



La settima rivoluzione dei trasporti. Le innovazioni in corso e i possibili scenari futuri

The seventh transport revolution. Ongoing innovations and possible future scenarios

Ennio CASCETTA (*)

Ilaria HENKE (**)

Maria Ida DI BARTOLOMEO (***)

Sommario - Nella storia dell'uomo si sono verificati numerosi e significativi cambiamenti nelle modalità e nelle tecnologie utilizzate per muovere persone e cose. Nell'articolo "Le sei rivoluzioni dei trasporti e le loro evoluzioni. Una breve storia dalle origini ai giorni nostri", è stata proposta una lettura delle innovazioni nei trasporti avvenute nella storia basata sui concetti di rivoluzione ed evoluzione. Seguendo questo approccio, in questo articolo sono state analizzate le principali innovazioni in corso nel settore che per ampiezza e possibili impatti non hanno precedenti nella storia. Le rivoluzioni precedenti, infatti, traevano spunto da un "elemento guida", spesso una innovazione tecnologica, che riguardava la fonte energetica della trazione (trazione animale, navigazione a vela, trazione a vapore, trazione a combustione interna), in altri casi la tecnologia di moto (la ruota) o di trasferimento (la logistica del container). Oggi sono in atto contemporaneamente innovazioni potenzialmente "disruptive" in diversi settori dei trasporti: i sistemi di guida e di connessione dei veicoli di tutti i tipi, le fonti e i vettori dell'energia di trazione, i modelli di produzione dei servizi di mobilità e di trasporto, nuovi veicoli e sistemi di trasporto. In questo articolo si analizzano brevemente le principali linee di innovazione oggi in atto nei diversi settori ed il loro livello di maturità, oltre ad alcune possibili interazioni tra di esse che sono ad oggi in fase embrionale e che potranno dar luogo entro la metà di questo secolo alla settima rivoluzione dei trasporti che richiederà notevoli capacità di adattamento alle discipline che si occupano di pianificazione, progettazione e gestione dei sistemi di trasporto.

Summary - In the human history there have been numerous and significant changes in the methods and technologies used to transport people and things. In the article "The six transport revolutions and their evolutions. A brief history from the beginnings to the present day", a reading of the transport innovations that took place in history based on the concepts of revolution and evolution was proposed. Following this approach, in this article we analysed the main ongoing innovations in the sector that are unprecedented in history in terms of scope and possible impacts. The previous revolutions, in fact, drew inspiration from a "guiding element", often a technological innovation, which concerned the energy source of traction (animal traction, sailing, steam traction, internal combustion traction), in other cases technology of motion (the wheel) or of transfer (the logistics of the container). Today, potentially "disruptive" innovations are taking place simultaneously in various transport sectors: the driving and connection systems of vehicles of all types, the sources and vectors of traction energy, the production models of mobility and transportation and new vehicles and transportation systems. This article briefly analyses the main lines of innovation currently underway in the various sectors and their level of maturity, as well as some possible interactions between them that are currently in an embryonic phase and that may give rise to the seventh transport revolution within the middle of this century, which will require considerable adaptability to the disciplines that deal with the planning, design and management of transport systems.

(*) Università degli Studi di Napoli "Federico II", Via Claudio 21, 80126, Napoli, cascetta@unina.it

(**) Università degli Studi di Napoli "Federico II", Via Claudio 21, 80126, Napoli, Ilaria.henke@unina.it

(***) Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Via Roma, 9 - 81031 Aversa (CE), mariaida.dibartolomeo@gmail.com

(*) Federico II University, Naples, Via Claudio 21, 80126, Naples, cascetta@unina.it

(**) Federico II University, Naples, Via Claudio 21, 80126, Naples, Ilaria.henke@unina.it

(***) University of Campania "Luigi Vanvitelli", Via Roma, 9 - 81031 Aversa (CE), mariaida.dibartolomeo@gmail.com

1. Introduzione

Oggi persone e cose si muovono ancora sostanzialmente con le tecnologie sviluppate durante le sei rivoluzioni avvenute nei secoli scorsi e le loro successive evoluzioni come descritto in CASCETTA et al. [1]. Nell'articolo "Le sei rivoluzioni dei trasporti e le loro evoluzioni. Una breve storia dalle origini ai giorni nostri" [1] è stata proposta una lettura delle innovazioni nella storia dei trasporti basata sui concetti di rivoluzione ed evoluzione. Secondo GILBERT e PEARL [2] una rivoluzione dei trasporti è caratterizzata dalla introduzione di una tecnologia che modifica sostanzialmente il modo di muoversi di persone e/o merci in un certo ambito in un periodo relativamente limitato di tempo. La tecnologia da sola quindi non basta, per essere ritenuta una rivoluzione, l'adozione di una tecnologia deve modificare in modo molto significativo uno o più elementi fondamentali del trasporto (come ad esempio velocità, costo, potenza, disponibilità etc.) in modo tale da modificare significativamente le modalità di spostamento preesistenti e/o di creare nuove esigenze/mercati di mobilità, in un periodo di tempo relativamente breve. Le rivoluzioni dei sistemi di trasporto sono state spesso caratterizzate da due caratteristiche: eterogenesi dei fini e super additività rispetto alle tecnologie precedenti. Per una "eterogenesi dei fini", si intende che la innovazione viene generata da esigenze diverse dal trasporto e/o conduce a forme di trasporto assolutamente non previste nelle prime fasi di adozione di quella innovazione. Ad esempio la trazione a vapore si basa su una tecnologia, la macchina a vapore, concepita per la tessitura. Inoltre, quasi tutte le rivoluzioni utilizzano combinazioni innovative di nuove tecnologie e tecnologie sviluppate in precedenti rivoluzioni, per super additività si intende che l'effetto supera la "somma" degli effetti individuali. Ad esempio l'automobile combina una tecnologia preesistente (la carrozza) con un motore a combustione interna che non sostituisce solo la trazione animale ma aggiunge prestazioni e possibilità completamente diverse, ad esempio la produzione in serie. Le evoluzioni sono cambiamenti anche importanti nell'uso e/o nelle prestazioni di mezzi e modi di trasporto che avvengono gradualmente nel tempo e/o non modificano sostanzialmente il modo di spostarsi di persone e cose. Nel caso delle evoluzioni non c'è eterogenesi dei fini per definizione, i cambiamenti nascono esplicitamente per migliorare una tecnologia o una organizzazione dei trasporti che sono già esistenti. Tenendo conto delle definizioni di rivoluzioni ed evoluzione in [1] sono state identificate sei rivoluzioni nei trasporti e conseguenti evoluzioni, riassunte nella Fig. 1 qui riportata per comodità del lettore.

Dall'analisi delle sei rivoluzioni, emerge che i treni, le auto, le navi, gli aerei che usiamo oggi sono sostanzialmente evoluzioni di tecnologie disponibili settanta o cento anni fa. Nulla di confrontabile, ad esempio, a quanto successo nel mondo dell'informatica, delle Telecomunicazioni o dell'intelligenza artificiale. Delle vere rivoluzioni che fino a 30 anni fa nessuno prevedeva. Nel film "Blade Run-

1. Introduction

Today people and things still move substantially with the technologies developed during the six revolutions that took place in the past centuries and their subsequent evolutions as described in CASCETTA et al. [1]. In the article "The six transport revolutions and their evolutions. A brief history from the origins to the present day" [1], a reading of the transport innovations that took place in history based on the concepts of revolution and evolution was proposed. According to GILBERT and PEARL [2], a transport revolution is characterised by the introduction of a technology that substantially changes the way people and/or goods move in a certain area in a relatively limited period of time. Technology alone is therefore not enough, to be considered a revolution, the adoption of a technology must significantly modify one or more fundamental transport elements (such as speed, cost, power, availability, etc.) in such a way as to significantly change pre-existing travel arrangements and/or create new mobility needs/markets, in a relatively short period of time. The revolutions of transport systems have often been characterised by two characteristics: heterogenesis of purposes and super additivity compared to previous technologies. By "heterogenesis of purposes", we mean that the innovation is generated by needs different from transport and/or leads to forms of transport that are absolutely not foreseen in the early stages of adoption of that innovation. For example, steam traction is based on a technology, the steam engine, conceived for weaving. Furthermore, almost all revolutions use innovative combinations of new technologies and technologies developed in previous revolutions. By super additivity we mean that the effect exceeds the "sum" of individual effects. For example, the car combines pre-existing technology (the carriage) with an internal combustion engine that not only replaces animal traction but adds completely different performance and possibilities, such as mass production. Evolutions are also important changes in the use and/or performance of means and transport modes that occur gradually over time and/or do not substantially change the way people and things move. In the case of evolutions, there is no heterogenesis of purposes by definition, changes arise explicitly to improve a technology or an organisation of transport that already exists. Taking into account the definitions of revolutions and evolution in [1] six transport revolutions and consequent evolutions were identified, summarised in Fig. 1 reported here for the convenience of the reader.

From the analysis of the six revolutions, it emerges that trains, cars, ships and planes we use today are substantial evolutions of technologies available seventy or a hundred years ago. Nothing comparable, for example, to what happened in the world of information technology, telecommunications or artificial intelligence. True revolutions that no one predicted until 30 years ago. In the 1982 film "Blade Runner", a society in 2019 was imagined with flying cars but with prehistoric computers and without smart phones. The flying car is not the only example of a revolution expected for at least seventy years that has not oc-

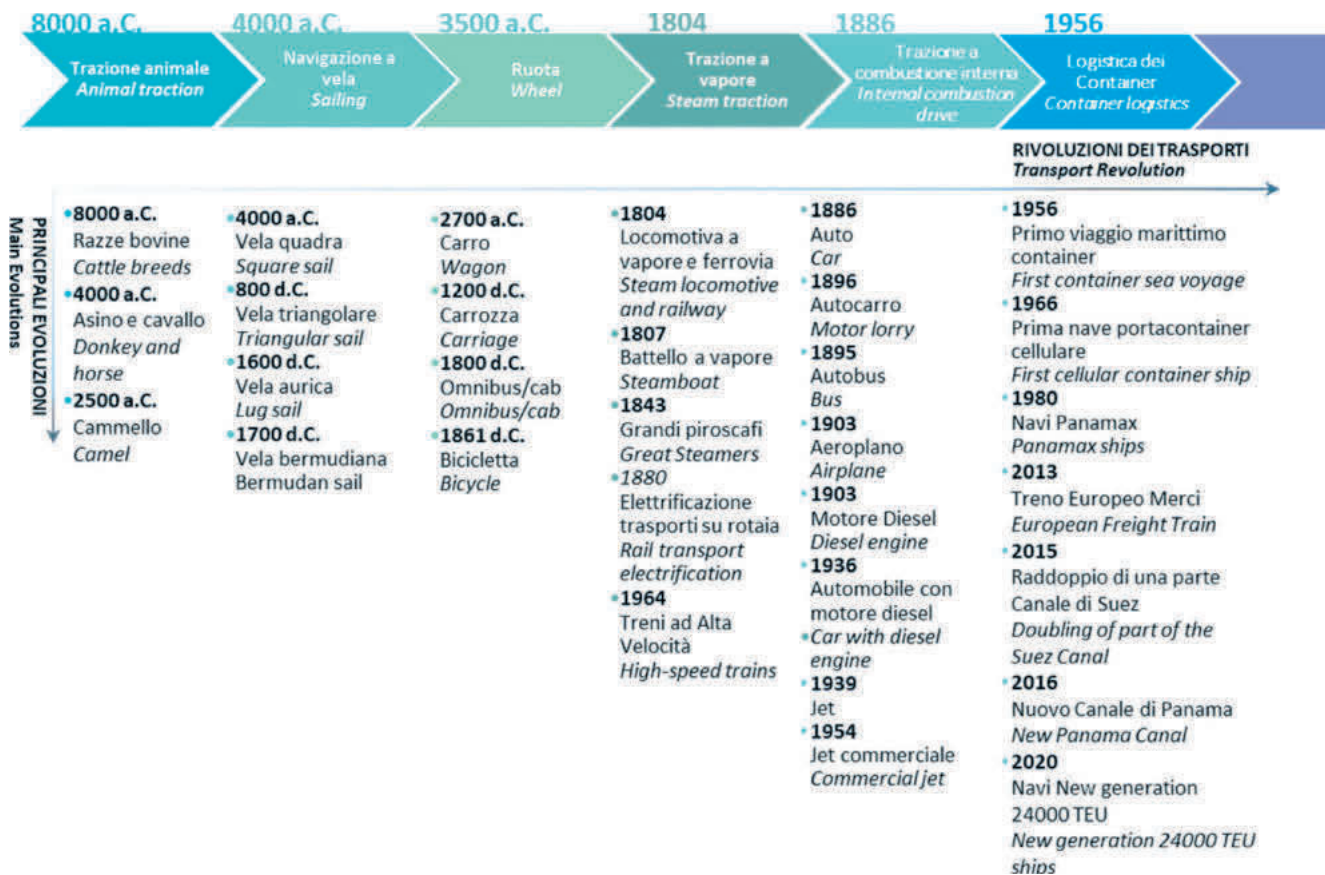


Figura 1 – Timeline delle sei rivoluzioni e delle evoluzioni principali della storia dei trasporti dall'8000 a.C. ad oggi [1].
Figure 1 – Timeline of the six major revolutions and evolutions in the history of transport from 8000 b.C. to today [1].

ner" del 1982 si immaginava una società nel 2019 con auto volanti ma con computer preistorici e senza smart phones. L'auto volante non è l'unico esempio di una rivoluzione attesa da almeno settanta anni che non si è verificata. La mobilità del futuro che oggi si immagina è un sistema che consente al viaggiatore di scegliere in un menu di opzioni il programma di viaggio di un certo giorno con alternative che, a seconda dei casi, includono veicoli a guida autonoma da soli o in condivisione con altri viaggiatori, tratti in bici ed in treno, con orari e prezzi diversi in funzione dei livelli di congestione e dell'anticipo di prenotazione, pochi minuti o diversi giorni. Ancora nello scenario del futuro ci si immagina auto, bus e autocarri che guidano da soli scambiando informazioni fra loro e con l'infrastruttura per ottimizzare la rete, l'abbandono della benzina e degli altri derivati del petrolio come fonti di energia per la trazione, capsule che sfruttando la lievitazione magnetica sfrecciano a 1200 km/h dentro un tubo a bassissima pressione (Hyperloop) [3] per i viaggi di lunga percorrenza, droni che sorvolano i cieli per consegnare la merce [4] o addirittura per il trasporto viaggiatori. Alcuni di questi scenari non sembrano così lontani dalla realtà, e certamente avrebbero le caratteristiche di una rivoluzione, la settima appunto. Basti pensare agli impatti sulle funzioni urbane, e sul costo del trasporto che si avrebbero elimi-

cured. The mobility of the future that is imagined today is a system that allows the traveller to choose the travel programme of a certain day from a menu of options with alternatives that, depending on the case, include self-driving vehicles alone or shared with other travellers, travelling by bike and train, with different timetables and prices depending on the levels of congestion and advance booking, a few minutes or several days. Again in the scenario of the future we imagine cars, buses and trucks driving alone, exchanging information with each other and with the infrastructure to optimise the network, the abandonment of petrol and other petroleum derivatives as sources of energy for traction, capsules that run at 1200 km/h inside a very low pressure tube exploiting the magnetic levitation (Hyperloop) [3] for long-distance journeys, drones that fly over the skies to deliver goods [4] or even for passenger transport. Some of these scenarios do not seem so far from reality, and would certainly have the characteristics of a revolution, the seventh in fact. Just think of the impacts on urban functions, and on the cost of transport that there would be by eliminating or significantly reducing drivers and crews or the possible reorganisation of production and logistics over 24 hours if loading, unloading and the transport of goods were completely automated. Others will re-

nando o riducendo significativamente autisti ed equipaggi o alla possibile riorganizzazione della produzione e della logistica sulle 24 ore se carico, scarico e trasporto delle merci fosse completamente automatizzato. Altri rimarranno suggestioni o tecnologie di nicchia, come l'uomo jet, che non modificheranno "significativamente" il modo di spostarsi ed i mercati.

E tuttavia la storia dei trasporti ci suggerisce che sarebbe imprudente ritenere che la combinazione di queste e altre innovazioni in atto non possa presentarsi in forme di mezzi di trasporto o di organizzazione degli stessi che oggi non immaginiamo.

Nella prima metà di questo secolo sono chiaramente visibili alcuni filoni di innovazione tecnologica e organizzativa che con molta probabilità porteranno alla settima rivoluzione dei trasporti: i) veicoli a guida autonoma e connessi tra loro e con le infrastrutture, ii) decarbonizzazione dei trasporti, iii) trasformazioni nei servizi di mobilità, iv) nuovi materiali e nuovi mezzi di trasporto. Mentre le prime tre direttrici sono già in corso, ed è evidente che continueranno a svilupparsi, bisogna capire come si intersecheranno tra loro e con quali effetti; la quarta direttrice, ad oggi è la più incerta ed è più difficile fare delle previsioni [5].

Nel seguito di questo articolo si analizzeranno brevemente le quattro direttrici di innovazione dei trasporti, le enormi risorse economiche che istituzioni e imprese di tutti i blocchi geopolitici stanno investendo, con particolare riferimento all'Unione Europea, e alcune conclusioni sul possibile scenario della settima rivoluzione.

2. Veicoli a guida autonoma e connessa

Le trasformazioni tecnologiche relative ai veicoli a guida autonoma e connessa si riferiscono a veicoli senza la presenza o con ruolo limitato dell'operatore umano connessi telematicamente fra loro e con le infrastrutture di trasporto. Queste innovazioni hanno coinvolto il mondo dei trasporti condizionando l'evoluzione dei veicoli passeggeri e merci, oltre alle infrastrutture di trasporto, grazie alle Tecnologie dell'informazione e della Comunicazione (ICT), della navigazione satellitare, della sensoristica, dell'automazione, dell'intelligenza artificiale, della tecnologia 5G. Le principali tecnologie utilizzate per la guida autonoma e la connessione fra veicoli (V2V) e fra veicoli e infrastruttura (V2X) sono illustrate nella Fig. 2.

La diffusione di veicoli autonomi e connessi ha il potenziale di modificare profondamente costi, prestazioni, disponibilità, modelli di possesso e utilizzo per viaggiatori e merci. I veicoli a guida autonoma (Autonomous Vehicles, in breve 'AV' o anche Connected Autonomous Vehicles CAV) rappresentano una delle tecnologie destinate a rivoluzionare il settore della mobilità a livello globale.

