POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Energy and environmental effects of Mobility as a Service for urban and regional mobility: application in Turin and Piedmont / Effetti energetici ed ambientali del Mobility as a Service

Original
Energy and environmental effects of Mobility as a Service for urban and regional mobility: application in Turin and Piedmont / Effetti energetici ed ambientali del Mobility as a Service per la mobilità urbana e regionale: applicazione su Torino e Piemonte / Molino, S., Dalla Chiara, B., Cappelli, F., Fraire, S., Sella, S., Luca Matteucci, G.. - In: INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956. - 81:2(2026), pp. 101-129.

Availability:
This version is available at: 11583/3015947 since: 2026-09-26T07:48:11Z

Publisher:
Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

25 October 2026

Effetti energetici ed ambientali del Mobility as a Service per la mobilità urbana e regionale: applicazione su Torino e Piemonte

Energy and environmental effects of Mobility as a Service for urban and regional mobility: application in Turin and Piedmont

Simona Molino(*)
Bruno Dalla Chiara(*)
Flavio Cappelli(*)
Stefano Fraire(**)
Stefania Sella(**)
Gian Luca Matteucci(**)

Sommario - L'articolo analizza il ruolo del *Mobility as a Service (MaaS)* nella trasformazione della mobilità urbana e regionale, con approfondimento sulla sperimentazione MaaS for Italy del Comune di Torino e della Regione Piemonte (2024-2026 ed oltre). Lo studio valuta l'impatto del MaaS sulle abitudini di spostamento, sull'uso dello spazio pubblico, sul consumo energetico, sull'inquinamento e sulla sicurezza dei trasporti.

Attraverso l'analisi dei dati del progetto pilota MaaS del Comune di Torino (2024-inizio 2025), si osserva un parziale successo nell'integrazione tra MaaS, trasporto pubblico e mobilità condivisa, con l'obiettivo di ridurre l'uso dell'auto privata. Lo studio evidenzia le opportunità del MaaS nel rendere la mobilità più sostenibile, efficiente e meno congestionata, ma anche le criticità legate alla preferenza per l'auto privata, dovuta ai suoi costi fissi già sostenuti, a fronte dei costi variabili dei servizi MaaS.

Per favorire l'adozione del MaaS, si propone d'introdurre incentivi, tariffe più competitive e un possibile *road pricing* proporzionale ai km percorsi su strada con mezzi motorizzati privati, al fine di rendere il nuovo paradigma più conveniente rispetto all'utilizzo della sola auto ad uso personale.

1. Introduzione

Nell'accezione moderna della mobilità si persegue maggiormente una mobilità pluri-modale, flessibile ed impostata, per quanto possibile, in modo gerarchico ed integrato, vale a dire nella quale:

(*) Politecnico di Torino, Dip. DIATI – Trasporti.
(**) 5T srl, Torino.

Summary *- The paper analyses the role of Mobility as a Service (MaaS) in the transformation of urban and regional mobility, with a focus on the MaaS for Italy trial of the Municipality of Turin and the Piedmont Region (2024-2026 and beyond). The study assesses the impact of MaaS on travel habits, use of public space, energy consumption, pollution and transport safety.*

By analysing data from the MaaS pilot project of the City of Turin (2024-early 2025), a partial success in the integration of MaaS, public transport and shared mobility is observed, with the aim of reducing private car use. The study highlights the opportunities of MaaS in making mobility more sustainable, efficient and less congested, but also the critical issues related to the preference for the private car, due to its fixed costs already incurred, against the variable costs of MaaS services.

To encourage the adoption of MaaS, it is suggested to introduce subsidies, more competitive tariffs and possible road pricing proportional to the km travelled on the road by private motorised vehicles, in order to make the new paradigm more convenient than using the car alone for personal use.

1. Introduction

In the modern understanding of mobility, a more multi-modal, flexible and, as far as possible, hierarchically integrated mobility is pursued, i.e. in which:

- *travel on a large scale - typically among metropolitan*

(*) *Polytechnic of Turin, DIATI Department – Transport.*
(**) *5T srl, Turin.*

- gli spostamenti su più ampia scala - tipicamente tra aree metropolitane ed urbane in Europa - avvengano, allorquando possibile, mediante la rete ferroviaria rientrante nella TEN-T nonché mediante reti connesse ferroviarie di livello inferiore, i.e. regionali, metropolitane o locali;
- a livello locale, si soddisfino le esigenze di spostamento con i sistemi di trasporto più consoni in termini di sostenibilità intesa nella sua interezza; vanno pertanto preferite le modalità con minori consumi energetici specifici (kWh/pass.·km) con ricorso più contenuto a combustibili fossili, minori emissioni inquinanti locali, la mobilità personale attiva, salvaguardando la sicurezza delle persone durante gli spostamenti nonché la manutenibilità di infrastrutture e veicoli, per garantirne nel tempo qualità, sicurezza ed efficienza. Questo approccio ha come obiettivo anche il contenimento dell'impiego del suolo ad accesso pubblico da parte di autoveicoli.

In tale approccio l'auto non deve essere emarginata in quanto nella società odierna è normale – al contempo non eludibile per una quota di persone - disporre di un veicolo adatto a proteggere le persone nel movimento, trasportare su qualsivoglia distanza passeggeri e materiali, che sia flessibile e pronto all'impiego. Tuttavia l'auto va oggi intesa come rientrante in una rete più completa ed estesa dell'offerta dei trasporti nella quale il MaaS può avere un ruolo, seppure non dominante al momento, d'integratore di modalità differenti.

Negli ultimi anni, il concetto di *Mobility as a Service* (MaaS) ha acquisito crescente attenzione come possibile risposta alle sfide della mobilità urbana contemporanea. Questo modello punta ad integrare diversi servizi di trasporto – pubblici e privati, tradizionali ed innovativi – in un'unica piattaforma accessibile e flessibile per l'utente. In tale contesto, la città di Torino ha avviato una sperimentazione pluriennale, con l'obiettivo di valutare l'efficacia del MaaS non solo in termini di accessibilità ed utilizzo, ma anche rispetto a obiettivi più ampi di sostenibilità ambientale, efficienza energetica e riorganizzazione dello spazio urbano. La presente analisi s'inserisce all'interno di questo percorso, esplorando il contributo che il MaaS può offrire al ripensamento delle abitudini di spostamento e alla costruzione di un sistema di mobilità più integrato, equo e resiliente.

In tale contesto l'articolo analizza il ruolo del MaaS nella trasformazione della mobilità urbana e regionale, con focus sulla sperimentazione MaaS avvenuta nel territorio torinese e piemontese (2024-2026 e oltre). Lo studio valuta proprio l'impatto del MaaS sulle abitudini di spostamento, sull'uso dello spazio pubblico, sul consumo energetico, sull'inquinamento e sulla sicurezza dei trasporti.

L'analisi di dati del 2024 e 2025 evidenzia le opportunità del MaaS nel rendere la mobilità più sostenibile, efficiente e meno congestionata, ma anche le criticità legate alla preferenza per l'auto privata, anche dovuta ai suoi co-

and urban areas in Europe - takes place, as far as possible, via the TEN-T rail network as well as via lower-level rail-related networks, i.e. regional, metropolitan or local;

- *at the local level, travel needs are met with the most appropriate transport systems in terms of sustainability understood in its entirety; therefore, modes with lower specific energy consumption (kWh/pass.·km) with lower use of fossil fuels, lower local pollutant emissions, active personal mobility, safeguarding the safety of people during travel as well as the maintainability of infrastructure and vehicles, in order to ensure their quality, safety and efficiency over time are preferred. This approach also aims at limiting the use of public access land by vehicles.*

In this approach, the car should not be marginalised, as in today's society it is normal - and at the same time not avoidable for a quota of people - to have a vehicle that can protect people on the move, transport passengers and materials over any distance, flexible and ready for use. However, the car is now to be understood as part of a more comprehensive and extended transport supply network in which MaaS can play a role, albeit not a dominant one at the moment, as an integrator of different modes.

In recent years, the concept of Mobility as a Service (MaaS) has gained increasing attention as a possible answer to the challenges of contemporary urban mobility. This model aims to integrate different transport services - public and private, conventional and innovative - into a single accessible and flexible platform for the user. In this context, the city of Turin has launched a multi-year experiment with the objective of evaluating the effectiveness of MaaS not only in terms of accessibility and use, but also with respect to broader objectives of environmental sustainability, energy efficiency and reorganisation of urban space. The present analysis is part of this journey, exploring the contribution MaaS can make to rethinking travel habits and building a more integrated, equitable and resilient mobility system.

In this context, this paper analyses the role of MaaS in the transformation of urban and regional mobility, with a focus on the MaaS experimentation that has taken place in the Turin and Piedmont territory (2024-2026 and beyond). The study assesses precisely the impact of MaaS on travel habits, use of public space, energy consumption, pollution and transport safety.

The analysis of data from 2024 and 2025 highlights the opportunities of MaaS in making mobility more sustainable, efficient and less congested, but also the critical issues related to the preference for the private car, also due to its fixed costs already incurred, against the variable costs of MaaS services.

To encourage the adoption of MaaS it is proposed to introduce subsidies, more competitive tariffs and possible road pricing proportional to the km travelled by motorised vehicles on the road, in order to make the new paradigm more convenient than the car for personal use.

sti fissi già sostenuti, a fronte dei costi variabili dei servizi MaaS.

Per favorire l'adozione del MaaS si propone d'introdurre incentivi, tariffe più competitive e un possibile *road pricing* proporzionale ai km percorsi con mezzi motorizzati su strada, al fine di rendere il nuovo paradigma più conveniente rispetto all'auto ad uso personale.

2. Stato dell'arte

Il concetto di *Mobility as a Service* (MaaS) nasce ufficialmente nel 2014 [1] definito come un sistema in cui diversi servizi di mobilità sono offerti agli utenti da operatori integrati. Tuttavia, già nel 2001 Meurer aveva anticipato l'idea che l'uso di un mezzo non debba per forza coincidere con il suo possesso, suggerendo una visione orientata al servizio.

Una definizione più articolata arriva da Hietanen, che descrive il MaaS come un modello capace di integrare varie modalità di trasporto in un'unica piattaforma, offrendo pacchetti personalizzati in base alle esigenze degli utenti [1]. Il concetto è stato presentato per la prima volta al pubblico europeo all'ITS Europe di Helsinki nel 2014. L'obiettivo era quello di migliorare l'efficienza del sistema di trasporti attraverso le tecnologie digitali, combinando pianificazione, prenotazione e pagamento in un'unica interfaccia, rendendo così il trasporto pubblico un'alternativa reale all'auto privata, specie se ad uso singolo.

Nel 2015, Hietanen fondò MaaS Global, la prima azienda a sviluppare questo modello su scala commerciale, lanciando l'app Whim, che offriva abbonamenti mensili comprensivi di vari mezzi di trasporto. Nonostante il forte interesse iniziale e l'espansione in varie città, l'azienda è andata in crisi per difficoltà economiche, la complessità d'integrazione tra operatori e una scarsa adozione da parte del pubblico, portandola alla bancarotta nel 2023.

Oggi il MaaS è visto non solo come un'opportunità di mercato, ma come una risposta concreta, seppure non esaustiva, alle sfide della mobilità sostenibile. Il modello continua a suscitare interesse in molti paesi, soprattutto nel Nord Europa, negli Stati Uniti e in Giappone, dove si lavora per renderlo economicamente e tecnicamente più sostenibile.

In Italia il progetto "*Mobility as a Service* for Italy" ha avviato la sperimentazione nazionale del MaaS. Torino, città pioniera dal 2016 con 5T Srl, ha realizzato diverse iniziative, tra cui il progetto "Buoni Mobilità". Finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, il progetto mirava a incentivare l'uso di mezzi di trasporto alternativi all'auto privata. Un gruppo di cittadini selezionati tramite bando pubblico ricevette voucher mensili da 150 euro da spendere in vari servizi di mobilità, tra i quali trasporto pubblico, *car sharing*, scooter e monopattini in sharing, taxi e noleggio auto. I risultati della sperimentazione, durata un anno, hanno mostrato un significativo spostamento verso il trasporto pubblico e altri mezzi so-

2. State of the art

The concept of Mobility as a Service (MaaS) was officially born in 2014 [1] defined as a system in which different mobility services are offered to users by integrated operators. However, already in 2001 Meurer anticipated the idea that the use of a vehicle does not necessarily have to coincide with its possession, suggesting a service-oriented vision.

A more nuanced definition comes from Hietanen, who describes MaaS as a model capable of integrating various modes of transport into a single platform, offering packages tailored to the needs of users [1]. The concept was first presented to the European public at ITS Europe in Helsinki in 2014. The aim was to improve the efficiency of the transport system through digital technologies, combining planning, booking and payment in a single interface, thus making public transport a real alternative to the private car, especially for single use.

In 2015, Hietanen founded MaaS Global, the first company to develop this model on a commercial scale, launching Whim, an application or app which offered monthly subscriptions including various means of transport. Despite strong initial interest and expansion into various cities, the company fell into crisis due to financial difficulties, the complexity of integration between operators and poor public adoption, leading to its bankruptcy in 2023.

Today, MaaS is seen not only as a market opportunity, but as a concrete, if not exhaustive, answer to the challenges of sustainable mobility. The model continues to arouse interest in many countries, especially in Northern Europe, the United States and Japan, where work is being done to make it economically and technically more sustainable.

In Italy, the 'Mobility as a Service for Italy' project has launched a national trial of MaaS. Turin, a pioneer city since 2016 with 5T, publicly owned ltd. company, has implemented several initiatives, including the 'Mobility Vouchers' project. Financed by the Ministry of the Environment and Energy Security, the project aimed to encourage the use of alternative means of transport to the private car. A group of citizens, selected through a public tender, received monthly vouchers of 150 euro to spend on various mobility services, including public transport, car sharing, scooters and scooter sharing, taxis and car rental. The results of the one-year trial showed a significant shift towards public transport and other sustainable means of transport, with an estimated reduction of CO_2 emissions by up to 50% [2].

Another important initiative was conducted by the Piedmont Region with the BIPforMaaS project [3], which sought to extend the MaaS model beyond urban borders. In this case, 250 users experimented with a platform that integrated different mobility services, incentivised by a cashback system. The most used services were trains, scooter sharing and parking on blue lines, i.e. for paid parking. The project was particularly successful among young adults, signalling a growing interest in innovative and integrated mobility solutions. Overall, these initiatives demonstrated how a coordi-

stenibili, con una riduzione stimata delle emissioni di CO_2 fino al 50% [2].

Un'altra iniziativa importante è stata condotta dalla Regione Piemonte con il progetto BIPforMaaS [3], che ha cercato di estendere il modello MaaS oltre i confini urbani. In questo caso, 250 utenti hanno sperimentato una piattaforma che integrava diversi servizi di mobilità, incentivati da un sistema di *cashback*. I servizi più utilizzati sono stati i treni, i monopattini in sharing e il parcheggio su strisce blu. Il progetto ha avuto particolare successo tra i giovani adulti, segnalando un interesse crescente per soluzioni di mobilità innovative ed integrate. Complessivamente, queste iniziative hanno dimostrato come un approccio coordinato e tecnologicamente avanzato possa facilitare l'adozione di modalità di trasporto più sostenibili in Italia.

Il concetto di MaaS è stato introdotto negli ultimi decenni con l'idea di offrire all'utenza soluzioni di mobilità flessibili grazie all'integrazione di diversi servizi e mezzi di trasporto, riuniti su un'unica piattaforma digitale. Ciò dovrebbe rendere possibile una maggiore sostenibilità degli spostamenti delle persone, guidando così la transizione ecologica [4] [5]. Varie definizioni sono state proposte nel tempo, focalizzandosi sui diversi aspetti coinvolti in un sistema MaaS, dai servizi di trasporto alla piattaforma da fornire all'utente, passando per la possibilità di prenotare e pagare il servizio direttamente dall'applicazione o sito web di riferimento [6].

Il numero di studi e ricerche sul MaaS è in forte crescita negli ultimi anni: gli autori si sono concentrati di volta in volta su un aspetto specifico, su un caso studio oppure fornendo una visione d'insieme, analizzando per esempio i potenziali utenti e gli *stakeholder* coinvolti. Emerge quasi in ogni lavoro che il MaaS è adatto soprattutto per gli ambienti urbani, nei quali si sono infatti sviluppati i primi progetti e dove è più semplice l'integrazione tra diversi mezzi di trasporto, ma sono state proposte alcune misure per potenziare la mobilità in ambiente rurale tramite soluzioni di *Mobility as a Service* [7] ed esistono progetti che già estendono il MaaS alle aree rurali o alle città minori, come BIPforMaaS implementato nella regione italiana del Piemonte [8].

Secondo diversi studi [9] [10], le persone più giovani e istruite tendono a provare interesse per le offerte MaaS se sono già utenti abituali del trasporto pubblico, con una differenza tra le classi di reddito, dove chi percepisce un reddito più alto è propenso ad acquistare pacchetti che comprendono numerosi servizi di trasporto, mentre gli studenti preferiscono generalmente i pacchetti che includono soltanto i mezzi pubblici e le biciclette in *sharing*. Un ruolo importante è anche quello ricoperto dagli stakeholder, che infatti vengono identificati da più di un articolo: oltre agli utenti, senza i quali il servizio non avrebbe motivo di esistere, si annoverano tra gli attori del MaaS anche gli operatori dei trasporti, i gestori delle piattaforme e delle interfacce, le compagnie assicurative, le università, ma anche chi si occupa di analizzare i dati e di marketing [6]. È inoltre necessario sottolineare l'apporto fondamen-

nated and technologically advanced approach can facilitate the adoption of more sustainable modes of transport in Italy.

The MaaS concept was introduced in recent decades with the idea of offering users flexible mobility solutions through the integration of different services and means of transport, brought together on a single digital platform. This should make it possible for people to travel more sustainably, thus driving the ecological transition [4][5]. Various definitions have been proposed over time, focusing on the different aspects involved in a MaaS system, from the transport services to the platform to be provided to the user, passing through the possibility to book and pay for the service directly from the relevant application or website [6].

The number of studies and researches on MaaS has been growing strongly in recent years: the authors have either focused on a specific aspect, a case study or provided an overview, analysing for instance the potential users and stakeholders involved. It emerges from almost every work that MaaS is suitable above all for urban environments, in which the first projects were in fact developed and where integration between different means of transport is easier, but some measures have been proposed to enhance mobility in rural areas by means of Mobility as a Service solutions [7] and there are projects that already extend MaaS to rural areas or smaller towns, such as BIPforMaaS implemented in the Italian region of Piedmont [8].

According to several studies [9][10], younger and educated people tend to be interested in MaaS offers if they are already regular users of public transport, with a difference between income classes, where higher income earners are likely to buy packages that include several transport services, while students generally prefer packages that only include public transport and bike sharing. An important role is also played by the stakeholders, who are in fact identified by more than one paper: in addition to the users, without whom the service would have no reason to exist, the MaaS stakeholders also include transport operators, platform and interface operators, insurance companies, universities, but also data analysts and marketers [6]. It is also necessary to emphasise the fundamental contribution of institutions that are called upon to give a clear direction with their choices in the short and long term: what is called policy experimentation is influenced by the political direction of the administration, but an important result achieved in the short term can in turn influence the decisions to be taken in the long term [11].

