

L'auto di domani sicura, sostenibile e accessibile

Original

L'auto di domani sicura, sostenibile e accessibile / Cossu, Federica; Deflorio, Francesco; Beatrice, Carlo; Carboni, Angela; Cerimele, Luca; Ronzoni, Chiara; Tortora, Cecilia. - (2023), pp. 5-159.

Availability:

This version is available at: 11583/2984331 since: 2023-12-04T09:51:22Z

Publisher:

Fondazione Filippo Caracciolo

Published

DOI:

Terms of use:

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

Publisher copyright

(Article begins on next page)

L'AUTO DI DOMANI

sicura, sostenibile e accessibile

Fondazione **Filippo Caracciolo**
Centro Studi



Questo studio è stato realizzato dalla Fondazione Filippo Caracciolo, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino e il contributo del CNR-STEMS.

Hanno collaborato:

Federica Cossu, autore e responsabile scientifico per la Fondazione Filippo Caracciolo;

Francesco Deflorio, autore e responsabile scientifico per il DIATI - Politecnico di Torino;

Carlo Beatrice, CNR – STEMS, autore;

Angela Carboni, DIATI - Politecnico di Torino, autore;

Luca Cerimele, Fondazione Filippo Caracciolo, autore;

Chiara Ronzoni, Fondazione Filippo Caracciolo, autore;

Cecilia Tortora, Fondazione Filippo Caracciolo, autore.

Si ringraziano, inoltre, Antonino Genovese, Maria Valenti, Gabriella Ferruzzi, dell'ENEA, e Laura Andaloro, Vincenzo Antonucci, Francesco Sergi e Giuseppe Napoli, del CNR- ITAE, autori dello studio *Auto elettrica: veicolo che consuma energia o che la conserva?*, di cui in questo lavoro sono contenuti alcuni estratti, e Angelo Baccelloni e Luigi Monsurrò, della Luiss Guido Carli, per la collaborazione alla realizzazione dell'indagine sulla percezione pubblica dell'evoluzione dell'auto, in via di pubblicazione, di cui, in questo studio si riportano alcuni dati preliminari.

Un sentito ringraziamento va infine ai componenti del Comitato scientifico della Fondazione, Ennio Cascetta (presidente), Vito Mauro, Francesco Russo, Roberto Zucchetti e Stefano Zunarelli, per il costante lavoro di guida, confronto e orientamento.

Novembre 2023

© 2023 Fondazione Filippo Caracciolo

ISBN 9788832245165

L'AUTO DI DOMANI

sicura, sostenibile e accessibile

Sommario

INTRODUZIONE.....	11
1 L'AUTOMAZIONE NELLA GUIDA DELLE AUTO	15
1.1 Le attività dinamiche di guida (DDT) e le condizioni operative (ODD) del veicolo.....	15
1.2 Elementi caratteristici dei livelli di automazione	16
1.3 Quadro normativo per i sistemi di sicurezza della guida verso l'automazione	20
1.3.1 Dai sistemi obbligatori per la sicurezza (L0) ai sistemi di assistenza con controllo della guida (L1 - L2).....	21
1.3.2 La prima regolamentazione di una funzione di guida L3.....	23
1.3.3 Il ruolo del conducente nella normativa e l'omologazione dei veicoli di Livello 4.....	24
1.3.4 Proposte in corso per sistemi di automazione di livello intermedio.....	25
1.4 Panoramica sulla diffusione dell'automazione nei veicoli	26
1.4.1 Esperienze di automazione con livello 3 SAE	27
1.4.2 Esperienze di automazione con livello 4 SAE	28
1.4.3 Proiezioni e stime di vendita delle automobili con assistenza e automazione della guida	31
1.5 Benefici e impatti prevedibili.....	33
1.5.1 Evoluzione dell'auto e sicurezza stradale.....	33
1.5.2 I tempi di viaggio	35
1.5.3 Gli spazi e la forma della città.....	35
1.5.4 Il mercato del lavoro.....	36
1.5.5 I costi e le modalità di uso	36
1.6 Criticità e condizioni abilitanti	37
1.7 La percezione pubblica dell'evoluzione dell'auto. Indagine su un campione di Soci e utenti ACI....	40
2 LA SOSTENIBILITÀ NELL'AUTO DI DOMANI	49
2.1 La situazione del parco veicolare in Italia.....	49
2.1.1 Il parco circolante autovetture e i dati sulle radiazioni	50
2.2 Auto elettrica: le prospettive di crescita nel medio periodo.....	51
2.2.1 È vero progresso quando una tecnologia è per tutti [Henry Ford]	54
2.2.2 Elettificazione della mobilità e incremento della domanda energetica: quale impatto sulle emissioni?	56
2.2.2.1 I dati dell'indagine sulla percezione pubblica dell'evoluzione dell'auto elettrica.....	58
2.2.3 Le infrastrutture di ricarica per i veicoli elettrici	61
2.2.3.1 L'auto elettrica come serbatoio energetico per la rete: il Vehicle-to-Grid (V2G).....	62
2.2.3.2 L'evoluzione attesa delle infrastrutture di ricarica: impatti e criticità	63
2.3 La soluzione dei carburanti a basso impatto	64
2.3.1 Combustibili <i>carbon neutral</i> a confronto	70
2.4 La nuova regolamentazione euro 7	72
2.5 Scenari di mobilità sostenibile per la mitigazione degli impatti ambientali	77

2.5.1	Strategie integrate per il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità	77
2.5.2	Servizi MaaS.....	80
2.5.2.1	Principali caratteristiche	80
2.5.2.2	Il ruolo dell'auto privata nell'offerta integrata.....	83
2.5.2.3	Esperienze di ecosistemi MaaS in Italia.....	85
3	I SERVIZI PER L'AUTO DI DOMANI	89
3.1	Connessione e cooperazione per la sicurezza stradale	89
3.1.1	La cooperazione con le infrastrutture e i servizi per il veicolo (C-ITS).....	89
3.1.2	Esperienze di servizi basati sulla comunicazione veicolare	93
3.1.3	Impatti e prospettive	94
3.2	Gestione del traffico e delle infrastrutture stradali	94
3.2.1	Smart pricing e smart control	95
3.2.2	Smart Road	96
3.2.3	Benefici attesi	99
3.2.4	Criticità e prospettive di sviluppo	101
3.3	Assistenza e supporto durante gli spostamenti	103
3.3.1	Infomobilità.....	104
3.3.2	Comunicazione con il veicolo per manutenzione e supporto	105
3.3.3	Sistema per la chiamata di emergenza <i>eCall</i>	106
3.3.3.1	<i>Principali benefici e criticità</i>	107
3.3.4	Event Data Recorder (EDR)	108
3.3.4.1	<i>I benefici attesi e le criticità emerse: iniziative di gestione e condivisione dei dati</i>	109
	CONCLUSIONI	113
	Riferimenti.....	122
	Appendice A.....	130
	Sistemi ISA	130
	Appendice B.....	131
	Progetti di standardizzazione ODD.....	131
	Appendice C.....	133
	Studi sulla diffusione delle funzioni di guida autonoma SAE	133
	Appendice D	136
	Esperienze nei servizi di robo-taxi e di trasporto pubblico (L4 SAE)	136
	Appendice E.....	140
	Progetti di cooperazione V2I e V2V.....	140
	C-Roads Italy	140
	Il progetto "Anas Smart Road"	140
	Il programma Mercury	141
	Il progetto 5G-CARMEN.....	142

Appendice F	145
Standard disponibili per lo scambio dati	145
National Access Point: tipologia dati e diffusione	145
Sistema di chiamata di emergenza eCall	150
Soggetti coinvolti e modelli di MaaS	152
Principali sperimentazioni in atto MaaS.....	153
Riferimenti normativi	157

GLOSSARIO

Acronimo	Definizione
ABS	<i>Anti-Lock Braking Systems</i> – Sistema Antibloccaggio
ACC	<i>Adaptive Cruise Control</i> – Controllo adattativo velocità di crociera
ACCA	<i>Anticipated Cooperative Collision Avoidance</i> – Prevenzione anticipata e cooperativa delle collisioni
ADAS	<i>Advanced Driver Assistance Systems</i> – Sistemi avanzati di assistenza alla guida
ADDW	<i>Advanced Driver Distraction Warning</i> - Avviso avanzato della distrazione del conducente
ADS	<i>Automated Driving System</i> - Sistema di guida automatizzata
AEB	<i>Advanced Emergency Braking</i> - Sistemi avanzati di frenata di emergenza
ALKS	<i>Automated Lane Keeping Systems</i> – Sistema per il mantenimento automatico della corsia
AREU	Agenzia Regionale Emergenza Urgenza
BEV	Battery Electric Vehicle – Veicolo elettrico a batteria
CAV	<i>Connected and Autonomous Vehicle</i> - Veicolo Connesso e Autonomo
CCAM	<i>Cooperative, Connected And Automated Mobility</i> - Mobilità Cooperativa, Connessa E Automatizzata
CCAV	<i>Cooperative, Connected And Autonomous Vehicle</i> - Veicolo Cooperativo, Connesso E Autonomo
C-ITS	<i>Cooperative Intelligent Transport System</i> – Sistemi intelligenti di trasporto cooperativi
C-V2X	Cellular-Vehicle To Other
DCAS	<i>Driver Control Assistance Systems</i> – Sistemi di controllo e assistenza alla guida
DDAW	<i>Driver Drowsiness and Attention Warning</i> - Monitoraggio della sonnolenza e dell'attenzione del conducente
DDT	<i>Dynamic Driving Task</i> – Attività dinamiche di guida
DS&SRF	<i>Data Sharing and Service Repository Facilities</i> - Strutture per la condivisione dei dati e l'archivio dei servizi
DSSAD	<i>Data Storage System for Automated Driving</i> – Sistema di archiviazione dati per la guida automatizzata
EDR	<i>Event Data Recorder</i> - Registratore di dati di evento
ELKS	<i>Emergency Lane Keeping Assist</i> - Sistemi di emergenza di mantenimento della corsia
ERTRAC	<i>European Road Transport Research Advisory Council</i>
ESC	<i>Electronic Stability Control</i> - Controllo elettronico di stabilità
ETSC	European Transport Safety Council
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i> – Veicolo elettrico a celle a combustibile
FER	Fonti energetiche rinnovabili
FSD	<i>Full Self-Driving</i> – Guida completamente autonoma
GLOSA	<i>Green Light Optimized Speed Advisory</i> – Avviso di velocità ottimizzato con luce verde
GPL	Gas Petrolio Liquefatto
GTFS	<i>General Transit Feed Specification</i> –
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i> - Veicolo elettrico ibrido
HFCEV	<i>Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles</i> - Veicolo elettrico a celle a combustibile a idrogeno
HVO	<i>Hydrotreated Vegetable Oil</i> – Olio vegetale idrotrattato
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> – Motore a combustione interna
ILUC	<i>Indirect Land Use Change</i> - Cambiamento indiretto nell'uso della terra
ISA	<i>Intelligent Speed Assistance</i> - Sistema di ausilio al mantenimento della velocità
ISAD	<i>Infrastructure Support for Automated Driving</i> – Supporto infrastrutturale per la guida autonoma
ITS	<i>Intelligent Transport System</i> – Sistema intelligente di trasporto
KBA	<i>Kraftfahrt-Bundesamt</i> - Autorità Dei Trasporti Tedesca
KSS	<i>Karolinska Sleepiness Scale</i> – Scala di sonnolenza di Karolinska
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> – Analisi del ciclo di vita
LCF	<i>Low Carbon Fuels</i> – Carburanti a basso contenuto carbonico
LKA	<i>Lane-Keeping Assistant</i> - Assistenza al mantenimento della corsia