Le principali innovazioni sono attese dal mondo automotive fino ad arrivare all'Autonomous Car (o auto robot),

main suggestions or niche technologies, such as the jet man, which will not "significantly" change the way people travel and markets.

And yet the history of transport suggests that it would be imprudent to assume that the combination of these and other innovations in progress cannot be presented in forms of transport means or organisation of the same that we do not imagine today.

In the first half of this century, some strands of technological and organisational innovation are clearly visible that will most likely lead to the seventh transport revolution: i) self-driving vehicles connected to each other and to infrastructures, ii) decarbonisation of transport, iii) transformations in mobility services, iv) new materials and new transport means. While the first three directions are already underway, and it is evident that they will continue to develop, we must understand how they will intersect with each other and with what effects; the fourth direction, to date, is the most uncertain and it is more difficult to make predictions [5].

In the rest of this article, we will briefly analyse the four directions of transport innovation, the enormous economic resources that institutions and companies of all geopolitical blocks are investing, with particular reference to the European Union, and some conclusions on the possible scenario of the seventh revolution.

2. Connected and autonomous vehicles

The technological changes relating to self-driving and connected vehicles refer to vehicles without the presence or limited role of the human operator connected electronically to each other and to the transport infrastructures. These innovations have involved the world of transport, influencing the evolution of passenger and freight vehicles, as well as transport infrastructures, thanks to Information and Communication Technologies (ICT), satellite navigation, sensors, automation, artificial intelligence and 5G technology. The main technologies used for self-driving and the connection between vehicles (V2V) and between vehicles and infrastructure (V2X) are illustrated in Fig. 2.

The diffusion of self-driving and connected vehicles has the potential to profoundly change costs, performance, availability, ownership and use patterns for travellers and freight. Self-driving vehicles (Autonomous Vehicles, in short 'AV' or also Connected Autonomous Vehicles CAV) represent one of the technologies destined to revolutionise the mobility sector globally.

The main innovations are expected from the automotive world up to the Autonomous Car (or robot car), a self-driving car that uses a combination of sensors, cameras, radars and artificial intelligence (AI). This technology allows moving between different destinations without the need for human intervention, even on roads that have not been pre-adapted for the purpose. In the world of the automotive in-

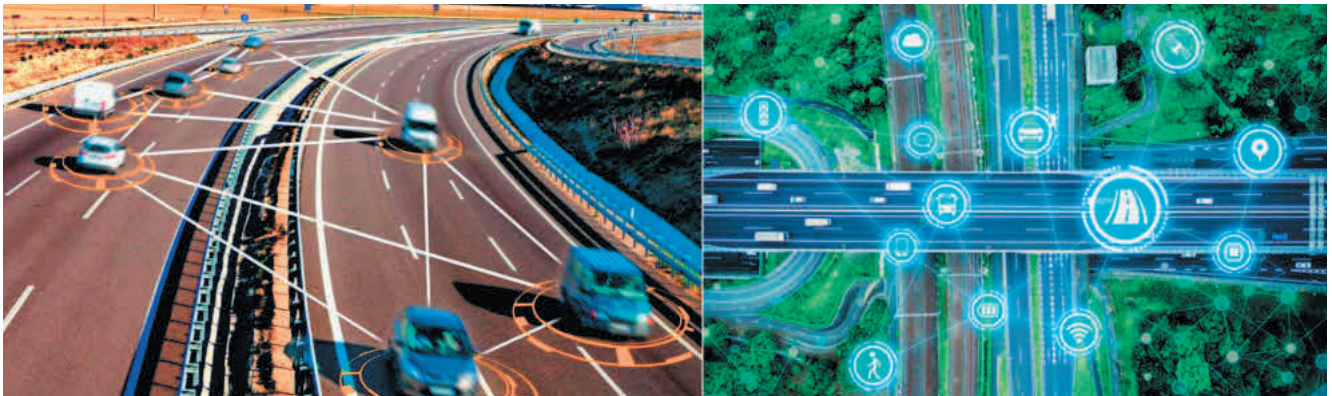


Figura 2 – A sinistra: Rappresentazione della connessione tra veicoli V2V [54]; a destra: rappresentazione delle componenti e delle relazioni nell'interazione tra veicoli ed infrastrutture V2X [55].

Figure 2 – Left: Representation of the connection between V2V vehicles [54]; right: representation of the components and connections in the interaction between vehicles and V2X infrastructures [55].

un'auto a guida autonoma che utilizza una combinazione di sensori, telecamere, radar e intelligenza artificiale (AI). Tale tecnologia consente di spostarsi tra diverse destinazioni senza necessità di intervento umano, anche su strade che non siano state pre-adattate allo scopo. Nel mondo dell'industria automotive è stata adottata una scala di classificazione da 0 a 5 che permette di valutare il livello relativo di automazione di ciascun veicolo (Tab. 1) [6].

Ad oggi le tecnologie di livello 1, ad esempio il cruise control adattivo e il sistema di mantenimento della corsia, sono previsti di serie su quasi tutti i nuovi modelli di automobili, le tecnologie di livello 2 e 3 sono presenti solo su alcuni dei modelli disponibili in commercio, tipicamente su quelli di gamma più alta. I livelli di guida autonoma più avanzata, quindi il 4 e 5, sono ancora in fase di sperimentazione. Ad esempio, la Waymo (azienda di Google per lo sviluppo della guida autonoma), una delle società all'avanguardia nello sviluppo della *driverless car* di livello 5, tale da aver percorso, ad oggi, oltre 32 milioni di km e che di recente ha raccolto un investimento esterno di 2,25 miliardi di dollari (Fig. 3) [56], la versione definitiva del robotaxi di Zoox (controllata da Amazon), concepito per il trasporto delle persone, conforme al livello 5 di guida autonoma è sprovvisto di sterzo e pedali e l'azienda ne prospetta il lancio commerciale già nel 2022 (Fig. 3). A Singapore, nel 2016 è iniziata una sperimentazione "sul campo" di taxi a guida autonoma. Il servizio è circoscritto a un'area di 2,5 km quadrati e prevede, nella fase iniziale, la presenza di un autista per le situazioni d'emergenza.

Ma il percorso verso la piena automazione dei livelli 4 e 5 non dipende solo dagli avanzamenti della ricerca tecnologica. I benefici legati all'implementazione e il progredire di queste tecnologie sono stati oggetto di importanti studi [8], ma anche semplici considerazioni analitiche basate sulla teoria del deflusso dimostrano che anche solo l'annullamento, attraverso sistemi di guida automatica,

industry, a classification scale from 0 to 5 has been adopted which allows evaluating the relative level of automation of each vehicle (Tab. 1) [6].

To date, level 1 technologies, such as adaptive cruise control and lane keeping are standard on almost all new car models, level 2 and 3 technologies are only present on some of the models available on the market, typically on the higher range ones. The most advanced autonomous driving levels, therefore 4 and 5, are still being tested. For example, Waymo (Google's company for the development of self-driving), one of the pioneering companies in the development of the level 5 driverless car, such as to have covered, to date, over 32 million km and that recently collected an external investment of 2.25 billion dollars (Fig. 3) [56], the definitive version of the Zoox robotaxi (controlled by Amazon), designed for the transport of people, compliant with level 5 of self-driving is devoid of steering and pedals and the company expects its commercial launch as early as 2022 (Fig. 3). In Singapore, in 2016 a field trial of self-driving taxis began. The service is limited to an area of 2.5 square km and provides the presence of a driver for emergency situations in the initial phase.

But the path towards flat automation of levels 4 and 5 does not depend only on progress in technological research. The benefits related to the implementation and to the progress of these technologies have been the subject of important studies [8], but also simple analytical considerations based on the flow theory show that even cancellation of the action and reaction times, through automatic driving systems, would involve a significant increase in road flow capacity as well as in passenger safety [9]. If the vehicles on the road are all self-driving, the road flow can be actively designed in an optimal way for the first time since the invention of the car (rather than observe and describe it), e.g. designing the future flow of traffic as an efficient man-made fluid [9]. However, recent research is showing that intermediate levels of vehicle automation should increase safety, as

Tabella 1 – Table 1

Levels of Road Self-Driving SAE International Standard J3016 [7]
Livelli di Automazione di guida su strada SAE International Standard J3016 [7]

Livello Level	Definizione Definition
0 Nessuna automazione <i>No automation</i>	Le prestazioni a tempo pieno da parte del conducente umano di tutti gli aspetti del compito di guida dinamica, anche se potenziate da sistemi di avvertimento o intervento. <i>Full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, albeit enhanced by warning or intervention systems.</i>
1 Assistenza alla guida <i>Driving assistance</i>	Il conducente ha il controllo del veicolo, ma il sistema di assistenza alla guida può intervenire sulla velocità e sulla direzione di sterzata del veicolo. <i>The driver is in control of the vehicle, but the driver assistance system can take action on the speed and direction of the vehicle's steering.</i>
2 Automazione parziale <i>Semi-automated</i>	Il secondo livello di automazione corrisponde alla guida semiautomatizzata, in cui il sistema si occupa sia di accelerare/frenare, sia di sterzare per un determinato lasso di tempo o in situazioni specifiche. Il conducente deve essere in grado di controllare il veicolo se sono necessarie delle correzioni. <i>The second level of automation corresponds to semi-automated driving, in which the system takes care of both accelerating/braking and steering for a certain amount of time or in specific situations. The driver must be able to control the vehicle if corrections are needed.</i>
3 Automazione condizionale <i>Conditional automation</i>	Il terzo livello di automazione corrisponde alla guida altamente automatizzata. Il veicolo assume il controllo sull'accelerazione/frenata e sullo sterzo per un determinato lasso di tempo o in situazioni specifiche, senza che il conducente sia tenuto a una costante sorveglianza del veicolo. Tali condizioni specifiche e il conducente umano deve essere pronto ad intervenire quando il sistema lo richiede. <i>The third level of automation corresponds to highly automated driving. The vehicle assumes control over acceleration/braking and steering for a specified amount of time or in specific situations, without the driver being required to constantly monitor the vehicle. Those specific conditions and the human driver must be ready to intervene when the system requires it.</i>
4 Alta automazione <i>High automation</i>	Questo livello di automazione corrisponde alla guida autonoma/ad automazione completa, in cui il sistema assume la piena conduzione del veicolo in un caso di applicazione specifico (<i>Operational Domain Design, ODD</i>) affrontando automaticamente tutte le relative situazioni. La presenza umana non è più necessaria, ma le sue applicazioni sono limitate a condizioni specifiche. <i>This level of automation corresponds to autonomous/fully automated driving, in which the system assumes full driving of the vehicle in a specific application case (Operational Domain Design, ODD), automatically addressing all related situations. Human presence is no longer necessary, but its applications are limited to specific conditions.</i>
5 Automazione completa <i>Full automation</i>	Il massimo livello di automazione è la guida senza conducente, in cui il veicolo assume totalmente il controllo della guida dalla partenza all'arrivo in tutti i possibili casi d'applicazione, con tutti gli occupanti del veicolo come passeggeri. <i>The highest level of automation is driverless driving, in which the vehicle takes full control of driving from departure to arrival in all possible application cases, with all vehicle occupants as passengers.</i>

dei tempi di azione e reazione comporterebbe un notevole aumento della capacità di deflusso stradale oltre che della sicurezza dei viaggiatori [9]. Se i veicoli che circolano sono tutti a guida automatica, è possibile per la prima volta dall'invenzione dell'automobile, progettare attivamente (piuttosto che osservarlo e descriverlo) il flusso stradale in modo ottimale, ad es. progettare il futuro flusso di traffico come un fluido artificiale efficiente [9]. Tuttavia recenti ricerche stanno dimostrando che livelli intermedi di automazione del veicolo dovrebbero aumentare la sicurezza, a condizione che le prestazioni dei conducenti rimangano le stesse, ma potrebbe non essere sempre così [10]. In un re-

long as driver performance remains the same, but this may not always be the case [10]. In a recent study [11] it was shown that in a mixed environment (where traditional vehicles and self-driving vehicles travel), users, upon recognising a self-driving vehicle, change their driving behaviour (with an increase in reaction time due to excessive confidence in automation or limited information on the driving environment) effectively reducing the level of safety. Furthermore, it must be borne in mind that the reluctance on the part of users to purchase self-driving vehicles has been demonstrated to date both in terms of unwillingness to pay



Figura 3 – A sinistra: il modello Driverless car della Waymo [56]; a destra: Robotaxi, navetta a guida autonoma di Amazon [56].

Figure 3 – Left: Waymo's Driverless car model [56]; right: Robotaxi, Amazon's self-driving shuttle [56].

cente studio [11] è stato dimostrato che in un ambiente misto (dove viaggiano veicoli tradizionali e veicoli autonomi), gli utenti riconoscendo un veicolo guida autonoma, cambiano il comportamento di guida (con un aumento del tempo di reazione dovuto a un'eccessiva fiducia nell'automazione o limitate informazioni sull'ambiente di guida) riducendo di fatto il livello di sicurezza. Inoltre bisogna tener conto che è stata dimostrata ad oggi la riluttanza da parte degli utenti all'acquisto di veicoli a guida autonoma sia in termini indisponibilità a pagare un extra per acquistare un'auto connessa sia per mancanza di fiducia verso nuove tecnologie [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19]. Queste problematiche, tuttavia sono destinate a ridursi con il miglioramento delle prestazioni dei veicoli autonomi e della consuetudine al loro uso.

Come detto la innovazione della guida autonoma e connessa su strada non riguarda solo i veicoli, ma anche l'infrastruttura e le interazioni fra i veicoli. Consentire la comunicazione e la connessione con i veicoli che la percorrono è l'obiettivo delle smart road, elemento fondamentale della nuova mobilità. Qualcuno le chiama strade del futuro, ma le smart road stanno già diventando realtà, tassello di un più ampio progetto di Smart City e Smart Mobility [57]. La smart road è una sintesi di tecnologie di rilevazione automatica di dati (telecamere, radar, sensori nella pavimentazione, di tecnologie di comunicazione veloce e bidirezionale (*Vehicle to infrastructure V2I vehicle to infrastructure and vehicles V2X*) fra sensori, veicoli e centrale di controllo, piattaforme di analisi, previsione del traffico e gestione degli interventi di controllo in condizioni di deflusso ordinario e di emergenza (Fig. 4).

Le funzioni della smart road ai diversi livelli di evoluzione secondo la UE sono riassunte nella Tab. 2.

Dall'analisi degli effetti prodotti dalla realizzazione dei sistemi intelligenti sia a livello urbano che extraurbano in diversi Paesi (dagli Stati Uniti all'Europa) è stato possibile stimare i benefici prodotti dalla sola smart road [21] (sen-

extra to buy a connected car and due to lack of confidence in new technologies [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19]. These issues, however, are destined to decrease with the improvement of the performance of self-driving vehicles and the habit of using them.

As mentioned, the innovation of self- and connected driving on the road does not only concern vehicles, but also the infrastructure and interactions between vehicles. Allowing communication and connection with the vehicles that travel is the goal of smart roads, a fundamental element of new mobility. Someone calls them roads of the future, but smart roads are already becoming a reality, part of a larger Smart City and Smart Mobility project [57]. The smart road is a synthesis of automatic data detection technologies (cameras, radars, sensors in the pavement, of fast and bidirectional communication technologies (Vehicle to infrastructure V2I vehicle to infrastructure and vehicles V2X) between sensors, vehicles and control centre, platforms for analysis, traffic forecasting and management of control interventions in ordinary and emergency outflow conditions (Fig. 4).

Functions of the smart road at different levels of evolution according to the EU are summarised in Tab. 2.

From the analysis of the effects produced by the implementation of intelligent systems both at urban and extra-urban level in various countries (from the United States to Europe) the benefits produced by the smart road alone were estimated [21] (without taking into account the automation of the vehicle, which would entail further benefits): i) reduction of travel times in the order of 20%; ii) increases in network capacity by 5-10%; iii) decrease in the number of accidents by 10-15%; iv) decrease in congestion by 15%; v) reduction of polluting emissions by 10%; vi) 12% reduction in energy consumption.

There are several examples of smart roads in Europe, among these the pilot project C-ROADS, in Austria, can be

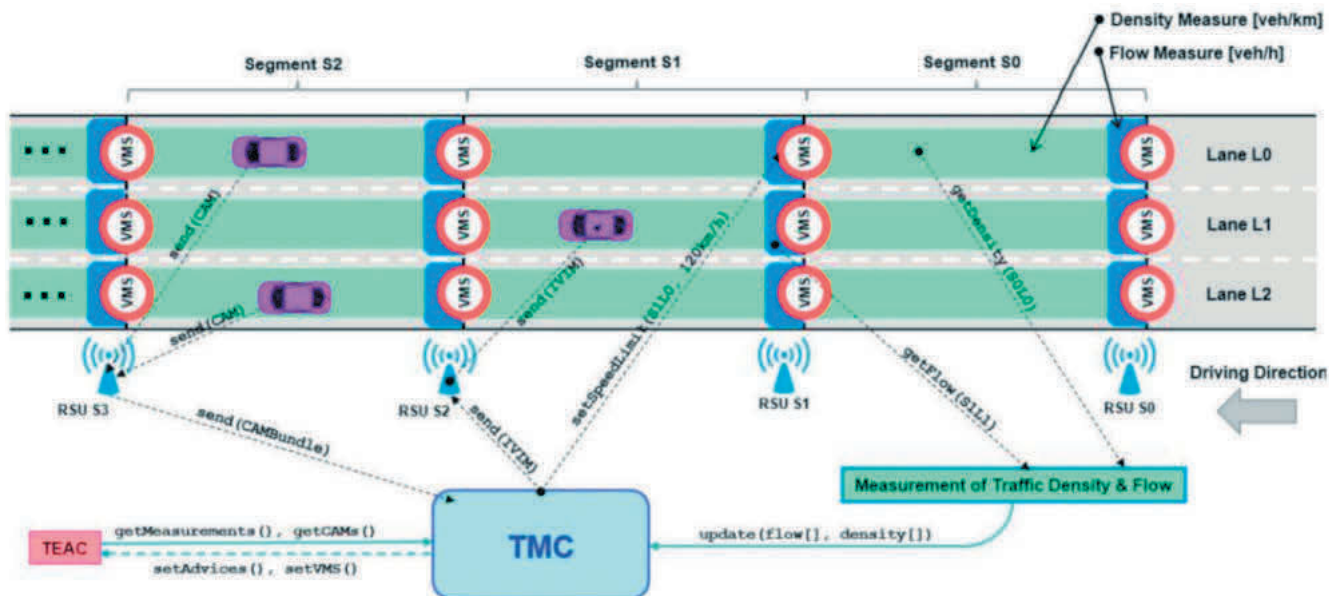


Figura 4 – Rappresentazione della Smart Road [20].
Figure 4 – Representation of the Smart Road [20].

za tener conto dell'automatizzazione del veicolo, che comporterebbe ulteriori benefici): i) riduzione dei tempi di spostamento nell'ordine del 20%; ii) aumenti della capacità della rete del 5-10%; iii) diminuzione del numero di incidenti del 10-15%; iv) diminuzione delle congestioni del 15%; v) riduzione delle emissioni inquinanti del 10%; vi) riduzione dei consumi energetici del 12%.