In addition to investigating what underlies a MaaS service, a number of studies have focused on the results achieved by the various pilot projects that have taken place in numerous cities around the world. In particular, it is interesting to analyse the relationship between the use of the private car and the propensity to use MaaS services: it emerges that the authority providing the MaaS service needs to challenge the reluctance of regular car drivers to make transfers or walk stretches, while the demand of those who already use public transport is to reduce travel time [12]. A considerable result also concerns the effect that the introduction of MaaS can have on the use of private cars, especially

tale delle istituzioni che sono chiamate a dare un indirizzo chiaro con le loro scelte a breve e lungo termine: quella che viene chiamata *policy experimentation* è influenzata dall'indirizzo politico dell'amministrazione, ma un risultato importante raggiunto nel breve termine può a sua volta influenzare le decisioni da prendere nel lungo periodo [11].

Oltre a indagare ciò che è alla base di un servizio MaaS, alcuni studi si sono concentrati sui risultati conseguiti dai vari progetti pilota che si sono susseguiti in numerose città in tutto il mondo. In particolare, è interessante analizzare la relazione tra l'uso dell'automobile privata e la propensione all'utilizzo dei servizi MaaS: emerge la necessità da parte dell'ente che eroga il servizio MaaS di sfidare la riluttanza degli automobilisti abituali a effettuare trasferimenti o percorrere tratti a piedi, mentre la richiesta di quanti utilizzano già il trasporto pubblico è quella di ridurre il tempo di viaggio [12]. Un risultato considerevole riguarda anche l'effetto che l'introduzione del MaaS può avere sull'utilizzo dell'auto privata, specie se ad uso singolo: si è infatti notato che, nonostante varie condizioni convenienti invoglino l'utilizzo dei servizi pubblici o in condivisione, molte persone scelgono di viaggiare comunque con l'automobile anche dopo aver provato le offerte MaaS. In particolare, questo riguarda i viaggi occasionali o per raggiungere luoghi diversi da quelli di studio o di lavoro, per cui il trasporto pubblico o la bicicletta risultano meno appetibili [13].

Un altro importante obiettivo del MaaS è quello della sostenibilità ambientale, che passa dalla riduzione del traffico nelle città grazie a un maggiore uso dei mezzi pubblici: sono state studiate le emissioni di anidride carbonica sulla base delle risposte date dagli utenti del servizio MaaS. Il risultato è molto importante per il MaaS poiché le emissioni dei viaggi fatti utilizzando il trasporto pubblico sono risultate fino a 7,5 volte inferiori rispetto agli stessi viaggi fatti con l'automobile privata [5].

Appare chiaro come l'appetibilità dei servizi di *Mobility as a Service* rimanga una delle criticità principali, impedendo di raggiungere gli obiettivi prefissati di sostenibilità e riduzione del traffico. Non è però l'unico problema con cui questo genere di servizi deve interfacciarsi: infatti, sono stati sollevati alcuni dubbi sul rispetto della privacy dei cittadini da parte delle piattaforme. Per funzionare, questi servizi devono accedere a vari dati personali, così come alla posizione precisa delle persone in ogni istante, con la preoccupazione che si possano ricostruire le abitudini degli individui oltre le condizioni che gli stessi utenti hanno accettato. Inoltre, preoccupano i furti di informazioni da parte di terze persone, favoriti dal fatto che i dati sono stoccati in diversi data centre nel mondo e dalla legislazione che varia da una Nazione all'altra [14].

Dopo alcuni anni di sperimentazione, si può concludere che i servizi di *Mobility as a Service* non hanno ancora completamente raggiunto gli obiettivi con cui il MaaS nacque ormai alcuni decenni fa: riduzione dell'uso dell'auto privata, maggiore riempimento dei mezzi pubblici, riduzione della congestione nelle città e sostenibilità ambientale ed economica, con un conseguente miglioramento del benes-

single occupancy cars: it has in fact been noted that, despite the fact that various convenient conditions encourage the use of public or shared services, many people still choose to travel by car even after trying out MaaS offers. In particular, this concerns occasional trips or trips to places other than study or work, for which public transport or cycling are less attractive [13].

Another important objective of MaaS is the environmental sustainability, which involves reducing traffic in cities through greater use of public transport: carbon dioxide emissions were studied on the basis of the answers given by users of the MaaS service. The result is very important for MaaS as the emissions of trips made using public transport were up to 7.5 times lower than the same trips made by private car [5].

It is clear that the desirability of Mobility as a Service remains one of the main critical issues, preventing the achievement of the goals set for sustainability and traffic reduction. However, this is not the only problem this kind of service has to interface with: in fact, some doubts have been raised about the platforms' respect for citizens' privacy. In order to function, these services must access various personal data, as well as the precise location of people at any given moment, with the concern that individuals' habits can be reconstructed beyond the conditions that the users themselves have accepted. Moreover, there are concerns about information theft by third parties, facilitated by the fact that data are stored in different data centres around the world and by legislation that varies from one country to another [14].

After a few years of experimentation, it can be concluded that Mobility as a Service has not yet completely achieved the objectives MaaS was conceived for a few decades ago: reduction of private car use, greater use of public transport, reduction of congestion in cities and environmental and economic sustainability, with a consequent improvement in citizens' well-being. Numerous experiments have been carried out, especially in urban areas, with results that are often favourable to MaaS, but which have not succeeded in affecting the ingrained habits of citizens: despite initial interest, in fact, participants in the studies have often chosen to return to the use of private cars. It follows that MaaS services and car use can be seen as complementary rather than substitutes for each other [13]. In order to try and reverse the trend, the support of institutions appears to be crucial, as they can oversee uniform regulation and guarantee a fairer service for all citizens [8] as well as invest in the renewal of transport infrastructure, a fundamental step in directing people's mobility choices.

3. Some numbers on the experiment

The urban population of Turin was 847'398 at 31.12.2022 and 860'826 inhabitants at 31.12.2023; when considering the province area (Metropolitan City) the population rises to 2.204.632 (2023). The motorisation rate in Turin was 597.1 vehicles/1'000 inhabitants in 2022, although recent data indicate both lower values in the central part of the city (about

sere dei cittadini. Sono state numerose le sperimentazioni svolte soprattutto nelle aree urbane, con risultati spesso favorevoli al MaaS, ma che non sono riusciti a intaccare le abitudini radicate dei cittadini: nonostante l'iniziale interesse, infatti, i partecipanti agli studi hanno spesso scelto di tornare all'uso dell'auto privata. Ne consegue che i servizi MaaS e l'uso dell'auto possono essere visti come complementari invece che sostituti uno dell'altro [13]. Per provare a invertire la rotta appare fondamentale l'appoggio delle istituzioni, che possono vigilare su una regolamentazione uniforme e garantire un servizio più giusto per tutti i cittadini [8] oltre a investire sul rinnovamento delle infrastrutture di trasporto, un passaggio fondamentale per indirizzare le scelte di mobilità delle persone.

3. Alcuni numeri sulla sperimentazione

La popolazione urbana di Torino è risultata di 847.398 abitanti al 31.12.2022 e di 860.826 abitanti al 31.12.2023; la popolazione con la provincia (Città metropolitana) di 2.204.632 (2023). Il tasso di motorizzazione in Torino risultava nel 2022 di 597,1 veic./1000 abitanti, seppure alcuni dati recenti indichino valori sia più contenuti nella parte centrale (circa 0,51) sia più elevati nell'area metropolitana (2025), con un tasso di motorizzazione in città pari a 68,8/100.

Il parco veicolare alla fine del 2019, immatricolato nel territorio della CMTO (Città Metropolitana di Torino), risultava pari a circa: 1,91 milioni di unità circa.

Ogni giorno in Torino, dall'aggregazione di più fonti di dati, si muovono tra circa 220 e 550 mila, escludendo i picchi - anche oltre - autoveicoli che percorrono alcuni km ciascuno. Tra coloro, torinesi residenti in città metropolitana, che si spostano in Torino la scelta è per il 54% sull'auto o con mezzo a due, talvolta tre, ruote di proprietà, per il resto delle scelte si spostano con altri mezzi. Considerando anche i piemontesi non residenti in città metropolitana di Torino che si recano a Torino, si contano tra il 54 ed il 56,23% delle scelte che cade su auto e moto (mezzi privati motorizzati) e le moto incidono per circa il 6.9%, mentre l'auto in sé si aggira attorno al 47%.

Nel dicembre 2025 è terminata la fase di incentivazione del progetto *"MaaS ToMove"*, la sperimentazione della Città di Torino, coordinata dalla società in house 5T, nell'ambito dell'iniziativa nazionale *MaaS for Italy,* che ha avuto l'obiettivo il perseguire una mobilità più flessibile, non solo basata sull'auto privata specie se ad uso singolo, gerarchica (ferroviaria sulle maggiori percorrenze o sui servizi frequenti come la metropolitana e altre modalità a scalare in base alle necessità) e multimodale.

Il programma *MaaS for Italy* è senz'altro un modello innovativo di mobilità che integra in un'unica piattaforma digitale diversi servizi di trasporto – dal trasporto pubblico al *car* e *bike sharing*, fino ai taxi, ai parcheggi e alle ricariche per i veicoli elettrici (BEV, vale a dire solo elettrici, e PHEV vale a dire elettrici con ricarica) – con l'obiettivo

0.51) and higher values in the metropolitan area (2025), with a motorisation rate in the city of 68.8/100.

The vehicle fleet at the end of 2019, registered in the territory of the CMTO (Metropolitan City of Turin), amounted to about 1.91 million units.

Every day in Turin, from the aggregation of several data sources, between about 220'000 and 550'000, excluding peaks - even more - vehicles travelling a few km each, move around. Among those, residents in the metropolitan city, who move around in Turin, 54% choose a car or two-, sometimes three-wheeled vehicle of their own; the rest choose other means of transport. Considering also people not resident in the metropolitan city of Turin who travel to Turin, between 54% and 56.23% of choices fall on cars and motorbikes (private motorised vehicles), with motorbikes accounting for about 6.9%, while the car itself accounts for about 47%.

In December 2025, the incentive phase of the 'MaaS ToMove' project ended, along with the City of Turin's experimentation, coordinated by the in-house company 5T, as part of the national MaaS for Italy initiative, which aimed to pursue a more flexible mobility, not only based on the private car, especially if for single use, but hierarchical (rail on longer distances or frequent services such as the metro and other modes to scale up according to need) and multimodal.

The MaaS for Italy programme is undoubtedly an innovative mobility model that integrates different transport services - from public transport to car and bike sharing, taxis, parking and recharging for plug-in vehicles (BEVs, i.e. electric only, and PHEVs, i.e. hybrid electric with recharging) - into a single digital platform, with the aim of offering precisely more fluid, multimodal and sustainable mobility.

In this context, Turin has been selected as one of the six regional capitals involved, while Piedmont is among the seven pilot-regional areas at national level. The Municipality of Turin has launched two main use cases (2024-2026): MaaS for Citizens, aimed at the city's resident, student or working population; MaaS Corporate, designed for companies and large institutions.

In 20 months of activity, more than 20'000 registered users have been reached, with 7'745 active travellers and more than 140'000 smart trips made through the Super Apps; at the end of October 2025, there were 21'500 users, 10'000 active travellers and more than 200'000 trips: these are the results of an experiment that has made Turin one of the most advanced Italian cities in terms of MaaaS. The excellent response of users and the high number of trips purchased through the Super App led to the total exhaustion of the funds dedicated to the subsidy; the data collected shows that local public transport (LPT) was the mode of travel most used by MaaS users, with a share of 56%, followed by taxis (26%), sharing mobility (9%) and parking (9%). Public transport is therefore confirmed as the preferred choice. The Metropolitan Railway System (named SFM) extends into the Turin area: an average of 77'000 people use it every day.

So the MaaS, seen from the starting point, has grown

di offrire appunto una mobilità più fluida, multimodale e sostenibile.

In questo contesto, Torino è stata selezionata come uno dei sei capoluoghi di regione coinvolti, mentre il Piemonte è tra le sette aree territoriali pilota a livello nazionale. Il Comune di Torino ha avviato due principali casi d'uso (2024-2026): MaaS per i cittadini, rivolto alla popolazione residente, studente o lavoratrice in città; MaaS Corporate, pensato per aziende ed enti di grandi dimensioni.

In 20 mesi di attività, sono stati raggiunti oltre 20.000 utenti iscritti, con 7.745 viaggiatori attivi e più di 140.000 viaggi smart effettuati tramite le Super App, a fine ottobre 2025; a fine anno 2025, risultavano 21.500 utenti, 10.000 viaggiatori attivi ed oltre 200.000 viaggi: sono risultati di una sperimentazione che ha reso Torino una delle città italiane più avanzate sul fronte della mobilità come servizio. L'ottima risposta degli utenti e l'elevato numero di viaggi acquistati tramite le Super App hanno portato al totale esaurimento dei fondi dedicati all'incentivazione; dai dati raccolti emerge come il trasporto pubblico locale (TPL) sia stata la modalità di spostamento più utilizzata dagli utenti MaaS, con una quota del 56%, seguito da taxi (26%), *sharing mobility* (9%) e parcheggio (9%). Il trasporto pubblico si conferma quindi la scelta preferita. Nell'area di Torino si estende il Sistema Ferroviario Metropolitano (SFM): ogni giorno lo usano in media 77 mila persone.

Quindi il MaaS, visto dal punto di partenza, è cresciuto moltissimo, ma il suo impatto resta marginale rispetto all'ammontare dei veicoli per km che quotidianamente percorrono la rete urbana. È possibile tuttavia analizzare degli scenari, vale a dire quale affetto una evoluzione di tale approccio può portare in termini di sostenibilità. La metodologia è descritta per gli agenti inquinanti locali (PMx, NOx, CO), mentre per le emissioni globali di CO_2 la procedura viene trattata in modo più semplificato, consapevoli del fatto che esiste almeno un passaggio ulteriore da fare, in quanto non esiste una correlazione 1:1 tra emissioni di CO_2 e classi ambientali degli autoveicoli, a differenza degli inquinanti, per i quali si può tranquillamente anche prendere il valore limite della classe ambientale per essere certi di produrre dei numeri sensati, come oltre descritto.

Il Politecnico di Torino ha partecipato attivamente alla sperimentazione del MaaS Corporate, accanto a tre grandi aziende dei settori automotive, aerospaziale e finanziario presenti nell'area metropolitana (costruzione di motori, di aeromobili ed un istituto bancario, oltre a due iniziative spontanee di due istituti scolastici). L'iniziativa è stata aperta ai dipendenti dell'Ateneo su base volontaria, con la possibilità di testare diverse piattaforme digitali MaaS. Una prima fase pilota, condotta tra maggio e luglio 2024 all'interno del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) e con il coinvolgimento del Green Team dell'Ateneo, ha permesso di raccogliere dati iniziali sugli spostamenti e di avviare un processo di analisi utile per calibrare le successive fasi della sperimentazione. Da settembre 2024 la sperimentazione è stata estesa, sempre su base volontaria, a tutti i dipendenti

a lot, but its impact remains marginal compared to the amount of vehicles per km that travel the urban network every day. However, it is possible to analyse scenarios, i.e. what affect an evolution of this approach may bring in terms of sustainability. The methodology is described for local pollutants (PMx, NOx, CO), while for global CO_2 emissions the procedure is treated in a more simplified manner, aware of the fact that there is at least one further step to be taken, since there is no 1:1 correlation between CO_2 emissions and environmental classes of vehicles, unlike for pollutants, for which one can safely even take the limit value of the environmental class to be certain of producing sensible numbers, as described below.

The Politecnico di Torino took an active part in the MaaS Corporate trial, alongside three large companies in the automotive, aerospace and financial sectors in the metropolitan area (engine and aircraft construction and a banking institution, as well as two spontaneous initiatives by two schools). The initiative was open to university employees on a voluntary basis, with the opportunity to test various MaaS digital platforms. An initial pilot phase, conducted between May and July 2024 within the Department of Environment, Land and Infrastructure Engineering (DIATI) and with the involvement of the University's Green Team, made it possible to collect initial data on travel and to start a useful analysis process to calibrate the subsequent phases of the experimentation. Since September 2024, the trial has been extended, again on a voluntary basis, to all University employees, with around 140 experimenters by October 2025, 69 active travellers, 2'400 trips made.

The initiative undoubtedly contributes to the construction of a more integrated, safe and environmentally friendly urban mobility, in line with the sustainability and innovation objectives pursued by both the City of Turin and the Politecnico di Torino itself.

4. Methodology adopted

One of the objectives is to assess the real benefits of MaaS in the urban context, analysing different mobility scenarios.

In particular, the emissions produced by the private vehicle fleet are examined, considering both:

1. *local polluting emissions, in this case PM_{10}[1], $PM_{2.5}$, NO_2,*
2. *those of global nature, non-polluting but contributing to the greenhouse effect, CO_2 in this case,*

and are compared with those generated by the city of Turin's bus fleet offering LPT service, in order to understand the overall impact of each scenario on air quality.

In order to conduct this analysis, it was necessary to find the number of vehicles registered in Turin through, as a first

[1] Particulate matter with an aerodynamic diameter of less than 10 µm.

dell'Ateneo, con circa 140 sperimentatori a ottobre 2025, 69 viaggiatori attivi, 2400 viaggi effettuati.

L'iniziativa senz'altro contribuisce alla costruzione di una mobilità urbana più integrata, sicura e rispettosa dell'ambiente, in linea con gli obiettivi di sostenibilità e innovazione perseguiti sia dalla Città di Torino che dal Politecnico.

4. Metodologia adottata

Uno degli obiettivi è quello di valutare i reali benefici del MaaS in ambito urbano, analizzando diversi scenari di mobilità.

In particolare, si esaminano le emissioni prodotte dalla flotta di veicoli privati, considerando:

1. sia le emissioni locali inquinanti, nella fattispecie PM^1_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2,
2. sia quelle di natura globale, non inquinanti, ma che contribuiscono all'effetto serra, la CO_2 nella fattispecie,

e si confrontano con quelle generate dal parco autobus della città di Torino che offre servizio di TPL, al fine di comprendere l'impatto complessivo di ciascun scenario sulla qualità dell'aria.

Per condurre questa analisi, è stato necessario reperire il numero di veicoli immatricolati in Torino attraverso, in prima analisi, i dati del database dell'ACI, che fornisce una suddivisione dettagliata sul parco veicolare per tipologia di alimentazione e categoria (Euro) del motore.

Per quanto riguarda il parco autobus di GTT, i dati sono stati raccolti dalla sezione dedicata al parco veicoli, che riporta tutte le caratteristiche salienti dei mezzi in dotazione.

Il calcolo delle emissioni ha richiesto anche la stima delle percorrenze annuali di autoveicoli privati e autobus.