LOSAD	<i>Level Of Service For Automated Driving</i> - Livello di servizio per la guida autonoma
LTE	<i>Long Term Evolution</i> – Evoluzione standard di tecnologia cellulare
MaaS	Mobility as a Service
MMTIS	<i>Multimodal Travel Information Services</i> - Servizi di informazione sulla mobilità multimodale
MRM	<i>Minimum Risk Manoeuvre</i> – Manovra di minimo rischio
MSD	<i>Minimum Set of Data</i> – Minimo set di dati
NAP	<i>National Access Points</i> – Punto di accesso nazionale
NASS	National Automotive Sampling System
NG eCall	<i>Next Generation eCall</i> - eCall Di Nuova Generazione
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
ODD	<i>Operational Design Domain</i> – Condizione di guida operativa
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i> - Produttore di apparecchiature originali
OTA	<i>Over-The Air</i>
PHEV	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i> - Veicolo elettrico ibrido Plug-in
PIARC	<i>Permanent International Association of Road Congresses</i>
PSAP	<i>Public Safety Answering Points</i> - Punti di risposta per la pubblica sicurezza
RAP	<i>Regional Access Point</i> – Punto di accesso regionale
RDE	<i>Real Driving Emissions</i>
RTTI	<i>Real-Time Traffic Information</i> - Servizi di informazione sul traffico in tempo reale
RSU	<i>Road Side Unit</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SIRI	<i>Service Interface for Real-Time Information</i> - Interfaccia di servizio per informazioni in tempo reale
SRC	<i>Smart Roads Classification</i>
SRTI	<i>Traffic Safety-Related Traffic Information</i> - Informazioni sul traffico legate alla sicurezza
SSTPAs	<i>Safe and Secure Parking Areas</i> - Servizi d'informazione sulle aree di parcheggio sicure
SUMS	<i>Software Update Management System</i> - Sistema Di Gestione Degli Aggiornamenti Software
TCOU	<i>Total Cost of Ownership and Use</i> - Costo Totale Di Possesso Ed Utilizzo
TPS	<i>Third Party Services</i> – Servizi di terzi
TSP	<i>Telematics Service Providers</i> – Fornitori di servizi telematici
TTW	<i>Tank To Wheel</i> - Dal serbatoio alla ruota
UCOs	<i>Used Cooking Oils</i> – Oli di cottura esausti
UE	Unione Europea
V2G	<i>Vehicle-To-Grid</i> – Tra veicolo e rete
V2I	<i>Vehicle To Infrastructure</i> – Tra veicolo e infrastruttura
V2V	<i>Vehicle To Vehicle</i> – Tra veicolo e veicolo
V2X	<i>Vehicle To Other</i> – Tra veicolo e oggetto
WIM	<i>Weight-In-Motion</i> – Pesatura in movimento
WTW	<i>Well To Wheel</i> – Dal pozzo alla ruota

INTRODUZIONE

Il mondo dell'automobile sta attraversando una fase di innovazioni profonde volte a migliorare le *performance* di sicurezza, di sostenibilità ambientale ma anche di *comfort* e di accessibilità dell'auto. Innovazioni che hanno, e sempre più avranno, importanti riflessi culturali, sociali ed economici. Una trasformazione destinata – quantomeno negli auspici – a compiere importanti passi avanti in direzione di un obiettivo a doppio Zero: Zero emissioni dai trasporti e Zero vittime sulla strada.

Una trasformazione che la Fondazione analizza dal 2017. Un anno ricco di eventi e di propositi per l'ACI che, con il supporto scientifico della Fondazione Caracciolo, si è impegnata ad analizzare gli sviluppi attesi e le possibili ricadute dei processi in atto sul settore industriale, energetico e dei trasporti, con due Conferenze del Traffico e della Circolazione. La prima dedicata alle tecnologie abilitanti forme sempre più avanzate di guida autonoma, mettendo in evidenza, con lo studio *Auto-matica. Il futuro prossimo dell'auto: connettività e automazione*¹, come l'innovazione tecnologica e digitale dei veicoli e delle infrastrutture avrebbe potuto produrre in tempi rapidi ricadute significative sul settore *automotive*, attraverso una nuova visione dell'auto e dell'intero sistema della mobilità. La seconda, *Quali energie muoveranno l'automobile?*, volta a promuovere un confronto aperto, tra alcuni dei massimi esperti e protagonisti della transizione energetica ed ecologica della mobilità, sugli impatti economici e sociali delle, necessarie quanto ambiziose, strategie europee per la transizione verso un'economia *low carbon*.

Da allora sono passati più di sei anni. Anni in cui la Fondazione, anche grazie al contributo degli operatori ed esperti di settore che costantemente hanno partecipato ai lavori dell'Osservatorio "Muoversi con Intelligenza", da un lato, e all'Osservatorio "Muoversi con Energia", dall'altro, ha voluto monitorare gli sviluppi attesi della digitalizzazione e dell'innovazione del settore *automotive* e di quello energetico, dei veicoli e delle infrastrutture, per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza stradale e sostenibilità ambientale, come previsto dalle prime tre Missioni del Next Generation EU².

Viene da chiedersi: a che punto siamo? Cosa è stato fatto? Cosa ancora si deve fare? Quali sono i benefici attesi e riscontrati dall'evoluzione del veicolo e quali le criticità emerse ancora da affrontare? Lo studio presentato oggi dalla Fondazione intende rispondere a queste domande, attraverso approfondimenti legati all'automazione, all'elettrificazione e all'evoluzione dei servizi di mobilità connessi.

All'automazione è dedicato il primo capitolo in cui è descritto in modo analitico lo stato delle tecnologie abilitanti funzioni sempre più progredite di assistenza alla guida, da quelle oggi disponibili in commercio su larga scala, fino alla guida completamente autonoma. Sono illustrate in dettaglio le caratteristiche tecniche e di operatività, anche con riferimento alla regolamentazione esistente e ai processi di certificazione e di adeguamento normativo necessari per passare dalla sperimentazione alla diffusione di auto con livelli di automazione più avanzati. Questa parte del lavoro considera anche le criticità che devono essere risolte per una sicura e sostenibile diffusione dei veicoli con livelli di automazione sempre più elevati, dando evidenza di diverse problematiche oggi esistenti, comprese quelle legate ai tempi di sostituzione del parco circolante e della transizione che vedrà la co-esistenza di veicoli con livelli diversi di automazione.

Ne emerge un quadro molto interessante dal quale si evince come negli ultimi 6 anni siano stati molti i progressi e gli sforzi realizzati, sul piano normativo e tecnologico. In Europa, ad esempio, la strada per la diffusione di veicoli sempre più performanti, in termini di sicurezza e sostenibilità, è stata tracciata a partire dall'approvazione del Regolamento EU 2019/2144 che prevede per i nuovi veicoli³ l'obbligo di alcuni importanti sistemi di assistenza alla guida, come quelli per il controllo longitudinale e laterale del veicolo che intervengono in casi di emergenza (livello 0 SAE). Le stesse funzioni sono ormai disponibili nei veicoli di nuova

¹ *AUTO-MATICA. Il futuro prossimo dell'auto: connettività e automazione*, Fondazione Filippo Caracciolo, Giugno 2017.

² PNRR, *Italia domani*, 2023.

³ Dal luglio 2022 per i veicoli di nuova omologazione e dal luglio 2024 per quelli di nuova immatricolazione.

generazione, anche con sistemi continui di supporto con controllo della guida (livelli 1 e 2 SAE). In futuro si vedranno circolare in Europa anche veicoli con livello di autonomia sempre più elevato: dal marzo 2021 è omologabile, ad esempio, un sistema di guida autonoma per l'ambito autostradale che, quando è attivato, gestisce il controllo del movimento laterale e longitudinale del veicolo (ALKS – *Automated Lane Keeping Systems*⁴, corrispondente al livello 3 di automazione SAE [1]), permettendo al conducente di togliere temporaneamente le mani dal volante e lo sguardo dalla scena di guida, mantenendo però la prontezza di intervento qualora il sistema lo richiedesse. Negli Stati Uniti per i veicoli totalmente autonomi è recente, marzo 2022, la decisione dell'Agenzia americana per la sicurezza dei trasporti (NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration) di modificare la normativa di sicurezza dei veicoli a guida autonoma cancellando alcuni requisiti di sicurezza e tra questi la presenza dei dispositivi per la guida tradizionale. Aggiornamenti importanti in Europa sono stati introdotti anche per quel che riguarda l'omologazione dei veicoli senza conducente, con il regolamento di esecuzione (UE) 2022/1426 (del 5 agosto 2022), che prevede applicazioni per il trasporto di passeggeri o di merci in un'area limitata, o su un percorso predefinito con punti di partenza e di arrivo fissi di un viaggio.

Una modifica essenziale è intervenuta poi sull'articolato della "Convenzione di Vienna sulla circolazione stradale", con l'introduzione, articolo 34-bis, del concetto di "sistema di guida automatica"; una modifica che, se recepita dalle leggi nazionali, permetterà l'uso di funzioni automatiche (a partire dal livello 3 SAE) che consentono al conducente di lasciare il volante, in certe condizioni e, per ora, solo in ambienti autostradali. Intanto, mentre proseguono i progetti sperimentali per la guida autonoma, è importante adeguare la formazione dei conducenti ad un uso corretto di questi strumenti innovativi.