Diversi sono gli esempi di smart road in Europa, tra questi è possibile citare il progetto pilota è C-ROADS, in Austria, avviato a febbraio 2016 e concluso divenendo operativo nel 2019 che interessa le autostrade che collegano Vienna e Salisburgo, il corridoio Brennero e i dintorni di Graz. Il progetto consta di dotare 300 km di autostrade con C-ITS (Connected Intelligent Transportation Systems). Esso ricorre al supporto della rete mobile ITS-G5 per fornire servizi C-ITS quali notifiche di incidenti, avvisi di lavori su strada ed informativa delle condizioni meteorologiche, a bordo dei veicoli [22]. In Belgio/Fiandre, è stata progettata la C-Roads che ha l'obiettivo principale di operare e valutare l'implementazione di una "infrastruttura virtuale" basata su cloud per un'efficace distribuzione dei servizi C-ITS che collegano gli utenti della strada con il Traffic Management Center (TMC), consentendo al TMC di interagire direttamente con gli utenti finali. Questo progetto pilota offre anche l'opportunità di aggiornare i servizi di informazioni sul traffico e i servizi di gestione del traffico. Il progetto avviato nel 2018, si è concluso ed è diventato operativo nel 2020 [23]. In Italia sono stati avviati diversi progetti pilota sulla l'A2, Autostrada del Mediterraneo (ex. Salerno-Reggio Calabria) la SS51 di Alemagna per le olimpiadi del 2026 e sul passante di Mestre gestito da Concessionario Autostrade Venete [24] [25] [21].

mentioned that started in February 2016 and ended becoming operational in 2019 which affects the motorways connecting Vienna and Salzburg, the Brenner corridor and the surroundings of Graz. The project consists of equipping 300 km of motorways with C-ITS (Connected Intelligent Transportation Systems). It resorts to the support of the ITS-G5 mobile network to provide C-ITS services such as accident notifications, roadworks alerts and in-vehicle weather reporting [22]. In Belgium/Flanders, the C-Roads was designed with the main objective of operating and evaluating the implementation of a cloud-based "virtual infrastructure" for the effective distribution of C-ITS services that connect road users with the Traffic Management Centre (TMC), allowing the TMC to interact directly with end users. This pilot project also offers the opportunity to upgrade traffic information services and traffic management services. The project started in 2018, ended and became operational in 2020 [23]. In Italy, several pilot projects were launched on the A2, Autostrada del Mediterraneo (former Salerno-Reggio Calabria) the SS51 of Alemagna for the 2026 Olympics and on the Mestre bypass managed by the Autostrade Venete Concessionaire [24] [25] [21].

The challenge of digitisation of vehicles and infrastructures is also very complex from a regulatory and standard point of view because it concerns the definition and regulation of various aspects, which include for example road safety, IT security, use of data, protection of privacy, responsibility of various actors involved, use of the radio spectrum, connectivity between vehicles and towards other road users and the infrastructure, technologies and technical standards for communications and interoperability of services. Some countries such as the United States and Great

Tabella 2 – Table 2

Livelli di Automazione delle infrastrutture stradali [20]
Automation levels of road infrastructures [20]

Nome <i>First name</i>	Caratteristiche infrastrutturali <i>Infrastructural Features</i>	Caratteristiche funzionali <i>Functional characteristics</i>
Classe A- Cooperative Driving	Comunicazione V2X; sensori per traiettorie dei veicoli. <i>V2X communication; sensors for vehicle trajectories.</i>	Guida dinamica: velocità, consigli di corsia basati anche sul monitoraggio dello stile di guida (comunicazione unicast); regolazione del traffico I2V; info su pericolo e condizioni meteo. <i>Dynamic driving: speed, lane recommendations also based on driving style monitoring (unicast communication); I2V traffic regulation; info on danger and weather conditions.</i>
Classe B- Cooperative Perception	Mappe HD digitali con aggiornamento dinamico; scambio di dati con il cloud; sensori sulla pavimentazione di alta precisione in grado di rilevare umidità temperatura dell'asfalto ecc. <i>Digital HD maps with dynamic update; data exchange with the cloud; sensors on the pavement high precision capable of detecting humidity, tarmac temperature etc.</i>	Analisi microscopica del traffico; riconoscimento del traffico da parte dei veicoli; servizio di pedaggio con pagamento in base al consumo; assistenza alla guida secondo lo stile di guida rilevato con informazioni su itinerari di viaggio, velocità; informazioni su condizioni relative alle condizioni dell'infrastruttura (ad es. strada sdruciollevole, forte vento laterale, pioggia battente, neve, visibilità ridotta); valutazione dello stato manutentivo dell'infrastruttura. <i>Microscopic traffic analysis; traffic recognition by vehicles; pay-as-you-go toll service; driving assistance according to the driving style detected with information on travel routes, speed; information on conditions related to the condition of the infrastructure (e.g. slippery road, strong crosswind, heavy rain, snow, reduced visibility); assessment of the maintenance status of the infrastructure.</i>
Classe C- Dynamic Digital Information	Mappe HD; comunicazione (X2V/V2X) <i>HD maps; communication (X2V/V2X)</i>	Identificazione di veicoli fermi per problemi tecnici, avviso ai conducenti, info parcheggio camion I2V, e condizioni infrastruttura, localizzazione di veicoli autonomi <i>Identification of stationary vehicles due to technical problems, warning to drivers, I2V truck parking info, and infrastructure conditions, localisation of self-driving vehicles</i>
Classe D- Static digital information	Mappa digitale con segnaletica stradale statica <i>Digital map with static road signs</i>	Gestione delle informazioni relative a: avvisi per lavori stradali, Incidenti, condizioni meteorologiche
Classe E- Conventional infrastructure	Segnaletica con limiti di velocità, curvatura e inclinazione della strada, segnaletica di lavori Copertura CCTV parziale perrilevamento del veicolo in tempo reale <i>Signage with speed limits, road curvature and inclination, construction signage Partial CCTV coverage for real-time vehicle tracking</i>	Funzioni automatiche relative alla sicurezza con ad esempio supporto alla localizzazione (ad esempio posizionamento della corsia, del cambio corsia); rilevamento del traffico attraverso fotocamera <i>Automatic safety-related functions with for example localisation support (for example lane positioning, lane change); traffic detection through camera</i>

La sfida della digitalizzazione dei veicoli e delle infrastrutture è molto complessa anche sotto il profilo normativo e regolamentare perché riguarda la definizione e la regolamentazione di diversi aspetti, che includono ad esempio sicurezza stradale, sicurezza informatica, uso dei dati, tutela della privacy, responsabilità dei vari attori coinvolti, utilizzo dello spettro radio, connettività tra veicoli e verso gli altri utenti della strada e l'infrastruttura, tecnologie e standard tecnici per le comunicazioni, interoperabilità dei servizi. Alcuni Paesi come gli Stati Uniti e la Gran Bretagna presentano un quadro normativo più maturo, prevedendo ad oggi anche sperimentazioni in strada delle *driverless car* [26]. Recentemente la *National Hi-*

Britain have a more mature regulatory framework, currently also providing for road trials of driverless cars [26]. Recently the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) started a process to define a regulation (vademecum type) for the behaviours one should have with self-driving vehicles, this in order to guarantee safety and reduce the fears of travellers. On the contrary, the European Union has so far adopted a more cautious attitude. It has appointed a group of high-level experts on artificial intelligence (AI HLEG) for the drafting of Ethics Guidelines for Trustworthy AI [27], which proposes an approach on human-centred artificial intelligence and lists 7 key requirements that artificial intelligence systems should meet in order to be reliable.

ghway Traffic Safety Administration (NHTSA) ha avviato un processo per definire un regolamento (tipo *vademecum*) per i comportamenti da avere con veicoli autonomi, questo al fine di garantire la sicurezza e ridurre i timori dei viaggiatori. Al contrario, l'Unione Europea ha finora adottato un atteggiamento più cautelativo, ha nominato un gruppo di esperti di alto livello sull'intelligenza artificiale (AI HLEG) per la redazione *Ethics Guidelines for Trustworthy AI* [27], in cui si propone un approccio sull'intelligenza artificiale incentrato sull'uomo ed elenca 7 requisiti chiave che i sistemi di intelligenza artificiale dovrebbero soddisfare per essere affidabili. Queste linee guida si sono poi trasformate in una checklist *Assessment List for Trustworthy AI (ALTAI)* [28], quale strumento di autovalutazione dei requisiti chiave definiti nelle linee guida per gli sviluppatori e distributori di intelligenza artificiale come strumento di autovalutazione.

In Italia, sono state poste le basi per un possibile sviluppo futuro, attraverso la definizione di un framework normativo di riferimento, indicando quali sono i nuovi servizi smart che riguardano le strade, e dove e quando verranno effettuati i primi test su strada dei veicoli a guida autonoma [58]. Infatti, il Ministero dei Trasporti con il D.M. n. 70 del 28 febbraio del 2018, meglio noto come "Decreto Smart Road", stabilisce che il processo di trasformazione digitale delle infrastrutture è applicato inizialmente alle infrastrutture stradali della rete europea TEN-T, *core* e *comprehensive*, nonché a nuove infrastrutture di collegamento tra elementi della rete TEN-T, e successivamente a tutte le infrastrutture appartenenti allo SNIT (Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti) [29]. Inoltre, sono definiti gli standard funzionali minimi delle smart road e regola la sperimentazione di veicoli automatici e connessi su strada pubblica anche a vetture prive di volante o pedali (finora non omologabili).

La guida autonoma è una tecnologia già ampiamente utilizzata per i sistemi ferroviari di metropolitana driverless a Hong Kong, Lille, Parigi e Copenhagen. In Italia è utilizzato nella metropolitana di Brescia, di Milano oltre che per la Linea C di Roma [59] (Fig. 5). Il Sistema di Automazione Integrale sostituisce l'operatività del macchinista alla guida, essendo in grado di azionare il veicolo, intradarlo in linea, regolarne partenza/arresto e velocità, gestire apertura/chiusura delle porte di banchina e individuare ostacoli e stati di emergenza. Il veicolo inoltre ha la capacità di comunicare in tempo reale in ingresso/uscita con il centro di controllo, da cui la gestione dell'esercizio della linea viene svolta in modo quasi del tutto automatico [59]. Il beneficio in termini di mobilità è elevato. I punti di forza delle metropolitane driverless sono: i) la flessibilità, infatti sono capaci di variare l'intensità e il ritmo del servizio durante il giorno, ii) la sicurezza, viene ridotta a zero la possibilità di un errore umano; iii) risparmio energetico, grazie alla completa automazione sono in grado di operare in modo più efficiente [60]. Sono attualmente allo studio treni a guida autonoma anche in ambito extraurbano sia per il trasporto passeggeri che merci. Alcune tecno-

These guidelines were then transformed into an *Assessment List for Trustworthy AI (ALTAI)* checklist [28], as a self-assessment tool for the key requirements defined in the guidelines for artificial intelligence developers and distributors as a self-assessment tool.

In Italy, the foundations have been laid for a possible future development, through the definition of a reference regulatory framework, indicating which are the new smart services concerning roads, and where and when the first self-driving vehicle road tests will be carried out [58]. In fact, with Ministerial Decree no. 70 of 28 February 2018, better known as the "Smart Road Decree", the Ministry of Transport establishes that the digital transformation process of the infrastructures is initially applied to the road infrastructures of the European TEN-T network, *core* and *comprehensive*, as well as to new infrastructures connecting elements of the TEN-T network, and subsequently to all the infrastructures belonging to the INTS (Integrated National Transport System) [29]. Furthermore, the minimum functional standards of smart roads are defined and the experimentation of automatic vehicles connected on the public road is disciplined even for cars without steering wheel or pedals (so far not approved).

Self-driving is a technology already widely used for driverless metro rail systems in Hong Kong, Lille, Paris and Copenhagen. In Italy it is used in the Brescia and Milan underground as well as for Line C in Rome [59] (Fig. 5). The Integral Automation System replaces the operation of the driver while driving, as it can operate the vehicle, route it online, adjust its start/stop and speed, manage the opening/closing of the platform doors and identify obstacles and emergency conditions. The vehicle also has the ability to communicate in real time at the entrance/exit with the control centre, from which the management of the operation of the line is carried out almost completely automatically [59]. The benefit in terms of mobility is high. The strengths of driverless metros are: i) flexibility, in fact they are capable of varying the intensity and pace of service during the day, ii) safety, the possibility of human error is reduced to zero; iii) energy savings, thanks to complete automation they can operate more efficiently [60]. Self-driving trains are currently being studied also in the suburban area for both passenger and freight transport. Some technologies are based on satellite systems and aim at the integration of satellite technologies with the ERTMS platform. In the context of European funding there is the ERSAT GGC project (ERTMS on Galileo Game Changer SATELLITE) [58]. Several pilot projects are being developed, for example Ansaldo's STS, today Hitachi Rail, tested the first autonomous railway transport system in Australia in 2018 equipped with satellite communication technologies to automate the freight transport of the mining operator Rio Tinto [30] (Fig. 5).

Remaining in the field of public transport, there are over 130 examples in the world of transport services carried out with autonomous mobility with self-driving electric buses, without driver, capable of "reading" the route and with maximum safety [63]. To date, there will be an operator on

logie sono basate sui sistemi satellitari e mirano all'integrazione delle tecnologie satellitari con la piattaforma ERTMS. Nell'ambito dei finanziamenti europei troviamo il progetto ERSAT GGC (ERTMS su SATELLITE Galileo Game Changer) [58]. Diversi progetti pilota si stanno sviluppando, ad esempio l'Ansaldo STS, oggi Hitachi Rail, ha collaudato in Australia nel 2018 il primo sistema di trasporto ferroviario autonomo dotato di tecnologie satellitari di comunicazione per automatizzare i trasporti merci dell'operatore minerario Rio Tinto [30] (Fig. 5).

Restando nell'ambito del trasporto pubblico, esistono nel mondo oltre 130 esempi di servizi di trasporto svolto con mobilità autonoma con bus elettrici a guida autonoma, senza conducente, capace di "leggere" il percorso, con la massima sicurezza [63]. Ad oggi è prevista la presenza di un operatore a bordo con un ruolo di sorveglianza e in grado di intervenire in caso di bisogno. Questi Bus sono omologati per 15 persone e per una velocità massima di 25 km/h, pensati per usi in zone a traffico limitato, ad esempio per collegarle con le fermate di tram, bus e metro per assicurare l'ultimo miglio della mobilità [63] (Fig. 6).

board with a surveillance role that can intervene in case of need. These buses are approved for 15 people and for a maximum speed of 25 km/h, designed for use in restricted traffic areas, for example to connect them with tram, bus and metro stops to ensure the last mile of mobility [63] (Fig. 6).

In addition to self-driving land vehicles, self-driving ships are also at an advanced stage of experimentation. In 2016, the first self-driving military ship, the Sea Hunter, was built, a project developed by the US agency DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), 40 metres long and capable of navigating for 30/90 days unmanned. The first 120 TEU self-driving container ship (i.e. with reduced or no crew) built in Norway at the Vard shipyard, controlled by Fincantieri, is now in the operational test phase at sea (Fig. 7). In 2022 this ship should be ready to sail. It is clear that the impact of self-driving ships on operating costs would be significant and would benefit all businesses and consumers.

Finally, as regards self-driving air transport, there are several experiments with completely self-driving aircrafts. Among the self-driving flights, the most famous are those of

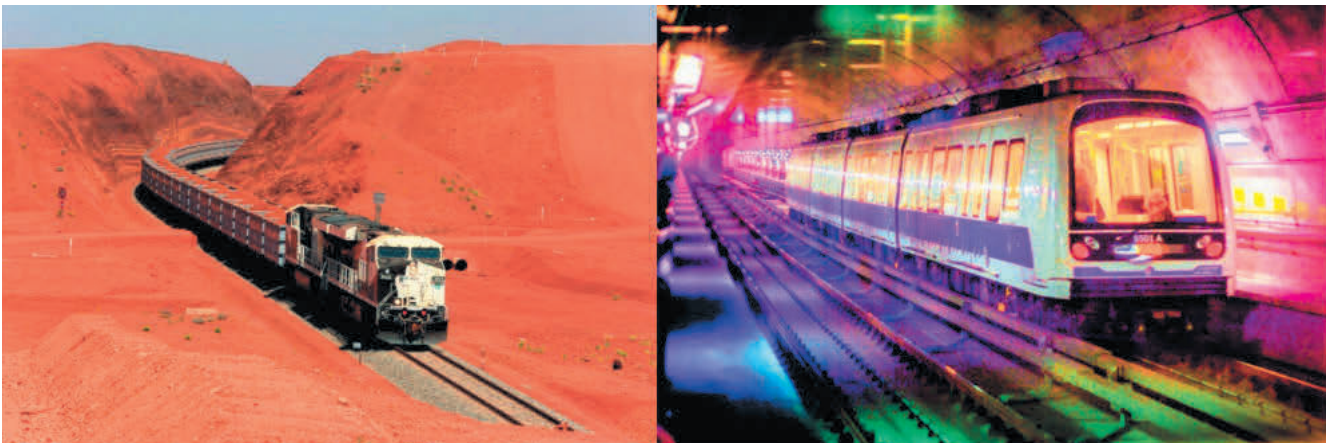


Figura 5 – A sinistra: il primo treno autonomo collaudato da Ansaldo STS in Australia [61]; A destra: Treno Driverless della Metropolitana 5 Lilla di Milano [62].