A. Per i primi, sono stati considerati due scenari di percorrenza, con una distanza minima di 4,9 km e una massima di 11,9 km per spostamento, dati derivanti da un'elaborazione raffinata di 5T con AMP (Agenzia per la Mobilità del Piemonte) di alcuni anni fa, ma con valori abbastanza conservativi, anche da un confronto con le indagini pubblicate da ISFORT.
B. Per gli autobus, invece, le percorrenze kilometriche annuali sono state fornite direttamente dall'azienda GTT (operatore unico del TPL in Torino), consentendo un'analisi più accurata dell'impatto ambientale del trasporto pubblico rispetto alla mobilità privata.

Successivamente, è stata condotta un'analisi dei fattori di emissione per autoveicoli e autobus, distinguendoli in base alla categoria di motori (Euro) e al tipo di alimentazione per le auto, e in base alla massa nonché alla categoria

[1] Particolato con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

analysis, data from the national ACI database, which provides a detailed breakdown of the vehicle fleet by fuel type and engine category (Euro).

As far as GTT's bus fleet is concerned, the data was collected from the section dedicated to the vehicle fleet, which shows all the salient features of the vehicles.

The calculation of emissions also required the estimation of the annual mileage of private cars and buses.

A. For the former, two mileage scenarios were considered, with a minimum distance of 4.9 km and a maximum of 11.9 km per trip, data deriving from a refined elaboration by 5T with AMP ("Agenzia per la Mobilità del Piemonte") a few years ago, but with fairly conservative values, also from a comparison with surveys published by ISFORT [17].

B. For buses, on the other hand, the annual km travelled were provided directly by GTT (the sole LPT operator in Turin), allowing a more accurate analysis of the environmental impact of public transport compared to private mobility.

Thereafter, an analysis of emission factors for cars and buses was conducted, distinguishing them according to engine category (Euro) and fuel type for cars, and according to mass and Euro category for buses. After finding this data, the formula for calculating emissions was applied:

$$E_{a_{i,j}} = \frac{P_a \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} N_{a_{i,j}} * F_{a_{i,j}}}{10^6}$$

Where:

- *E_a represents the amount of pollutant emitted, expressed in tonnes per year,*
- *P_a is the number of km travelled by both cars and buses,*
- *N_a is the number of vehicles on the road,*
- *F_a is the average emission factor, i.e. grams of pollutant emitted per kilometre travelled. The data are taken from the ISPRA database [15] on the average emission factors of road transport, considering, specifically, the urban sphere.*

After the analysis of the emissions, a simplified estimation of land occupation by private and public vehicles was conducted. For passenger cars, the used space was quantified using the surface area of a parking stall equal to 12.5 $m^{(2)}$ as a reference, recognising that this method does not take into account operating conditions in motion. For buses, on the other hand, a weighted average area was considered, calculated on the basis of the size of the vehicles owned by the public transport company.

The energy consumption of private and public vehicles was then calculated. In the absence of detailed public data on Turin's vehicle fleet broken down by segments, the consumption of a city car with different fuels (conventional for internal combustion engines, electric and methane; the percentage of actual hybrid cars is currently very marginal in the circulating fleet, even though it is growing significantly)

Figura 1 - Schema della metodologia adottata.
Figure 1 - Diagram of the methodology adopted.

Euro per gli autobus. Dopo aver reperito questi dati, è stata applicata la formula per il calcolo delle emissioni:

$$E_{a_{i,j}} = \frac{P_a \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} N_{a_{i,j}} * F_{a_{i,j}}}{10^6}$$

dove:

- *E_a rappresenta il quantitativo di inquinante emesso, espresso in tonnellate all'anno,*
- *P_a indica il numero di km percorsi sia dalle auto che dagli autobus,*
- *N_a è il numero di mezzi circolanti,*
- *F_a è il fattore di emissione medio, ossia i grammi di inquinante emesso per chilometro percorso. I dati sono ricavati dalla banca dati ISPRA [15] sui fattori di emissione medi del trasporto stradale, considerando, nello specifico, l'ambito urbano*

Dopo l'analisi delle emissioni, è stata condotta una stima semplificata dell'occupazione di suolo da parte dei mezzi privati e pubblici. Per le autovetture, l'area è stata quantificata utilizzando come riferimento la superficie di

was taken as a reference for cars. This choice is motivated by the fact that national statistics and market trends indicate that small models make up a significant share of sales and of the circulating car fleet in Italy, making the comparison consistent with that for city buses, which include vehicles powered by the same types of energy. For public transport, the maximum consumption for each category was assumed, adopting a conservative criterion to avoid underestimating real consumption and to make the comparison with the car more prudent. These data were obtained from GTT's (public transport operator in Turin) vehicle fleet records, ensuring an accurate comparison with the consumption of the private cars analysed. In order to compare the different vehicles homogeneously, the calorific value of fuels was used, expressing the energy consumption in kWh/100 km and then calculating the consumption per passenger.

Finally, road safety was also considered. The effect of traffic reduction on accidents was estimated, based on ISTAT data on the number of accidents and victims. From this data, the mortality rate was calculated (i.e. the number of deaths per 100 accidents); it was then assumed that the

uno stallo di sosta pari a 12,5 m², riconoscendo che tale metodo non tiene conto delle condizioni operative in movimento. Per gli autobus, invece, è stata considerata un'area media ponderata, calcolata sulla base delle dimensioni dei mezzi in dotazione all'azienda di trasporto pubblico.

Si sono poi calcolati i consumi energetici di mezzi privati e pubblici. In assenza di dati pubblici dettagliati sul parco veicolare di Torino suddiviso per segmenti, per le automobili si è assunto come riferimento il consumo di una *city car* con diverse alimentazioni (con motore termico convenzionale, elettrica e metano; la percentuale delle auto ibride effettive è al momento molto marginale sul parco circolante seppure in sensibile crescita). Tale scelta è motivata dal fatto che le statistiche nazionali e le tendenze di mercato indicano come i modelli di piccole dimensioni costituiscano una quota significativa delle vendite e del parco auto circolante in Italia, rendendo il confronto coerente con quello degli autobus urbani, che includono mezzi alimentati con le medesime tipologie energetiche. Per i mezzi pubblici sono stati assunti i consumi massimi per ciascuna categoria, adottando un criterio conservativo volto a evitare la sottostima dei consumi reali e a rendere il confronto con l'automobile più prudente. Questi dati sono stati reperiti dalle schede del parco veicoli di GTT, garantendo un confronto accurato con i consumi delle auto private analizzate. Per confrontare i diversi veicoli in modo omogeneo, è stato utilizzato il potere calorifico dei carburanti, esprimendo il consumo energetico in kWh/100 km e successivamente calcolando il consumo per singolo passeggero.

Infine, è stata considerata anche la sicurezza stradale. Si è stimato l'effetto della riduzione del traffico sugli incidenti, basandosi sui dati ISTAT relativi al numero di sinistri e vittime. A partire da questi dati, è stato calcolato il tasso di mortalità (ovvero il numero di decessi ogni 100 incidenti); si è poi ipotizzato che la diminuzione del traffico comporti una riduzione proporzionale degli incidenti, permettendo così di stimare un nuovo numero di sinistri e, applicando il tasso di mortalità, di calcolare il conseguente numero di vittime attese in questo scenario.

Un ulteriore obiettivo dell'analisi è la valutazione degli impatti del MaaS a scala regionale, per la quale è stata adottata una metodologia differente rispetto a quella utilizzata per l'ambito urbano.

La popolazione regionale è risultata di 4.251.623 abitanti al 2023, di cui la popolazione della provincia del capoluogo (2.204.632 nel 2023) è di poco superiore alla metà; questo denota una forte concentrazione urbana su Torino rispetto ad un territorio alquanto esteso come quello regionale; la popolazione della provincia di Torino è quasi tre volte superiore a quella comunale, il che già denota una forte gravitazione di popolazione, nonché aziende, nel territorio adiacente al Comune capoluogo.

Il tasso di motorizzazione in Torino risulta indicativamente pari 600 auto ogni mille abitanti (597,1 [Trasporto privato (istat.it)], seppure alcuni dati recenti indichino va-

reduction in traffic would lead to a proportional reduction in accidents, thus making it possible to estimate a new number of accidents and, by applying the mortality rate, to calculate the resulting number of victims expected in this scenario.

A further objective of the analysis is the assessment of the impacts of MaaS on the regional scale, for which a different methodology was adopted from that used for the urban context.

The regional population resulted to be 4'251'623 in 2023, of which the population of the province of Turin (2'204'632 in 2023) is slightly more than half; this denotes a strong urban concentration on Turin with respect to a territory as extensive as the regional one; the population of the province of Turin is almost three times higher than that of the municipality, which already denotes a strong gravitation of population, as well as companies, in the territory adjacent to the capital city.

The motorisation rate in Turin is indicatively 600 cars per thousand inhabitants (597.1) [Private transport (istat.it)], although some recent data indicate lower values (around 0.51), but these have not been verified. The Piedmont region has a higher rate of motorisation (0.7= 2'997'121 / 4'251'623, at the end of 2023) than Turin, which can be explained by the type of territory described above.

In order to conduct this analysis, it was necessary to find the number of vehicles circulating in Piedmont using, as a first analysis, data from the ANFIA database, which provides a detailed breakdown of the vehicle fleet by fuel type and engine category (Euro). As far as the bus fleet in Piedmont is concerned, the data were provided by AMP and were compared with those available from the ACI source, understanding the reasons for the numerical differences.

The calculation of emissions also requireAd estimating the annual mileage of private cars and buses.

A. For the former, two mileage scenarios were considered, with a distance of 4.3 km and one of 23.5 km per trip, data derived from an elaboration carried out by ISFORT, which divides the distance values into urban and extra-urban areas.

B. For buses, AMP systematically processes data on LPT usage and provided data on vehicles·km/year and passengers·km/year. With this information, it was possible to break down the vehicles·km according to fuel type and then calculate the emissions of the bus fleet (retrieved from ACI) by applying an average emission factor.

Next, an analysis of the emission factors for cars and buses was conducted as in the urban case. Unlike the urban case, energy consumption is not evaluated in this case due to a lack of solid data.

5. MaaSToMove - Municipality of Turin

Several analysis scenarios were produced in order to be able to place the data from the MaaS experimentation within themselves, according to their evolution over time. The

lori più contenuti (circa 0,51), ma non verificati. La Regione Piemonte presenta un tasso di motorizzazione (0,7= 2.997.121 / 4.251.623, a fine 2023) più elevato di Torino, peraltro motivabile con il tipo di territorio sopra descritto.

Per condurre questa analisi è stato necessario reperire il numero di veicoli circolanti in Piemonte attraverso, in prima analisi, i dati del database dell'ANFIA che fornisce una suddivisione dettagliata sul parco veicolare per tipologia di alimentazione e categoria (Euro) del motore. Per quanto riguarda il parco autobus del Piemonte, i dati sono stati forniti da AMP e sono stati confrontati con quelli disponibili da fonte ACI, comprendendo i motivi delle differenze numeriche.

Il calcolo delle emissioni ha richiesto anche la stima delle percorrenze annuali di autoveicoli privati e autobus.

A. Per i primi, sono stati considerati due scenari di percorrenza, con una distanza di 4.3 km e una di 23.5 km per spostamento, dati derivanti da un'elaborazione svolta a cura di ISFORT che suddivide i valori di distanza in ambito urbano ed in ambito extraurbano.

B. Per gli autobus, AMP elabora sistematicamente i dati sull'uso del TPL ed ha fornito i dati relativi ai veicoli·km/anno e ai passeggeri·km/anno. Grazie a queste informazioni, è stato possibile suddividere i veicoli·km in base al tipo di alimentazione e, successivamente, calcolare le emissioni della flotta di autobus (reperita da ACI) applicando un fattore di emissione medio.

Successivamente, viene condotta un'analisi dei fattori di emissione per autoveicoli ed autobus come nel caso urbano. A differenza dell'ambito urbano, in questo caso non vengono valutati i consumi energetici per mancanza di dati concreti.

5. *MaaSToMove* – Comune di Torino

Sono stati prodotti più scenari di analisi per poter collocare i dati derivanti dalla sperimentazione del MaaS all'interno di questi, in base alla loro evoluzione nel tempo. Gli scenari di mobilità urbana sono stati costruiti a partire da una situazione di riferimento rappresentativa dello stato attuale della mobilità a Torino, definita sulla base dei dati disponibili relativi alla ripartizione modale, al numero di spostamenti urbani e al parco veicolare circolante. A partire da tale scenario iniziale, sono state ipotizzate variazioni progressive delle quote modali, con una riduzione dell'uso dell'automobile privata e un incremento del trasporto pubblico e delle forme di mobilità condivisa.

Le variazioni introdotte negli scenari non hanno finalità previsionali, ma esplorative, e rispondono a una metodologia di analisi per scenari ampiamente utilizzata negli studi di mobilità sostenibile, volta a valutare gli effetti potenziali di cambiamenti comportamentali sugli impatti ambientali ed energetici del sistema dei trasporti. In tale contesto, il MaaS è considerato come fattore abilitante del cambiamento modale, in grado di ridurre le barriere all'uso del trasporto pubblico e incentivare gli utenti a lasciare

urban mobility scenarios were constructed from a reference situation representative of the current state of mobility in Turin, defined on the basis of available data on the modal split, the number of urban trips and the circulating vehicle fleet. Starting from this initial scenario, progressive changes in modal shares have been hypothesised, with a reduction in the use of private cars. an increase in public transport and various forms of shared mobility.

The variations introduced in the scenarios do not have a forecasting purpose, but an exploratory one, and respond to a scenario analysis methodology widely used in sustainable mobility studies, aimed at assessing the potential effects of behavioural changes on the environmental and energy impacts of the transport system. In this context, MaaS is considered as an enabler of modal change, capable of reducing barriers to public transport use and incentivising users to leave the private car behind, thanks to service integration, simplified access and more flexible pricing models.

The hypotheses underlying the mobility scenarios were defined taking into account the strategic framework and planning tools adopted by the City of Turin in the field of emissions reduction and sustainable mobility. This is the context of the Sustainable Urban Mobility Plan (PUMS in Italian), which promotes a progressive reduction in dependence on the private car through the strengthening of public transport, the integration of mobility services and the spread of low environmental impact solutions. The analysed scenarios, characterised by an increase in the modal share of public transport and a reduction in the use of private cars, are therefore aligned with the PUMS guidelines and represent a possible evolution of the urban mobility system in the case of an effective implementation of enabling tools such as MaaS.

To encourage the adoption of MaaS, it is essential to understand how the composition of Turin's vehicle fleet affects the city's air quality. Turin, like many other large Italian cities, faces a significant air pollution problem, linked to the combination of high traffic density, unfavourable weather conditions and persistent, albeit reduced, industrial activity: emissions from urban traffic overlap with those from Turin's western ring road with a prevalent air flow from the Susa Valley blowing eastwards, where the city is bordered by high hills. According to Legambiente's Mal'Aria di città 2024 report, in 2023 the slight improvement observed in some urban areas is mainly attributable to favourable weather conditions rather than structural measures, and Turin is still among the cities that exceed air quality limits. The municipality recorded an annual average concentration of PM_{10} of 28 µg/m³, with the same value in 2025. To comply with the new European limits that will come into force in 2030, set at 20 µg/m³, the city will have to reduce PM_{10} concentrations by 29%. For average concentrations of nitrogen dioxide ($NO_{(2)}$),an average value of 31 µg/m³ was recorded (33 in 2025), which is below the current limit of 40 µg/m³, but will have to be further reduced by 35% to comply with the new European limits of 20 µg/m³ set for 2030. [16]

Analysing the contribution of different vehicle categories

l'auto privata, grazie all'integrazione dei servizi, alla semplificazione dell'accesso e a modelli tariffari più flessibili.

Le ipotesi alla base degli scenari di mobilità sono state definite tenendo conto del quadro strategico e degli strumenti di pianificazione adottati dalla Città di Torino in materia di riduzione delle emissioni e di mobilità sostenibile. In tale contesto si inserisce il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), che promuove una progressiva riduzione della dipendenza dall'automobile privata attraverso il rafforzamento del trasporto pubblico, l'integrazione dei servizi di mobilità e la diffusione di soluzioni a basso impatto ambientale. Gli scenari analizzati, caratterizzati da un incremento della quota modale del trasporto pubblico e da una riduzione dell'uso dell'auto privata, risultano pertanto allineati con gli indirizzi del PUMS e rappresentano una possibile evoluzione del sistema di mobilità urbana nel caso di un'efficace implementazione di strumenti abilitanti come il MaaS.

Tabella 1 – *Table 1*

Caratteristiche degli scenari di mobilità analizzati

Characteristics of the analysed mobility scenarios

Scenari *Scenarios*	**N° automobili** *No. of cars*	**Distanze [km/spostamento]** *Distances [km/distance]*	**N° autobus** *No. buses*	**N° biciclette** *No. bicycles*
Scenario 1 *Scenario 1*	493837	4,6	573	50424
		11,9		
Scenario 2 *Scenario 2*	246918	4,6	573	50424
		11,9		
Scenario 3 Cintura *Scenario 3 Beltway (Cintura)*	335809	3,65	573	54205
Scenario 3 ZTL *Scenario 3 ZTL*	158028	4,6		
Scenario 4 Cintura *Scenario 4 Beltway (Cintura)*	335809	3,65	573	55085
Scenario 4 ZTL *Scenario 4 ZTL*	158028	4,6		

Per incentivare l'adozione del MaaS, è fondamentale comprendere in che modo la composizione del parco circolante di Torino influisca sulla qualità dell'aria della città. Torino, come molte altre grandi città italiane, affronta un rilevante problema di inquinamento atmosferico, legato alla combinazione di un'elevata densità di traffico condizioni meteorologiche sfavorevoli e una persistente, seppur ridotta, attività industriale: le emissioni del traffico urbano si sovrappongono a quelle della tangenziale ovest di Torino con un flusso d'aria prevalente dalla Val di Susa che spira verso est, dove la città è delimitata da alte colline. Secondo il rapporto Mal'Aria di città 2024 di Legambiente, nel 2023 il lieve miglioramento osservato in alcune realtà urbane è attribuibile principalmente a condizioni meteorologiche favorevoli piuttosto che a interventi strutturali, e Torino rientra ancora tra le città che superano i limiti di qualità dell'aria. Il comune ha registrato una concentrazione media annuale di PM_{10} pari a 28 µg/m³, con lo stesso valore nel 2025. Per conformarsi ai nuovi limiti europei che entreranno in vigore nel 2030, fissati a 20 µg/m³, la città dovrà ridurre le concentrazioni di PM_{10} del 29%. Per le concentrazioni medie di biossido di azoto (NO_2), è stato registrato un valore medio pari a 31 µg/m³ (33 nel 2025), un valore inferiore al limite attuale di 40 µg/m³, ma che dovrà essere ulteriormente ridotto del 35% per rispettare i nuovi limiti europei di 20 µg/m³ previsti per il 2030 [16].

Analizzare il contributo delle diverse categorie di veicoli alle emissioni inquinanti può aiutare a evidenziare i benefici di soluzioni di mobilità più sostenibili e a promuovere un maggiore utilizzo dei servizi MaaS.