Un'esigenza, quella della informazione e formazione, sentita particolarmente, come emerge da un'indagine realizzata dalla Fondazione nel 2023, e di cui si riportano in questo studio alcune prime evidenze: il 44% dei rispondenti (oltre 9.000) parteciperebbe ad un corso di formazione sull'utilizzo dei sistemi di assistenza alla guida e ben il 77% ritiene necessario integrare i corsi per la patente di guida con informazioni sull'uso corretto degli ADAS.

Altrettanto significativi sono stati gli approfondimenti affrontati nel secondo capitolo dedicato ai processi di diffusione delle autovetture a batteria in Italia e al loro impatto in termini emissivi e di parco. Questa sezione del lavoro analizza, da un lato, i possibili benefici e opportunità offerte nel lungo periodo da questo sistema di alimentazione; dall'altro, le criticità che emergono da una forzata elettrificazione della mobilità su gomma, in particolare in termini di accessibilità (si pensi ad esempio ai territori con Pil pro capite più basso, dove la presenza di veicoli elettrici è insignificante), energetici (consumo e sicurezza) ed emissivi.

Come è noto, l'incremento o il decremento delle fonti energetiche convenzionali è destinato a produrre una variazione nelle emissioni totali, ma anche nelle emissioni medie per unità di energia generata. In questa prospettiva, l'aumento dei consumi energetici legati alla maggiore diffusione di auto elettriche o anche di quelle a idrogeno (specie se verde) implica un peggioramento delle emissioni medie destinato a ripercuotersi non solo sul comparto *automotive*, ma su tutti quelli che utilizzano energia elettrica (industria, consumi domestici *etc.*).

Contemporaneamente, a supporto dell'ampio dibattito europeo e nazionale sul tema, il lavoro si sofferma sull'apporto che i carburanti alternativi avanzati possono dare nel breve e medio periodo alla riduzione delle emissioni del settore dei trasporti, nonché su valutazioni emissive più generali, attraverso un confronto tra autovetture con diverse tipologie di alimentazione, basato su efficienza e consumo energetico nel ciclo di vita, in un panorama, quello italiano, ancora caratterizzato dalla quasi totalità di veicoli termici e con percentuali significative di autovetture con età superiore ai 15 anni (oltre il 39%), quindi meno dotate di tecnologie per aumentare la sicurezza e ridurre le emissioni inquinanti (nel 2022 le auto con standard emissivo uguale o inferiore all'Euro 3 è pari al 27%).

⁴ Regolamento N. 157 UNECE, Marzo 2021.

Un tema centrale, quello dei carburanti alternativi di ultima generazione, per l'industria, per quel che riguarda i processi e le tecnologie di produzione, e per il sistema di distribuzione dei carburanti, ma anche per le prospettive di diffusione dei veicoli termici sul mercato dei prossimi anni. Gli approfondimenti svolti hanno consentito di evidenziare vantaggi e svantaggi dei diversi sistemi di alimentazione, in termini di stato di avanzamento delle tecnologie, costi per la produzione e distribuzione dei nuovi carburanti, consumo energetico elettrico, con particolare riguardo alla produzione nazionale di energia da fonti rinnovabili ed efficienza dei motori "alternativi".

Nei prossimi anni, e per molti anni dopo il 2030, rimarrà sullo sfondo l'esigenza di sostituire il più velocemente possibile i veicoli più vecchi, con una priorità per i veicoli con più di 20 anni. Il processo di rinnovo del parco avviene lungo l'arco di più decenni e, in questa prospettiva, anche l'aumento significativo nelle vendite di veicoli ibridi o elettrici è oggi quasi impercettibile negli effetti sul parco. Se gli attuali limiti legati all'autonomia o al prezzo, possono essere un ostacolo, è fondamentale avere un approccio di neutralità tecnologica, promuovendo soluzioni già oggi molto efficienti e a basso costo. Come sottolineato nel PNIEC 2023, "l'elettrificazione diretta dei trasporti e l'utilizzo dei biocarburanti avranno un ruolo complementare nella decarbonizzazione del settore dei trasporti. Se da una parte l'elettrificazione dei trasporti è una soluzione rivolta alle nuove immatricolazioni in particolare di veicoli leggeri, i biocombustibili avranno un ruolo chiave già nel breve termine in quanto contribuiscono alla decarbonizzazione del parco esistente e non solo a quello delle nuove immatricolazioni. Inoltre, nel lungo termine, i biocarburanti ricoprirebbero un ruolo rilevante nella decarbonizzazione dei settori difficilmente elettrificabili".

Al fine di raggiungere gli obiettivi europei di riduzione delle emissioni climalteranti derivanti dalla mobilità automobilistica, lo studio mette inoltre in evidenza come politiche di promozione e incentivo volte ad un razionale *shift* modale possano consentire una significativa contrazione delle percorrenze su gomma, sia in ambito urbano che extra-urbano. In tale contesto, particolare rilevanza dovrà essere attribuita al potenziamento del servizio di trasporto pubblico di linea e non, di modalità in *sharing*, nonché l'implementazione di misure volte ad incentivare forme di mobilità attiva, anche grazie all'ausilio di piattaforme di offerta integrata, secondo un approccio orientato al servizio (*MaaS* – Mobility as a Service).

L'ultima parte del lavoro, al quale è dedicato il terzo capitolo, affronta il tema dell'evoluzione dei servizi. Gli obiettivi di questa sezione della ricerca riguardano il modo in cui il veicolo potrà essere supportato dalle infrastrutture fisiche e digitali anche con l'attivazione di servizi di mobilità. Lo studio, nel dettaglio, descrive i principali servizi innovativi per la mobilità, abilitati dall'evoluzione e sviluppo delle tecnologie digitali per veicoli connessi, cooperativi e autonomi e infrastrutture intelligenti, che consentiranno di offrire scelte di mobilità più razionali, convenienti e sostenibili all'utente e una gestione evoluta della mobilità più efficiente per gli enti competenti a livello locale e nazionale.

Giuseppina Fusco
Presidente Fondazione Filippo Caracciolo

1 L'AUTOMAZIONE NELLA GUIDA DELLE AUTO

Nell'anno 2022, in Europa circa 20.600 persone hanno perso la vita in un incidente stradale, con una diminuzione del 10% rispetto all'anno pre-pandemico (2019), ma un aumento del 3% rispetto all'anno precedente [2]. L'obiettivo ambizioso dell'Europa, introdotto sia nel piano d'azione strategico della Commissione sulla sicurezza stradale che nel quadro politico dell'UE in materia di sicurezza stradale 2021-2030, è di raggiungere l'azzeramento delle vittime della strada entro il 2050 ("Vision Zero").

I miglioramenti della sicurezza stradale derivano da una complessa combinazione di azioni che possono agire sul comportamento del conducente, sulle prestazioni del veicolo e sulle condizioni ambientali. L'evoluzione tecnologica dei veicoli, ed in particolare dei sistemi di sicurezza ed assistenza alla guida o di automazione di alcune delle funzioni di guida, può contribuire intervenendo anche sul fattore umano che risulta ancora essere tra le cause principali di incidentalità stradale.

Le funzioni di assistenza e automazione nella guida delle auto si presentano a livelli diversi in base all'equilibrio tra il ruolo del conducente, quando presente a bordo, e quello delle tecnologie di guida o a supporto della stessa. Il ruolo del conducente è fondamentale nei sistemi di assistenza alla guida ma anche con le funzioni parziali di guida automatica, perché il conducente umano continua ad essere il responsabile e non può distrarsi. I sistemi di assistenza alla guida più semplici monitorano e rilevano potenziali situazioni di emergenza durante la guida supportando il conducente in modo non continuativo (es. frenata automatica di emergenza). Le funzioni di assistenza e controllo del veicolo invece intervengono in modo continuativo con specifiche attività di guida del veicolo che richiedono però la continua supervisione del conducente. L'intervento del conducente, invece, non è più necessario per funzioni di guida autonoma, quando in condizioni operative definite, il veicolo è in grado di gestire le attività di guida

Per i sistemi di guida assistita e parzialmente automatizzata è fondamentale la conoscenza e consapevolezza che il conducente ha, durante l'utilizzo del veicolo, delle capacità e dei limiti delle funzioni di automazione del veicolo, per evitare un utilizzo inadeguato delle varie opzioni disponibili. Per evitare fraintendimenti sui ruoli di guida che effettivamente possono essere delegati al veicolo, si devono chiarire come le attività dinamiche di guida (DDT – Dynamic Driving Task) siano assegnate al conducente ed al sistema stesso, nonché la definizione delle condizioni operative (ODD - Operational Design Domain) in cui un determinato sistema di automazione della guida, dotato di definite caratteristiche, è progettato per funzionare.

1.1 Le attività dinamiche di guida (DDT) e le condizioni operative (ODD) del veicolo

Al fine di chiarire i ruoli che possono essere affidati al sistema di guida automatico o al conducente è utile identificare le possibili attività dinamiche di guida (DDT) che vengono definite come le operazioni in tempo reale necessarie per guidare un veicolo nel traffico stradale [1]. In particolare, vi sono attività *tattiche*, che includono le decisioni sulle manovre del veicolo nel traffico durante un viaggio (es. svolte, cambi corsia, sorpassi), e *operative*, che avvengono con reazioni in frazioni di secondo (es. correzioni del volante per il mantenimento della traiettoria, frenate ed accelerazioni per evitare ostacoli). Le attività di guida identificate sono quindi le seguenti:

1. Controllo del movimento **laterale** del veicolo tramite il volante, come ad esempio durante un cambio di corsia per effettuare le manovre di sorpasso (*operativo*).
2. Controllo del movimento **longitudinale** del veicolo tramite accelerazione e decelerazione (*operativo*).
3. **Monitoraggio dell'ambiente** di guida attraverso il rilevamento, il riconoscimento, la classificazione e la preparazione della risposta di oggetti ed eventi (*operativo e tattico*).

4. Esecuzione della **risposta** agli oggetti e agli eventi rilevati durante il monitoraggio dell'ambiente esterno (*operativa e tattica*).
5. **Pianificazione** della manovra, come ad esempio la decisione di un cambio di corsia per una svolta da effettuare durante il viaggio (*tattica*).
6. Miglioramento della **visibilità** attraverso l'illuminazione, il suono del clacson, la segnalazione, i gesti *etc.* (*tattica*).