Figure 5 – Left: the first self-driving train tested by Ansaldo STS in Australia [61]; Right: Driverless train of the Lilac Underground 5 in Milan [62].



Figura 6 – A sinistra: Navya, bus a guida autonoma [63]; a destra: i moduli Next future, il trasporto pubblico modulare [64].

Figure 6 – Left: Navya, self-driving bus [63]; right: Next future modules, modular public transport [64].

Oltre a veicoli terrestri a guida autonoma, anche le navi a guida autonoma sono in fase di avanzata sperimentazione. Nel 2016 è stata realizzata la prima nave militare a guida autonoma la Sea Hunter, un progetto sviluppato dall'agenzia statunitense *DARPA* (*Defense Advanced Research Projects Agency*), lunga 40 metri in grado di navigare per 30/90 giorni senza equipaggio. È ora in fase di test di funzionamento in mare, la prima nave porta container da 120 TEU, a guida autonoma (cioè con equipaggio ridotto o del tutto assente) costruita in Norvegia nello stabilimento di Vard, controllato da Fincantieri (Fig. 7). Nel 2022 questa nave dovrebbe essere pronta per navigare. È evidente che l'impatto di navi a guida autonoma sui costi operativi sarebbero significativi e a beneficiare sarebbero tutte le imprese ed i consumatori.

Infine, per quanto riguarda il trasporto aereo a guida autonoma sono diverse le sperimentazioni di veicoli a guida completamente autonoma. Tra i voli autonomi, i più celebri sono quello della statunitense *Reliable Robotics* [66] e quello del prototipo realizzato dalla collaborazione della casa costruttrice *Embraer* con l'università brasiliana dell'Espírito Santo (Ufes) in Brasile [67]. Nel futuro, si immagina che i primi voli commerciali con guida autonoma saranno nel settore delle merci principalmente in aree scarsamente popolate. Ci vorranno decenni prima che questa tecnologia arrivi sugli aerei di dimensioni più grandi.

3. I limiti ambientali e la decarbonizzazione dei trasporti

La seconda direttrice di innovazione riguarda la decarbonizzazione dei trasporti. In particolare, i limiti ambientali e la decarbonizzazione dei trasporti stanno trasformando motori di trazione, fonti di energia, reti di approvvigionamento secondo dinamiche che ad oggi non è facile prevedere completamente, ma che hanno un potenziale di impatto molto significativo. Gli obiettivi mondiali, europei e nazionali puntano al 2050 come traguardo *carbon-neutral* [31] [32].

La *roadmap* prevalente sembra andare verso una progressiva riduzione delle emissioni inquinanti a livello globale (gas clima-alteranti) nell'intero processo di produzione e utilizzo dell'energia di trazione e del veicolo stesso (*Life Cycle Assessment*). Ad oggi non c'è un chiaro consenso su come raggiungere questo obiettivo per i sistemi di trasporto non elettrici (ricordiamo che ferrovie e tram sono elettrificati da più di un secolo). Si sta mettendo in discussione il modello sul quale si è sviluppata la quinta rivoluzione dei trasporti, ossia del motore a combustione interna e dei derivati del petrolio come unica risposta al fabbisogno di energia per la trazio-

the American Reliable Robotics [66] and that of the prototype created with the collaboration of the manufacturer *Embraer* with the *Brasilian University of Espírito Santo (Ufes) in Brasil* [67]. In the future, the first self-driving commercial flights are envisaged to be in the freight sector mainly in sparsely populated areas. It will take decades for this technology to arrive on larger aircrafts.

3. Environmental limits and the decarbonisation of transport

The second line of innovation concerns the decarbonisation of transport. In particular, the environmental limits and the decarbonisation of transport are transforming traction engines, energy sources, supply networks according to dynamics that are not easy to fully predict today, but which have a very significant impact potential. The global, European and national goals point to 2050 as a carbon-neutral goal [31] [32].

The prevailing roadmap seems to go towards a progressive reduction of polluting emissions at global level (climate-altering gases) in the entire process of production and use of traction energy and of the vehicle itself (Life Cycle Assessment). To date, there is no clear consensus on how to achieve this for non-electric transport systems (remember that railways and trams have been electrified for more than a century). The model on which the fifth transport revolution was developed is being questioned, i.e. the internal combustion engine and petroleum derivatives as the only response to the energy needs for traction for vehicles not connected to the electricity network, from urban scooters to 24,000 TEUS container ships.

The prevailing perspective seems to pass through the electrification of individual mobility, at least for urban and short-range mobility.



Figura 7 – Yara Birkeland, la prima nave porta container a guida autonoma, rimorchiata fuori lo stabilimento Vard di Brattvaag, in Norvegia [65].

Figure 7 – Yara Birkeland, the first self-driving container ship, towed outside the Vard shipyard in Brattvaag, Norway [65].

ne per veicoli non collegati alla rete elettrica, dagli scooter urbani alle navi portacontainer da 24.000 TEUS.

La prospettiva prevalente sembra passare per la elettrificazione della mobilità individuale, almeno per la mobilità urbana e di breve raggio.

L'e-mobility si sta espandendo ad un ritmo sostenuto. Con il termine e-mobility ci si riferisce ai veicoli che utilizzano l'elettricità come principale fonte di energia, con possibilità di ricaricare la batteria, e quindi fanno parte ad esempio *Battery Electric Vehicles (BEV)*, *Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)*, *Mild Hybrid Vehicle (MHV)*, *Hybrid Electric Vehicles (HEV)* (Tab. 3) [33].

Nel 2018, la flotta mondiale di auto elettriche è arrivata a quota 5,1 milioni di unità (+63% rispetto all'anno precedente), e nel 2019 si è giunti a 7,2 milioni di auto elettriche, un aumento di 2,1 milioni di vendite a livello globale nel 2019 (+40% rispetto all'anno precedente). E anche la crescita infrastrutturale ha fatto la sua parte: oggi sono attivi a livello globale 7,3 milioni di punti di ricarica, dato del 60% superiore a quello del 2018, superiore alla crescita dello stock di veicoli elettrici leggeri (Fig. 8) [34] [35].

Oltre alle auto elettriche, le opzioni di micromobilità elettrica si sono espanse rapidamente dalla loro comparsa nel 2017, con scooter elettrici condivisi (e-scooter), biciclette ad assistenza elettrica (e-bike), ora disponibili in oltre 600 città in più di 50 paesi in tutto il mondo.

Oggi circolano circa mezzo milione di autobus elettrici, la maggior parte dei quali in Cina. Sebbene il numero di nuove immatricolazioni nel 2019 sia stato inferiore a quello degli anni precedenti, a causa di una graduale eliminazione dei sussidi dal 2016 e di un calo del mercato generale degli autobus, le flotte di autobus in un certo numero di centri urbani in Cina sono quasi completamente o completamente elettrificate e contribuiscono a migliorare la qualità dell'aria. L'elettrificazione degli autobus sta guadagnando terreno anche in molte altre regioni: la città di Santiago del Cile ospita la più grande flotta di autobus urbani elettrici al di fuori della Cina (Fig. 9) [36].

Negli ultimi anni, annunci politici ambiziosi, sovvenzioni e nuove normative sono stati fondamentali per stimolare il lancio di veicoli elettrici nei principali mercati dei veicoli e promuovere così la transizione verso le nuove forme di mobilità sostenibile (Fig. 10) [35].

Tuttavia, la diffusione della e-mobility come unica via alla decarbonizzazione dei trasporti suscita ancora diverse perplessità [33] [37]. La prima riguarda ovviamente il mix di fonti energetiche con le quali viene prodotta la elettricità. Ad esempio emette più CO₂ a km un veicolo BEV (veicolo elettrico a batteria) con elettricità prodotta da centrali a carbone (ancora molto utilizzate in diversi Paesi anche Europei) rispetto ad un'auto a benzina Euro 6 [37]. Assume quindi grande importanza il timing congiunto della produzione di energia e della diffusione sovvenzionata dei Veicoli elettrici.

E-mobility is expanding at a rapid pace. The term e-mobility refers to vehicles that use electricity as the main source of energy, with the possibility of recharging the battery, and therefore include for example Battery Electric Vehicles (BEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV), Mild Hybrid Vehicle (MHV), Hybrid Electric Vehicles (HEV) (Tab. 3) [33].

In 2018, the world fleet of electric cars reached 5.1 million units (+63% compared to the previous year), and in 2019 it reached 7.2 million electric cars, an increase of 2.1 million sales globally in 2019 (+40% compared to the previous year). And infrastructure growth has also played its part: today 7.3 million charging points are active globally, a figure 60% higher than in 2018, higher than the growth in the stock of light electric vehicles (Fig. 8) [34] [35].

In addition to electric cars, electric micro-mobility options have expanded rapidly since their appearance in 2017, with shared electric scooters (e-scooters), electric assist bicycles (e-bikes), now available in over 600 cities in more than 50 countries around the world.

There are around half a million electric buses in circulation today, most of them in China. Although the number of new registrations in 2019 was lower than in previous years, due to a phasing out of subsidies since 2016 and a decline in the overall bus market, bus fleets in a number of urban centres in China are almost completely or completely electrified and help improve air quality. Bus electrification is gaining ground in many other regions as well: the city of Santiago del Chile is home to the largest fleet of electric city buses other than China (Fig. 9) [36].

























In recent years, ambitious policy announcements, subsidies and new regulations have been instrumental in spurring the rollout of electric vehicles in key vehicle markets and thus promoting the transition to new forms of sustainable mobility (Fig. 10) [35].

However, the spread of e-mobility as the only way to decarbonise transport still raises several perplexities [33] [37]. The first obviously concerns the mix of energy sources with which electricity is produced. For example, a BEV vehicle (battery electric vehicle) with electricity produced by coal-fired power plants (still widely used in several countries, including Europe), emits more CO₂ per km than a Euro 6 petrol car [37]. The joint timing of energy production and subsidised distribution of electric vehicles is therefore of great importance.

Other possible limiting factors to the widespread diffusion of electric vehicles are linked to infrastructural problems (providing the road network with an adequate number of recharging and refuelling points) and technological problems relating to the on-board energy storage system, on which vehicle performance and autonomy depend [37]. To date, electrochemical batteries based on different lithium compounds (for example, LTO, LiNMC etc.) represent the main storage systems used, and, at the current state of technology, batteries are characterised by significantly lower energy density values than conventional fuels.

Tabella 3 – Table 3

Categorie di veicoli elettrici e le loro principali caratteristiche [33]
Categories of electric vehicles and their main characteristics [33]

Mild Hybrid Electric Vehicles 	<p>Utilizza un motore a combustione interna (ICE), che funziona in combinazione con un motore elettrico. Questi possono essere classificati in base al grado di ibridazione Mild, definito come il rapporto tra le potenze del motore a combustione interna e dell'azionamento elettrico. Il Motore a Combustione interna carica la batteria (Regen.) e assiste nell'accelerazione del veicolo (Electric Assist).</p>		<p>2017 Buick LaCrosse Assist, 2017 Renault Scenic, 2018 Chevrolet Malibu Hybrid</p> 
Full Hybrid Electric Vehicles 	<p>Gli HEV sono alimentati da un motore a combustione interna (ICE) e da un motore elettrico (Electric Drive). Le batterie vengono ricaricate tramite frenata rigenerativa e, facoltativamente, da un generatore collegato all'ICE.</p>		<p>2017 Ford Fusion Hybrid / Energi, 2017 Toyota Highlander Hybrid, 2017 Porsche Panamera Hybrid</p> 
Plug-in Hybrid Electric Vehicles 	<p>Hanno la capacità di coprire lunghe distanze in modalità puramente elettrica. La batteria del veicolo può essere ricaricata utilizzando l'energia proveniente dalla rete elettrica, collegando il veicolo a una presa di ricarica esterna (Charge) mediante l'impiego di un connettore specifico.</p>		<p>2017 Audi A3 Sportback e-tron, BMW 330e iPerformance, 2017 Kia Optima Plug-In Hybrid,</p> 
Battery Electric Vehicles 	<p>Veicoli elettrici a batteria (BEV o EV), in cui l'alimentazione per il sistema di propulsione elettrico è fornita dal pacco batteria, unica fonte di energia a bordo. Prevede un collegamento alla rete elettrica mediante specifiche prese di ricarica.</p>		<p>Renault Zoe, Hyundai Ionic Electric, BMW i3</p> 
Mild Hybrid Electric Vehicles 	<p><i>It uses an internal combustion engine (ICE), which works in conjunction with an engine. These can be classified according to the Mild degree of hybridisation, defined as the ratio between the powers of the internal combustion engine AND the electric drive. The internal combustion engine charges the battery (Regen.) and assists in accelerating the vehicle (Electric Assist)</i></p>		<p>2017 Buick LaCrosse Assist, 2017 Renault Scenic, 2018 Chevrolet Malibu Hybrid</p> 
Full Hybrid Electric Vehicles 	<p><i>HEV's are powered by an internal combustion engine (ICE) and by an electric motor (Electric Drive). The batteries are recharged by regenerative braking and, optionally, by a generator connected to the ICE.</i></p>		<p>2017 Ford Fusion Hybrid / Energi, 2017 Toyota Highlander Hybrid, 2017 Porsche Panamera Hybrid</p> 
Plug-in Hybrid Electric Vehicles 	<p><i>They have the ability to cover long distances in just electric mode. The vehicle battery can be recharged using energy from the mains by connecting the vehicle to an external charging socket (Charge) using a specific connector.</i></p>		<p>2017 Audi A3 Sportback e-tron, BMW 330e iPerformance, 2017 Kia Optima Plug-In Hybrid,</p> 
Battery Electric Vehicles 	<p><i>Battery electric vehicles (BEV or EV), where the power for the electric propulsion system is provided by the battery pack, the only source of energy on board. It provides for a connection to the electricity network through specific charging sockets.</i></p>		<p>Renault Zoe, Hyundai Ionic Electric, BMW i3</p> 

Altri possibili fattori limitativi alla diffusione su larghissima scala dei veicoli elettrici sono legati a problemi infrastrutturali (dotare la rete stradale di un numero adeguato di punti di ricarica e di rifornimento) e tecnologici relativi al sistema di accumulo dell'energia a bordo, da cui dipendono le prestazioni e l'autonomia del veicolo [37]. Ad oggi, le batterie elettrochimiche basate su differenti composti del litio (ad esempio, LTO, LiNMC etc.) rappresentano i principali sistemi di accumulo impiegati, e, allo stato attuale della tecnologia, le batterie sono caratterizzate da valori di densità energetica significativamente inferiori rispetto ai combustibili convenzionali.

Sul fronte del progresso tecnologico delle batterie, la ricerca è attual-

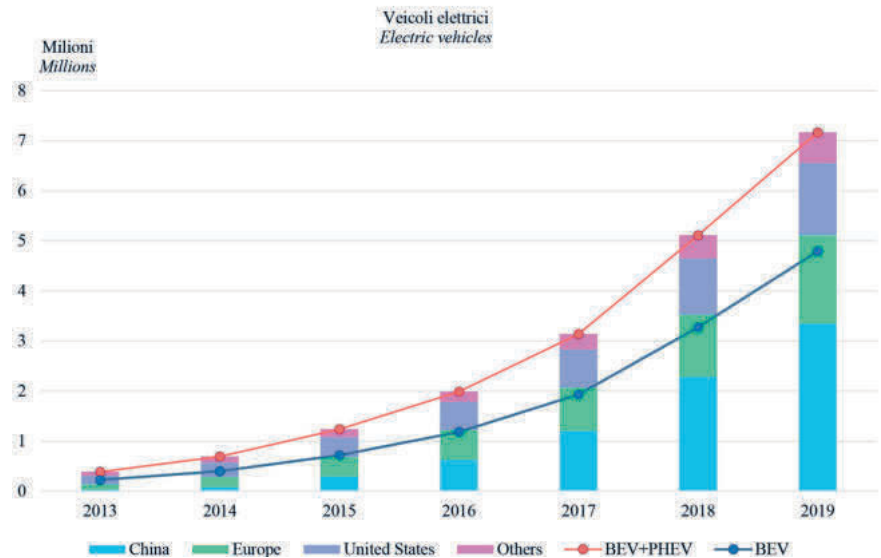


Figura 8 – Stock globale di auto elettriche, 2013-2019 [35].

Figure 8 – Global stock of electric cars, 2013-2019 [35].



Figura 9 – A sinistra: Green Bus: autobus elettrici in Italia (Cremona) [68]; a destra autobus elettrico in ricarica [69].

Figure 9 – Left: Green Bus: electric buses in Italy (Cremona) [68]; right: electric bus being recharged [69].



Figura 10 – A sinistra: auto elettrica in ricarica [52]; a destra: hub scooter elettrici [70].

Figure 10 – Left: electric car being recharged [52]; right: electric scooter hubs [70].

mente molto attiva e si prospettano nei prossimi anni soluzioni che prevederanno l'impiego combinato di batterie elettrochimiche con super-condensatori migliorando notevolmente le prestazioni [33].

I limiti di durata delle batterie, rendono ovviamente la mobilità elettrica poco efficiente proprio nelle modalità di trasporto in cui le emissioni sono difficili da ridurre come gli autocarri pesanti, navi e treni non elettrificati. Ad oggi sono in fase di sperimentazione autocarri ibridi, o con trazione elettrica tipo filobus. È stato proposto di dotare il tratto autostradale della BreBeMi che collega Brescia, Bergamo e Milano, di una struttura aerea per permettere ai grandi camion la percorrenza dell'arteria a trazione elettrica (Fig. 11). Sperimentazioni del genere sono già in atto in altri paesi europei (Svezia e Germania) e in California.

Più in generale sono attive linee di ricerca che si propongono come alternative alla mobilità elettrica basata su batterie. In particolare, si stanno sperimentando motori elettrici alimentati da Idrogeno liquido che rispetto ai classici veicoli elettrici producono l'energia elettrica a bordo attraverso celle di combustibile dove avviene l'elettrolisi inversa: l'idrogeno (proveniente da serbatoi presenti a bordo reagisce con l'ossigeno dall'aria circostante generando energia elettrica).