Nel primo scenario, il numero di automobili è il più

to pollutant emissions can help to highlight the benefits of more sustainable mobility solutions and promote greater use of MaaS services.

In the first scenario, the number of cars is the highest, with almost 500'000 vehicles in circulation. The average distances travelled per trip vary between a minimum travel distance of 4.6 km and a maximum travel distance of 11.9 km, while the number of buses remains constant at 573. The number of bicycles used is around 50'424.

In the second scenario, the number of cars is drastically reduced by 50 per cent to around 246'918, while the other parameters, such as distances travelled and the number of buses, remain unchanged. The number of bicycles used also remains unchanged compared to scenario one.

In scenarios three and four, a distinction is introduced between 'Cintura' and 'ZTL', based on the hypothesis that by 2030 the ZTL (i.e. restricted traffic zone) will be extended to the entire city of Turin under a different connotation, i.e. that one could enter Turin only using electric traction, albeit using a hybrid-thermal vehicle, thus leaving outside the city the freedom to use thermal propulsion, albeit with biofuels, which would have a higher overall efficiency than an alternative currently in electric. Furthermore, in the scenarios considered, the number of cyclists is assumed to vary from 50'424 in the first scenario to 54'205 in the third scenario and increase to 55'085 in the last.

In order to estimate the distances travelled by vehicles, a differentiated approach was adopted: since no precise data were available on the distances travelled within the Cintura, it was assumed that journeys are evenly distributed with an average distance of 3.65 km. For vehicles moving within the

alto, con quasi 500.000 veicoli in circolazione. Le distanze medie percorse per spostamento variano tra una distanza di spostamento minima pari 4,6 km ad una distanza di spostamento massima pari a 11,9 km, mentre il numero di autobus rimane costante a 573 unità. Il numero di biciclette utilizzate si attesta intorno alle 50.424.

Nel secondo scenario, il numero di automobili si riduce drasticamente del 50%, scendendo a circa 246.918 unità, mentre gli altri parametri, come le distanze percorse e il numero di autobus, rimangono invariati. Anche il numero di biciclette utilizzate non subisce variazioni rispetto al primo scenario.

Negli scenari tre e quattro viene introdotta una distinzione tra "Cintura" e "ZTL", basata sull'ipotesi che entro nel 2030 la ZTL venga estesa a tutta la città di Torino sotto una connotazione differente, vale a dire che si potrebbe entrare in Torino solo usando l'autonomia in trazione elettrica seppure usando un veicolo ibrido-termico, quindi lasciando all'esterno della città la libertà di usare la trazione termica, ancorché con biocombustibili, peraltro avendo rendimento complessivo più elevato di un'alternativa attuale in elettrico. Inoltre, negli scenari considerati si ipotizza una variazione del numero di ciclisti che va da 50.424 nel primo scenario a 54.205 nel terzo scenario ed aumenta fino a 55.085 nell'ultimo.

Per stimare le distanze percorse dai veicoli, si è adottato un approccio differenziato: non disponendo di dati precisi sulle percorrenze all'interno della Cintura, si è ipotizzato che gli spostamenti siano distribuiti in modo uniforme con una distanza media di 3,65 km. Per gli autoveicoli che si muovono all'interno della ZTL, invece, si è fatto riferimento alla distanza minima già considerata nei primi due scenari, pari a 4,6 km per spostamento.

A prima vista, il numero totale di veicoli negli scenari tre e quattro sembra essere simile, ma la differenza principale risiede nell'ipotesi di conversione dei veicoli. Nel terzo scenario, si assume che nessun utente sia disposto a trasformare il proprio autoveicolo in un modello ibrido (con adeguata autonomia in elettrico, ad esempio con batteria da 10-20 kWh circa adatta sia a veicoli ibridi plug-in o PHEV che elettrici con estensione di autonomia mediante motore termico o REEV) o elettrico, quindi solo le auto già a trazione elettrica possono accedere alla ZTL. Al contrario, nel quarto scenario, si ipotizza che una parte dei veicoli provenienti sia dalla Cintura sia dalla ZTL venga convertita in mezzi ibridi (*full hybrid* con adeguata autonomia in elettrico o PHEV o REEV) o elettrici, consentendo loro di accedere alla ZTL. Di conseguenza, pur mantenendo un numero complessivo di auto similare, la composizione dei veicoli all'interno della ZTL varia tra i due scenari, influenzando così le dinamiche di circolazione e l'impatto ambientale.

5.1. Calcolo emissioni della flotta circolante autoveicoli

A questo punto vengono analizzate le emissioni prodot-

ZTL, on the other hand, reference was made to the minimum distance already considered in the first two scenarios, i.e. 4.6 km per trip.

At first glance, the total number of vehicles in scenarios three and four appears to be similar, but the main difference lies in the assumption of vehicle conversion. In the third scenario, it is assumed that no users are willing to convert their vehicles to a hybrid model (with adequate electric range, e.g. with a battery of approximately 10-20 kWh suitable for both plug-in hybrids or PHEVs and electric vehicles with range extension by means of an internal combustion engine or REEV) or battery electric vehicles, so only cars already with electric drive can access the ZTL. Conversely, in the fourth scenario, it is assumed that a portion of the vehicles from both the Cintura and the ZTL are converted to hybrids (full hybrid with adequate autonomy in electric or PHEV or REEV) or electric vehicles, allowing them access to the ZTL. Consequently, while maintaining a similar overall number of cars, the composition of vehicles within the ZTL varies between the two scenarios, thus affecting traffic dynamics and environmental impact.

5.1. Calculation of vehicle fleet emissions

At this point, the emissions produced by the different categories of cars are analysed, broken down according to fuel type and environmental standard. The analysis focuses on vehicles with an emission class of Euro 3 or higher, as there are very few cars in the Euro 0, 1 and 2 categories, and these are most probably vehicles for market activities or historic cars, used only for long distances or on special occasions, such as parades or dedicated events.

As a basis for the analysis of the subsequent scenarios, the modal distributions reported in the AMP survey on Piedmontese mobility are taken into account, illustrating the distribution of different trips in the metropolitan city of Turin.

Fig. 2 shows that, out of a total of 3'012'569 trips per day, 56.23% are made by private vehicles, 18.44% by public transport and 25.33% on foot or by bicycle. In addition, the AMP's analysis gives the total number of daily trips made by their survey sample of 9'076 people considered in the analysis, showing that on average each person makes 2.3 trips per day. Assuming that this sample is representative of the entire population of Turin and its Cintura (Beltway), we can extend this data to estimate the total number of vehicles used daily in the metropolitan area to make this number of trips. In each scenario, the percentages of the modal shares will be modified to assess the impact of different urban mobility configurations.

The value of 1'693'968 trips made by private vehicles also includes those made by motorbike; therefore, it is assumed that 90% of these are made by car, resulting in a total of 1'524'571 daily car trips. To estimate the actual number of cars used, we take the average number of daily trips per person to be 2.3, resulting in a total of 671'617 people using a car every day. Dividing this value by the average car

te dalle diverse categorie di autovetture, suddivise in base al tipo di alimentazione e allo standard ambientale. L'analisi si concentra sui veicoli con classe emissiva Euro 3 o superiore, poiché le autovetture appartenenti alle categorie Euro 0, 1 e 2 sono in numero molto limitato e, con ogni probabilità, si tratta di veicoli per attività mercatali oppure auto storiche, utilizzate solo per bevi distanze oppure in occasioni particolari, come parate o eventi dedicati.

Come base per l'analisi dei successivi scenari, si prendono in considerazione le ripartizioni modali riportate nell'indagine sulla mobilità piemontese dell'AMP, che illustra la ripartizione dei diversi spostamenti nella città metropolitana di Torino.

Dalla Fig. 2 si evince che, su un totale di 3.012.569 spostamenti al giorno, il 56,23% avviene con mezzi privati, il 18,44% con mezzi pubblici ed il 25,33% a piedi o in bicicletta. Inoltre, sempre dalle analisi dell'AMP si può ottenere il numero totale di spostamenti giornalieri effettuati dal loro campione di indagine, di 9076 persone considerate nell'analisi, evidenziando che in media ogni persona effettua 2,3 spostamenti al giorno. Supponendo che questo campione sia rappresentativo dell'intera popolazione di Torino e della sua Cintura, possiamo estendere questo dato per stimare il numero totale di mezzi utilizzati giornalmente nell'area metropolitana per compiere questo numero di spostamenti. In ciascuno scenario le percentuali delle quote modali verranno modificate per valutare l'impatto delle diverse configurazioni di mobilità urbana.

Il valore di 1.693.968 spostamenti effettuati con mezzi privati include anche quelli in moto; pertanto, si ipotizza che il 90% di essi sia realizzato in auto, ottenendo così un totale di 1.524.571 spostamenti giornalieri in automobile. Per stimare il numero effettivo di auto utilizzate, si considera il numero medio di spostamenti giornalieri per persona pari a 2,3, portando ad un totale di 671.617 persone che utilizzano l'auto ogni giorno. Dividendo tale valore per il

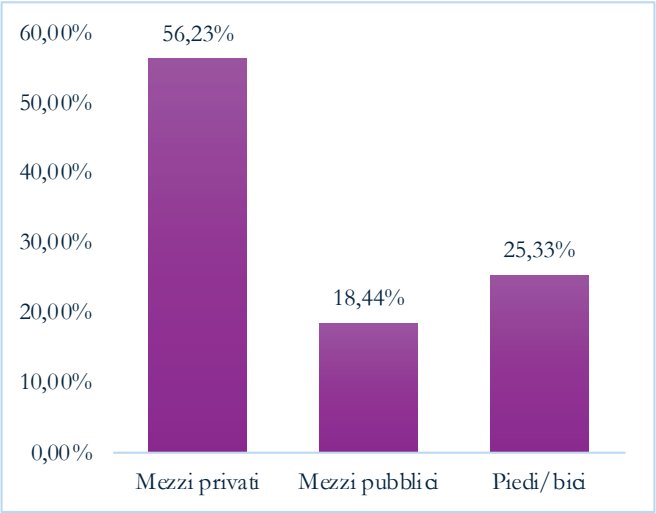
occupancy rate, equal to 1.36 according to ISFORT [17], a total number of cars used of 493'836 is obtained (the IMQ analysis, Fig. 2 , showed that out of a total of 3'012'569 trips per day, 56.23% are made by private means, thus out of a population of about 887'000 inhabitants this would imply about 498'000 vehicles moving daily, data that are fully comparable).

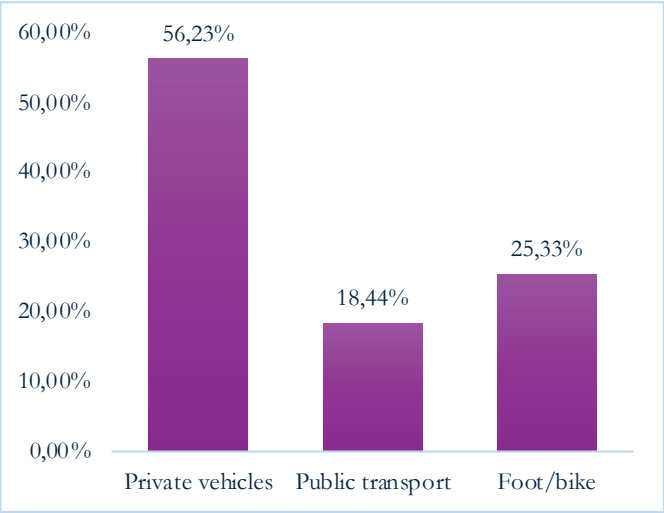
Starting from this value, reference was made to the current distribution of cars in Turin. From the general distribution of cars according to environmental category and fuel type (available on the ACI website [18]), the percentages belonging to each class were calculated.

These percentages were then applied to the number of cars expected in the different scenarios, allowing the values of both local and global pollutant emissions to be obtained for each scenario.

The results for local and global emissions are shown in Fig. 3, with a comparison between the different scenarios analysed.

Scenario 1.2 presents the highest values of pollutants, as in this case a maximum number of cars in circulation was assumed, travelling an average distance of 11.9 km. It can be seen that by reducing the distance travelled (scenario 1.1), emissions are reduced by 61%. A similar trend is seen in scenario 2, where in the second scenario, with half the number of vehicles in circulation, pollutant emissions are also halved compared to scenario 1.2. In the case of scenario 2.1, where both the number of vehicles and the distance travelled (4.6 km) decrease, emissions also decrease proportionally. For scenarios 3 and 4, emissions are much lower than for the other two, as the ZTL is assumed to be extended to the entire city of Turin. In these cases, emissions are derived from the sum of cars circulating both in the urban belt and within the city itself. In particular, in scenario 3, PM_{10} and $PM_{2.5}$ emissions in the ZTL are 5.67 tonnes per year and 2.23 tonnes per year, respectively. Finally, in scenario 4, the





(Fonte - *Source*: IMQ2022)

Figura 2 - Ripartizione modale degli spostamenti nella città di Torino.
Figure 2 - Modal split of trips in the city of Turin.

Tabella 2 – *Table 2*

Distribuzione percentuale del reale parco veicolare di Torino nel 2023
Percentage distribution of the actual vehicle fleet in Turin in 2023

	Benzina *Petrol*	**Metano** *Natural Gas (Methane)*	**Elettrico** *Electric*	**Diesel**	**GPL** *LPG*	**Ibrida benzina** *Hybrid petrol*	**Ibrida diesel** *Hybrid diesel*
EURO 0	6,5%	0,0007%	0,0000%	1,20%	0,3979%	0,00%	0,00%
EURO 1	1,1%	0,0003%	0,0000%	0,2419%	0,0971%	0,00%	0,00%
EURO 2	3,1%	0,0005%	0,0000%	0,7677%	0,2860%	0,00%	0,00%
EURO 3	4,0%	0,0007%	0,0000%	2,1867%	0,2459%	0,00%	0,00%
EURO 4	9,8%	0,0162%	0,0000%	4,4483%	2,7499%	0,0186%	0,00%
EURO 5	5,2%	0,0228%	0,0000%	4,9642%	1,8710%	0,1109%	0,00%
EURO 6	18,1%	0,0975%	0,0000%	11,9952%	6,9436%	12,2095%	0,4587%
Zero emissioni *Zero emissions*	0,0%	0,0000%	0,8843%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Totale *Total*	47,7798%	0,1387%	0,8843%	25,8041%	12,5914%	12,3389%	0,4627%

tasso di occupazione medio dell'auto, pari a 1,36 secondo ISFORT [17], si ottiene un numero complessivo di autovetture impiegate pari a 493.836 (dall'analisi IMQ, (Fonte - Source: IMQ2022)

Fig. 2, si evinceva che, su un totale di 3.012.569 spostamenti al giorno, il 56,23% avviene con mezzi privati, quindi su una popolazione di circa 887 mila abitanti questo implicherebbe circa 498 mila veicoli che si spostano quotidianamente, dati del tutto comparabili).

A partire da questo valore, si è fatto riferimento alla distribuzione attuale delle auto a Torino. Dalla distribuzione generale delle vetture in base alla categoria ambientale ed al tipo di alimentazione (reperibile sul sito dell'ACI [18]), sono state calcolate le percentuali di appartenenza a ciascuna classe.

Tali percentuali sono state successivamente applicate al numero di autovetture previsto nei diversi scenari, permettendo di ottenere i valori delle emissioni inquinanti, sia locali che globali, per ciascuno scenario.

Di seguito in Fig. 3 sono riportati i risultati relativi alle emissioni locali e globali, con un confronto tra i diversi scenari analizzati.

Lo scenario 1.2 presenta i valori più alti di inquinanti, poiché in questo caso si è ipotizzato un numero massimo di automobili in circolazione, che percorrono una distanza media di 11,9 km. Si osserva che, riducendo la distanza percorsa (scenario 1.1), le emissioni si riducono del 61%. Un andamento simile si riscontra anche nello scenario

contribution of emissions in the ZTL is 1.31 tonnes per year of PM_{10} and 5.84 tonnes per year of $PM_{2.5}$.

As far as CO_2 trends are concerned, the same trend can be observed as in the Fig. 3 analysed: in scenario 1.2, the highest levels of the pollutant are recorded, due to the presence of a greater number of vehicles and a longer distance travelled per trip. Scenarios 3 and 4, on the other hand, show significantly lower values than the first two scenarios, as the CO_2 contribution is limited exclusively to cars circulating outside the ZTL.

With regard to the land occupied in the different scenarios, it can be seen that, having assumed the same number of buses for all scenarios, the land occupied by these remains

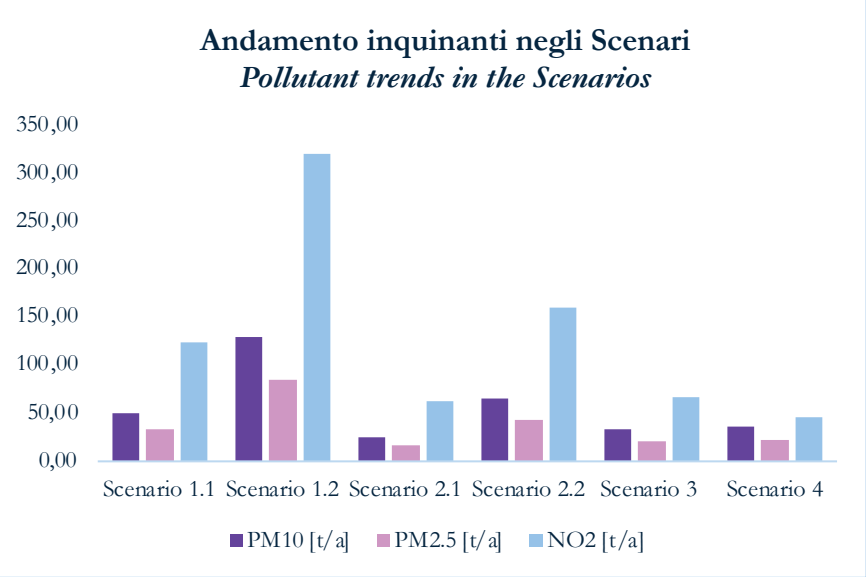


Figura 3 - Confronto andamento quantità di inquinanti nei diversi scenari.
Figure 3 - Comparison of pollutant emission trends in the different scenarios.

2, dove nel secondo panorama, con un numero dimezzato di veicoli in circolazione, le emissioni di inquinanti sono anch'esse dimezzate rispetto allo scenario 1.2. Nel caso dello scenario 2.1, dove diminuiscono sia il numero di veicoli che la distanza percorsa (4,6 km), anche le emissioni si riducono proporzionalmente. Per gli scenari 3 e 4, le emissioni sono molto più basse rispetto agli altri due, in quanto si suppone che la ZTL venga estesa all'intera città di Torino. In questi casi, le emissioni derivano dalla somma delle auto che circolano sia nella cintura urbana che all'interno della città stessa. In particolare, nello scenario 3, le emissioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$ nella ZTL sono rispettivamente di 5,67 tonnellate all'anno e 2,23 tonnellate all'anno. Infine, nello scenario 4, il contributo delle emissioni nella ZTL è pari a 1,31 tonnellate all'anno di PM_{10} e 5,84 tonnellate all'anno di $PM_{2.5}$.