Dopo aver individuato le differenti attività dinamiche di guida è importante definire le condizioni che permettono l'utilizzo e le limitazioni dei sistemi di guida automatizzata di diverso livello. In particolare, ci si riferisce al contesto operativo di guida (ODD) che definisce limitazioni di:

- **Ambiente** di guida con la tipologia di strade percorribili (urbane, extraurbane, rurali), le condizioni meteorologiche e di visibilità, le condizioni di traffico sull'infrastruttura, i particolari elementi infrastrutturali fissi o temporanei, le aree geografiche specifiche.
- **Comportamento** del veicolo, con riferimento alle condizioni di velocità e alle possibili manovre eseguibili.
- **Stato** del veicolo, considerando le sue condizioni di carico, le caratteristiche e stato degli pneumatici, la presenza di rimorchi, ad esempio per veicoli pesanti.

I sistemi di guida automatizzata potrebbero essere quindi progettati e utilizzabili in specifici contesti, in base alle scelte dei costruttori di veicoli, con possibili limitazioni di utilizzo, ad esempio, in contesti autostradali, con un definito *range* di velocità e solo in condizioni meteorologiche e di visibilità ottimali senza neve, pioggia, nebbia. Una criticità rilevata nella formulazione di questi contesti operativi e delle relative limitazioni contenute, si trova nella mancanza di una definizione e di un formato standardizzato, sebbene vi siano alcune iniziative in corso, per rendere più trasparenti le funzioni di guida automatizzata, nonché supportarne la diffusione, l'omologazione e agevolare l'attribuzione delle responsabilità in caso di incidente o malfunzionamento⁵.

Fra le esperienze di standardizzazione, dettagliate in Appendice B, si citano le seguenti:

- L'Istituto di Standardizzazione Britannico (BSI PAS 1883)⁶ che ha definito una classificazione dei contesti operativi gerarchica a più livelli;
- ISO (ISO/AWI 34503⁷) che definisce una tassonomia degli attributi degli scenari al fine di creare un format di alto livello per la loro gestione finalizzato alla simulazione.
- Il progetto ASAM OpenODD⁸ che ha l'obiettivo di rendere la definizione degli ODD formale e utilizzabile non solo dagli utenti, ma per comparare sistemi diversi a parità di condizione anche in ambiente simulato.

1.2 Elementi caratteristici dei livelli di automazione

Nel 2021, SAE International ha ridefinito i livelli di automazione, sulla base dell'evoluzione e diffusione delle funzioni di guida disponibili nel mercato, al fine di specificare quando e in quale condizione operativa (ODD)

⁵ Un possibile approccio potrebbe essere la predisposizione di un laboratorio su pista per testare (definire le condizioni per le funzioni - ODD) le prestazioni e la sicurezza di veicoli e tecnologie connessi e automatizzati in condizioni controllate e realistiche.

⁶ <https://www.bsigroup.com/en-GB/CAV/pas-1883/>

⁷ ISO 34503:2023 - Road Vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Specification for operational design domain

⁸ <https://www.asam.net/standards/detail/openodd/>

le attività di guida (DDT) sono svolte dal conducente e quando dal veicolo stesso. La nuova classificazione SAE, riportata in Figura 1, fa emergere la progressione di automazione sulla base del ruolo del conducente nella guida.



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You <u>are</u> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <u>are not</u> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR adaptive cruise control	• lane centering AND adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed	• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Figura 1 Livelli SAE di automazione della guida (<https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>)

I sistemi attivi di sicurezza più diffusi, ovvero i sistemi di assistenza alla guida che agiscono in situazioni di emergenza (L0), non sono sistemi di automazione di guida, perché non eseguono le attività di guida su base continuativa, ma attuano azioni con interventi sporadici in situazioni opportunamente identificate [3]. Il loro intervento **non modifica o elimina il ruolo del conducente**, sebbene siano in grado di effettuare alcune azioni automatiche sulla guida, non sono considerati sistemi di automazione di guida [1]. Per supportare invece il conducente in modo continuo nella guida vi sono le funzioni di livello 1 e 2, che richiedono comunque il ruolo attivo del conducente. Il gruppo di lavoro di UNECE WP29 (*Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles*) sta lavorando ad una proposta di modifica per le *Definitions of Automated Driving* introducendo funzioni definite **Driver Control Assistance Systems (DCAS)** [4]. Tali funzioni, secondo la proposta, sono definite come un sottogruppo dei sistemi ADAS e supportano il conducente nel controllo laterale e longitudinale del veicolo per migliorare il comfort di guida e ridurre il carico di lavoro del conducente (Livello 2 SAE).

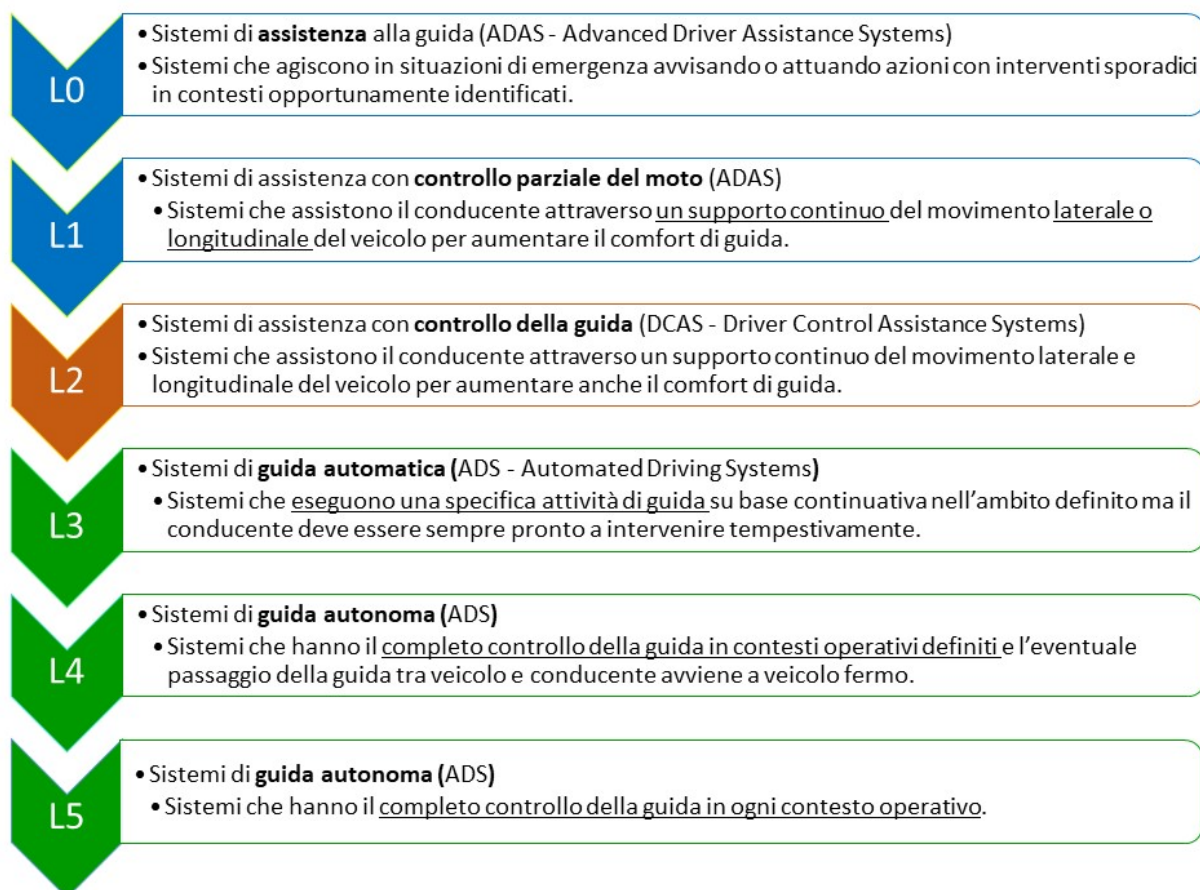


Figura 2 Descrizione dei livelli di guida assistita, controllata, automatica ed autonoma sulla base delle classificazioni SAE [1] e UNECE [1]

Lo scopo delle modifiche al documento SAE J3016 (del 2018) è stato anche quello di chiarire alcuni aspetti legati alla terminologia⁹ tra cui per esempio la differenza tra [1]:

- “Active Safety System” che monitorano e rilevano i pericoli presenti o potenziali durante la guida intervenendo automaticamente per contribuire a evitare o attenuare potenziali collisioni con vari metodi (es. avvisi o controllo attivo del corretto posizionamento del veicolo nella corsia).
- “Automated Driving System - ADS” che sono in grado di svolgere le attività di guida su base continuativa anche se limitatamente a specifici contesti operativi. Questi vengono inclusi nei livelli di guida 3, 4 e 5.

Con riferimento ai due livelli di automazione della guida che dividono la classificazione in “Active Safety System” e “Automated Driving System”, si precisa che le funzioni automatiche di guida, se vi sono le condizioni verificate dal sistema (ad esempio, la visibilità della segnaletica orizzontale), sono comunque sempre attivabili e disattivabili dal guidatore ed in particolare:

- fino al livello 2 il conducente deve comunque tenere le mani al volante, ma si può far supportare dal sistema nella guida per il controllo laterale e longitudinale del veicolo e deve sempre supervisionarlo ed intervenire se necessario;
- nel livello 3, quando il sistema è attivo, esegue la guida nell'ambito definito, ma il conducente deve essere sempre pronto a intervenire tempestivamente su richiesta del sistema. Questa necessità di

⁹ Concorde con la classificazione adottata da UNECE World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) [3].

tempestività nell'intervento del conducente non è prevista nel livello 4 in cui il "passaggio di testimone" tra il sistema di guida e il conducente deve avvenire a veicolo fermo, per esempio quando le condizioni della situazione di guida non sono più compatibili con quelle previste.

È bene sottolineare che non è il veicolo ad essere classificato con un livello di automazione SAE ma è la funzione di guida. Infatti, durante uno spostamento può verificarsi una combinazione di diversi livelli di automazione: ad esempio L3 per un tratto autostradale che poi diventa L1 con Adaptive Cruise Control (ACC) nel tratto finale urbano¹⁰.

Lo schema sintetico in Figura 3 riporta la classificazione dei livelli di automazione, in accordo con SAE, per evidenziarne la variazione nell'assegnazione delle diverse attività dinamiche di guida tra il conducente umano e il sistema veicolo.