I motori a idrogeno si stanno sperimentando in particolare sulle ferrovie. In Germania (Sassonia) si sono conclusi i test sulla linea passeggeri Coradia iLint di Alstom (Fig. 12), e dal 2022, all'interno della flotta tedesca LNVG ci saranno 14 treni alimentati esclusivamente ad idrogeno. Anche in Italia sono stati acquistati diversi treni ad idrogeno, che arriveranno nel 2023 inizialmente in Lombardia per le Ferrovie Nord Milano. Il progetto di introdurre treni ad idrogeno in Italia è iniziato nel 2018, con uno studio congiunto tra il Gruppo FS, l'Università la Sapienza di Roma e il CNIM (Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione) per valutare i benefici e la fattibilità dei treni ad idrogeno.



Figura 11 – La filovia per camion [71].
Figure 11 – The trolleybus line for trucks [71].

As regards the technological progress of batteries, research is currently very active and solutions are envisaged in the coming years that will include the combined use of electrochemical batteries with super-capacitors, significantly improving performance [33].

Battery life limits obviously make electric mobility inefficient exactly in transport modes where emissions are difficult to reduce such as heavy trucks, ships and non-electrified trains. To date, hybrid trucks, or with electric traction such as trolleybuses, are being tested. It was proposed to equip the BreBeMi motorway section connecting Brescia, Bergamo and Milan with an aerial structure to allow large trucks to travel the electric traction artery (Fig. 11). Trials of this kind are already underway in other European countries (Sweden and Germany) and in California.

More generally, there are active lines of research that are proposed as alternatives to electric mobility based on batter-



Figura 12 – A sinistra Treno alimentato ad idrogeno [72] a Destra il primo camion alimentato a idrogeno [73].
Figure 12 – Left: Hydrogen powered train [72] Right: the first hydrogen powered truck [73].

Anche nell'ambito degli autocarri, l'alimentazione ad idrogeno è in fase avanzata di sperimentazione. A luglio 2020 è stato completato il primo camion al mondo alimentato a idrogeno che circolerà in Europa.

Anche alcune case automobilistiche si sono decisamente spinte verso la produzione e la commercializzazione di automobili ad idrogeno. In particolare, Hyundai e Toyota offrono ad oggi i modelli Nexo e Mirai alimentati ad idrogeno ad emissioni zero (Fig. 13).

Sono attualmente allo studio anche altre forme di trazione a basso o nullo impatto ambientale. Ad esempio il biometano, un gas che contiene al 95% metano (CH_4) prodotto da una fonte rinnovabile (dal biogas sottoposto ad un processo di raffinazione e purificazione con rimozione dell'anidride carbonica e tracce di altri gas). L'uso del biometano nell'ambito dei trasporti in Italia è incentivato dal Decreto Interministeriale 2 marzo 2018.

Ancora si stanno sperimentando motori a combustione interna alimentati con miscele di idrogeno che consentono di salvaguardare la filiera industriale dei motori a scoppio molto radicata in Europa ed in Italia.

In definitiva, come detto, ad oggi non è chiaro quali saranno le tecnologie e le fonti energetiche che condurranno alla decarbonizzazione del trasporto terrestre. Le diverse soluzioni hanno vantaggi e svantaggi rispetto a diversi criteri di valutazione e ai possibili ambiti di utilizzazione come sintetizzato nella Tab. 4 [38].

L'elettrificazione del trasporto marittimo sta progredendo, ma attualmente è limitata ai traghetti e ad altre navi a breve distanza. A breve termine, si prevede che le navi puramente elettriche saranno economicamente competitive con altri propulsori a basse emissioni di carbonio solo per distanze fino a 200 km. I paesi nordici sono in testa all'elettrificazione dei traghetti a breve distanza. La Norvegia aveva circa 20 traghetti elettrici in funzione nel 2019 e prevede di lanciarne altri 50 nei prossimi due anni [34]. La potenza motrice puramente elettrica non sembra essere

ies. In particular, electric motors powered by liquid hydrogen are being tested which, compared to classic electric vehicles, produce electricity on board through fuel cells where reverse electrolysis takes place: hydrogen (coming from on-board tanks reacts with the oxygen from the surrounding air generating electrical energy).

Hydrogen engines are being tested in particular on railways. In Germany (Saxony), tests have been completed on Alstom's Coradia iLint passenger line (Fig. 12), and from 2022 there will be 14 trains powered exclusively by hydrogen within the German LNVG fleet. Several hydrogen trains have also been purchased in Italy, which will initially arrive in Lombardy in 2023 for the Ferrovie Nord Milan. The project to introduce hydrogen trains in Italy started in 2018, with a joint study between the FS Group, the Sapienza University of Rome and the CNIM (Italian National Committee for Maintenance) to evaluate the benefits and feasibility of hydrogen powered trains.

Even in the truck sector, hydrogen fuelling is at an advanced stage of experimentation. In July 2020, the world's first hydrogen-powered truck was completed that will circulate in Europe.

Some car manufacturers have also strongly pushed towards the production and marketing of hydrogen powered cars. In particular, Hyundai and Toyota currently offer the Nexo and Mirai models with zero-emission hydrogen fuelling (Fig. 13).

Other forms of traction with low or zero environmental impact are also currently being studied. For example biomethane, a gas that contains 95% methane (CH_4) produced from a renewable source (from biogas subjected to a refining and purification process with removal of carbon dioxide and traces of other gases). The use of biomethane in the transport sector in Italy is encouraged by the Interministerial Decree of 2 March 2018.

Internal combustion engines fuelled with hydrogen mixtures are still being tested, which allow safeguarding the in-



Figura 13 – A sinistra Hyundai Nexo mobilità a idrogeno [74]; a Destra Toyota Mirai alimentata a idrogeno [75].
Figure 13 – Left: Hyundai Nexo hydrogen powered mobility [74]; Right: Toyota Mirai powered by hydrogen [75].

Tabella 4 – Table 4

Rischi e vantaggi delle principali soluzioni sviluppate per la decarbonizzazione del trasporto terrestre [38]
Risks and advantages of the main solutions developed for the decarbonisation of land transport [38]

	Svantaggi Drawbacks	Vantaggi Benefits
BEV – Veicolo elettrico a batteria BEV – Battery electric vehicle		
	Disponibilità e riciclaggio delle materie prime per la batteria Availability of recycling of raw materials for the battery	Tecnologia disponibile(veicoli in produzione in serie) Available technology (vehicles in mass production)
	Consumo reale superiore al normale consumo Real consumption higher than normal consumption	Compatibile con la strategia BEV in Cin Compatible with the BEV strategy in Cin
	Rivendita difficile al di fuori dell'UE Difficult resale outside the EU	
FCEV – Veicolo elettrico a celle a combustibile FCEV – Fuel cell electric vehicle		
	Scarico di liquidi H ₂ in edifici chiusi (non adatto per auto, garage, ecc.) H ₂ liquid discharge in closed buildings (not suitable for cars, garages, etc.)	Tecnologia disponibile (veicoli in produzione in serie) Available technology (vehicles in mass production)
	Rivendita difficile al di fuori dell'UE Difficult resale outside the EU	
	Elevato utilizzo di platino High use of platinum	
	H ₂ di origine fossile estratto dal gas naturale H ₂ of fossil origin extracted from natural gas	
PtX - power to:		
Metano Methane gas		
	Uso limitato di parcheggi, tunnel e potrebbero essere possibili traghetti Limited use of parking, tunnels and ferries may be possible	Tecnologia disponibile (veicoli in produzione in serie) Available technology (vehicles in mass production)
	Necessario prevenzione della fuoriuscita di metano nel veicolo e nelle infrastrutture Necessary prevention of methane leakage into the vehicle and infrastructures	Rete di distribuzione del gas completamente sviluppata (400.000 km) e stoccaggio del gas disponibile Fully developed gas distribution network (400,000 km.) And gas storage available
	Soluzioni da sviluppare per lo sfiato del GNL in caso di riscaldamento Solutions to be developed for LNG venting in case of heating	Compatibilità al 100% con CNG, biometano, Metano PtG->Miscelazione di qualsiasi quantità di metano con bio e/o metano PtG possono essere controllati tramite legislazione/incentivi fiscali corrispondenti 100% compatibility with CNG, bio methane, PtG methane -> mixing of any quantity of methane with bio and/or methane PtG can be controlled via corresponding legislation/tax incentives
		Compatibile con mercati di nicchia: Iran, Pakistan, Thailandia, Cina Compatible with niche markets: Iran, Pakistan, Thailand, China
Metanolo Methanol		
	Avvio a freddo con un secondo carburante elettronico Cold start with a second electronic fuel	Tecnologia disponibile (molto simile veicoli a etanolo in produzione in serie) Available technology (very similar to mass production ethanol vehicles)
	Rivendita difficile al di fuori dell'UE Difficult resale outside the EU	Economicamente disponibile per l'introduzione di metanolo fossile in grandi quantità (da gas naturale) Economically available for introducing fossil methanol in large quantities (from natural gas)

(segue... - follows...)

POLITICA E ECONOMIA

(segue tab. 4 - follows tab. 4)

	E-metanolo disponibile solo in quantità molto piccole (glicerina da rifiuti biodiesel produzione) <i>E-methanol available only in very small quantities (glycerine from waste from biodiesel production)</i>	Compatibile con l'accumulo di elettricità tecnologica <i>Compatible with electricity storage technology</i>
		Il metanolo è adatto per l'industria chimica come un "nuovo" materiale di base <i>Methanol is suitable for the chemical industry as a "new" base material</i>
Benzina <i>Petrol</i>		
	Può essere prodotto solo come benzina FT in concessione con FTdiesel, FTpropano/butano e altri sottoprodotti. Raffineria a valle necessaria <i>Can only be produced as FT gasoline in connection with FT Diesel, FT Propane / Butane and other by-products. Downstream refinery required</i>	Tecnologia disponibile (veicoli in produzione in serie) <i>Available technology (vehicles in mass production)</i>
	Bio-benzina economicamente producibile non disponibile come un supplemento economico e sostenibile alla benzina elettronica <i>Economically manufacturable bio-gasoline not available as an affordable and sustainable supplement to electronic gasoline</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastruttura completamente sviluppata disponibile • Alto grado di compatibilità con i fossilibenzina • Miscelazione proporzionale con gas PtG la linea può essere controllata tramite il corrispondente legislazione/incentivi fiscali • <i>Fully developed infrastructure available</i> • <i>High degree of compatibility with gasoline fossils</i> • <i>Proportional mixing with PtGla gas the line can be controlled through the corresponding legislation / tax incentives</i>
	Biocomponenti come integratore economico e sostenibile alla benzina può essere miscelato solo in piccole quantità (10% etanolo, 3% metanolo) <i>Biocomponents as an economical and sustainable supplement to ebenezine can be mixed only in small quantities (10% ethanol, 3% methanol)</i>	Pienamente compatibile con tutti i mercati mondiali <i>Fully compatible with all world markets</i>
Diesel		
	Necessario trasporto di ADBLUE <i>Necessary transport of ADBLUE</i>	Tecnologia disponibile (veicoli in produzione di serie) <i>Available technology (vehicles in mass production)</i>
	FT Diesel può essere prodotto solo in connessione con Benzina FT, propano/butano FT e altri sottoprodotti Necessaria raffineria a valle <i>FT Diesel can only be produced in connection with FT petrol, FT propane / butane and other by-products. Downstream refinery required</i>	Infrastruttura completamente sviluppata disponibile <i>Fully developed infrastructure available</i>
	E-diesel (VHO) disponibile solo in piccole quantità (disponibilità di olio vegetale sostenibile) <i>E-diesel (HVO) only available in small quantities (availability of sustainable vegetable oil)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilità 100% con diesel di origine fossile • Qualsiasi miscela desiderata con diesel PtG può essere controllato attraverso la legislazione corrispondente/incentivi fiscali • <i>100% compatibility with fossil diesel</i> • <i>Any desired blend with Diesel PtG can be controlled through the corresponding legislation / tax incentives</i>
	Biocomponenti come integratore economico e sostenibile all'e-diesel può essere miscelato solo in piccole quantità (7% FAME/FAEE) <i>Biocomponents as a sustainable economic supplement to ediesel can only be blended in small quantities (7% FAME / FAEE)</i>	Pienamente compatibile con tutti i mercati mondiali (camion) o mercati europei (automobili) <i>Fully compatible with all world markets (lorries) or European markets (cars)</i>

una tecnologia fattibile per le navi oceaniche nel prossimo futuro (a causa delle limitazioni nella densità di energia delle batterie e della loro vasta gamma di distanze).

L'elettificazione delle operazioni di navigazione nei porti è invece sempre più comune e viene gradualmente resa obbligatoria dalla legislazione in Europa, Cina e, negli Stati Uniti, California.

Altra tecnologia che consente la riduzione di carburante e di emissione nell'ambito della navigazione è il *Cold Ironing* che prevede l'alimentazione da terra durante le fasi di ormeggio delle navi (ad esempio per illuminazione, pompe, frigoriferi e servizi all'equipaggio e agli ospiti), dove il fabbisogno elettrico è fornito dalla rete elettrica anziché tramite il generatore diesel ausiliario sulla nave.

Ad oggi, le principali compagnie di navigazione hanno iniziato a dotare le loro navi di componenti di bordo per l'utilizzo della *Cold Ironing*, così come tutte le nuove navi da crociera e navi portacontainer di dimensioni superiori a 6000 unità equivalenti di venti piedi [39] [40] [35].

Oggi, almeno 78 porti in tutto il mondo sono in grado di fornire i servizi di *Cold Ironing*, di cui tre quarti situati in Europa. Si stima che la potenza installata cumulativa sia di almeno 300 MW, ma molti più porti potrebbero installare attrezzature per il *Cold Ironing* nei prossimi anni per ridurre alcuni degli impatti locali sulle emissioni di inquinanti e CO₂ del trasporto marittimo [41] [42].

4. Le trasformazioni nei servizi di mobilità

Le modifiche dei comportamenti e le innovazioni tecnologiche già disponibili, in particolare quelle legate alla Information and Communication Technology (ICT), alla localizzazione satellitare e allo sviluppo della APP-economy (transazioni e servizi offerti via Apps degli smartphones) stanno creando notevoli trasformazioni dei servizi di mobilità ed in particolare quelli scollegati dal possesso del veicolo (MAAS o *Mobility-As-A-Service* per le persone e per la distribuzione delle merci). Il termine *Mobility-As-A-Service*, si è andato diffondendo negli ultimi anni, descrive un nuovo modo di spostarsi che al concetto di possedere il veicolo, sostituisce il concetto di servizio di mobilità, intesa come servizio di cui usufruire a seconda delle necessità. Questo concetto nasce per essere applicato soprattutto nelle grandi città, dove la congestione del traffico e dei parcheggi e i livelli di inquinamento atmosferico e ambientale hanno raggiunto il loro apice. Sono nati così moltissimi servizi di condivisione di auto, biciclette, scooter e monopattino elettrico particolarmente utilizzati per la micro-mobilità (Fig. 14 e Fig. 15) e gestite da società private, pubbliche o miste.

dustrial chain of internal combustion engines which is deeply rooted in Europe and Italy.

Ultimately, as mentioned, to date it is not clear which technologies and energy sources will lead to the decarbonisation of land transport. The different solutions have advantages and disadvantages with respect to different evaluation criteria and possible areas of use as summarised in Tab. 4 [38].

The electrification of maritime transport is progressing but is currently limited to ferries and other short-haul ships. In the short term, purely electric ships are expected to be economically competitive with other low-carbon powertrains only for distances up to 200 km. The Nordic countries are leading the electrification of short distance ferries. Norway had around 20 electric ferries in operation in 2019 and plans to launch another 50 in the next two years [34]. Purely electric motive power does not appear to be a viable technology for ocean-going vessels in the foreseeable future (due to limitations in the energy density of batteries and their wide range of distances).

Electrification of shipping operations in ports is increasingly common and is gradually made mandatory by legislation in Europe, China and California, in the United States.

Another technology that allows reducing fuel and emissions in the context of navigation is Cold Ironing which provides for power from shore during the mooring phases of ships (for example for lighting, pumps, refrigerators and crew and guest services), where the electricity needs are provided by the electricity network rather than via the auxiliary diesel generator on the ship.

To date, major shipping companies have begun to equip their ships with onboard components for the use of Cold Ironing, as have all new cruise ships and container ships larger than 6000 twenty feet equivalent units [39] [40] [35].

Today, at least 78 ports around the world can provide Cold Ironing services, three quarters of which are located in Europe. Cumulative installed capacity is estimated to be at



Figura 14 – Esempio di car sharing di Roma [76].

Figure 14 – Example of car sharing in Rome [76].



Figura 15 – A sinistra bike sharing a Vienna [77]; a destra monopattino sharing a Milano [78].
Figure 15 – Left: bike sharing in Vienna [77]; right: scooter sharing in Milan [78].

La mobilità come servizio (Fig. 16 e Fig. 17) è un concetto relativamente nuovo che, oltre a modificare il modello di business per l'erogazione di servizi di trasporto, promette un rapido ricambio di mezzi e modalità di fornitura del servizio. La tecnologia svolge un ruolo fondamentale nel rendere possibile la diffusione di questo modello di business. Tra le aziende APP-economy più famose al mondo c'è Uber (Fig. 18) [78], un servizio di trasporto privato, che attraverso un APP mette in connessione diretta utente e autisti. Oggi il servizio di Uber è utilizzato in 65 paesi nel mondo, in più di 600 città. Massima diffusione è raggiunta a New York, basti pensare che nel 2017, le corse di Uber sono state circa il doppio di quelle in taxi, mentre in Italia ha dovuto affrontare diverse controversie legali e opposizione da parte dei taxisti.

Un'app largamente utilizzata nell'ambito della mobilità condivisa, è Bla Bla Car [83], una piattaforma di *car pooling* che opera in 22 Paesi, con 80 milioni di utenti, e favorisce le composizioni di equipaggi di *car-pool* con determinate caratteristiche per condividere le spese del viaggio.

Nel 2014, a Santa Monica è stato lanciato il servizio di Uber Eats [80], un'app che mette in contatto il cliente ed i ristoranti/bar/pub per la consegna di cibo. Nel 2020, anche a causa delle restrizioni dovute alla pandemia COVID-19, Uber Eats è tra le app di delivery più utilizzate in Italia. Recentemente l'App di Uber è entrata anche nel mercato della logistica con Uber Freight [81], un'app che mette in contatto vettori a spedizionieri. Nel settore della logistica sostenibile va segnalata la piattaforma Flock Freight, (Fig. 19), che assicura trasporti di lunga percorrenza "car-

least 300 MW, but many more ports could install Cold Ironing equipment in the coming years to reduce some of the local impacts on pollutants and CO₂ emissions from maritime transport [41] [42].