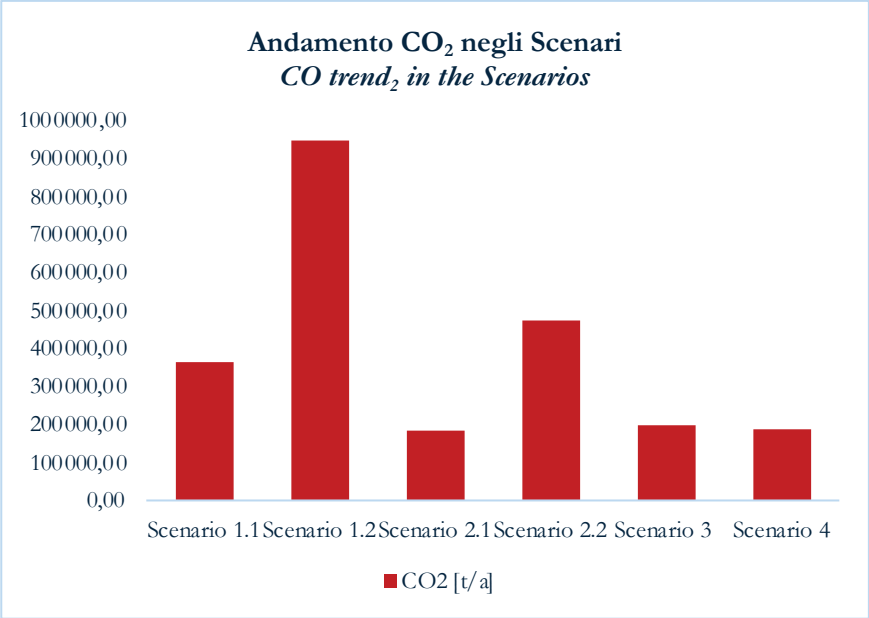


Figura 4 - Confronto andamento CO_2 nei diversi scenari.
Figure 4 - Comparison of CO_2 trends in the different scenarios.

Per quanto riguarda l'andamento della CO_2, si osserva lo stesso trend della Fig. 3 analizzata: nello scenario 1.2 si registra a più lunga per ogni spostamento. Negli scenari 3 e 4, invece, si osservano valori decisamente più bassi rispetto ai primi due scenari, poiché il contributo di CO_2 è limitato esclusivamente alle auto che circolano al di fuori della ZTL.

Per quanto riguarda il suolo occupato nei diversi scenari, si osserva che, avendo ipotizzato lo stesso numero di autobus per tutti gli scenari, il suolo occupato da questi rimane costante in ogni caso. Nello scenario 1, si nota che un numero di quasi 500.000 auto occupa un'area di 6,2 km², mentre nello scenario 2, con la riduzione del 50% del numero di veicoli, l'area occupata si dimezza, arrivando a 3,1 km². Negli scenari 3 e 4, invece, il contributo di suolo occupato è determinato dalla somma delle auto che circolano nella cintura urbana, con una piccola parte proveniente dalle auto presenti nella ZTL, che possono essere solo elettriche o ibride (*full hybrid* che usano trazione elettrica oppure ibride a ricarica, medesimo impiego). Nello scenario 4 si osserva un maggiore spazio occupato dai veicoli privati, poiché si è ipotizzato che una parte degli utenti sostituisca il proprio veicolo con uno elettrico o ibrido, permettendo così l'ingresso di questi veicoli nella ZTL. Al contrario, nello scenario 3 questa ipotesi non è stata considerata, quindi il contributo dei veicoli all'interno della ZTL risulta essere molto più basso rispetto allo scenario 4, in cui la percentuale di veicoli elettrici o ibridi è maggiore.

Infine, per quanto riguarda i consumi per passeggero, questi restano invariati nel primo scenario e nel terzo e quarto scenario, poiché dipendono dal tasso di occupazione dei mezzi. Negli scenari 3 e 4, è stata anche effettuata una verifica della capacità dei veicoli, in quanto si prevede che una parte degli utenti opti per un'alternativa all'auto

constant in each case. In scenario 1, it can be seen that a number of almost 500'000 cars occupy an area of 6.2 km², while in scenario 2, with the 50% reduction in the number of vehicles, the area occupied is halved to 3.1 km². In scenarios 3 and 4, on the other hand, the contribution of occupied land is determined by the sum of the cars circulating in the city belt, with a small part coming from the cars in the ZTL, which can be either electric only or hybrid (full hybrid using electric drive or rechargeable hybrid, same use). Scenario 4 shows a larger space occupied by private vehicles, since it was assumed that a proportion of users would replace their vehicle with an electric or hybrid, thus allowing these vehicles to enter the ZTL. On the contrary, in scenario 3 this assumption was not considered, so the contribution of vehicles within the ZTL is much lower than in scenario 4, where the percentage of electric or hybrid vehicles is higher.

Finally, as regards consumption per passenger, this remains unchanged in scenario 1 and in scenarios 3 and 4, as it depends on the occupancy rate of the vehicles. In scenarios 3 and 4, a check was also made on vehicle capacity, as it is expected that a proportion of users will opt for an alternative to the private car. This analysis, which assumed a bus occupancy rate of 30 per cent and a number of daily trips of 16, showed that the bus fleet can still handle this additional demand. Therefore, as the bus occupancy rate did not change, the consumption per passenger remains unchanged, as in the other scenarios. In scenario 2, on the other hand, the reduction in the share of private vehicle use led to a decrease in the number of cars on the road. In parallel, the average occupancy rate of buses was increased, highlighting a key aspect of public transport efficiency: a higher occupancy rate improves the efficiency of buses, making them far more efficient than the private car in the same fuel category.

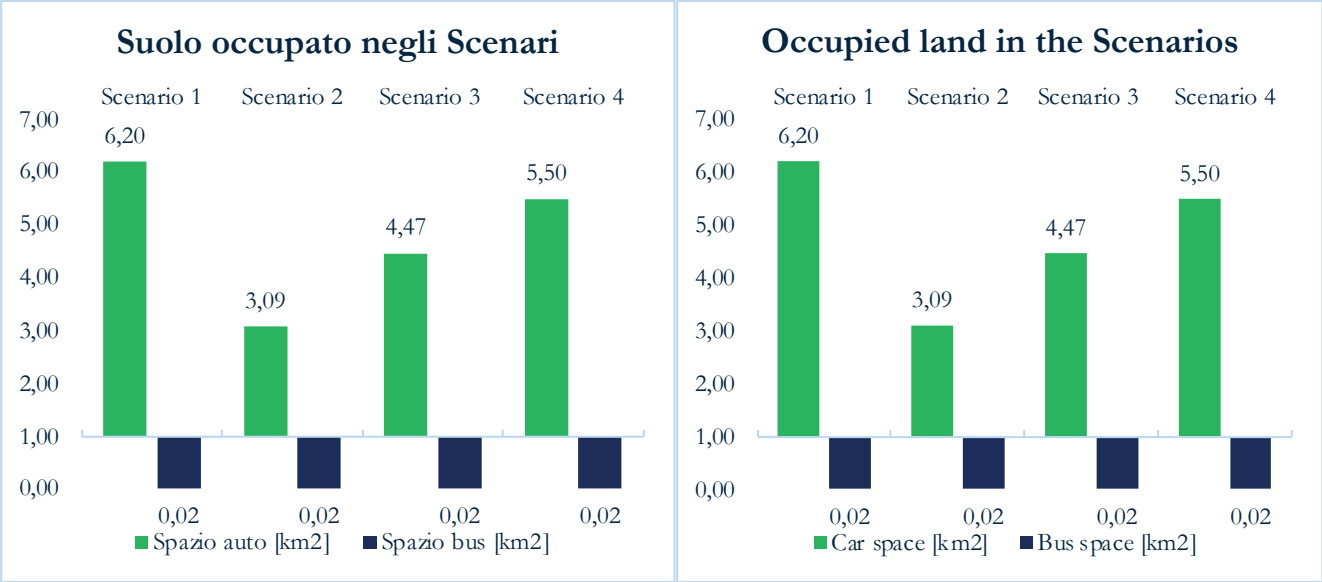


Figura 5 - Confronto suolo occupato nei diversi scenari.
Figure 5 - Comparison of occupied land in the different scenarios.

privata. Da questa analisi, in cui si è supposto un tasso di occupazione degli autobus pari al 30% e un numero di corse giornaliere pari a 16, è emerso che la flotta degli autobus riesce comunque a gestire questa domanda aggiuntiva. Pertanto, non essendo variato il tasso di occupazione degli autobus, il consumo per passeggero rimane invariato, come negli altri scenari. Nello scenario 2, invece, la riduzione della quota di utilizzo dei veicoli privati ha portato a una diminuzione del numero di autovetture circolanti. In parallelo, è stato aumentato il tasso di occupazione medio degli autobus, evidenziando un aspetto chiave dell'efficienza dei mezzi pubblici: un maggiore tasso di occupazione migliora l'efficienza degli autobus, rendendoli di gran lunga più efficienti dell'auto privata della stessa categoria di alimentazione. I consumi per passeggero risultano significativamente più bassi rispetto allo Scenario 1, un dato

The consumption per passenger is significantly lower than in Scenario 1, which is positive from an energy and environmental point of view, and the total consumption of the petrol car fleet also decreases, which is a direct consequence of the decrease in the total number of private vehicles on the road.

5.2. Calculation of bus fleet emissions (GTT)

GTT's bus fleet is made up of different vehicle categories, subdivided according to their power supply and emission level. Overall, GTT's bus fleet shows a good diversification, with a strong presence of less polluting vehicles and a significant number of electric and methane buses. This demonstrates the ongoing transition towards more sustainable and environmentally friendly public transport solutions.

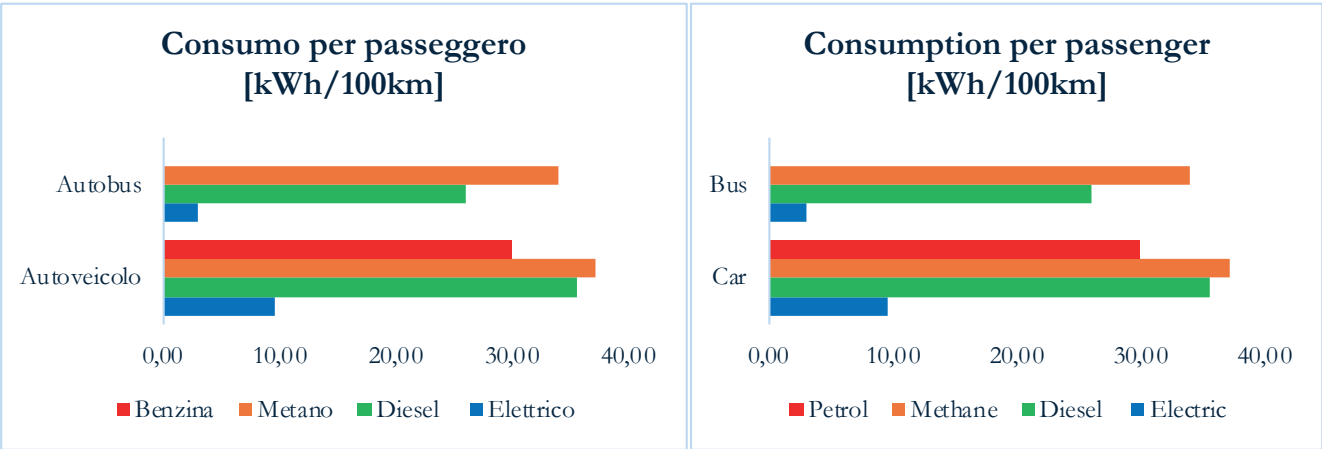


Figura 6 - Confronto consumi per passeggero per tipo di alimentazione e mezzo (tasso di occupazione dell'autobus pari al 30%).
Figure 6 - Comparison of consumption per passenger by fuel type and vehicle (bus occupancy rate of 30%).

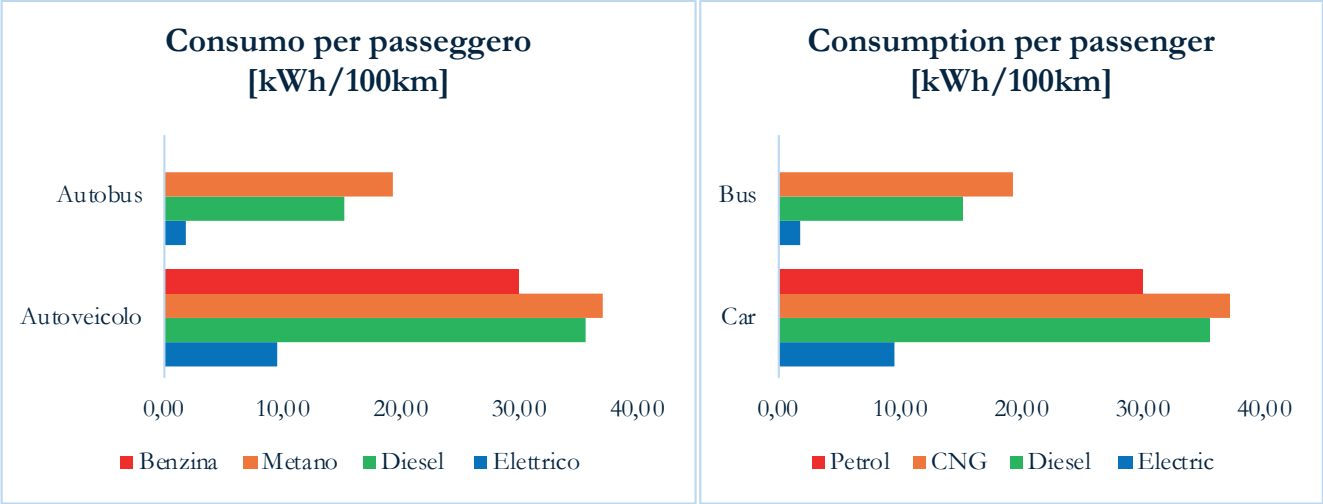


Figura 7 - Confronto consumi per passeggero per tipo di alimentazione e mezzo (tasso di occupazione dell'autobus pari al 50%).

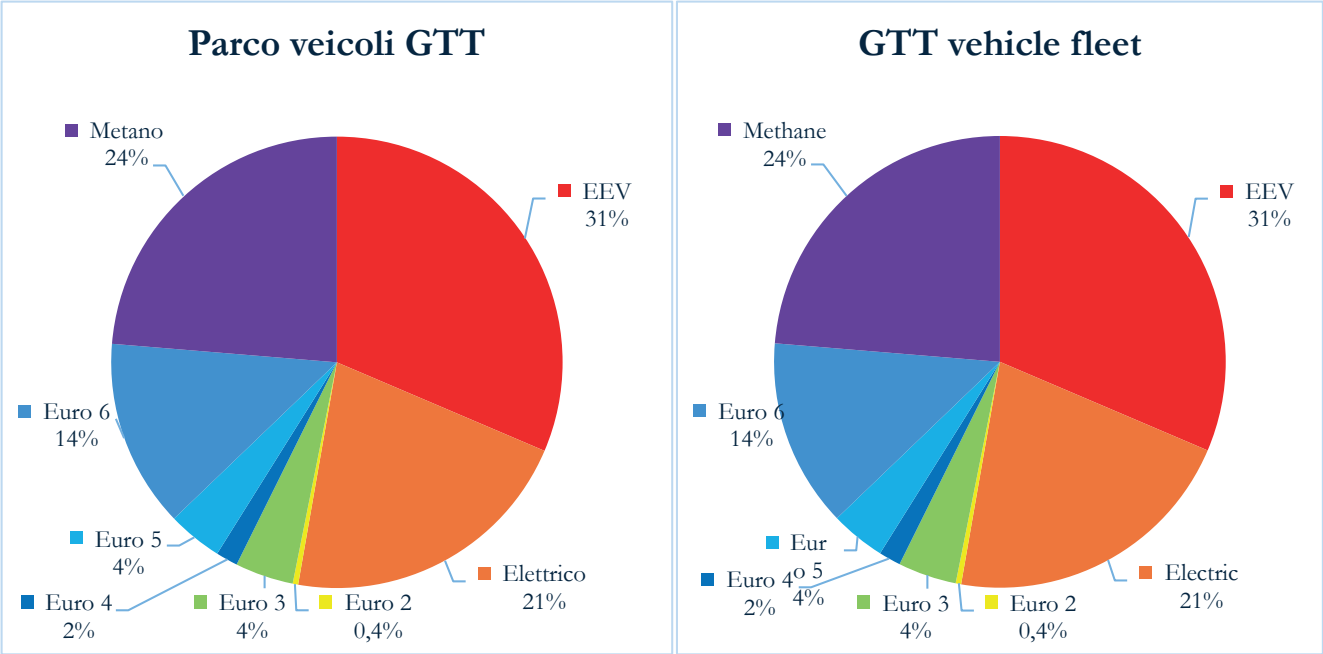
Figure 7 - Comparison of consumption per passenger by fuel type and vehicle (bus occupancy rate of 50%).

positivo dal punto di vista energetico e ambientale e anche il consumo totale della flotta di auto a benzina registra una riduzione, conseguenza diretta della diminuzione del numero complessivo di veicoli privati in circolazione.

5.2. Calcolo emissioni della flotta circolante autobus (GTT)

La flotta di autobus di GTT è composta da diverse ca-

The two graphs below (Fig. 9 and Fig. 10) clearly show the differences in emissions produced by the GTT fleet vehicles according to the type of power supply: electric, natural gas (methane) or diesel. In the first graph, dedicated to atmospheric pollutants such as PM_{10}, $PM_{2.5}$ and nitrogen dioxide (NO_2), it can be seen that diesel-powered vehicles are responsible for the majority of emissions. In particular, the contribution of diesel to the release of NO_2 is extremely high, while PM is significantly higher than that generated by natu-



(Fonte - *Source*: GTT)

Figura 8 - Ripartizione percentuale del parco autobus circolante generale del comune di Torino in base al tipo di standard ambientale.

Figure 8 - Percentage distribution of the general bus fleet in the municipality of Turin by type of environmental standard.

tegorie di veicoli, suddivise in base alla loro alimentazione e al livello di emissioni. Nel complesso, il parco mezzi di GTT mostra una buona diversificazione, con una forte presenza di veicoli meno inquinanti e un numero significativo di autobus elettrici e a metano. Questo dimostra la transizione in atto verso soluzioni di trasporto pubblico più sostenibili e rispettose dell'ambiente.