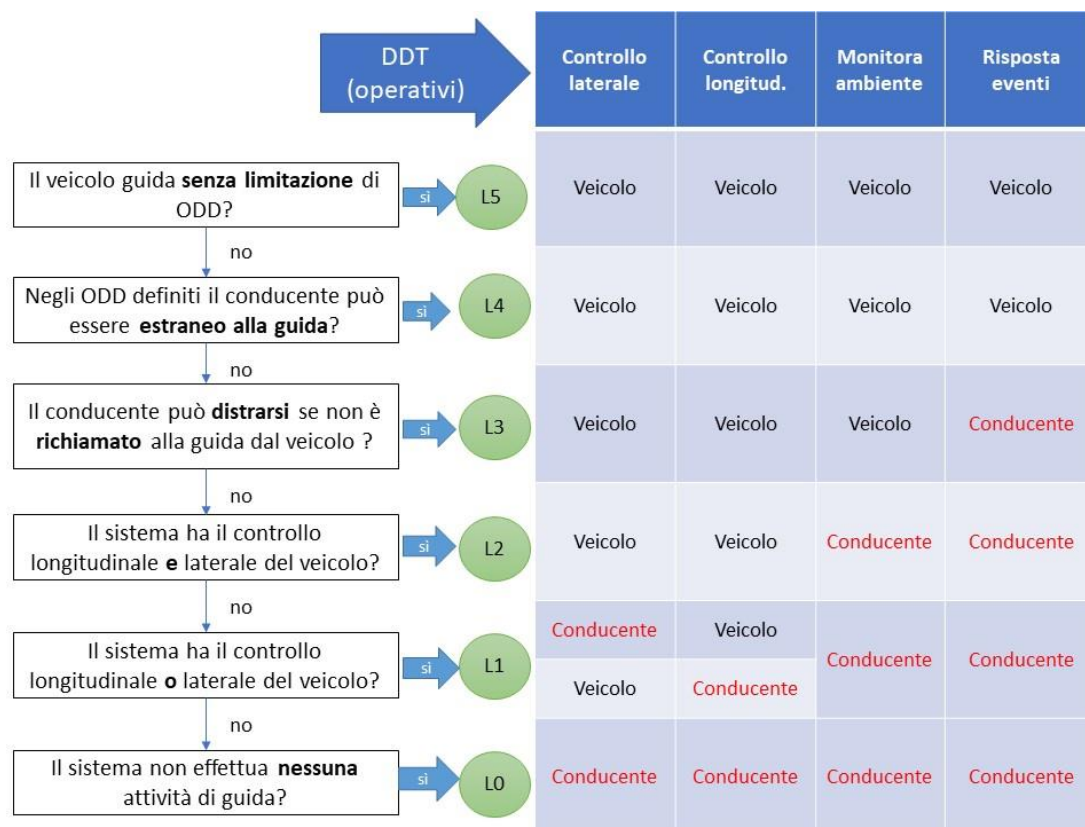


Figura 3 Schema semplificato per l'individuazione del livello di automazione del veicolo (Rielaborazione da [1])

Per riassumere, si consideri a titolo esemplificativo la funzione di guida "traffic jam", ovvero un controllo laterale e longitudinale del veicolo in condizioni di congestione stradale, che presenta diversi comportamenti a seconda del livello di automazione della funzione di guida. Se fosse di livello 2, la funzione si occuperebbe di gestire questi movimenti, ma il conducente non potrebbe togliere le mani dal volante e dovrebbe monitorare costantemente l'ambiente di guida per intervenire in caso di situazioni non previste. Una funzione di guida "traffic jam" di livello 3, rispetto alla precedente, non solo non richiederebbe di tenere le mani sul volante, ma neanche il monitoraggio dell'ambiente di guida da parte del conducente, perché il sistema stesso sarebbe in grado di effettuarlo e percepire eventuali situazioni anomale. Si pensi ad esempio ad una corsia di larghezza inferiore a quella minima ammessa per la guida automatica, oppure all'inizio di condizioni metereologiche avverse, sulle quali si potrebbe però richiedere il pronto intervento del conducente. Quindi il conducente potrebbe togliere le mani temporaneamente dal volante, ma deve comunque essere attento ad eventuali richiami alla guida.

¹⁰ Si rimanda al documento SAE [1] per altri esempi di applicazione.

Si noti che alcuni produttori stanno proponendo sistemi intermedi fra L2 e L3 (definiti L2+) che consentono al conducente di togliere temporaneamente le mani dal volante (*hands-off*), perché il sistema automatico è in grado di gestire la situazione specifica, ma con l'onere per il guidatore di continuare a monitorare l'ambiente (*eyes-on*)¹¹ per poter intervenire in modo tempestivo qualora necessario (paragrafo 1.3.4).

Infine, la stessa funzione, se di livello 4, permetterebbe al conducente di distrarsi dalla guida per svolgere altre attività (es. leggere il giornale o usare lo smartphone o anche scendere dal veicolo) poiché il veicolo, se all'interno del proprio contesto operativo, sarebbe in grado sia di percepire un'anomalia che di rispondere alla stessa. In questo caso, l'eventuale guida a cura del conducente potrebbe avviarsi solo dopo che il veicolo abbia effettuato una manovra di arresto e non con un richiamo durante la guida, come avviene con il livello 3.

Gli scenari (ODD) nei quali sono attivabili le funzioni di guida automatica sono importanti per comprendere le condizioni di possibile utilizzo dei vari livelli di automazione in termini geografici, di velocità e ambientali, ad esclusione del livello 5 di automazione che rappresenta un'automazione completa della guida in qualunque contesto.

1.3 Quadro normativo per i sistemi di sicurezza della guida verso l'automazione

L'evoluzione tecnologica dei veicoli è generalmente affiancata da un quadro normativo per accompagnarne la diffusione, considerando i fenomeni transitori e di adattamento del mercato. Basti pensare ad alcune importanti *milestones* passate, ad oggi ben consolidate, in tema di sicurezza attiva e passiva. Quest'ultima indica quei sistemi, progettati con lo scopo di ridurre le conseguenze dell'incidente una volta che questo si è verificato, tesi a gestire, o meglio ad assorbire, l'energia cinetica posseduta dal veicolo e dai suoi occupanti al momento dell'impatto. Appartengono a questa categoria, ad esempio, dispositivi come le cinture di sicurezza obbligatorie nel 1988 per i sedili anteriori e nel 2003 per quelli posteriori, o gli airbag, imposti dal 2002. Tra i sistemi di sicurezza attiva, che invece hanno lo scopo di prevenire ed impedire il verificarsi dell'incidente, rientrano, oltre a componenti meccaniche e di carrozzeria come freni, luci, ammortizzatori *etc.*, sistemi elettronici come l'ABS (Anti-lock braking systems), obbligatorio dal 2004 su tutte le vetture, e l'ESC (Electronic stability control), obbligatorio per le nuove omologazioni dal 2011 e le nuove immatricolazioni dal 2014 [6]. Nei prossimi anni la normativa dovrà accompagnare lo sviluppo tecnologico che prevede, a differenza del passato, anche modifiche al ruolo del conducente, che potrà condividere con il veicolo alcune delle attività di guida e le conseguenti responsabilità.

¹¹ Si veda ad esempio la tassonomia adottata recentemente da Mobileye per definire i diversi livelli di automazione (<https://www.mobileye.com/opinion/defining-a-new-taxonomy-for-consumer-autonomous-vehicles/>).

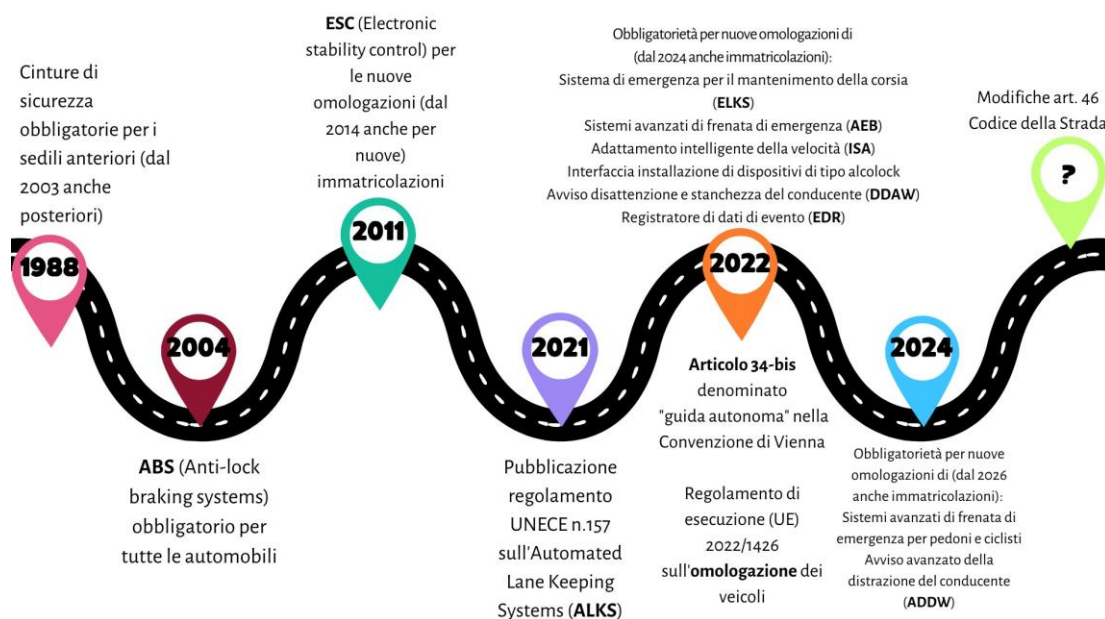


Figura 4 Alcune importanti milestones in tema di sicurezza attiva e passiva per i veicoli

1.3.1 Dai sistemi obbligatori per la sicurezza (L0) ai sistemi di assistenza con controllo della guida (L1 - L2)

Molti dei veicoli già oggi sul mercato sono proposti con funzioni di guida che possono aiutare il conducente a mantenere la traiettoria nella corsia di viaggio in modo continuo (LKA – Lane keeping Assistant) o a regolare la velocità di marcia lungo la corsia considerando la posizione e la velocità del veicolo davanti (ACC – Adaptive Cruise Control). Entrambe le funzioni, se applicate separatamente al veicolo, possono essere classificate di Livello 1 SAE, mentre costituiscono un Livello 2 SAE se attivabili contemporaneamente. Queste funzioni, che richiedono comunque una regolare attività di guida da parte del conducente, sono proposte generalmente dai produttori per migliorare comfort e sicurezza del viaggio, ma non sono previste come dotazione richiesta obbligatoria per i nuovi veicoli. Funzioni simili, ma che si attivano solo in situazioni di emergenza (Livello 0) per correggere comportamenti di guida identificati come non adeguati al contesto osservato, sono state ritenute utili per la sicurezza dal quadro normativo che le sta introducendo obbligatoriamente in modo graduale nei veicoli.