4. Transformations in mobility services

The changes in behaviour and technological innovations already available, in particular those related to Information and Communication Technology (ICT), satellite localisation and the development of the APP-economy (transactions and services offered via Apps of smartphones) are creating significant transformations of mobility services and in particular those not connected with the ownership of the vehi-

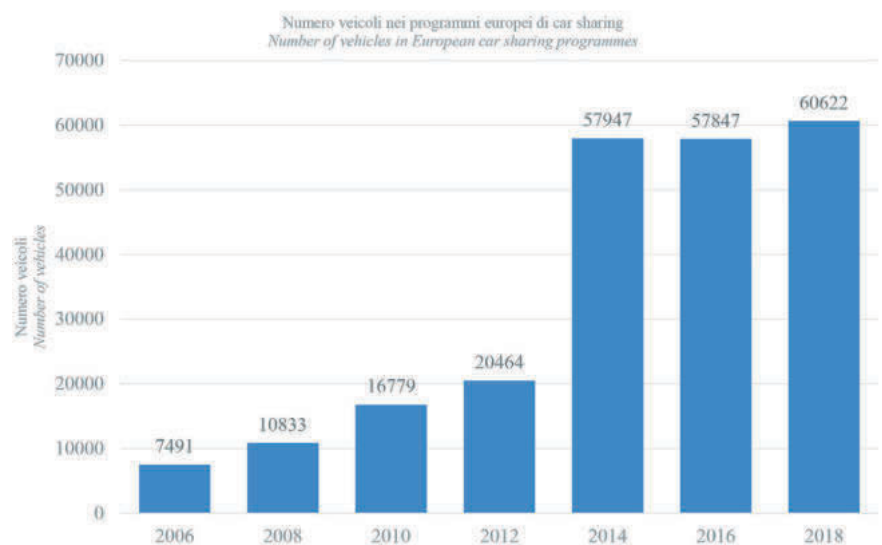


Figura 16 – Andamento del numero veicoli nei programmi europei di car sharing dal 2006 al 2018 [79].

Figure 16 – Trend in the number of vehicles in European car sharing programmes from 2006 to 2018 [79].

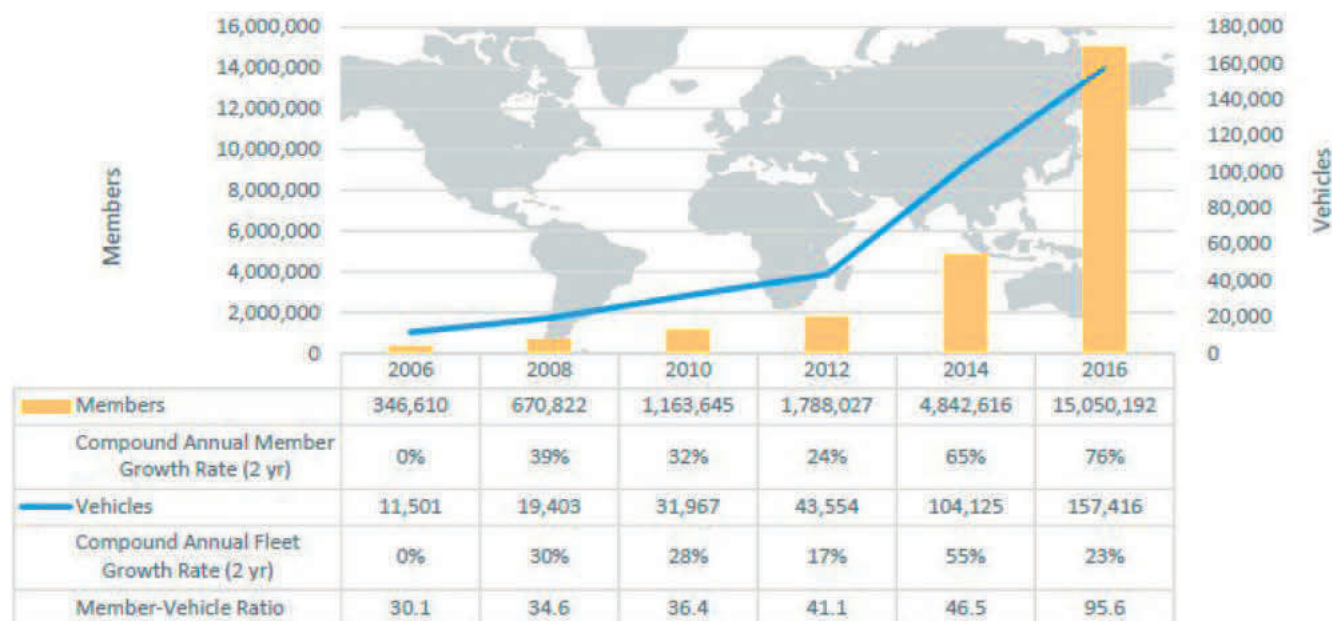


Figura 17 – Trends mercato globale Carsharing [43].
Figure 17 – Trends in the global Carsharing market [43].

bon neutral” ossia per i quali la CO₂ non aumenta [82]. Questo notevole risultato viene ottenuto mettendo in contatto la domanda di spedizioni con gli autotrasportatori in modo da eliminare i viaggi a carico parziale e fare varie fermate per distribuire la merce. In questo modo si riducono le emissioni del 40% rispetto a quella a carico parziale (LTL), il restante 60% viene acquistato in “carbon credits” dalla piattaforma all’atto della prenotazione. I carbon credits, sono titoli quotati su mercati dedicati che compensano l’impatto delle emissioni di carburante associate al trasporto, senza costo aggiuntivo per il cliente. L’idea è quella di tradurre in termini economici le emissioni di carbonio, in modo da scoraggiarne la generazione, e quindi ridurle. Ci sono sostanzialmente due modalità di procedere 1) quotare le emissioni e fare in modo che chi

cle (MAAS or Mobility-As-A-Service for people and for the distribution of goods). The term Mobility-As-A-Service, has been spreading in recent years and describes a new way of moving that replaces the concept of owning the vehicle with the concept of a mobility service, understood as a service to be used according to need. This concept was created to be applied above all in large cities, where traffic and parking congestion and levels of atmospheric and environmental pollution have reached their peak. Thus, many car, bicycle, scooter and electric scooter sharing services arose, particularly used for micro-mobility (Fig. 14 and Fig. 15) and managed by private, public or mixed companies.

Mobility as a service (Fig. 16 and Fig. 17) is a relatively new concept which promises a rapid turnover of means and methods of providing the service, in addition to modifying the business model for the provision of transport services. Technology plays an essential role in making this business model possible. Among the most famous APP-economy companies in the world is Uber (Fig. 18) [78], a private transport service, which connects users and drivers directly through an APP. Today, Uber’s service is used in 65 countries around the world, in more than 600 cities. Maximum diffusion is reached in New York, just think that in 2017, Uber rides were about double those in taxis, while in Italy it had to face several legal disputes and opposition from taxi drivers.



Figura 18 – Auto di Uber a New York.
Figure 18 – Uber car in New York.

An app widely used in the field of

ne produce in eccesso debba pagare per acquistare sul mercato i crediti (questo è il modo in cui funziona il mercato denominato Emission Trading System); 2) premiare chi riesce a ridurle, attraverso titoli che hanno valore di mercato (questo è il modo in cui funziona il mercato dei certificati bianchi).

Le prospettive di evoluzione dei servizi MAAS sono notevoli. Essi potranno offrire un servizio door to door flessibile, che attraverso un canale digitale congiunto consente agli utenti di pianificare, prenotare e pagare per diverse tipologie di servizi di mobilità. L'utente, attraverso un'unica applicazione, potrebbe avere a disposizione sul proprio smartphone un servizio che gli consentirà di pianificare il viaggio e di scegliere quale mezzo di trasporto utilizzare per ciascun segmento, ad esempio una auto in carsharing da casa fino alla stazione ferroviaria, un treno fino alla stazione finale ed un servizio di Uber fino alla destinazione in un'altra città, pagando per il singolo viaggio oppure usufruendo di abbonamenti mensili o di tariffe unificate per più mezzi di trasporto differenti [44]. La caratteristica principale sta nell'offrire ai viaggiatori soluzioni basate sulle loro reali esigenze di viaggio, che possono variare per lo stesso utente in relazione alle condizioni meteo, l'ora del giorno, le condizioni psico-fisiche, la disponibilità a

shared mobility is Bla Bla Car [83], a car-pooling platform that operates in 22 countries, with 80 million users, and favours the compositions of car-pool crews with certain characteristics to share travel expenses.

In 2014, the Uber Eats service was launched in Santa Monica [80], an app that connects the customer and restaurants/bars/pubs for food delivery. In 2020, also due to the COVID-19 pandemic restrictions, Uber Eats is among the most used delivery apps in Italy. Recently, the Uber App has also entered the logistics market with Uber Freight [81], an app that connects carriers to freight forwarders. In the sustainable logistics sector, the Flock Freight platform should be noted, (Fig. 19) which ensures long-distance "carbon neutral" transport, i.e. for which CO_2 does not increase [82]. This remarkable result is achieved by connecting the demand for shipments with lorry drivers in order to eliminate part-load journeys and make several stops to distribute the goods. In this way, emissions are reduced by 40% compared to partial load (LTL), the remaining 60% is purchased in "carbon credits" by the platform at the time of booking. Carbon credits are securities listed on dedicated markets that offset the impact of fuel emissions associated with transportation, at no additional cost for the customer. The idea is to translate carbon emissions into economic terms, in order

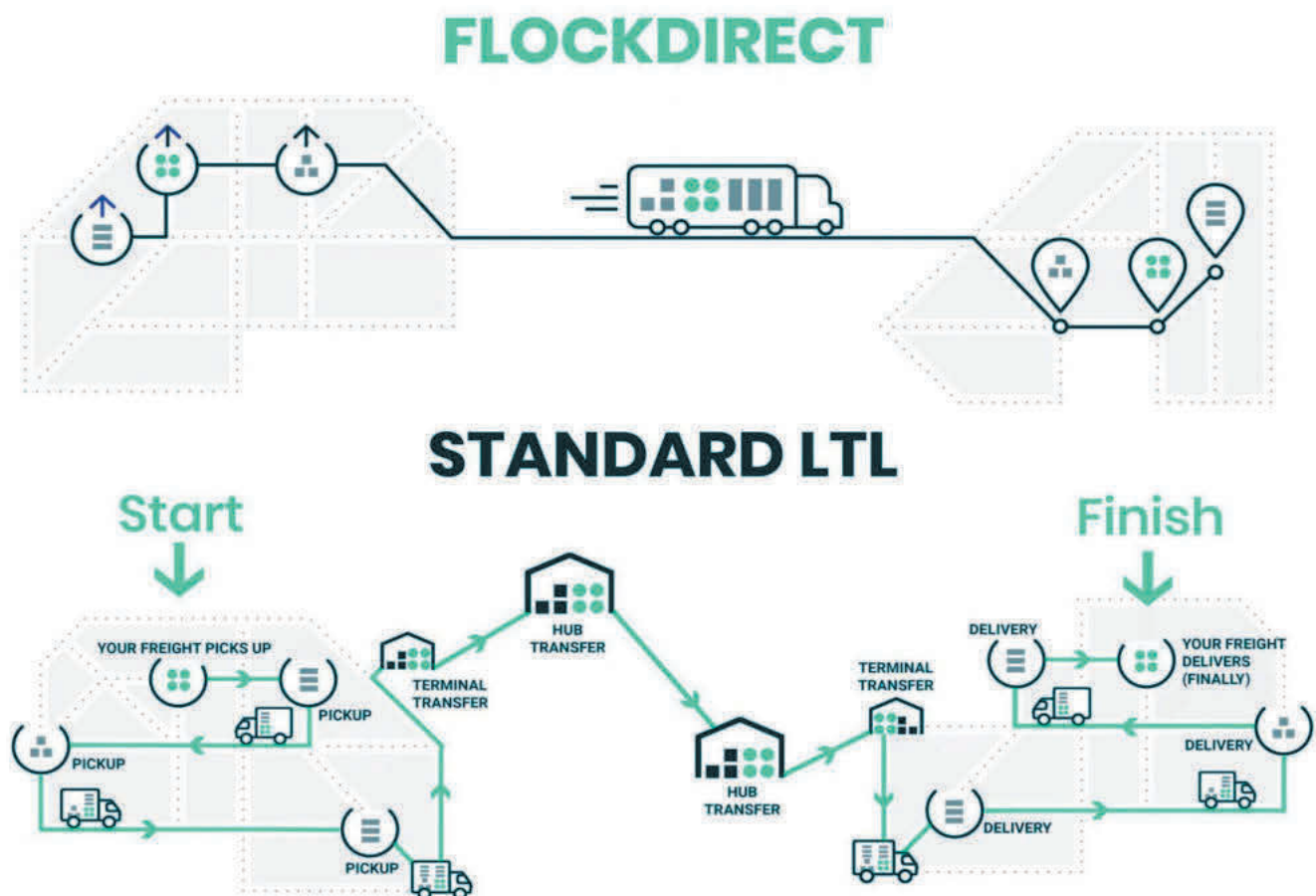


Figura 19 – La piattaforma Flock Freight e l'idea dei trasporti di lunga percorrenza "carbon neutral" [77].

Figure 19 – The Flock Freight platform and the idea of "carbon neutral" long-distance transport [77].

pagare etc. L'applicazione delle tecnologie e sistemi innovativi, disponendo dei dati di mobilità in tempo reale attraverso i sistemi di monitoraggio del traffico e delle flotte di trasporto pubblico (i cosiddetti Big Data), potrà suggerire ai viaggiatori soluzioni di mobilità compatibili con le condizioni del traffico, la posizione dei mezzi pubblici, la disponibilità di stalli di sosta e perfino di incontrare amici lungo il tragitto [45].

MaaS ha il potenziale per offrire notevoli vantaggi per la società, tra cui la riduzione delle emissioni, della congestione del traffico, degli incidenti stradali e del disagio generale associato al viaggio, oltre a fornire soluzioni di trasporto personalizzate. Ancora essi hanno il potenziale per introdurre sistemi di tariffazione del viaggio molto più efficienti ed equi di quelli attuali [46]. Ad esempio è possibile immaginare un prezzo del viaggio diverso in funzione della congestione e dell'inquinamento che provoca o della possibilità di utilizzare modalità di trasporto alternative.

Sviluppi particolarmente promettenti sono immaginabili dalla ibridazione di servizi MaaS con le tecnologie di guida autonoma e connessa. Sono ad esempio immaginabili servizi di autonomous car sharing con veicoli che in autonomo si recano al punto di pick up, magari a velocità ridotta e con guida molto cautelativa, vengono guidati dall'acquirente del servizio con livelli di automazione 3 e 4, e successivamente si ricollocano in attesa ancora in autonomo. Uno studio sulla mobilità di New York dimostra che veicoli autonomi uniti ad un servizio di sharing possono portare importanti benefici all'urbanizzazione delle città [47]. Infatti, i veicoli autonomi uniti al sistema di sharing (che ottimizza l'utilizzo dei veicoli e riduce i tempi di sosta) permettono, ad esempio, di liberare enormi aree attualmente dedicate ai parcheggi e convertire quelle aree ad usi più "nobili", dai parchi agli alloggi sociali.

A Singapore è stata sperimentata la prima piattaforma di simulazione del trasporto urbano passeggeri e merci, "SimMobility" [48], che attraverso le informazioni raccolte (distinguendo i viaggi abituali con quelli occasionali) è in grado di gestire il trasporto urbano ottimizzando le caratteristiche della rete e le prestazioni del sistema. Segue la stessa logica la versione della piattaforma dedicata al trasporto merci, sempre a livello urbano, (SimMobility Freight [49]) che tenendo conto sia del flusso passeggeri che del flusso merci, fornisce informazioni (su sosta, percorso ottimo) per migliorare le prestazioni del sistema.

Ma le trasformazioni dei servizi di mobilità non riguardano solo la diffusione e lo sviluppo di MAAS, esse riguardano anche cosa si intende per servizio di trasporto, le aspettative e i comportamenti dei viaggiatori e degli utenti, a loro volta influenzate e rese possibili dalla evoluzione tecnologica, come i servizi di Informazioni in tempo reale sulla mobilità (*infomobility*). Applicazioni che forniscono informazioni sul tempo di attesa del treno o suggerimenti sul percorso (*route guidance*) sulla base delle condizioni di traffico in tempo reale sono ormai di uso comune. Il viaggio è sempre più visto non come un mero spostamento da un luogo ad un altro, ma come una *travel experience* duran-

to discourage their generation, and therefore reduce them. There are basically two ways of proceeding 1) quoting the emissions and making sure that those who produce in excess must pay to buy the credits on the market (this is the way the market called Emission Trading System works); 2) reward those that manage reducing them, through securities that have market value (this is the way the white certificate market works).

The prospects for the evolution of MAAS services are considerable. They will be able to offer a flexible door-to-door service, which through a joint digital channel allows users to plan, book and pay for different types of mobility services. Through a single application, the user could have a service available on its smartphone that will allow it to plan the trip and choose which transport means to use for each segment, for example a car in carsharing from home to the train station, a train to the final station and an Uber service to the destination in another city, paying for the single trip or taking advantage of monthly passes or unified rates for several different transport means [44]. The main feature is to offer travellers solutions based on their real travel needs, which may vary for the same user in relation to weather conditions, time of day, psycho-physical conditions, willingness to pay, etc. The application of innovative technologies and systems, with real-time mobility data available through traffic monitoring systems and public transport fleets (the so-called Big Data), will be able to suggest mobility solutions to travellers compatible with traffic conditions, the location of public transport, the availability of parking spaces and even meeting friends along the way [45].

MaaS has the potential to offer significant benefits to society, including reducing emissions, traffic congestion, traffic accidents and general discomfort associated with travel, as well as providing customised transportation solutions. They still have the potential to introduce far more efficient and fair travel charging systems than current ones [46]. For example, a different travel price can be imagined depending on the congestion and pollution it causes or the possibility of using alternative transport modes.