I due grafici di Figura 9 e Figura 10 mostrano in modo chiaro le differenze nelle emissioni prodotte dai mezzi della flotta GTT in base al tipo di alimentazione: elettrica, a metano o diesel. Nel primo grafico, dedicato agli inquinanti atmosferici come il PM_{10}, il $PM_{2.5}$ e il biossido di azoto (NO_2), si osserva che i veicoli alimentati a diesel sono responsabili della maggior parte delle emissioni. In particolare, il contributo del diesel al rilascio di NO_2 è estremamente elevato, mentre le polveri sottili risultano comunque significativamente superiori rispetto a quelle generate dai mezzi a metano. I veicoli elettrici non producono emissio-

ral gas vehicles. Electric vehicles do not produce direct emissions of these pollutants, a clear sign of the environmental advantages associated with this technology, provided it is sustainable under other analysis criteria, such as emissions over the life cycle and in the overall energy cycle, or relevant factors from the point of view of effective demand response as well as industrial supply.

The second graph focuses on CO_2 emissions, a key indicator for assessing the climate impact of transport. Again, diesel vehicles are clearly the most polluting, with emissions far exceeding those produced by natural gas. Electric vehicles, once again, show no direct carbon dioxide emissions, confirming their effectiveness in containing greenhouse gases.

Overall, the data show that diesel still represents the main source of local and global pollution in the GTT fleet. Methane presents itself as a less impactful, but not completely emission-free alternative. Electricity, on the other

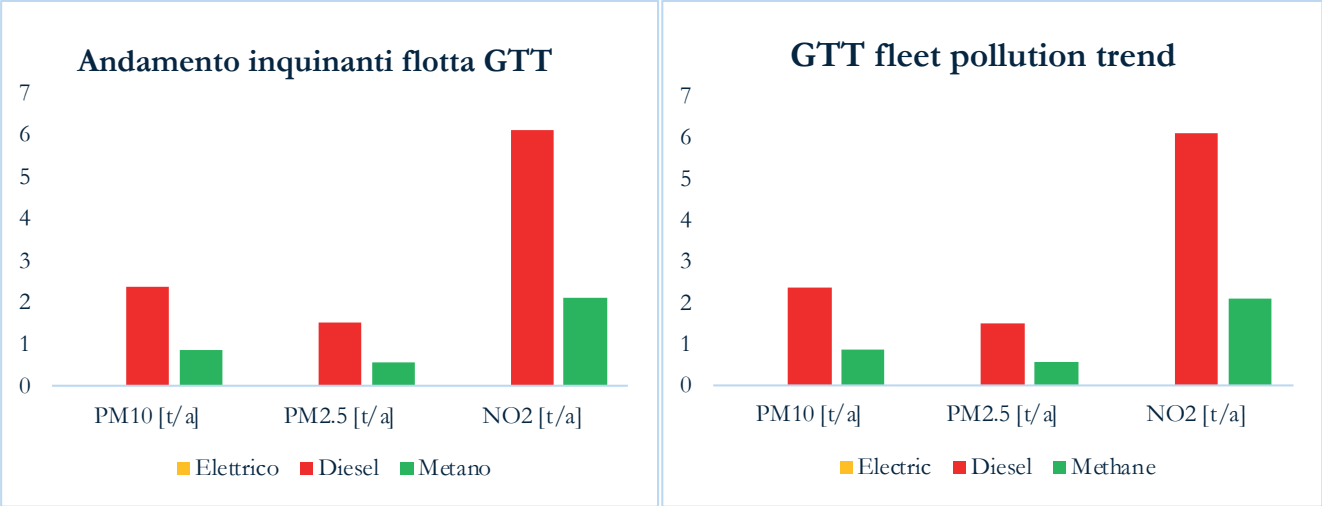


Figura 9 - Andamento inquinanti locali flotta GTT.
Figure 9 - GTT fleet local pollutant trends.

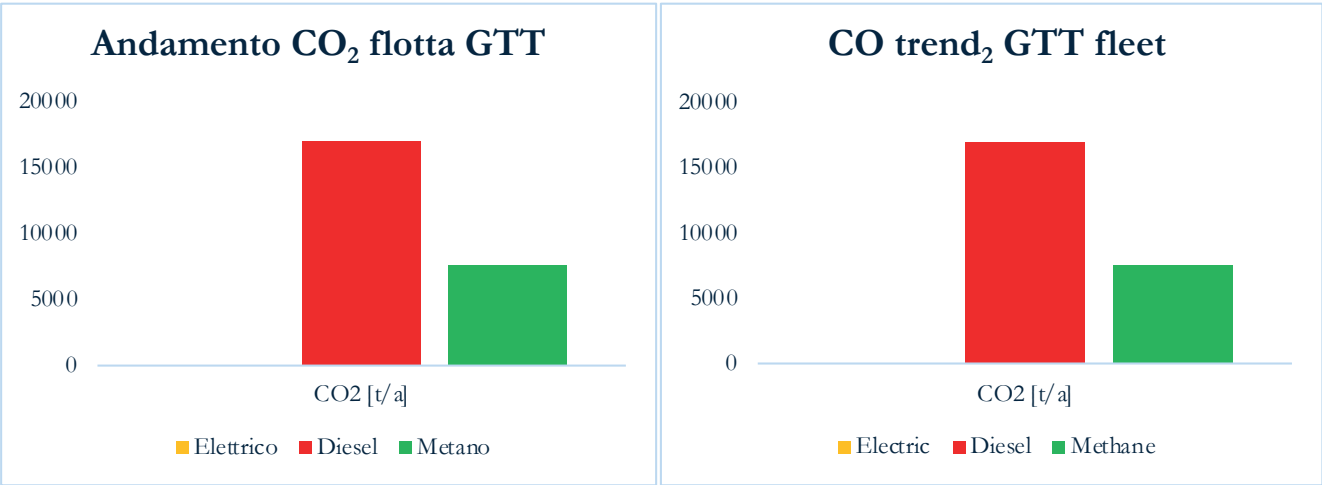


Figura 10 - Andamento inquinanti globali flotta GTT.
Figure 10 - Global pollutant trends GTT fleet.

ni dirette di questi inquinanti, segno evidente dei vantaggi ambientali associati a questa tecnologia, purché sostenibile sotto altri criteri di analisi, come le emissioni sul ciclo di vita e nel ciclo energetico complessivo, o fattori rilevanti dal punto di vista di effettiva rispondenza alla domanda nonché all'offerta industriale.

Il secondo grafico è focalizzato sulle emissioni di CO_2, un indicatore fondamentale per valutare l'impatto climatico dei trasporti. Anche in questo caso, i veicoli diesel risultano nettamente i più inquinanti, con emissioni che superano di gran lunga quelle prodotte dal metano. I mezzi elettrici, ancora una volta, non mostrano emissioni dirette di anidride carbonica, confermando la loro efficacia nel contenimento dei gas serra.

Complessivamente, i dati mettono in evidenza come il diesel rappresenti ancora oggi la principale fonte di inquinamento locale e globale nella flotta GTT. Il metano si presenta come un'alternativa meno impattante, ma non completamente priva di emissioni. L'elettrico, invece, si configura come la soluzione più sostenibile in città, essendo in grado di ridurre in modo significativo sia l'inquinamento atmosferico sia quello climatico, subordinatamente all'osservazione delle emissioni sul ciclo energetico complessivo e del ciclo di vita dell'autoveicolo.

6. MaaS Piemonte

Come base per l'analisi, si prendono in considerazione le ripartizioni modali riportate nell'indagine sulla mobilità piemontese dell'AMP (IMQ22), che illustra la ripartizione dei diversi spostamenti nel Piemonte.

Dal sito dell'ACI è possibile reperire il numero di veicoli che sono iscritti al PRA nella Regione Piemonte; di seguito

hand, emerges as the most sustainable solution in the city, being able to significantly reduce both air and climate pollution, subject to the observation of emissions over the overall energy and vehicle life cycle.

6. MaaS Piedmont

As a basis for the analysis, the modal distributions reported in the Piedmont mobility survey by AMP (IMQ22) are taken into account, which illustrates the distribution of different trips in Piedmont.

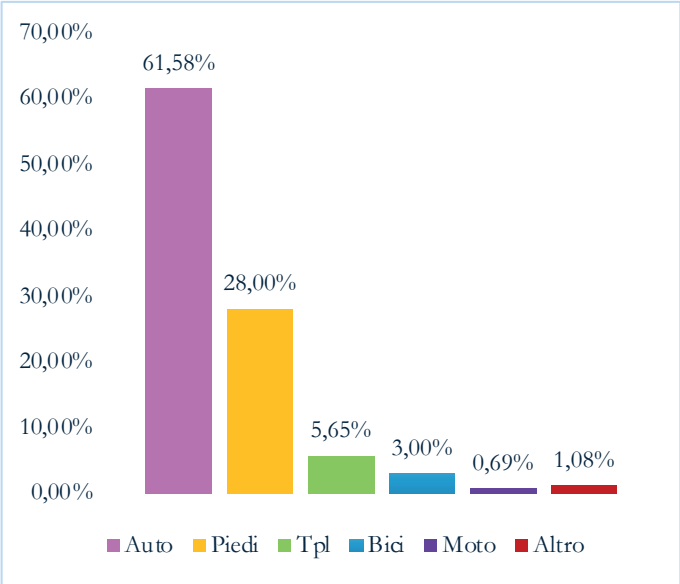
From the ACI website it is possible to find the number of vehicles that are registered at the PRA (i.e. the Public Vehicle Register) in the Piedmont Region; the following is the Tab. 3 with the distinction by euro category and fuel supply.

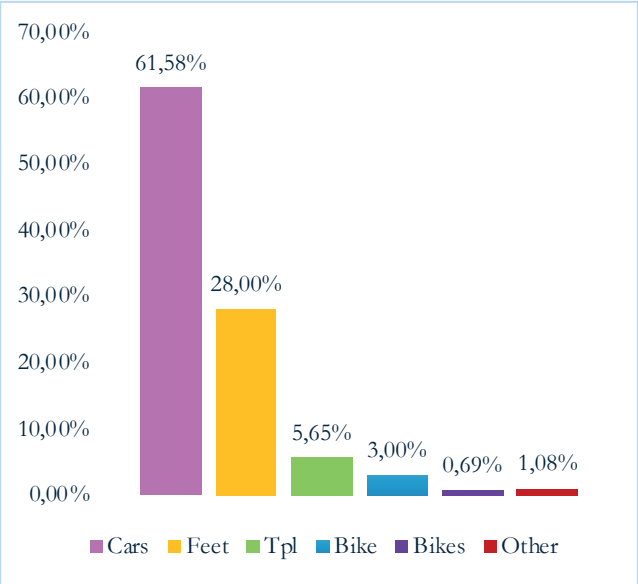
The characteristics of the scenarios analysed in the case of MaaS Piemonte are shown below in Tab. 5:

The following graphs show the trend in pollutant emissions, both local and global, in the different scenarios: an urban one, where emissions are calculated over a distance of 4.3 km, and an extra-urban one, based on a distance of 23.5 km.

Fig. 12 shows the emission trends of local pollutants (PM_{10}, $PM_{2.5}$ and NO_2) in four different scenarios, highlighting how technological choices and travel contexts affect air quality.

Scenario 2 turns out to be the most impactful in terms of emissions for all the pollutants considered, particularly for NO_2, where values exceed 1'300 tonnes per year. This refers to a scenario where there is a high number of vehicles travelling a greater distance than in Scenario 1. In contrast, Scenario 3 has the lowest levels in all pollutant categories,





(Fonte - *Source*: IMQ22)

Figura 11 - Ripartizione modale degli spostamenti in Piemonte.
Figure 11 - Modal split of trips in Piedmont.

si riporta la Tab. 3 con la distinzione in categoria euro e alimentazione.

Le caratteristiche degli scenari analizzati nel caso di MaaS Piemonte, sono riportate di seguito in Tab. 5:

I seguenti grafici riportano l'andamento delle emissioni inquinanti, sia locali che globali, nei diversi scenari: uno urbano, in cui le emissioni sono calcolate su una percorrenza di 4,3 km, e uno extraurbano, basato su una distanza di 23,5 km.

La Fig. 12 mostra l'andamento delle emissioni di inquinanti locali (PM_{10}, $PM_{2.5}$ e NO_2) in quattro diversi scena-

as it has half the number of vehicles on the road and also a shorter distance travelled. Scenarios 1 and 4 are in intermediate positions, with a low environmental impact compared to the peak of Scenario 2, but still significant, especially in the case of Scenario 4, which has high NO_2 values.

In summary, the comparison between the scenarios highlights the importance of technological choices in reducing local pollutants and confirms the extent to which switching to cleaner solutions can help improve air quality, especially in urban contexts with high traffic density.

The graph shows the trend of CO_2 emissions in the different urban mobility scenarios, clearly highlighting how

(Fonte – *Source: ACI)*

Tabella 3 – *Table 3*

Distribuzione delle autovetture iscritte al PRA in Piemonte (2023)
Distribution of cars registered at the PRA in Piedmont (2023)

Piemonte ***Piedmont***	**Benzina** ***Petrol***	**Metano** ***Methane***	**Elettrico** ***Electric***	**Diesel**	**GPL** ***LPG***	**Ibrido benzina** ***Hybrid petrol***	**Ibrido diesel** ***Hybrid diesel***	**Totale** ***Total***
EURO 0	177469	640		27877	10743			216729
EURO 1	36145	131		7463	2868			46607
EURO 2	110474	326		32643	7661			151104
EURO 3	128178	608		100920	6628	0	1	236335
EURO 4	314120	14031		222911	76137	328	0	627527
EURO 5	167829	7104		250501	55070	2598	143	483245
EURO 6	467001	8832		391191	151013	189073	12691	1219801
Zero emissioni ***Zero emissions***			14582					14582
Totale ***Total***	1401216	31672	14582	1033506	310120	191999	12835	2995930

Tabella 4 – *Table 4*

Distribuzione percentuale del parco veicolare iscritto al PRA in Piemonte (2023)
Percentage distribution of the vehicle fleet registered with the PRA in Piedmont (2023)

Piemonte ***Piedmont***	**Benzina** ***Petrol***	**Metano** ***Methane***	**Elettrico** ***Electric***	**Diesel**	**GPL** ***LPG***	**Ibrido benzina** ***Hybrid petrol***	**Ibrido diesel** ***Hybrid diesel***
EURO 0	5,92%	0,02%	0,00%	0,93%	0,36%	0,00%	0,00%
EURO 1	1,21%	0,00%	0,00%	0,25%	0,10%	0,00%	0,00%
EURO 2	3,69%	0,01%	0,00%	1,09%	0,26%	0,00%	0,00%
EURO 3	4,28%	0,02%	0,00%	3,37%	0,22%	0,00%	0,00%
EURO 4	10,48%	0,47%	0,00%	7,44%	2,54%	0,01%	0,00%
EURO 5	5,60%	0,24%	0,00%	8,36%	1,84%	0,09%	0,00%
EURO 6	15,59%	0,29%	0,00%	13,06%	5,04%	6,31%	0,42%
Zero emissioni ***Zero emissions***	0,00%	0,00%	0,49%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Totale ***Total***	46,77%	1,06%	0,49%	34,50%	10,35%	6,41%	0,43%

ri, evidenziando come le scelte tecnologiche e i contesti di percorrenza influiscano sulla qualità dell'aria.

Lo Scenario 2 risulta essere il più impattante in termini di emissioni per tutti gli inquinanti considerati, in particolare per il NO_2, dove i valori superano le 1300 tonnellate annue. Questo fa riferimento ad uno scenario dove si ha un alto numero di veicoli circolante che coprono una distanza maggiore rispetto allo Scenario 1. Al contrario, lo Scenario 3 presenta i livelli più bassi in tutte le categorie di inquinanti, in quanto presenta un numero dimezzato di veicoli circolanti ed anche una distanza a spostamento minore. Gli Scenari 1 e 4 si collocano in posizioni intermedie, con un impatto ambientale contenuto rispetto al picco dello Scenario 2, ma ancora significativo, soprattutto nel caso dello Scenario 4, che registra valori elevati di NO_2.

In sintesi, il confronto tra gli scenari mette in luce l'importanza delle scelte tecnologiche nella riduzione degli inquinanti locali e conferma quanto il passaggio a soluzioni più pulite possa contribuire a migliorare la qualità dell'aria, specialmente nei contesti urbani ad alta densità di traffico.

Il grafico mostra l'andamento delle emissioni di CO_2 nei diversi scenari di mobilità urbana, mettendo chiaramente in evidenza come la quantità di anidride carbonica rilasciata in atmosfera vari al variare delle condizioni di traffico e delle modalità di spostamento. I primi due scenari sono caratterizzati da un numero elevato di auto circolanti e, in particolare, lo Scenario 2 raggiunge il picco massimo, superando i 3.700.000 tonnellate all'anno, segno evidente di una mobilità fortemente dipendente dal mezzo privato e da spostamenti su lunghe distanze, in questo caso pari a 23,5 km. Nel complesso, il grafico evidenzia come la riduzione del numero di auto circolanti e la diminuzione delle distanze percorse siano elementi chiave per contenere le

Tabella 5 – *Table 5*

Caratteristiche degli scenari analizzati

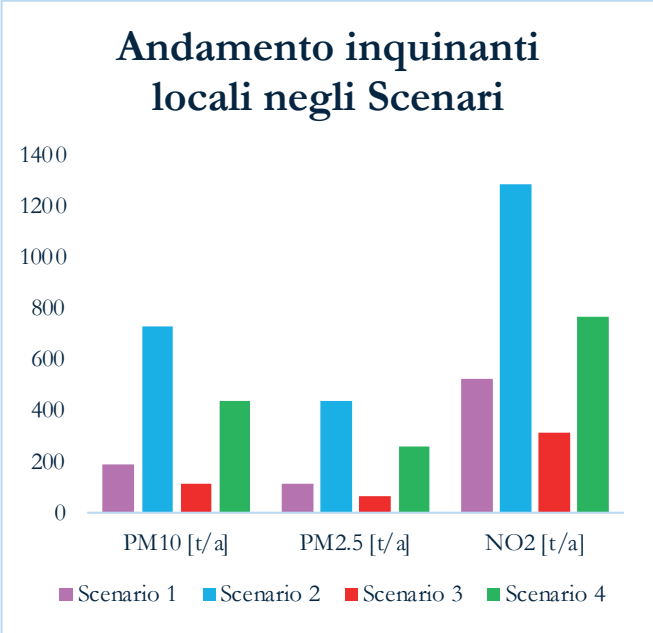
Characteristics of the analysed scenarios

Scenari *Scenarios*	**N° automobili** *No. of cars*	**Distanze [km/spostamento]** *Distances [km/distance]*
Scenario 1 *Scenario 1*	1642885	4,3
Scenario 2 *Scenario 2*	1642885	23,5
Scenario 3 *Scenario 3*	977873	4,3
Scenario 4 *Scenario 4*	977873	23,5

the amount of carbon dioxide released into the atmosphere varies as traffic conditions and travel modes vary. The first two scenarios are characterised by a high number of circulating cars and, in particular, Scenario 2 reaches its peak, exceeding 3'700'000 tonnes per year, a clear sign of a mobility strongly dependent on private vehicles and long-distance travel, in this case 23.5 km. Overall, the graph shows how reducing the number of cars on the road and decreasing the distances travelled are key elements in containing carbon dioxide emissions and making urban mobility more sustainable.