Dopo gli importanti traguardi in termini di sicurezza dei veicoli nel passato, oggi l'evoluzione dei veicoli è spinta dal Regolamento Europeo 2019/2144 sulla *General Safety Regulation*, già pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea lo scorso 16 dicembre 2019 e applicato dal 6 luglio 2022, che prevede l'obbligo per tutti i veicoli a motore di:

- Sistema di ausilio al mantenimento della velocità più idonea (Intelligent Speed Assistance, **ISA**), approfondito in seguito.
- **Interfaccia** di installazione di dispositivi di tipo **alcolock**¹². Questi dispositivi, installati post-vendita, impediscono la guida alle persone con tassi alcolemici superiori a determinati limiti impedendo l'avviamento del veicolo.

¹² «interfaccia di installazione di dispositivi di tipo alcolock»: interfaccia standardizzata che semplifica l'installazione postvendita di dispositivi di tipo alcolock. C (2021)2563

- Monitoraggio della sonnolenza e dell'attenzione del conducente (Driver Drowsiness and Attention Warning, **DDAW**) attraverso l'analisi dei sistemi del veicolo (riconoscimento stile di guida e comportamento di sterzata) e se necessario avverte il conducente. Il sistema si attiva per velocità superiori a 70 km/h e fornisce l'avviso al conducente quando il livello di stanchezza è uguale o superiore a 8 nella scala KSS (*Karolinska Sleepiness Scale*)¹³.
- Avviso avanzato della distrazione del conducente (Advanced Driver Distraction Warning, **ADDW**). Il sistema rileva la distrazione visiva del conducente attraverso l'inquadratura di una telecamera integrata nel volante o nel quadro (verifica battito palpebre e sbadigli, ad esempio) e lo avvisa di conseguenza quando necessario.
- Registratore di dati di evento (Event Data Recorder, **EDR**, che sarà approfondito in seguito).

Per le vetture di categoria M₁ e N₁, ovvero autovetture (trasporto persone max 8 posti) e veicoli commerciali leggeri, si aggiungono i seguenti sistemi di assistenza alla guida:

- Sistemi avanzati di frenata di emergenza (Advanced Emergency Braking, **AEB**), che utilizzano sensori per rilevare la presenza di un potenziale pericolo frontale ed intervengono sui freni qualora il conducente non lo abbia fatto. Si rimanda a [6] per i dettagli. I sistemi avanzati di frenata saranno successivamente obbligatori anche per il rilevamento di pedoni e ciclisti, ovvero che intervengono a protezione degli utenti vulnerabili della strada.
- Sistemi di emergenza di mantenimento della corsia (Emergency Lane Keeping Assist, **ELKS**). Questi sistemi intervengono in modo drastico con un forte input di sterzata quando rilevano una situazione critica (es. veicolo sul punto di finire fuoristrada); diversamente dai ben noti LKA (Lane keeping Assist) che aiutano il conducente a mantenere la traiettoria sia con segnali (sonori o vibrazioni) che con lievi azioni sullo sterzo [7].

L'allegato II del regolamento 2019/2144 identifica l'obbligatorietà di sistemi di assistenza alla guida, componenti e entità tecniche dei veicoli, di cui si estraggono e riportano in Tabella 1 i sistemi salienti ai fini del presente documento per le autovetture (M₁).

Dispositivo	Omologazione	Immatricolazione	Riferimenti
Sistema di emergenza per il mantenimento della corsia (ELKS)	6-lug-22	7-lug-24	R. esecuzione 2021/646
Sistemi avanzati di frenata di emergenza (AEB)	6-lug-22	7-lug-24	UNECE n.131
Adattamento intelligente della velocità (ISA)	6-lug-22	7-lug-24	R. delegato 2021/1958
Interfaccia installazione di dispositivi di tipo alcolock	6-lug-22	7-lug-24	EN 50436:2016
Avviso disattenzione e stanchezza del conducente (DDAW)	6-lug-22	7-lug-24	R. delegato 2021/1341
Registratore di dati di evento (EDR)	6-lug-22	7-lug-24	UNECE n.160
Sistemi avanzati di frenata di emergenza per pedoni e ciclisti	7-lug-24	7-lug-26	-
Avviso avanzato della distrazione del conducente (ADDW)	7-lug-24	7-lug-26	R. delegato C(2023)4523

Tabella 1 Obbligo di dotazione di dispositivi di sicurezza per le autovetture secondo il regolamento UE 2019/2144

¹³ Si rimanda al regolamento delegato per i dettagli.

I dispositivi elencati rappresentano funzioni di guida classificabili come livello SAE 0, poiché intervengono sulle attività di guida soltanto in condizioni di emergenza attuando azioni sporadiche in identificati contesti. Questi sistemi di assistenza alla guida non sostituiscono il ruolo del conducente; ad esempio, il regolamento normativo dell'ISA sottolinea infatti che spetta al conducente rispettare le norme stradali e il sistema lo assiste allertandolo ove opportuno e possibile. Ancora più esplicitamente il regolamento afferma: *“Per i sistemi ISA non dovrebbero essere prescritti livelli di capacità di guida autonoma, essendo la loro funzione unicamente quella di fornire assistenza ai conducenti”*.

I sistemi elencati hanno dei regolamenti delegati di riferimento (Tabella 1) per approfondirne gli aspetti tecnici e i requisiti necessari per l'omologazione; alcuni dettagli relativi al sistema ISA sono riportati in Appendice A.

Per legge però, seppur le autovetture debbano essere dotate di questi sistemi di assistenza alla guida, gli stessi devono essere escludibili da parte del conducente per tutto il tempo del viaggio. Eccezione sembra fare il sistema per il monitoraggio della sonnolenza e dell'attenzione del conducente (DDAW) che non può essere disattivato manualmente dal conducente, secondo il regolamento delegato UE 2021/1341, ma il conducente può disattivare gli avvisi che riceverebbe dal sistema; possiamo quindi dedurre che gli effetti sono equiparabili alla disattivazione del sistema stesso. Se la normativa supporta l'introduzione di questi sistemi ma il loro reale utilizzo da parte dei conducenti resta limitato, gli effetti positivi sulla sicurezza stradale potrebbero non essere facilmente osservabili.

1.3.2 La prima regolamentazione di una funzione di guida L3

Fra le funzioni di guida di livello 3 SAE, oggi il regolamento No. 157 del 2021 di UNECE [5] permette l'omologazione della funzione di guida Automated Lane Keeping Systems (ALKS). Questo regolamento, condiviso tra 42 Stati, prevede, per la prima volta, disposizioni uniformi per una funzione di guida automatizzata. Quando il conducente attiva il sistema esso è in grado di mantenere il veicolo all'interno della sua corsia di marcia, controllando i movimenti laterali e longitudinali del veicolo per periodi prolungati, senza bisogno di ulteriori interventi del conducente. Il conducente, seppur attivo e non distratto, può togliere le mani dal volante quando il sistema è attivo. Nella versione iniziale del regolamento (2021) era previsto che il sistema automatico di mantenimento della corsia potesse essere attivato soltanto in scenari a bassa velocità, inferiori ai 60 km/h.

Il 22 giugno 2022 è stata adottato un emendamento, effettivo da gennaio 2023, che, oltre ad includere i veicoli commerciali leggeri insieme alle già presenti autovetture, estende la velocità operativa a 130 km/h e consente il cambio corsia automatico [8]; [9].

Il regolamento prevede che:

- Tutti i cambi di corsia dovranno essere regolarmente registrati, tra le altre informazioni, dal Data Storage System for Automated Driving (**DSSAD**)¹⁴, che è obbligatorio.
- La circolazione con questo sistema in ogni caso è possibile solo in ambienti autostradali con strade dotate di una separazione fisica che divide il traffico che si muove in direzioni opposte e senza pedoni né ciclisti.
- Il sistema ALKS è associato ad un “sistema di riconoscimento della disponibilità del conducente” che rileva se il conducente è presente in posizione di guida con la cintura di sicurezza allacciata ed è pronto ad assumere il compito di guida. Qualora non fosse rispettata questa condizione, il sistema richiama più volte l'attenzione del conducente e attua l'arresto del veicolo, nel caso non vi siano risposte ai solleciti [10]. Il conducente è considerato indisponibile se almeno due criteri di valutazione non sono

¹⁴ Per i veicoli dotati di EDR in conformità al regolamento UN 160, deve essere possibile recuperare attraverso l'interfaccia standard (porta OBD) i dati DSSAD.

stati positivi (input al controllo esclusivo del veicolo da parte del conducente, battito delle palpebre, chiusura degli occhi, movimento consapevole della testa o del corpo) nei precedenti 30 secondi.

- Quando il sistema avvia la fase di transizione fra la guida automatica e quella manuale il conducente deve riprendere tempestivamente il controllo della vettura, viceversa il sistema è in grado di effettuare una manovra di minimo rischio (Minimum Risk Manoeuvre – **MRM**) entro 10s. Soltanto se il sistema è in grado di effettuare un cambio di corsia MRM può operare a velocità superiori di 60 km/h. L'obiettivo della manovra di minimo rischio è di arrestare il veicolo, con decelerazione inferiore a 4 m/s^2 , in un'area considerata a minimo rischio ottenibile nelle circostanze date anche considerando il cambio di corsia necessario [8].
- Il conducente possa disattivare il sistema manualmente o intervenendo sullo sterzo o ancora sul freno ed acceleratore con un input tale da superare una soglia ragionevole progettata per prevenire l'esclusione involontaria.

In questo sistema è previsto il riconoscimento automatico della situazione nella quale il veicolo può operare (ODD) con guida automatica, grazie ai numerosi sensori installati sul veicolo, come ad esempio nella prima auto proposta in Germania da maggio 2022 con la funzione ALKS (Mercedes Classe-S con Drive Pilot di livello 3). Tuttavia, il ruolo del conducente, che deve conoscere le caratteristiche di utilizzo e le limitazioni del sistema specificate nel manuale d'uso, non può essere escluso dalla valutazione di compatibilità fra l'attivazione della funzione automatica e le condizioni di utilizzo nella specifica situazione di guida. Quindi sebbene il produttore del veicolo garantisca la sua responsabilità nel riconoscimento dell'ODD, in caso di incidente, il conducente non è totalmente esonerato, ma potrebbe condividere la responsabilità in funzione del caso specifico e di quanto dichiarato nel manuale d'uso.

