \text{VeicoliDestinati}_{\text{ZPRU}} \cdot 15m^3$$

I veicoli in destinazione sono stati dedotti dalla matrice Origine/Destinazione solo per le zone che definiscono porzioni di città normalmente accessibili e pubbliche. Sono stati esclusi i veicoli con destinazioni puntuali che dispongono di posti auto pertinenziali come ad esempio i parcheggi in struttura, i complessi commerciali e industriali, gli ospedali ecc. Si suppone inoltre che i veicoli in destinazione rimangano in sosta per tutta l'ora di punta. Indicatore espresso in VeicoliOra per mc.

8.1.3 Risultati

Ingombro visuale	Scenario			Delta % rispetto 2016	
	2016	RIF	Piano	% RIF	% PIANO
lineare	69745	93423	63568	34%	-9%
areale	253726	250355	177822	-1%	-30%
totale	323472	343779	241390	6%	-25%

Dall'analisi emerge chiaramente che lo scenario di piano prevede una netta diminuzione dell'ingombro visuale, in particolare quello areale dovuto alla sosta.

9 RIEPILOGO

Indicatore	Attuale 2016	Riferimento 10 anni	Variazione RIF/2016	Piano P 10 anni	Variazione P/2016	Variazione P/RIF
Ripartizione modale						
TPL [%]	31%	31%	0%	34%	+3%	+3%
Non motorizzato [%]	13%	11%	-2%	18%	+5%	+7%
Motorizzato [%]	56%	57%	+1%	47%	-9%	-10%
Tasso motorizzazione autovetture	60,3	60,3	0%	60,3	0%	0%
Tempi di spostamento						
Privato [vh]	31.739	39.468	+24,4	28.079	-11,5%	-28,9%
Pubblico [paxh]	8.004	10.203	+27,5%	11.663	+45,7%	+14,3%
Congestione della rete stradale [vkm]	120.343	142.723	+18,6%	95.855	-20,3%	-32,8%
Popolazione residente direttamente servita da servizi di forza del TPL [ab]	65.955	69.410	+5,2%	160.310	+143,1%	+131%
Passeggeri trasporto pubblico [pax]	52,6 mil	58,6 mil	+11,4%	65,1 mil	+23,8%	+11,1%
Offerta trasporto pubblico [vkm]	2.317	2.371	+2,3%	3.024	+30,5%	+27,5%
Consumo energetico [tep/anno]	215.546	226.161	+4,9%	216.306	+0,4%	-4,4%
Consumo di suolo [mq]	0	81.149	-	98.038	-	+20%
Cambiamenti climatici (CO₂) [t/anno]	636.119	670.369	+5,4%	640.821	+0,7%	-4,4%
Inquinamento atmosferico						
CO [t/anno]	3.023,1	3.153,6	+4,3%	3.061,2	+1,3%	-2,9
COV [t/anno]	970,1	982,6	+1,3%	943,5	-2,7%	-4%
NOx [t/anno]	156,2	158,5	+1,5%	150,0	-4%	-5,4%
PTS [t/anno]	65,6	66,7	+1,7%	64,4	-1,8%	-3,4%
Inquinamento acustico [mW/h]	151,44	158,99	+5%	157,68	+4,1%	-0,8%
Esposizione al rischio incidentale [vkm]	629.082	691.793	+10%	593.639	-5,6%	-14%
Disturbo visuale al paesaggio naturale e urbano [vhmc]	323.472	343.779	+6,3%	241.390	-25,4%	-29,8%