6.1. Regional fleet emissions calculation

This section analyses the emissions generated by the bus fleet currently circulating in Piedmont, with the objective of assessing the environmental impact associated with the



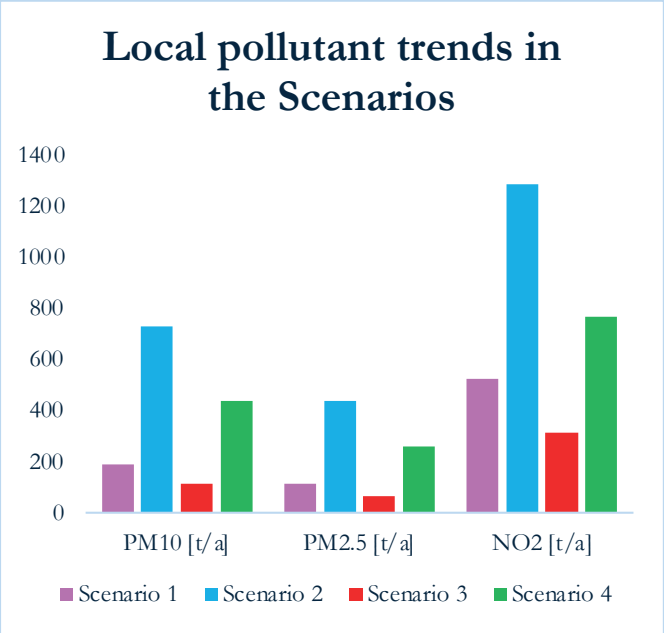


Figura 12 - Andamento inquinanti locali nei due scenari a livello regionale.
Figure 12 - Local pollutant trends in the two scenarios at regional level.

emissioni di anidride carbonica e rendere la mobilità urbana più sostenibile.

6.1. Calcolo emissioni flotta regionale

Nel presente paragrafo si procederà all'analisi delle emissioni generate dalla flotta di autobus attualmente in circolazione in Piemonte, con l'obiettivo di valutare l'impatto ambientale associato ai diversi tipi di alimentazione e di confrontare i livelli di inquinamento prodotti. I dati utilizzati sono stati forniti da AMP e si riferiscono all'intera flotta in dotazione nella regione. Tuttavia, l'analisi non considera la totalità del parco mezzi, poiché AMP definisce un Parco Autobus Ottimale (PAO) con aggiornamenti a cadenza quinquennale. Di conseguenza, il parco effettivamente in uso è soggetto a continue variazioni e può differire da quanto riportato da fonti ufficiali come ACI o ISTAT, infatti, alcuni autobus, pur risultando formalmente presenti nel parco mezzi, non sono operativi perché mantenuti in deposito o impiegati solo in situazioni eccezionali, ad esempio per sostituzioni temporanee, specie nel caso delle motorizzazioni più datate.

Nell'analisi è stato utilizzato il dato di veicoli·km/anno fornito da AMP. A partire da questo, è stata calcolata la percentuale di autobus diesel, a metano, elettrici, diesel ibridi, a benzina e GPL/benzina rispetto al numero totale dei veicoli. Queste percentuali sono state successivamente applicate al valore iniziale dei veicoli·km/anno, al fine di stimare il contributo kilometrico annuale di ciascuna tipologia di alimentazione. In altre parole, si è quantificato quanti veicoli·km/anno vengono percorsi, ad esempio, da autobus a diesel o a metano.

Poiché non sono disponibili informazioni dettagliate sulle caratteristiche di massa dei veicoli, per il calcolo delle emissioni è stato necessario utilizzare dei fattori di emissione medi distinti per ciascuna alimentazione. Moltiplicando tali fattori per i corrispondenti veicoli·km/anno, si è ottenuto il totale delle emissioni di CO_2, suddiviso per tipo di alimentazione. Infine, conoscendo anche il numero di passeggeri·km trasportati nell'arco dell'anno, è stato possibile calcolare le emissioni per passeggero, risultanti pari a 60,5 g CO_2/passeggero·km. In altri termini, ogni chilometro percorso da un passeggero in autobus comporta l'emissio-

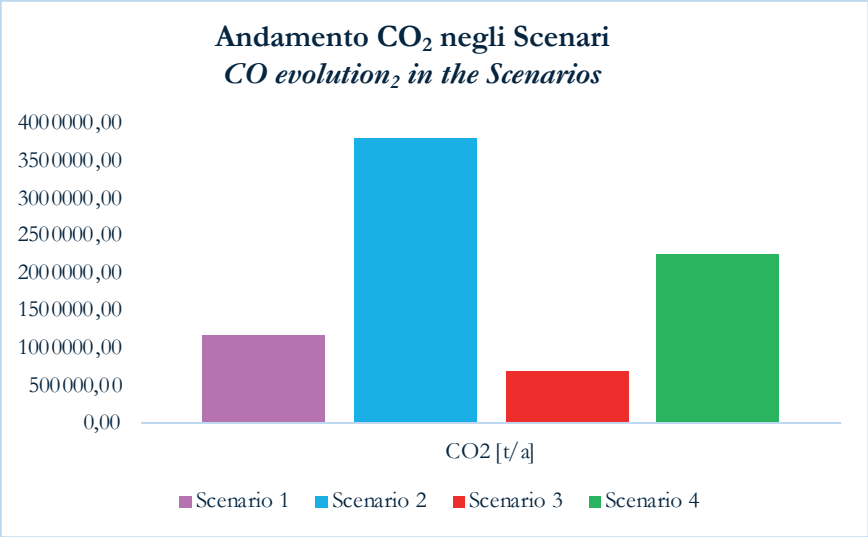
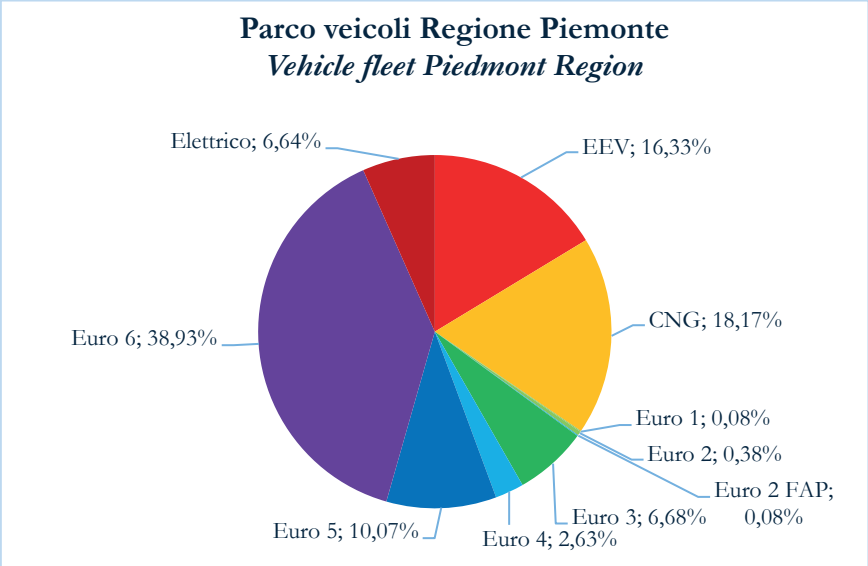


Figura 13 - Andamento CO_2 nei due scenari a livello regionale.
Figure 13 - CO_2 trends in the two scenarios at regional level.



(Fonte - *Source*: AMP)
Figura 14 - Parco veicoli Regione Piemonte.
Figure 14 - Piedmont Region vehicle fleet.

different types of fuel and comparing the levels of pollution produced. The data used was provided by AMP and refers to the entire fleet operating in the region. However, the analysis does not consider the entire fleet, since AMP defines an Optimal Bus Fleet (OBF, PAO in Italian) with updates every five years. As a result, the fleet actually in use is subject to continuous variations and may differ from what is reported by official sources such as ACI or ISTAT. In fact, some buses, although formally present in the fleet, are not operational because they are stored in the depot or used only in exceptional situations, for example for temporary replacements, especially in the case of older engines.

ne di circa 60,5 grammi di anidride carbonica. Nel calcolo delle emissioni attribuite alla flotta di autobus, sono stati presi in considerazione esclusivamente i veicoli alimentati a diesel, metano, diesel ibrido o classificati come EEV (*Enhanced Environmentally friendly Vehicles*), in quanto le alimentazioni a benzina o a GPL/benzina costituiscono una percentuale trascurabile del totale e risultano quindi non significative ai fini dell'analisi.

In generale, supponendo che un utente percorra 4,3 km o 23,5 km per ogni spostamento e realizzi 2,265 spostamenti al giorno, è possibile calcolare quanto segue:

A. Caso 1: 4,3 km (ambito urbano)

$$2{,}265\ spostamenti \cdot 4{,}3km \cdot 365 = 3554{,}92\ {}^{km}/_{anno}$$

$$3554{,}92\ {}^{km}/_{anno} \cdot 60{,}5\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{km} = 215072{,}96\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{anno}$$

$$\approx 215\ {}^{kg\ di\ CO_2}/_{anno}$$

B. Caso 2: 23,5 km (ambito extraurbano)

$$2{,}265\ spostamenti \cdot 23{,}5\ km \cdot 365 = 19428{,}04\ {}^{km}/_{anno}$$

$$19428{,}04\ {}^{km}/_{anno} \cdot 60{,}5\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{km} = 1175396{,}42\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{anno}$$

$$\approx 1175{,}4\ {}^{kg\ di\ CO_2}/_{anno}$$

7. Conclusioni

Il MaaS presuppone un approccio flessibile e plurimodale alla mobilità, che preferiamo anche identificare come gerarchico, vale a dire che l'ossatura principale della rete di trasporto a livello continentale ed in parte nazionale avviene – laddove possibile - sulla rete ferroviaria, poi man mano che si scende sulla scala locale si possono favorire altre modalità, dall'auto privata alla micro-mobilità, dal trasporto pubblico locale - su gomma, su ferro o a fune - alla pedonalità.

Questo approccio non implica che occorra né demonizzare l'auto privata né attribuire alla ferrovia o ad altri mezzi di trasporto pubblico più potenzialità ed attrattività di quanta possano realisticamente assumerne, ma affrontare la mobilità proprio con quella flessibilità nella scelta che privilegi - sulla lunga distanza - l'uso efficace del tempo di spostamento, il mantenimento a bassi livelli dei consumi e dell'impatto sulla rete nonché l'impatto su ambiente, sicurezza ed uso del suolo i più contenuti possibile, proprio per rispondere alle esigenze correnti di sostenibilità.

Il confronto tra gli scenari 1, 2, 3 e 4 e gli scenari 5 e 6 evidenzia due approcci profondamente diversi alla trasformazione del sistema di mobilità urbana. I primi quattro scenari rappresentano una progressione graduale, basata prevalentemente sulla riduzione del numero di veicoli privati in circolazione, meglio ancora se non ad uso singolo, sulla diminuzione delle percorrenze medie e, negli scenari più avanzati, sull'introduzione di vincoli di accesso come l'estensione della ZTL e il parziale ricorso alla conversione tecnologica del parco veicolare. Gli scenari 5 e 6, invece, si collocano su un piano differente, configurandosi come scenari più trasformativi, in cui il cambiamento modale è

The vehicle-km/year figure provided by AMP was used in the analysis. From this, the percentage of diesel, natural gas, electric, hybrid diesel, petrol and LPG/petrol buses in relation to the total number of vehicles was calculated. These percentages were then applied to the initial value of vehicle-km/year in order to estimate the annual kilometre contribution of each fuel type. In other words, it was quantified how many vehicle-km/year are travelled by, for example, diesel or natural gas buses.

Since no detailed information on the mass characteristics of the vehicles is available, separate average emission factors had to be used for the calculation of emissions for each fuel. By multiplying these factors by the corresponding vehicle-km/year, the total CO_2 emissions were obtained, broken down by fuel type. Finally, knowing also the number of passenger-km transported over the year, it was possible to calculate the emissions per passenger, resulting in 60.5 g CO_2/passenger-km. In other words, each kilometre travelled by a bus passenger results in the emission of approximately 60.5 grams of carbon dioxide. In the calculation of the emissions attributed to the bus fleet, only vehicles fuelled by diesel, natural gas, diesel hybrid or classified as EEV (Enhanced Environmentally friendly Vehicles) were taken into account, as petrol or LPG/petrol fuels make up a negligible percentage of the total and are therefore not significant for the purposes of the analysis.

In general, assuming that a user travels 4.3 km or 23.5 km per trip and makes 2.265 trips per day, the following can be calculated:

A. Case 1: 4.3 km (urban area)

$$2{,}265\ spostamenti \cdot 4{,}3km \cdot 365 = 3554{,}92\ {}^{km}/_{anno}$$

$$3554{,}92\ {}^{km}/_{anno} \cdot 60{,}5\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{km} = 215072{,}96\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{anno}$$

$$\approx 215\ {}^{kg\ di\ CO_2}/_{anno}$$

B. Case 2: 23.5 km (suburban area)

$$2{,}265\ spostamenti \cdot 23{,}5\ km \cdot 365 = 19428{,}04\ {}^{km}/_{anno}$$

$$19428{,}04\ {}^{km}/_{anno} \cdot 60{,}5\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{km} = 1175396{,}42\ {}^{g\ di\ CO_2}/_{anno}$$

$$\approx 1175{,}4\ {}^{kg\ di\ CO_2}/_{anno}$$

7. Conclusions

MaaS assumes a flexible, multi-modal approach to mobility, which we also prefer to identify as hierarchical, i.e. the main backbone of the transport network on a continental and partly national level is - wherever possible - the rail network, then as one moves down the local scale other modes can be favoured, from the private car to micro-mobility, from local public transport - by road, rail or cable - to walking.

This approach does not imply that it is necessary to demonise the private car, nor to attribute more potential and attractiveness to the railway or other means of public transport than they can realistically assume, but to approach mobility precisely with the flexibility of choice that favours - over the long haul - the efficient use of travel time, keeping consumption levels and impact on the network as low as possible, as well as the impact on the environment, safety

più marcato e il ruolo del trasporto pubblico e dei servizi integrati di mobilità risulta centrale.

Negli scenari 1 e 2, la riduzione delle emissioni e degli impatti ambientali è ottenuta principalmente attraverso interventi quantitativi: nel primo caso agendo sulla distanza media percorsa, nel secondo attraverso una riduzione significativa del numero di automobili circolanti. Tali scenari mostrano una relazione sostanzialmente proporzionale tra riduzione della domanda di mobilità privata ed effetti ambientali, con diminuzioni rilevanti ma lineari delle emissioni di inquinanti locali e di CO_2. Questo andamento suggerisce che, in assenza di cambiamenti strutturali nell'organizzazione dello spazio urbano e nelle modalità di accesso alla città, i benefici ambientali rimangono fortemente dipendenti dalla quantità di traffico veicolare.

Gli scenari 3 e 4 introducono un elemento qualitativamente diverso, rappresentato dall'estensione della ZTL all'intero territorio urbano e dalla distinzione tra area centrale e cintura. In questi casi, la riduzione delle emissioni non dipende solo dal numero di veicoli, ma anche dalla composizione del parco circolante e dalle limitazioni all'uso della trazione termica in ambito urbano. In particolare, il confronto tra scenario 3 e scenario 4 mostra come la possibilità di convertire parte del parco veicolare in veicoli elettrici o ibridi (sia a ricarica o PHEV, sia con estensione di autonomia con motore termico o REEV e sia pienamente ibridi) consenta una maggiore accessibilità alla ZTL, ma al tempo stesso comporti un aumento dello spazio occupato e una parziale attenuazione dei benefici ambientali rispetto allo scenario più restrittivo. Nel complesso, gli scenari 1, 2, 3 e 4 delineano un percorso di miglioramento progressivo, ma ancora fortemente ancorato alla presenza dell'auto privata come elemento strutturale del sistema di mobilità.

Gli scenari 5 e 6 si collocano su una scala di analisi differente rispetto ai precedenti, in quanto sono riferiti all'impatto del MaaS a livello regionale e considerano l'intero territorio del Piemonte. L'obiettivo dell'analisi è stato quello di esplorare il potenziale contributo del MaaS nel favorire una riduzione delle emissioni e dei consumi energetici su scala più ampia, agendo sull'integrazione dei servizi di mobilità e sull'ottimizzazione delle scelte di spostamento anche al di fuori del contesto urbano. Gli scenari 5 e 6 assumono quindi un ruolo complementare rispetto agli scenari urbani, fornendo un'indicazione sugli effetti sistemici che il MaaS potrebbe generare se adottato in modo diffuso a livello regionale.

In questa prospettiva, mentre gli scenari 1–4 consentono di analizzare in dettaglio le dinamiche e gli impatti della mobilità all'interno della città di Torino, gli scenari 5 e 6 permettono di estendere il ragionamento a una scala più ampia, evidenziando come il MaaS possa rappresentare uno strumento chiave non solo per la mobilità urbana, ma anche per la riduzione degli impatti ambientali complessivi del sistema dei trasporti regionali, fatta salva l'analisi sul ciclo di vita delle emissioni.

and land use as low as possible, precisely to meet current sustainability requirements.

A comparison of scenarios 1, 2, 3 and 4 with scenarios 5 and 6 highlights two profoundly different approaches to transforming the urban mobility system. The first four scenarios represent a gradual progression, based mainly on reducing the number of private vehicles in circulation, preferably not for single use, on decreasing average distances and, in the most advanced scenarios, on introducing access constraints such as the extension of the ZTL and the partial use of technological conversion of the vehicle fleet. Scenarios 5 and 6, on the other hand, are on a different level, being more transformative scenarios, in which the modal shift is more pronounced and the role of public transport and integrated mobility services is central.

In scenarios 1 and 2, the reduction of emissions and environmental impacts is achieved mainly through quantitative interventions: in the first case by acting on the average distance travelled, in the second by significantly reducing the number of cars on the road. These scenarios show a substantially proportional relationship between reduced demand for private mobility and environmental effects, with significant but linear decreases in local pollutant and CO_2 emissions. This trend suggests that, in the absence of structural changes in the organisation of urban space and access modes to the city, environmental benefits remain highly dependent on the amount of vehicular traffic.

Scenarios 3 and 4 introduce a qualitatively different element, represented by the extension of the ZTL to the entire urban territory and the distinction between the central area and the belt. In these cases, the reduction in emissions depends not only on the number of vehicles, but also on the composition of the circulating fleet and limitations on the use of thermal propulsion in urban areas. In particular, the comparison between scenario 3 and scenario 4 shows how the possibility of converting part of the vehicle fleet to electric or hybrid vehicles (either rechargeable or PHEV, or with extended range with an internal combustion engine or REEV, and either full hybrid) allows greater accessibility to the ZTL, but at the same time entails an increase in the space occupied and a partial attenuation of the environmental benefits compared to the more restrictive scenario. Overall, scenarios 1, 2, 3 and 4 outline a path of progressive improvement, but still strongly anchored to the presence of the private car as a structural element of the mobility system.