1.3.3 Il ruolo del conducente nella normativa e l'omologazione dei veicoli di Livello 4

Come anticipato nel paragrafo 1.2, il livello di automazione SAE 3 richiede ancora la presenza di un conducente pronto ad intervenire, ma il suo ruolo diminuisce, o non è previsto, nei due livelli di automazione successivi. Queste funzioni di guida fino ad oggi non erano ammissibili, se non in contesti pilota, nei Paesi firmatari della Convenzione di Vienna sulla circolazione stradale, il cui articolo 8 prevede che un veicolo (o complesso di veicoli) in movimento debba avere sempre un conducente. Dal 15 luglio 2023 però sono entrate in vigore le modifiche che includono l'articolo 34-bis denominato "guida autonoma". Esso prevede che il requisito di presenza del conducente sia soddisfatto se il veicolo utilizza un sistema di guida autonoma conforme:

- a. ai regolamenti tecnici nazionali, e a qualsiasi strumento giuridico internazionale, applicabili ai veicoli a motore, agli accessori e alle parti che possono essere installati e/o utilizzati sui veicoli a motore;
- b. alla legislazione nazionale che regola il funzionamento del veicolo¹⁵.

In questa situazione, affinché funzioni di guida L3 e successive siano ammissibili, l'Italia dovrebbe rivedere il Codice della Strada ed in particolare l'attuale articolo 46 che definisce come veicoli "tutte le macchine di qualsiasi specie che circolano sulle strade guidate dall'uomo".

Nel caso statunitense, la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), agenzia per la sicurezza dei trasporti, ha modificato le normative di sicurezza che regolamentano i veicoli a guida autonoma con la legge NHTSA-2021-0003 firmata il 10 marzo 2022, che prende atto della possibile assenza di dispositivi per il controllo manuale dei veicoli (es. volante).

Aggiornamenti importanti sono stati introdotti anche per quel che riguarda l'omologazione dei veicoli, con il regolamento di esecuzione (UE) 2022/1426 (del 5 agosto 2022) che modifica il regolamento (UE) 2018/858 ai fini dell'applicazione del regolamento (UE) 2019/2144, mentre per i singoli sistemi di assistenza alla guida si può far riferimento ai regolamenti già citati.

¹⁵ https://fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1993/402_402_402

Il regolamento si applica all'omologazione di veicoli completamente automatizzati (quindi di livello 4) appartenenti alle categorie M (passeggeri) e N (merci), e prevede i seguenti casi d'uso:

- a. per il trasporto di passeggeri o di merci in **un'area predefinita**;
- b. "hub-to-hub" per il trasporto di passeggeri o di merci su un **percorso predefinito** con punti di partenza e di arrivo fissi di un viaggio/percorso;
- c. "parcheggio con servizio automatizzato di ritiro e riconsegna dei veicoli" per applicazioni di parcheggio all'interno di **parcheggi predefiniti**.

Nel regolamento si precisa che per i veicoli *dual mode* (dotati quindi di postazione di guida), sia il passaggio dalla modalità di guida manuale alla modalità completamente automatizzata sia il passaggio dalla modalità completamente automatizzata alla modalità manuale possono avvenire soltanto quando il **veicolo è fermo** e non quando il veicolo è in movimento.

La capacità del sistema di guida automatizzata di eseguire l'intera attività di guida dinamica deve essere determinata nel contesto dell'ambito di impiego previsto del sistema di guida automatizzata (ODD), il quale deve essere riconosciuto dal sistema stesso.

Fra i requisiti per l'omologazione, si chiede che il costruttore consegni un fascicolo di documentazione che illustri le caratteristiche progettuali principali del sistema di guida automatizzata e il modo in cui esso è collegato agli altri sistemi del veicolo o con cui controlla direttamente le variabili di uscita, nonché l'hardware/il software esterno e le capacità da remoto. Il costruttore deve inoltre documentare le prove condotte per assicurare la sicurezza del veicolo nei casi d'uso definiti.

1.3.4 Proposte in corso per sistemi di automazione di livello intermedio

Ad integrazione dei sistemi già descritti e standardizzati, si deve precisare che oggi esistono, come detto, anche sistemi di guida che possono essere definiti intermedi fra L2 e L3, spesso chiamati L2+ o "*hands-free driving systems*", che permettono al conducente di togliere temporaneamente le mani dal volante (*hands-off*), perché il sistema automatico è in grado di gestire la situazione specifica di guida, ma con l'onere per il guidatore di continuare a monitorare l'ambiente (*eyes-on*) ed eventualmente intervenire in modo tempestivo nel caso sia richiesto dalla situazione. Esistono in US, Canada, Cina dal 2018 e in Giappone dal 2019, per esempio, sistemi *Lane-Keep Assist Hands-Off* che permettono al conducente, in autostrada, di togliere le mani da volante dopo la verifica che lo sguardo sia in direzione di marcia [1]. Questi sistemi utilizzano i *Driver Monitoring System* per gestire la sicurezza, avvisando il conducente se non mantiene la corretta posizione degli occhi (*eyes-on*) e arrestando il veicolo qualora non registrasse la corretta reazione del conducente. In Europa la UN Regulation No. 79 del 2018 (Disposizioni uniformi relative all'omologazione dei veicoli in relazione a equipaggiamento sterzo) non prevede questo tipo di guida "senza mani" per i sistemi L2 ma è in corso una consultazione per una proposta di modifica. Nella proposta la guida *hands-off* è limitata al contesto autostradale (rilevato dal veicolo), con l'obbligo di uso di un sistema di monitoraggio del conducente (*eyes-on*) e di arresto, nel caso non vi siano reazioni tempestive [2]. In fase di sviluppo è anche la norma ISO PAS 11585 che mira proprio a definire le caratteristiche tecniche per i sistemi di guida parzialmente automatici (L2+) e le strategie di controllo che consentirebbero la guida "senza mani".

Un esempio di dispositivo L2+ è il BlueCruise di Ford, già attivo in US e Canada, che dall'aprile 2023 è stato approvato dal Ministero dei Trasporti del Regno Unito, per i modelli Mustang Mach-E abilitati a circolare con il sistema attivo su 3.700 km di autostrade mappate in Inghilterra, Scozia e Galles (definite Blue Zones) [3]. Questa tecnologia, infatti, permette di attivare la modalità di guida "senza mani", sempre con il monitoraggio dell'attenzione del conducente, l'*Intelligent Adaptive Cruise Control (IACC)* nelle sezioni autostradali definite "Blue Zone". Diffusi negli Stati Uniti e Canada sono anche i sistemi Super Cruise (sistema L2 *hands-off/eyes-on*) sui veicoli Cadillac (modelli 2018-2022) che oggi possono percorrere oltre 200.000 miglia di strade compatibili in queste aree, grazie alla mappatura definita durante i viaggi effettuati in questi anni [4].

1.4 Panoramica sulla diffusione dell'automazione nei veicoli

Alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti in termini di regolamentazione e classificazione delle funzioni di guida dei veicoli, in questo paragrafo saranno presentate le esperienze recenti di automazione della guida e le prospettive di mercato delle auto dotate delle varie funzioni di automazione della guida.

Il mercato automobilistico si sta adeguando all'evoluzione tecnologica dei veicoli come dimostrato anche dalle nuove "alleanze commerciali" annunciate tra produttori di veicoli e fornitori di tecnologie e software. Nel 2020 ad esempio NVIDIA e Mercedes hanno collaborato per lo sviluppo di un software di guida autonoma, e il mese successivo è stato fatto da FCA, che ha messo a disposizione i propri veicoli, ai quali sono state aggiunte le funzioni di guida automatica sviluppate da Waymo. Si segnala inoltre che la stessa Waymo nel 2023 ha stretto un'alleanza con Uber per offrire il servizio di robo-taxi mediante una nuova piattaforma di gestione. Toyota e Amazon hanno invece collaborato per una tecnologia di L4 per le operazioni di parcheggio¹⁶. Come testimonianza dell'interesse di attori esterni al settore automobilistico, si cita il caso di Amazon che ha acquisito una *start-up* che ha ideato e realizzato una navetta a guida autonoma (Zoox) da quattro posti, con investimenti che ne hanno permesso una produzione su larga scala. Tuttavia, il settore è ancora incerto, come evidenziato dal fallimento nel 2023 di Navya, uno dei principali produttori di navette a guida automatica, ma anche dalla recente ripresa di attività sperimentali su strada in USA con veicoli a guida automatica da parte di Apple, dopo un periodo di sospensione, o il lancio nel 2023 di un nuovo veicolo navetta L4 da parte di ZF [11].

Ad ogni modo si intravedono interessi diversi per i principali settori industriali che gravitano intorno all'automazione della guida, come confermato dalla presenza nel mercato dei seguenti gruppi di interesse:

- Fornitori di servizi di mobilità innovativa che finanziano progetti ad alto valore tecnologico o entrano direttamente nelle società innovative (*start-up*), intravedendo margini di recupero degli investimenti dal valore del servizio potenzialmente attivabile e trasferibile in diverse realtà, grazie alle esperienze maturate sul campo. In questa categoria, si citano Waymo, Zoox/Amazon, Baidu.
- Produttori di componentistica (OEM), inclusi i sensori e i microprocessori, che, da fornitori di tecnologia per i costruttori di auto, hanno interesse a investire su prodotti di alto livello per aumentare la competitività e con grandi volumi di produzione affinché si possano ripagare gli sforzi fatti con gli investimenti iniziali. Sono gli attori che sviluppano i sistemi di guida di livello superiore, generalmente creando interfacce con veicoli già in commercio. In questa categoria, si citano Nvidia, Mobileye/Intel, Pony.ai, Weride.
- Costruttori di automobili, che hanno volumi di vendita molto elevati, con una lunga tradizione nel mercato automobilistico, e che sono entrati nel settore con investimenti diretti prevalentemente verso i livelli di automazione bassi, da cui si aspettano maggiori economie di scala. In questa categoria, che comprende tutte le principali case automobilistiche, si cita il caso particolare di GM, che con Cruise sta offrendo anche un servizio di robo-taxi in USA.
- Produttori di veicoli con scopo specifico per servizi di navetta che puntano a veicoli con tecnologia non evoluta, ma che sia in grado di gestire situazioni di guida non complesse, ad esempio su percorsi ben definiti e a bassa velocità. In questo caso gioca un ruolo importante il gestore dell'infrastruttura stradale per favorire il servizio con la predisposizione di un ambiente adeguato. In questa categoria, si citano Navya, Easymile Transdev.