Particularly promising developments are conceivable from the hybridisation of MaaS services with independent and connected driving technologies. For example, independent car sharing services are imaginable with vehicles that go autonomously to the pick-up point, perhaps at reduced speed and with very cautious driving, driven by the customer of the service with automation levels 3 and 4, and which then still independently relocate on hold. A study on mobility in New York shows that self-driving vehicles combined with a sharing service can bring important benefits to the urbanisation of cities [47]. In fact, self-driving vehicles combined with the sharing system (which optimises the use of vehicles and reduces parking times) allow, for example, to free up huge areas currently dedicated to parking and convert those areas to more "noble" uses, from parks to social housing.

The first simulation platform for urban passenger and freight transport, "SimMobility", was tested in Singapore [48], which, through the information collected is able to

te la quale ci si aspetta di essere informati in tempo reale dell'andamento del viaggio, avere la possibilità di essere connessi ad internet e ricevere informazioni e proposte sulle opportunità turistiche, culturali e commerciali dei luoghi che si attraversano. Recentemente Google ha annunciato alcuni aggiornamenti per l'app Maps, disponibili inizialmente solo negli USA, in cui oltre al percorso più veloce viene proposto all'utente il percorso più green, ovvero con meno impatto ambientale, calcolato in funzione del traffico in tempo reale e della pendenza della strada. Anche in questo caso le ibridazioni possibili con le altre aree di innovazione sono moltissime, basti pensare allo sviluppo dell'Infotainment per i veicoli a guida autonoma.

5. Nuovi sistemi di trasporto

Il quarto filone di innovazione tecnologica è legato alla introduzione e alla diffusione di nuovi mezzi/ sistemi di trasporto. Questo è il filone per il quale è ad oggi più incerto l'impatto che potrà avere nei prossimi decenni, nel senso che mancano ancora applicazioni significative e potrebbero essere necessarie nuove infrastrutture, dai tempi e costi di realizzazione tipicamente elevati.

Fra le ipotesi più promettenti ad oggi c'è il sistema Hyperloop, una tecnologia proprietaria, che propone un sistema di altissima velocità terrestre (oltre 1000 km/h) che rappresenterebbe una nuova modalità di trasporto fra l'Alta Velocità ferroviaria ed il trasporto aereo di breve/medio raggio su relazioni a sufficiente intensità di domanda sia per viaggiatori che merci. Il potenziale "rivoluzionario" è evidente considerando che Roma e Milano "disterebbero" "meno di un'ora" [3] (Fig. 20). La base tecnologica è una combinazione di diverse innovazioni: sistemi di sustentazione e propulsione magnetica che spingono senza attrito capsule pressurizzate in un tubo a tenuta stagna e bassissima pressione per ridurre moltissimo la resistenza aerodinamica. Sebbene ad oggi siano state annunciate implementazioni in diverse aree del mondo, in California [84], a Dubai [85] ma anche in Europa, in particolare in Francia Tolosa [86], non ci sono ancora applicazioni commerciali e poco si conosce sulle prestazioni energetiche e funzionali di questo sistema e i relativi costi. Le sperimentazioni in corso e gli interessi economici coinvolti, come Tesla e SpaceX i primi che nel 2013 hanno lavorato e divulgato il modello concettuale di Hyperloop, lasciano prevedere che nei prossimi anni ci saranno le prime applicazioni che daranno le informazioni necessarie per valutare i potenziali campi di utilizzazione di questo sistema. Un ulteriore passo di Hyperloop verso l'implementazione è del 2020, quando il Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti e la tecnologia di trasporto non tradizionale ed emergente, hanno pubblicato un chiaro quadro normativo per l'implementazione di Hyperloop negli Stati Uniti.

Un altro settore di innovazione potenzialmente "rivoluzionario" è quello della utilizzazione dei droni al trasporto di cose e persone. Ad esempio, in Italia FlyingBasket sviluppa droni multiruota, che trasportano sino a

manage urban transport (distinguishing between regular and occasional journeys), by optimising the characteristics of the network and system performance. The version of the platform dedicated to freight transport, also at urban level, (SimMobility Freight [49]) follows the same logic, which provides information (on parking, optimal route) for better system performance, taking into account both passenger and freight flows.

But the transformations of mobility services do not only concern the diffusion and development of MAAS, but they also concern what is meant by transport service, the expectations and behaviours of travellers and users, in turn influenced and made possible by technological evolution, such as real-time information services on mobility (infomobility). Applications that provide information on train waiting time or route guidance based on real-time traffic conditions are now in common use. Travel is increasingly seen not as a mere displacement from one place to another, but as a travel experience during which one expects to be informed in real time of the progress of the journey, to have the opportunity to be connected to the internet and receive information and proposals on the tourist, cultural and commercial opportunities of the places you pass through. Google recently announced some updates for the Maps app, initially available only in the USA, in which, in addition to the fastest route, the user is offered the greener route, that is, with less environmental impact, calculated on the basis of traffic in real time and of the slope of the road. Also, in this case there are many possible hybridisations with the other areas of innovation, just think of the development of Infotainment for self-driving vehicles.

5. New transport systems

The fourth line of technological innovation is linked to the introduction and diffusion of new transport means/ systems. This is the trend for which the impact it may have in the coming decades is currently increasingly uncertain, in the sense that significant applications are still lacking, and new infrastructures may be required, with typically high implementation times and costs.

Among the most promising hypotheses to date is the Hyperloop system, a proprietary technology, which proposes a very high land speed system (over 1000 km/h) which would represent a new transport mode between High Speed rail and short/medium haul air transport on connections with sufficient demand intensity for both travellers and freight. The "revolutionary" potential is evident considering that Rome and Milan would be less than "an hour away" [3] (Fig. 20). The technological basis is a combination of several innovations: magnetic propulsion and support systems that push pressurised capsules without friction into a watertight, very low pressure tube to greatly reduce aerodynamic drag. Although implementations have been announced to date in different areas of the world, in California [84], Dubai [85] but also in Europe, in particular in France Toulouse [86], there are still no commercial applications and little is



Figura 20 – A sinistra: la sezione del modello di Hyperloop [87]; a destra: pista di prova della Virgin Hyperloop nel deserto del Nevada [88].

Figure 20 – Left: the section of the Hyperloop model [87]; right: Virgin Hyperloop test track in the Nevada desert [88].

100 kg nelle aree montane, verso le isole e altri luoghi che potrebbero essere difficilmente raggiungibili con i mezzi di trasporto tradizionali [89].

Analogamente sono disponibili diversi prototipi di droni per il trasporto di persone, fino ad un massimo di sei, per brevi tragitti tipici delle aree urbane congestionate o dei collegamenti fra aeroporti/ stazioni e località turistiche. Alcune società offrono già dei modelli sul mercato sebbene a prezzi molto elevati (Fig. 21) [50] [51].

L'uso dei droni avrebbe il potenziale di moltiplicare la capacità dei sistemi di mobilità urbana con impatti molto meno pesanti degli elicotteri soprattutto in termini di inquinamento acustico. I problemi da risolvere tuttavia sono ancora molti, ad iniziare dall'energia necessaria per sostenere un'unità di massa rispetto a quella necessaria per farla rotolare, la capacità ed il peso delle batterie, la regolazione dello spazio aereo etc. Anche in questo caso non è possibile prevedere se questa tecnologia rimarrà un sistema di nicchia o si diffonderà su larga scala modificando in modo significativo alcuni mercati del trasporto.

known about the energy and functional performance of this system and its related costs. The ongoing experiments and the economic interests involved, such as Tesla and SpaceX, the first who worked and disseminated the Hyperloop conceptual model in 2013, suggest that the first applications will be in the coming years providing the information necessary to evaluate potential fields of use of this system. A further step of Hyperloop towards implementation is in 2020, when the United States Department of Transportation and non-traditional and emerging transportation technology published a clear regulatory framework for the implementation of Hyperloop in the United States.

Another potentially "revolutionary" innovation sector is that of the use of drones for the transport of things and people. For example, in Italy FlyingBasket develops multirotor drones, which carry up to 100 kg in mountain areas, to islands and other places that could be difficult to reach with traditional transport means [89].

Similarly, various prototypes of drones are available for the transport of people, up to a maximum of six, for short journeys typical of congested urban areas or connections be-



Figura 21 – A sinistra: esempio di drone per il trasporto passeggeri [90]; a destra: esempio di Drone cargo [90].

Figure 21 – Left: example of a drone for passenger transport [90]; right: example of a cargo Drone [90].

6. Chi finanzia la rivoluzione?

Le tante innovazioni in corso e la possibile settima rivoluzione che ne deriverà rivestono una importanza strategica sotto diversi profili. Esse infatti non solo auspicabilmente ridurranno il footprint ambientale dei trasporti nell'indispensabile processo di contrasto ai cambiamenti climatici, ma stanno già influenzando la competizione globale sulle fonti di materie prime (oltre agli idrocarburi si sono aggiunte le terre rare necessarie per la costruzione di batterie a ioni) e sulle industrie che producono veicoli e sistemi di trasporto. Per tutte queste ragioni i processi di innovazione tecnologica nei trasporti sono sostenuti da notevoli investimenti di risorse pubbliche e private, e, in particolare, nel settore dell'automotive. Per le politiche Europee questi temi rivestono un ruolo guida nella definizione delle politiche future, così come nel passato recente. Infatti, nell'ambito del programma europeo per la ricerca e l'innovazione Horizon per il periodo 2014-2020, il più grande tra i programmi europei, sono stati sviluppati importanti progetti che hanno permesso, in molti casi, di porre solide basi per la realizzazione della Settima Rivoluzione con un finanziamento misto pubblico privato. I progetti di ricerca futuri della UE d'interesse per la mobilità fanno riferimento al pilastro Climate, Energy and Mobility. Il valore dei progetti per questo pilastro valgono 15 Mld di euro (dei 95,5 Mld totali di Horizon Europe). La nuova strategia della Commissione Ue, *Sustainable and Smart Mobility Strategy*, tende a offrire un nuovo quadro operativo più stabile per favorire gli investimenti green, coinvolgendo il sistema dei trasporti nel suo complesso secondo i canoni della piena sostenibilità ambientale, della neutralità climatica, dell'automazione [52] [54]. Alla *Sustainable and Smart Mobility Strategy* è stato affiancato anche un Piano d'azione costituito da 82 iniziative guida in 10 settori chiave per l'economia europea [53] che mirano a ottenere una riduzione del 90% delle emissioni entro il 2050, fornita da un sistema di trasporto intelligente, competitivo, sicuro, accessibile e conveniente, come delineato nel Green Deal europeo, piano strategico dell'Europa per giungere agli obiettivi di un'economia europea sostenibile [91]. Per la prima tappa al 2030, la Commissione si aspetta almeno 30 milioni di automobili a emissioni zero che circoleranno sulle strade europee, con 100 città a impatto climatico zero e il traffico ferroviario ad alta velocità che raddoppierà in tutta Europa [52] [54]. Oltre a questo, ci si aspetta che i viaggi collettivi programmati per percorsi inferiori a 500 km siano neutri in termini di emissioni di carbonio, mentre su larga scala avremo la diffusione della mobilità automatizzata. Entro questa data, dovrebbero essere pronte per il mercato anche le navi a zero emissioni. Nella tappa intermedia al 2035 si prospetta che arrivino sul mercato i primi aeromobili di grandi dimensioni a zero emissioni. Alla fine del trentennio, per il 2050, la Commissione si aspetta che quasi tutte le automobili, i furgoni, gli autobus e i nuovi veicoli pesanti siano a zero emissioni, raddoppi il traffico merci su rotaia e si abbia una rete transeuropea dei trasporti (TEN-T) completa-

tween airports/ stations and tourist resorts. Some companies already offer models on the market albeit at very high prices (Fig. 21) [50] [51].

The use of drones would have the potential to multiply the capacity of urban mobility systems with far less heavy impacts than helicopters, especially in terms of noise pollution. However, there are still many problems to be solved, starting with the energy necessary to sustain a unit of mass compared to that necessary to make it roll, the capacity and weight of the batteries, the regulation of airspace etc. Again, whether this technology will remain a niche system or will spread on a large scale, significantly modifying some transport markets, cannot be predicted.

6. Who funds the revolution?

The many innovations underway and the possible seventh revolution that will ensue are of strategic importance under various profiles. In fact, they will not only hopefully reduce the environmental footprint of transport in the indispensable process of combating climate change but are already influencing global competition on sources of raw materials (in addition to hydrocarbons, the rare earths necessary for the construction of batteries have been added to ions) and on industries that produce vehicles and transport systems. For all these reasons, the processes of technological innovation in transport are supported by considerable investments of public and private resources, and, in particular, in the automotive sector. For European policies these issues play a leading role in the definition of future policies, as in the recent past. In fact, as part of the European programme Horizon for research and innovation for the period 2014-2020, the largest of the European programmes, important projects have been developed which in many cases, have allowed laying solid foundations for the realisation of the Seventh Revolution with mixed public-private funding. Future EU research projects of interest for mobility refer to the Climate, Energy and Mobility pillar. The value of the projects for this pillar are worth 15 billion euros (out of the 95.5 billion total of Horizon Europe). The new strategy of the EU Commission, Sustainable and Smart Mobility Strategy, tends to offer a new more stable operating framework to encourage green investments, involving the transport system as a whole according to the criteria of full environmental sustainability, climate neutrality and automation [52] [54]. The Sustainable and Smart Mobility Strategy was also accompanied by an Action Plan consisting of 82 leading initiatives in 10 key sectors for the European economy [53] that aim to achieve 90% reduction in emissions by 2050, provided by an intelligent, competitive, safe, accessible and convenient transport system, as outlined in the European Green Deal, Europe's strategic plan for achieving the objectives of a sustainable European economy [91]. For the first milestone to 2030, the Commission expects at least 30 million zero-emission cars to drive on European roads, with 100 climate-neutral cities and high-speed rail traffic doubling across Europe [52] [54]. In addition to this, collective journeys planned for routes of less than 500 km are expected

mente operativa e multimodale per un trasporto sostenibile e intelligente con connettività ad alta velocità.

Ma le innovazioni in atto sono state finanziate molto con investimenti privati, soprattutto nel settore dell'automotive. Solo per fare qualche esempio, la General Motors ha aumentato da 20 a 25 miliardi di dollari l'ammontare di risorse stanziato fino al 2025 per sviluppare nuove auto elettriche e veicoli driverless. Volkswagen dal 2019 continua ad investire ingenti risorse, infatti ha stanziato per il prossimo quinquennio ben 73 miliardi di euro, così come Ford che raddoppia l'investimento rispetto alle previsioni originali e stanziava ben 29 miliardi di dollari, entro il 2025, saranno dedicati allo sviluppo delle nuove tecnologie per ottenere automobili più sicure, miglioramento della mobilità e una riduzione delle emissioni. La strategia della "Jaguar Land Rover", ad esempio, ha definito una serie di azioni ambiziose, infatti già nel 2018 ha stipulato una partnership insieme con la Waymo, azienda leader per lo sviluppo della guida autonoma di Google, per lo sviluppo del primo veicolo Premium elettrico autonomo adibito a servizi di trasporto senza conducente. Altra società che si è distinta in questo ambito è Toyota, che, tra i vari investimenti, vede tra i più recenti ed importanti quello di oltre 400 milioni di dollari investiti nella startup di guida autonoma Pony.ai, per sostenere i programmi di sviluppo di tecnologie per la guida autonoma di livello 4, oltre che per lanciare un servizio di robotaxi.

7. Conclusioni

In questo lavoro si sono analizzati diversi settori di innovazione tecnologica ed organizzativa che stanno "investendo" simultaneamente l'intero settore dei trasporti in tutte le sue modalità e nei suoi mercati. Un settore che è rimasto sostanzialmente stabile negli ultimi 70 anni dopo la quinta e la sesta rivoluzione ricollegabili alla trazione a combustione interna e alla logistica del container descritte nel precedente articolo [1]. Gli ambiti di innovazione sono il risultato delle "rivoluzioni" avvenute negli ultimi anni nei settori delle telecomunicazioni e delle potenze e modalità di calcolo elettronico, oltre che dalla nuova sensibilità e i nuovi sfidanti obiettivi di decarbonizzare un settore che nell'ultimo secolo, e ancora oggi, è uno dei principali contributori alle emissioni di gas climalteranti, soprattutto in relazione alla possibile motorizzazione di massa dei Paesi in via di sviluppo.

Per analizzare le innovazioni in atto si sono individuate tre filoni ampiamente attivi da diversi anni che stanno modificando profondamente i trasporti e più in generale la mobilità. Questi settori riguardano i veicoli a guida autonoma e connessi fra loro e con le infrastrutture, le nuove fonti per la transizione energetica e i nuovi servizi di mobilità. In tutti questi settori si è superata la soglia del "se" ma rimangono aperti i quesiti del "quando" e "fino a che punto".

Nel corso del lavoro sono state più volte sottolineate le tantissime ibridazioni possibili fra le innovazioni nei di-

to be neutral in terms of carbon emissions, while on a large scale we will have the spread of automated mobility. By this date, zero-emission ships should also be ready for the market. In the intermediate stage to 2035, it is expected that the first large zero-emission aircrafts will arrive on the market. At the end of the 30-year period, by 2050, the Commission expects almost all cars, vans, buses and new heavy-duty vehicles to be zero-emission, double rail freight traffic and to have a trans-European transport network (TEN- T) fully operational and multimodal for sustainable and intelligent transport with high-speed connectivity.

But the innovations underway have been heavily financed with private investments, especially in the automotive sector. To give just a few examples, General Motors has increased the number of resources allocated until 2025 to develop new electric cars and driverless vehicles from 20 to 25 billion dollars. Volkswagen has continued to invest substantial resources since 2019, in fact it has allocated 73 billion euros for the next five years, as well as Ford, which doubles the investment compared to the original forecasts and allocates 29 billion dollars, by 2025. They will be dedicated to the development of new technologies to achieve safer cars, improved mobility and reduced emissions. The "Jaguar Land Rover" strategy, for example, defined a series of ambitious actions, in fact already in 2018 it entered into a partnership together with Waymo, a leading company for the development of Google's self-driving, for the development of the first Premium self-driving electric vehicle used for driverless transport services. Another company that has distinguished itself in this area is Toyota, which, among the various investments, sees among the most recent and important that of over 400 million dollars invested in the self-driving start-up Pony.ai, to support the development programmes of technologies for level 4 self-driving, as well as for launching a robotaxi service.