Scenarios 5 and 6 are on a different scale of analysis from the previous ones, as they refer to the impact of MaaS at regional level and consider the entire territory of Piedmont. The objective of the analysis was to explore the potential contribution of MaaS in favouring a reduction of emissions and energy consumption on a broader scale, acting on the integration of mobility services and the optimisation of travel choices also outside the urban context. Scenarios 5 and 6 thus play a complementary role with respect to the urban scenarios, providing an indication of the systemic effects that MaaS could generate if widely adopted at the regional level.

L'analisi della sperimentazione del MaaS a Torino evidenzia come questo nuovo modello di mobilità risulti particolarmente efficace in occasione di eventi cittadini, attirando soprattutto turisti e, in parte, anche residenti. Tuttavia, l'adozione quotidiana da parte della popolazione locale resta limitata e non incide in modo significativo sul traffico urbano complessivo.

Il trasporto pubblico locale si conferma la modalità più utilizzata, a dimostrazione di una buona copertura del territorio e della domanda di mobilità. Anche i taxi vengono impiegati, ma non rappresentano un problema ambientale rilevante, grazie alla modernità dei veicoli e all'integrazione con le corsie riservate. L'uso della micromobilità, invece, rimane basso, influenzato da fattori climatici e dalla preferenza per gli spostamenti a piedi.

Nonostante l'aumento del numero di utenti, molti non hanno modificato in modo sostanziale le proprie abitudini di mobilità. Tra gli utenti abituali, si registra una certa variabilità nell'uso del servizio, con alcuni che lo utilizzano di più, mentre altri lo riducono o mantengono costante. La consapevolezza dell'esistenza del MaaS è in crescita, specialmente in ambiti aziendali coinvolti nella sperimentazione, come il Politecnico di Torino, grazie a campagne interne di marketing. Tuttavia, una diffusione più ampia richiederebbe azioni di comunicazione più incisive a livello urbano.

Tra le prospettive future, si propone di estendere la ZTL a tutta Torino entro il 2030, trasformandola in una "zona ambientalmente protetta". Questa misura potrebbe ridurre significativamente le emissioni inquinanti e promuovere l'uso di veicoli elettrificati (ibridi a ricarica o PHEV, con estensione di autonomia mediante motore termico o REEV oppure solo elettrici o BEV), trasporto pubblico e micromobilità. Tuttavia, si evidenzia che anche i veicoli solo elettrici contribuiscono al particolato fine (PM_{10} e $PM_{2.5}$) a causa dell'usura di pneumatici e freni. Inoltre, le loro prestazioni variano in base all'età della batteria e alle condizioni climatiche, soprattutto in inverno.

La transizione verso una mobilità più sostenibile richiede anche un riequilibrio tra i costi fissi e variabili dei diversi mezzi di trasporto. Mentre l'auto privata comporta costi prevalentemente fissi (possesso o noleggio, tassa di circolazione ed assicurazione), il MaaS si basa su tariffe variabili. Rendere il MaaS più competitivo, ad esempio attraverso abbonamenti personalizzabili o incentivi aziendali, potrebbe incentivarne l'uso. Si ipotizza anche una "tassa di mobilità" che comprenda servizi MaaS, rendendoli parte integrante del sistema, di fatto riconducendo la tassa di possesso non alla sola classe di emissione del veicolo con relativa potenza, a prescindere dalla percorrenza sul suolo pubblico del veicolo, ma proporzionale alla distanza percorsa dal veicolo medesimo, ancorché in quota percentuale.

Infine, si sottolinea l'importanza degli strumenti digitali (come DSRM o *Data and Services Repository for MaaS*, RAP e NAP vale a dire *Regional e National Access Points*) per

In this perspective, while scenarios 1-4 allow a detailed analysis of the dynamics and impacts of mobility within the city of Turin, scenarios 5 and 6 allow the reasoning to be extended to a broader scale, highlighting how MaaS may represent a key tool not only for urban mobility, but also for the reduction of the overall environmental impacts of the regional transport system, without prejudice to the life cycle analysis (LCA) of emissions.

The analysis of the MaaS experiment in Turin shows how this new mobility model is particularly effective during city events, attracting mainly tourists and, to some extent, residents. However, daily adoption by the local population remains limited and does not significantly affect overall urban traffic.

Local public transport remains the most used mode, demonstrating good coverage of the territory and demand for mobility. Taxis are also used, but do not represent a significant environmental problem, thanks to the modernity of the vehicles and integration with reserved lanes. The use of micro-mobility, on the other hand, remains low, influenced by climatic factors and the preference for walking.

Despite the increase in the number of users, many have not substantially changed their mobility habits. Among regular users, there is some variability in the use of the service, with some using it more, while others reduce or keep it constant. Awareness of the existence of MaaS is growing, especially in corporate environments involved in experimentation, such as the Politecnico di Torino, thanks to internal marketing campaigns. However, a wider diffusion would require more incisive communication actions at urban level.

Among future prospects, it is proposed to extend the ZTL to the entire city of Turin by 2030, turning it into an 'environmentally protected zone'. This measure could significantly reduce pollutant emissions and promote the use of electrified vehicles (plug-in hybrids or PHEVs, range-extended hybrids or REEVs, as well as or battery electric vehicles or BEVs), public transport and micro-mobility. However, it is pointed out that even BEVs contribute to fine particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) due to tyre and brake wear. Furthermore, their performance varies according to battery age and weather conditions, especially in winter.

The transition towards more sustainable mobility also requires a rebalancing between the fixed and variable costs of different means of transport. Whereas the private car involves mostly fixed costs (ownership or rental, road tax and insurance), the MaaS is based on variable rates. Making the MaaS more competitive, e.g. through customisable subscriptions or company incentives, could incentivise its use. A 'mobility tax' is also envisaged that would include MaaS services, making them an integral part of the system, in fact making the possession tax not only dependent on the emission class of the vehicle and its power, regardless of the vehicle's distance travelled on public land, but proportional to the distance travelled by the vehicle itself, albeit as a percentage share.

Finally, the importance of digital tools (such as DSRM

l'integrazione e il funzionamento del MaaS. Inizialmente accolti con diffidenza da alcuni operatori del trasporto pubblico, sono stati poi riconosciuti come fondamentali per l'efficienza e lo sviluppo del sistema.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata sostenuta:

1) dal progetto "*Mobility as a Service* for Italy" a cui il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) dedica una parte degli investimenti e per il quale il Dipartimento per la trasformazione digitale (DTD) è soggetto attuatore, con il supporto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (MIT). Il Dipartimento per la trasformazione digitale è la struttura di supporto alla Presidenza del Consiglio dei Ministri per la promozione ed il coordinamento delle azioni del Governo finalizzate alla definizione di una strategia unitaria in materia di trasformazione digitale e di modernizzazione del Paese attraverso le tecnologie digitali.
2) dal progetto PRIN 2022, un programma di ricerca finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca italiano, "Italia Domani - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza; Unione Europea - Next Generation EU" nell'ambito di un progetto denominato "URGET VADEMECUM 2030–50" (*URban de- pollution and de-carbonisation from emissions GEnerated by Transport systems: eVAluation of DEdicated Methodologies, technologies and EConomic thresholds for an unprecedented Mobility at 2030–50*).

Torino

Nell'ambito del progetto "TorinoMaaS4Italy" (ovvero *"MaaS ToMove"*), condotto dal Comune di Torino (Dipartimento Ambiente, Grandi Opere, Infrastrutture e Mobilità), coordinato dai Ministeri MITD e MIT attraverso il programma *"MaaS for Italy"* e finanziato dal Fondo Complementare al PNRR (PNC) – Missione M1C1, Misura 1.4.6 "*Mobility as a Service* for Italy".

Piemonte

Nell'ambito del progetto *"MaaS for Piemonte"*, condotto dalla Regione Piemonte (Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Protezione Civile, Trasporti e Logistica), coordinato dai Ministeri MITD e MIT attraverso il programma *"MaaS for Italy"* e finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU – attraverso il PNRR, Missione M1C1, Misura 1.4.6 "*Mobility as a Service* for Italy".

or Data and Service Repository for MaaS, RAP and NAP i.e. Regional and National Access Points) for the integration and operation of MaaS is emphasised. Initially met with mistrust by some public transport operators, they have since been recognised as fundamental to the efficiency and development of the system.

Acknowledgements

This research was supported

1) by the 'Mobility as a Service for Italy' project, to which the National Recovery and Resilience Plan (PNRR) devotes part of its investment and for which the Department for Digital Transformation (DTD) is the implementing party, with the support of the Ministry of Infrastructure and Transport (MIT). The Department for Digital Transformation is the support structure of the Presidency of the Council of Ministers for the promotion and coordination of government actions aimed at defining a unified strategy for the digital transformation and modernisation of the country through digital technologies.
2) by the PRIN 2022 project, a research programme funded by the Italian Ministry of University and Research, 'Italia Domani - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza; Unione Europea - Next Generation EU' within a project called 'URGET VADEMECUM 2030-50' (URban de- pollution and de-carbonisation from emissions GEnerated by Transport systems: eVAluation of DEdicated Methodologies, technologies and EConomic thresholds for an unprecedented Mobility at 2030-50).

Torino

Within the framework of the 'TorinoMaaS4Italy' project (i.e. 'MaaS ToMove'), led by the City of Turin (Department of Environment, Major Works, Infrastructure and Mobility), coordinated by the Ministries MITD and MIT through the 'MaaS for Italy' programme and financed by the PNRR Complementary Fund (PNC) - Mission M1C1, Measure 1.4.6 'Mobility as a Service for Italy'.

Piedmont

In the framework of the project "MaaS for Piedmont", conducted by the Piedmont Region (Directorate for Public Works, Soil Defence, Civil Protection, Transport and Logistics), coordinated by the Ministries MITD and MIT through the programme "MaaS for Italy" and financed by the European Union - Next Generation EU - through the PNRR, Mission M1C1, Measure 1.4.6 "Mobility as a Service for Italy".

BIBLIOGRAFIA - *REFERENCES*

[1] Hietanen S (2014), *"'Mobility as a Service'-the new tranport model?"*, Eurotransport 2014, vol. 12, pp. 2-4,

[2] Muoversi a Torino, *"Il MaaS sbarca a Torino con il progetto Buoni Mobilità!"*, Marzo 2023. [Online]. Available: https://www.muoversiatorino.it/it/maastorino/. [Consultato nel corso del marzo-novembre 2025].

[3] 5T Srl (2023), *"I risultati della sperimentazione BIPforMaaS"*, 13 Aprile 2023. [Online]. Available: https://www.bipformaas.it/i-risultati-della-sperimentazione-bipformaas/. [Consultato nel corso del marzo-novembre 2025].

[4] Alyavina E., Nikitas A., Njoya E.T. (2022), *"Mobility as a Service (MaaS): A Thematic Map of Challenges and Opportunities". Res. Transp. Bus. Manag*. 2022, 100783. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100783

[5] Caballini C., Olivari E., Gasparini C., Dalla Chiara B. (2024), *"Mobility as a Service: an Italian MaaS pilot at regional level with public governance"*. European Transport \ Trasporti Europei 2024, Issue 97, Paper n° 12, ISSN 1825-3997. https://doi.org/10.48295/ET.2024.97.12.

[6] Arias-Molinares D., García-Palomares J.C. (2020), *"The Ws of MaaS: Understanding Mobility as a Service from a literature review"*. IATSS Res. 2020, 44, 253–263. https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.02.001.

[7] Liimatainen H., Mladenović M.N. (2018), *"Understanding the complexity of mobility as a service"*. Res. Transp. Bus. Manag. 2018, 1-2. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.004.

[8] Caballini C., Olivari E., Gasparini C., Dalla Chiara B. (2023), *"The Spread of MaaS Initiatives in Europe: The Leading Role of Public Governance Emerging from an Italian Regional Application"*, Sustainability 15 2023, no. 18: 13413. https://doi.org/10.3390/su151813413.

[9] Matyas M., Kamargianni M. (2021), *"Investigating Heterogeneity in Preferences for Mobility-as-a-Service Plans through a Latent Class Choice Model"*. Travel Behav. Soc. 2021, 23, 143–156. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.12.002

[10] Zijlstra T., Durand A., Hoogendoorn-Lanser S., Harms L. (2020), *"Early Adopters of Mobility-as-a-Service in the Netherlands"*. Transp. Policy 2020, 97, 197–209. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.07.019.

[11] Kivimaa P., Rogge K.S. (2022), *"Interplay of Policy Experimentation and Institutional Change in Sustainability Transitions: The Case of Mobility as a Service in Finland"*. Res. Policy 2022, 51, 104412. https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104412.

[12] Kim Y., Kim E.-J., Jang S., Kim D.-K. (2021), *"A Comparative Analysis of the Users of Private Cars and Public Transportation for Intermodal Options under Mobility-as-a-Service in Seoul"*. Travel Behav. Soc. 2021, 24, 68–80. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.03.001.

[13] Storme T., De Vos J., De Paepe L., Witlox F. (2020), *"Limitations to the Car-Substitution Effect of MaaS. Findings from a Belgian Pilot Study"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2020, 131, 196–205. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.032.

[14] Cottrill C.D. (2020), *"MaaS Surveillance: Privacy Considerations in Mobility as a Service"*. *Transp. Res. Part A Policy Pract*. 2020, *131*, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.026.

[15] ISPRA (2022), *"La banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia"*, 2022. https://fetransp.isprambiente.it/#/.

[16] Legambiente (2024), *"Mal d'Aria di città"*.

[17] ISFORT (2024), *"21° Rapporto sulla mobilità degli italiani"*.

[18] Automobile Club d'Italia, *"Open Parco Veicoli"*, [Online]. Available: https://opv.aci.it/WEBDMCircolante/.

[19] Alyavina E., Nikitas A., Tchouamou Njoya E. *Mobility as a Service* and Sustainable Travel Behaviour: A Thematic Analysis Study. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2020, *73*, 362–381. https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.07.004.

[20] Becker H., Balac M., Ciari F., Axhausen K.W. (2020), *"Assessing the Welfare Impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS)"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2020, 131, 228–243. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.027.

[21] Butler L., Yigitcanlar T., Paz A. (2021), *"Barriers and Risks of Mobility-as-a-Service (MaaS) Adoption in Cities: A Systematic Review of the Literature"*. Cities 2021, 109, 103036. https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103036. https://doi.org/10.48295/ET.2024.97.12.

[22] Hensher D.A., Ho C.Q., Reck D.J. (2021), *"Mobility as a Service and Private Car Use: Evidence from the Sydney MaaS Trial"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2021, 145, 17–33. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.12.015.

[23] Ho C.Q., Hensher D.A., Mulley C., Wong Y.Z. (2018), *"Potential Uptake and Willingness-to-Pay for Mobility as a Service (MaaS): A Stated Choice Study"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2018, 117, 302–318. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.025.

[24] Huhtala-Jenks K. (2019), *"Sustainable Freedom with Mobility as a Service"*. 2019. Available online: https://maas-alliance.eu/wp-content/uploads/sites/7/2019/11/MaaS-Global.pdf (accessed on 28 August 2023).

[25] Jittrapirom P., Marchau V., van der Heijden R., Meurs H. (2018), *"Dynamic Adaptive Policymaking for Implementing Mobility-as-a Service (MaaS)"*. Res. Transp. Bus. Manag. 2018, 27, 46–55. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.07.001.

[26] Karlsson I.C.M., Mukhtar-Landgren D., Smith G., Koglin T., Kronsell A., Lund E., Sarasini S., Sochor J. (2020), *"Development and Implementation of Mobility-as-a-Service—A Qualitative Study of Barriers and Enabling Factors"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2020, 131, 283–295. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.028.

[27] Pangbourne K., Mladenović M.N., Stead D., Milakis D. (2020), *"Questioning Mobility as a Service: Unanticipated Im-*

plications for Society and Governance". Transp. Res. Part A Policy Pract. 2020, 131, 35–49. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.033.

[28] Polydoropoulou A., Pagoni I., Tsirimpa A., Roumboutsos A., Kamargianni M., Tsouros I. (2020), *"Prototype Business Models for Mobility-as-a-Service"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2020, 131, 149–162. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.035.

[29] Schikofsky J., Dannewald T., Kowald M. (2020), *"Exploring Motivational Mechanisms behind the Intention to Adopt Mobility as a Service (MaaS): Insights from Germany"*. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2020, 131, 296–312. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.022.

[30] Smith G., Hensher D.A. (2020) Towards a Framework for Mobility-as-a-Service Policies. *Transp. Policy* 2020, *89*, 54–65. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.02.004.

[31] Smith G., Sochor J., Karlsson I.C.M. (2018), *"Mobility as a Service: Development Scenarios and Implications for Public Transport"*. Res. Transp. Econ. 2018, 69, 592–599. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.04.001.

[32] Sochor J., Arby H., Karlsson I.C.M., Sarasini S. A (2018), *"Topological Approach to Mobility as a Service: A Proposed Tool for Understanding Requirements and Effects, and for Aiding the Integration of Societal Goals"*. Res. Transp. Bus. Manag. 2018, 27, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.003.

[33] Surakka T., Härri F., Haahtela T., Horila A., Michl T. (2018), *"Regulation and Governance Supporting Systemic MaaS Innovations."* Res. Transp. Bus. Manag. 2018, 27, 56–66. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.001.

[34] Van den Berg V.A.C., Meurs H., Verhoef E.T. (2022), *"Business Models for Mobility as a Service (MaaS)"*. Transp. Res. Part B Methodol. 2022, 157, 203–229. https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.02.004.

[35] Corazza M.V., Carassiti G., (2021), *"Investigating Maturity Requirements to Operate Mobility as a Service: The Rome Case"*. Sustainability 2021, 13, 8367. https://doi.org/10.3390/su13158367.

[36] Corazza M.V., Carassiti G. (2021), *"Mobility as a Service in the city of Rome: potential and feasibility"*. 2021.

[37] Pirozzi R., Caiazzo E., Chicchinelli N. (2012), *"Sistema informatico delle manutenzioni in un'azienda di trasporto pubblico locale: Come ridurre i costi di manutenzione e aumentare i livelli di qualità e sicurezza"*. Ingegneria Ferroviaria 2012, 1, 59–63.

[38] Cascetta E., Cartenì A., Carbone A. (2012), *"La progettazione quality-based nel trasporto pubblico locale. Il sistema di metropolitana regionale della Campania"*. Ingegneria Ferroviaria 2012, 3, 241–261.

[39] Nocera S. (2012), *"Un approccio operativo per la valutazione della qualità nei servizi di trasporto"*. Ingegneria ferroviaria 2012, 1, 363–383.

[40] Lopez-Lambas M.E., Cascajo R. (2015), *"Verso sistemi di trasporto pubblico intelligenti e sostenibili migliorando il livello e la qualità del servizio"*. Ingegneria Ferroviaria 2015, 4, 359–375.

[41] Petruccelli U. (2011), *"La qualità percepita nel trasporto pubblico locale: un modello multicriteri per la selezione di scenari migliorativi"*. Ingegneria Ferroviaria 2011, 9, 717–744.