7. Conclusions

In this work we have analysed various sectors of technological and organisational innovation that are simultaneously "hitting" the entire transport sector in all its modes and markets. A sector that has remained substantially stable over the last 70 years after the fifth and sixth revolution due to internal combustion traction and container logistics described in the previous article [1]. The areas of innovation are the result of the "revolutions" that have occurred in recent years in the telecommunications and electronic computing power and methods, as well as the new sensitivity and new challenging objectives of decarbonising a sector that in the last century, and still today, is one of the main contributors to greenhouse gas emissions, especially in relation to the possible mass motorisation of developing countries.

In order to analyse the innovations in progress, three areas that have been widely active for several years have been identified that are profoundly changing transport and mobility more generally. These sectors concern self-driving vehicles connected to each other and to infrastructures, new

versi filoni, ciascuno, da solo, in grado di attivare una rivoluzione dei trasporti, la settima secondo la contabilità che abbiamo proposto nel precedente lavoro. Basti pensare al potenziale di veicoli stradali (automobili, autobus, autocarri) in grado di muoversi senza conducente con livelli di sicurezza maggiori di quelli attuali. Ma il potenziale rivoluzionario cresce in rapporto al consumo di energia non rinnovabile nelle prestazioni e nello stile di guida autonoma, viaggi effettuati con veicoli meno inquinanti hanno la possibilità di prestazioni più convenienti, accesso a percorsi riservati etc. Ancora l'uso di questi veicoli potrebbe essere molto diverso da quello odierno. È facile immaginare cosa significherebbe per una industria poter movimentare la merce 24h/7gg senza autisti e personale di magazzino. O cosa significherebbe poter prenotare con pochi minuti di preavviso un veicolo personale di tipo X che si presenta sotto casa, per il viaggio che si desidera compiere, senza dover preoccuparsi di comprarlo, mantenerlo e parcheggiarlo. O senza dover prendere la patente o avere la possibilità di guidare.

Ovviamente come tutte le innovazioni rivoluzionarie ci saranno notevoli ripercussioni sotto diversi profili. Innanzitutto ci sarà una notevole discontinuità nelle opportunità lavorative, alcune professionalità cesseranno e ne sorgeranno di nuove ed inattese. In ogni caso la velocità delle trasformazioni renderà ancora più necessaria una formazione continua degli addetti di questo settore. Ancora si possono immaginare profonde trasformazioni industriali in settori strategici dell'economia mondiale come quello dell'automotive così come la nascita di società che forniranno servizi di trasporto molto diversi da quelli odierni, sempre più integrati ed intermodali. Ci saranno resistenze al cambiamento e obiezioni etiche, non dissimili da quelle che hanno accompagnato la nascita della ferrovia a vapore o dell'automobile.

In definitiva ci sono tutte le premesse per poter affermare che nei prossimi due decenni assisteremo alla settima rivoluzione dei trasporti e che questa rivoluzione sarà radicale e coerente con i principi generali che sono stati enunciati guardando alla storia dei trasporti: la eterogenesi dei fini e la super additività rispetto alle rivoluzioni e alle evoluzioni del passato. Ma sono proprio questi principi che ci impediscono di anticipare quali scenari futuri e quali traiettorie evolutive aspettano il settore dei trasporti, che, come abbiamo visto nell'articolo sulle rivoluzioni del passato, co-evolve con la società e l'economia. Fra i fattori che possono rallentare o addirittura impedire alcune traiettorie evolutive va senza dubbio annoverato l'immenso capitale investito nelle infrastrutture, soprattutto quelle lineari.

C'è da augurarsi che questa rivoluzione avvenga in modo da aumentare il benessere non solo economico delle persone e ridurre la pressione che stiamo esercitando sull'ambiente. Certamente riguarderà anche molto l'Accademia, con la necessità di un adattamento continuo delle discipline che si occupano di pianificazione, progettazione e gestione dei sistemi di trasporto.

sources for the energy transition and new mobility services. In all these sectors the "if" threshold has been exceeded but the "when" and "to what extent" queries remain open.

During the work, the many possible hybridisations between innovations in the different strands have been underlined several times, each one, alone, capable of activating a transport revolution, the seventh according to the accounting that we proposed in the previous work. Just think of the potential of road vehicles (cars, buses, trucks) able to move without a driver with higher safety levels than the current ones. But the revolutionary potential grows in relation to the consumption of non-renewable energy in performance and self-driving style, trips made with less polluting vehicles have the possibility of more convenient performance, access to reserved routes etc. Again, the use of these vehicles could be very different from today. It is easy to imagine what it would mean for an industry to be able to handle goods 24/7 without drivers and warehouse personnel. Or what it would mean to be able to book with a few minutes' notice a personal type X vehicle that shows up on your doorstep, for the journey you want to make, without having to worry about buying it, maintaining it and parking it. Or without having to get a licence or have the opportunity to drive.

Obviously, like all revolutionary innovations, there will be significant repercussions in many ways. First of all, there will be a considerable discontinuity in job opportunities, some professional skills will cease, and new and unexpected ones will arise. In any case, the speed of transformations will make continuous training of employees in this sector even more necessary. We can still imagine profound industrial transformations in strategic sectors of the world economy such as the automotive one, as well as the birth of companies that will provide transport services that are very different from those of today, increasingly integrated and intermodal. There will be resistance to change and ethical objections, like those that accompanied the birth of the steam railway or the car.

Ultimately there are all the premises to be able to affirm that in the next two decades we will see the seventh transport revolution and that this revolution will be radical and consistent with the general principles that have been enunciated looking at the history of transport: the heterogenesi of purposes and the super additivity with respect to the revolutions and evolutions of the past. But it is precisely these principles that prevent us from anticipating what future scenarios and what evolutionary trajectories await the transport sector, which, as we saw in the article on past revolutions, co-evolves with society and the economy. Among the factors that can slow down or even prevent some evolutionary trajectories, the immense capital invested in infrastructures, especially linear ones must undoubtedly be included.

It is to be hoped that this revolution will take place in a way that increases not only people's economic well-being and reduces the pressure we are exerting on the environment. Certainly, it will also greatly affect the Academy, with the need for continuous adaptation of the disciplines that deal with planning, design and management of transport systems.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] CASCETTA E., HENKE I., DI BARTOLOMEO M.I. (2021), "Le sei rivoluzioni dei trasporti e le loro evoluzioni. Una breve storia dalle origini ai giorni nostri, Ingegneria Ferroviaria".
- [2] GILBERT R., PEARL A. (2010), "Transport Revolutions: Moving People and Freight Without Oil".
- [3] MAJCHRAZAK A., GRIFFITH T.L., REETZ D.K., ALEXO O. (2018), "Catalyst organizations as a new organization design for innovation: The case of hyperloop transportation technologies". *Academy of Management Discoveries*, 4(4), 472-496.
- [4] KUNZE O. (2016), "Replicators, ground drones and crowd logistics a vision of urban logistics in the year 2030". *Transportation Research Procedia*, 19, 286-299.
- [5] CASCETTA E. (2014), "Future Scenarios Of Urban Mobility And Their Sustainability". *E3S Web of Conferences Science and the Future Vol. 2*.
- [6] SAE (2014), "Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems" (Standard No. J3016), SAE International, January 2014.
- [7] SAE (2016), "Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles" (Surface Vehicle Recommended Practice: Superseding J3016 Jan 2014), SAE International, September 2016.
- [8] BRENNER W., HERRMANN A. (2018), "An overview of technology, benefits and impact of automated and autonomous driving on the automotive industry". *Digital marketplaces unleashed*, 427-442.
- [9] PAPAGEORGIOU M., MOUNTAKIS K.S., KARAFYLLIS I., PAPAMICHAEL I. (2019), "Lane-free artificial-fluid concept for vehicular traffic". *arXiv preprint arXiv:1905.11642*.
- [10] ENDSLEY M.R. (2017), "From here to autonomy: lessons learned from human-automation research". *Hum. Factors* 59, 5-27.
- [11] CASCETTA E., CARTENI A., DI FRANCESCO L. (2021), "Do autonomous vehicles drive like humans? A Turing Test Approach and an application to SAE automation Level 2 cars" (in printing).
- [12] American Automobile Association (2017), "Americans Feel Unsafe Sharing the Road with Fully Self-Driving Cars".
- [13] BANSAL P., KOCKELMAN K.M. (2018), "Are we ready to embrace connected and self-driving vehicles? A case study of Texans. *Transportation* 45, 641-675".
- [14] BANSAL P., KOCKELMAN K.M., SINGH A. (2016), "Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective". *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 67, 1-14.
- [15] CARTENI A. (2020), "The acceptability value of autonomous vehicles: A quantitative analysis of the willingness to pay for shared autonomous vehicles (SAVs) mobility services". *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8, 100224.
- [16] CUNNINGHAM M.L., LEDGER S.A., REGAN M. (2018), "A survey of public opinion on automated vehicles in Australia and New Zealand, in: 28th ARRB International Conference-Next Generation Connectivity, Brisbane, Queensland".
- [17] GKARTZONIKAS C., GKRTITZ K. (2019), "What have we learned? A review of stated preference and choice studies on autonomous vehicles". *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 98, 323-337.
- [18] LEE Y.-C., MIRMAN J.H. (2018), "Parents' perspectives on using autonomous vehicles to enhance children's mobility". *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 96, 415-431.
- [19] NARAYANAN S., CHANIOTAKIS E., ANTONIOU C. (2020), "Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review". *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 111, 255-293.
- [20] SOLMAZ S., et al. (2020), "Road INFRAstructure ready for MIXed vehicle traffic flows, INFRAMIX."
- [21] ANAS S.p.A.: Direzione Operation e Coordinamento Territoriale Infrastruttura Tecnologica e Impianti: SMART ROAD "La strada all'avanguardia che corre con il progresso". ANAS, Rome (2018).
- [22] FROETSCHER A., MONSCHIEBL B. (2018), "C-roads: Elements of c-its service evaluation to reach interoperability in Europe within a wide stakeholder network: Validation steps and comparative elements used in a living lab environment in Austria". In 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring) (pp. 1-5). IEEE.
- [23] C-Roads (2019), "Annual pilot overview report 2018".
- [24] Ministero dell'Economia e delle Finanze (2018), "Documento di Economia e Finanza 2018, Sezione II Analisi e tendenze della Finanza pubblica".
- [25] Ministero dell'Economia e delle Finanze (2019), "Documento di Economia e Finanza 2019, Allegato Strategie per una nuova politica della mobilità in Italia".
- [26] DI ROSA A. (2019), "Autonomous driving. Tra evoluzione tecnologica e questioni giuridiche". *Diritto e Questioni Pubbliche*, 19: 127.
- [27] High-Level Expert Group on AI (AI HLEG), "Ethics guidelines for trustworthy AI (2019)".
- [28] High-Level Expert Group on AI (AI HLEG), "Policy and investment recommendations for trustworthy Artificial Intelligence (2019)".
- [29] Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n.70 del 28/02/2018 - Modalità attuative e strumenti operativi della sperimentazione su strada delle soluzioni di Smart Road e di guida connessa e automatica.
- [30] RISPOLI F. (2018), "The rise of satellite technology appeal for train control systems, IRSE Australasia 2018".
- [31] European Commission (2019), "European Green Deal".

- [32] European Commission (2019), “EU emission performance standards for cars and vans”.
- [33] Fondazione Caracciolo, ACI, CNR, ENEA (2019), “Per una transizione energetica eco-razionale della mobilità automobilistica. Valutazione del caso italiano”.
- [34] KPMG (2020), “Autonomous Vehicles Readiness Index”.
- [35] IEA (2020), “Global EV Outlook 2020, IEA”.
- [36] IEA (2019), “Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility”.
- [37] CARTENI A., HENKE I., MOLITIERNO C., ERRICO A. (2020), “Towards E-Mobility: Strengths and Weaknesses of Electric Vehicles”. In *Workshops of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications* (pp. 1383-1393). Springer, Cham.
- [38] FVV (Ed.), “Defossilizing the transportation sector: Options and requirements for Germany”. Issue no R586, Frankfurt/M., 2018.
- [39] T&D Europe (2015), “Shore Side Electricity; Task Force Harbours, Communication Package, Rev 2, 24/08/2015 (Presentation)”.
- [40] Port of Los Angeles (2018), “Port of Los Angeles inventory of air emissions” – 2017.
- [41] European Union (2014), “Directive 2014/94/EU on the deployment of alternative fuels infrastructure”.
- [42] CARB (California Air Resources Board) (2020), “At berth ocean-going vessels regulation”.
- [43] SHAHEEN S., COHEN A., JAFFEE M. (2018), “Innovative Mobility: Carsharing Outlook (2018)”.
- [44] MaaS Alliance (2017), “Guidelines & Recommendations to create the foundations for a thriving MaaS Ecosystem”.
- [45] REYES GARCÍA J.R., LENZ G., HAVEMAN, S.P., BONNEMA G.M. (2020), “State of the Art of Mobility as a Service (MaaS) Ecosystems and Architectures—An Overview of, and a Definition, Ecosystem and System Architecture for Electric Mobility as a Service (eMaaS)”. *World Electric Vehicle Journal*, 11(1), 7.
- [46] CASCETTA E., CARTENI A., HENKE I. (2017), “Acceptance and equity in advanced path-related road pricing schemes”. In *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)* (pp. 492-496). IEEE.
- [47] DUARTE F., RATTI C. (2018), “The impact of autonomous vehicles on cities: A review”. *Journal of Urban Technology*, 25(4), 3-18.
- [48] LE D.T., CERNICCHIARO G., ZEGRAS C., FERREIRA J. (2016), “Constructing a Synthetic Population of Establishments for the Simmobility Microsimulation Platform”. *Transp. Res. Procedia*, 19, 81-93.
- [49] SAKAI T., ALHO A., KUZHIYAMKUNNATH B.B., CHIARA G.D., GOPALAKRISHNAN R., JING P., HYODO T., CHEAH L., BEN-AKIVA M., “SimMobility Freight: An Agent-Based Urban Freight Simulator for Evaluating Logistics Solutions”. Under Rev.
- [50] WALULIK J. (2021), “Ready for Take-off? Integrating Drones into the Transport System. Integrating Drones into the Transport System” (February 24, 2021).
- [51] DE REYES E., MACNEILL J. (2020), “Can cargo drones solve air freight's logjams? A drone startup says its big vertical-takeoff flier would be quick to land, load, and take off again”. *IEEE Spectrum*, 57(6), 30-35.
- [52] European Commission (2014), “HORIZON 2020 in breve, Il programma quadro dell'UE per la ricerca e l'innovazione”.
- [53] European Commission (2020), “Sustainable and Smart Mobility Strategy”.
- [54] *Energy Today*: <https://www.energytoday.net/technology/a-comprehensive-representation-of-traffic-scenes-for-autonomous-driving/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [55] *Etf Trends*: <https://www.etftrends.com/wp-content/uploads/2019/12/A-Road-Map-to-Investing-in-Smart-Transportation.jpg>, ultimo accesso aprile 2021.
- [56] *Al Volante*: <https://www.alvolante.it/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [57] *Economy Up*: <https://www.economyup.it/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [58] *ERTMS su Satellite Galileo Game Changer*: <http://www.ersat-ggc.eu/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [59] *Metro C*: <https://metrocsipa.it/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [60] *We build value*: <https://www.webuildvalue.com/it/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [61] *Cluster trasporti*: <http://www.clustertrasporti.it/trasporto-merci-ansaldo-sts-collauda-australia-primo-treno-autonomo/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [62] *Mobilita.org*: <http://mobilita.org/2019/11/18/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [63] *Il Sole 24 ore*: <https://www.ilsole24ore.com/art/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [64] *Leds Padova*: <https://www.ledspadova.eu/event/next-future-transportation/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [65] *Informazioni marittime*: <https://www.informazionimarittime.com/post/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [66] *Trasporto Europa*: <https://www.trasportoeuropa.it/notizie/aereo/fedex-valuta-uso-aerei-a-guida-autonoma-sui-cessna/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [67] *Logistica News*: <https://www.logisticnews.it/aerei-guida-autonoma-embraer-test-brasile/>, ultimo accesso aprile 2021.

- [68] *D'Agostino tour*: <https://www.dagostinotour.com/gli-autobus-elettrici-arrivano-a-cremona/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [69] *Il Messaggero, Motori*: <https://motori.ilmessaggero.it/ecologia/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [70] *Telenord*: <https://telenord.it/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [71] *EnergyLoad*: <https://energyload.eu/elektromobilitaet/elektro-lkw/elektrische-autobahn-schweden/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [72] *Hd motori*: <https://www.hdmotori.it/trasporti/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [73] *Green me*: <https://www.greenme.it/muoversi/trasporti/>, ultimo accesso febbraio 2021.
- [74] *Hyundai.it*: <https://www.hyundai.com/it/drive-electric/mobilita-elettrica/idrogeno.html>, ultimo accesso aprile 2021.
- [75] *Toyota*: <https://www.toyota.it/gamma/mirai/nuova-mirai>, ultimo accesso aprile 2021.
- [76] *Roma Today*: <https://www.romatoday.it/politica/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [77] *Alamy*: <https://www.alamy.it/fotos-immagini/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [78] *Uber*: <https://www.uber.com/it/it/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [79] *Statista.com*: <https://www.statista.com/statistics/1190218/carsharing-in-europe/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [80] *Uber Eats*: <https://www.ubereats.com/it/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [81] *Uber Freight*: <https://www.uber.com/it/it/freight/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [82] *Flock Freight*: <https://www.flockfreight.com/>, ultimo accesso maggio 2021.
- [83] *Bla Bla Car*: <https://www.blablacar.it/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [84] *Repubblica*: https://www.repubblica.it/scienze/2018/10/22/news/musk_hyperloop_primo_tunnel_pronto_corse_gratis_a_dicembre_-209651889/, ultimo accesso aprile 2021.
- [85] *Daily*: <https://www.periodicodaily.com/hyperloop-a-dubai-rivoluzionera-i-trasporti-2030-video/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [86] *Ninja Marketing*: <https://www.ninjamarketing.it/2018/04/16/pista-hyperloop-tolosa-francia/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [87] *Hyperloop Manchester*: <https://www.hyperloopmanchester.com/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [88] *BBC.com*: <https://www.bbc.com/news/technology-54838982>, ultimo accesso aprile 2021.
- [89] *Flying Basket*: <https://flyingbasket.com/it/flying-basket-droni-per-trasporto-carichi-pesanti/>, ultimo accesso aprile 2021.
- [90] *Rol and berger*: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/>, ultimo accesso gennaio 2021.
- [91] *European Commission*: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, ultimo accesso aprile 2021.