Molte case automobilistiche, tra cui Tesla ad esempio, stanno sviluppando le proprie tecnologie internamente, poiché ritenute elemento di differenziazione sul mercato futuro, scegliendo soluzioni di aggiornamenti software di tipo *over-the-air* (OTA). Viceversa altre case automobilistiche scelgono la collaborazione con OEMs

¹⁶ Per il dettaglio di alcune importanti alleanze si rimanda a: <https://auto2xtech.com/top-technology-partnerships-automated-driving-2020/>

come Mobileye¹⁷ o NVIDIA, prevedendo non aggiornamenti software OTA ma richiedendo l'acquisto di un nuovo modello di auto con l'equipaggiamento più avanzato. In linea di massima i produttori di componentistica sembrano avere le possibilità di innovazione più rapide rispetto alle tradizionali case automobilistiche [12].

I costi dei veicoli sono molto differenti anche per i produttori stessi, perché maggiore è il livello di automazione e maggiore è l'equipaggiamento sensoristico necessario e le conseguenti procedure di validazione che risultano più complesse. Per esempio, secondo Auto2x [13], i ricavi al 2025 per i veicoli con funzioni di guida automatiche saranno di circa 35 miliardi, distribuiti differentemente sui 5 livelli (minimo per L2 e massimo per L3). Lo stesso studio propone anche una visione sui costi che risultano aumentare significativamente tra L2 e L4 (430€ contro 10.000€) ed essere diversificati per il livello 3 (650€ o 1589€). Quest'ultimo può richiedere costi differenti in base alla presenza opzionale dei Lidar¹⁸ che possono richiedere costi fino a 15.000€, contro i radar che ne richiedono sui 2.500€ e le telecamere su alcune centinaia di euro [14]. Infatti il mercato automobilistico sembra essersi diviso in due categorie: chi utilizza il triplo rilevamento con radar, telecamere e Lidar, e chi cerca di evitare il Lidar integrando il rilevamento con software dedicati [15]. Nel primo caso l'acquirente deve scegliere in fase di acquisto l'opzione L3 per avere il veicolo equipaggiato, nel secondo caso l'acquisto può avvenire in un secondo momento, poiché la funzione è legata solo alla parte software.

1.4.1 Esperienze di automazione con livello 3 SAE

Tra le autovetture attualmente o prossimamente in vendita iniziano ad essere disponibili le prime funzioni di guida autonoma di livello 3 SAE, seppur in numero limitato probabilmente a causa della regolamentazione definita solo recentemente e ad oggi limitatamente alla funzione di guida ALKS (vedasi UNECE 157). Questo sembra però non aver frenato alcune case automobilistiche che oggi offrono funzioni di guida con livelli di automazione avanzati e presentate in modo variegato, che però non possono essere identificate con livelli superiori al 2, in quanto non dichiarate come tali nella documentazione tecnica del veicolo. All'inizio del 2023, sono diversi i sistemi di supporto con controllo della guida di livello 2 presenti in commercio noti come l'*Autopilot* con "*Full Self-Driving*" di Tesla, il *Super Cruise* di GM, l'*Extended Traffic Jam Assistant* di BMW, il *Blue Cruise* di Ford, o ancora il pacchetto di guida autonoma di Hyundai e il *Traffic Jam Assist* di Audi [16]. Quest'ultimo può essere citato come esempio di passaggio da funzioni di guida di livello 2 al livello 3, progettato già nel 2017, che però non è stato implementato nei modelli in vendita, perché non ebbe la convalida e l'approvazione normativa.

Recentemente, la casa automobilistica Honda, nel pacchetto sicurezza Honda Sensing Elite (in vendita dal 2021), ha incluso la funzione di guida *Traffic Jam Pilot*, identificabile come funzione di guida di livello SAE 3. Essa è stata certificata dal ministero dei trasporti Giapponese e permette la guida autonoma del veicolo in determinate condizioni come il traffico congestionato in autostrada [17]. Il sistema sfrutta i dati delle mappe tridimensionali ad alta definizione e il sistema satellitare globale di navigazione, nonché l'equipaggiamento sensoristico della vettura, rilevando a 360° ogni oggetto. Il sistema *Traffic Jam Pilot* prevede inoltre una telecamera di bordo in grado di monitorare in modo continuo l'attenzione del conducente. Seppure questa sia stata la prima funzione di L3 ad essere stata approvata nel mondo, la sua diffusione è stata limitata a sole 100 autovetture dedicate al noleggio [18].

In Europa, invece, la Mercedes-Benz è stata la prima casa automobilistica (dicembre 2021) a ricevere l'omologazione da parte del KBA (Autorità dei trasporti tedesca) del *Drive Pilot* di livello 3, poiché risponde ai requisiti della UNECE 157 [19]. Questo optional è ufficialmente disponibile su due modelli della flotta (Classe

¹⁷ Mobileye ad esempio fornisce una tecnologia di L2 a produttori come Audi, BMW e Nissan tramite i suoi chipset EyeQ 4 e EyeQ 5 [12].

¹⁸ Si ricorda che il Lidar utilizza la luce (laser) per individuare e mappare gli oggetti in dettaglio (classificazione) con performance però dipendenti dalle condizioni meteorologiche, mentre il Radar utilizza onde radio per individuare gli oggetti e misurarne la distanza e la velocità in tutte le condizioni atmosferiche. Infine le telecamere riescono a individuare le caratteristiche dell'infrastruttura e i pedoni ma non la distanza o la velocità [14].

S e EQS) in vendita in Germania dal 17 maggio 2022. Le condizioni operative della situazione in cui il sistema può funzionare comprende circa 10.000 km di autostrade tedesche quando la velocità massima è di 60 km/h, in condizioni di luce, strada asciutta e temperature superiori a 4°C [20], [21]. In queste condizioni il sistema è in grado, grazie a sensori perimetrali, Lidar, telecamere, microfoni ed una mappa digitale ad alta definizione, di gestire la guida e anche riconoscere incidenti o lavori stradali. La mappa digitale in questione ha la risoluzione del centimetro per dettagliare incroci e percorsi, diversamente dai supporti di navigazione tradizionale che hanno una risoluzione del metro, e viene aggiornata costantemente in *back-end*. Anche questo tipo di dispositivo, come previsto dalla regolamentazione, include una telecamera per il monitoraggio dell'attenzione del conducente. Questa funzione di guida ha ricevuto recentemente anche l'approvazione dallo stato del Nevada per la vendita e circolazione dal 2024.

Più recente invece l'annuncio della casa svedese Polestar del gruppo Geely che, grazie alla collaborazione con Mobileye, introdurrà la funzione di guida di L3 denominata Chauffeur sulla flotta di veicoli Polestar 4. Le vendite saranno prima in Cina e nel 2024 anche in altri mercati; occorre specificare però che la funzione di guida di livello 3 annunciata sarà implementata su queste vetture solo in futuro tramite aggiornamenti del software di bordo [22].

1.4.2 Esperienze di automazione con livello 4 SAE

Le funzioni di guida di livello 4 sono progettate affinché il sistema, all'interno dei contesti operativi per i quali è abilitato, sia in grado di completare tutte le attività di guida e il ripristino senza richiedere l'intervento del conducente che quindi non deve avere supervisione costante sul veicolo o può non essere presente a bordo.

Dalle sperimentazioni in corso in USA, disponibili sulla piattaforma di NHTSA¹⁹, emerge come gran parte dei test siano condotti su strade urbane e coinvolgano principalmente navette e automobili.

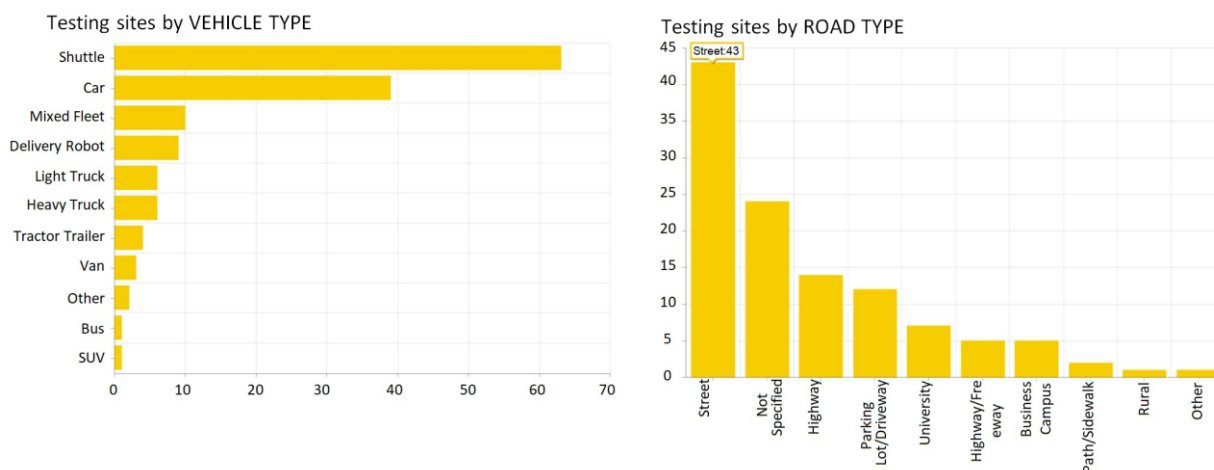


Figura 5 Dati di sintesi del monitoraggio dei test di guida autonoma in USA (<https://www.nhtsa.gov/automated-vehicle-test-tracking-tool>)

Il livello L4 per le funzioni di guida non sembra essere diffuso nel mercato automobilistico privato, seppure si osservano alcune esperienze progettuali. Questo avviene per esempio con la funzione di livello 4 *Intelligent Park Pilot*, su cui sta lavorando la casa automobilistica tedesca Mercedes-Benz, che permette un'attività di parcheggio completamente automatizzata ovvero il conducente ha la possibilità di lasciare l'attività di parcheggio completamente al veicolo. In ambito automobilistico, si cita la collaborazione tra Waymo e

¹⁹ <https://www.nhtsa.gov/automated-vehicle-test-tracking-tool>

Stellantis, che sta ampliando l'offerta con veicoli commerciali leggeri a guida autonoma [23], dopo aver sviluppato il minivan Chrysler Pacifica Hybrid di Livello 4 già operativo nei servizi di robo-taxi. Altri annunci e dichiarazioni per funzioni di livello SAE 4 nell'immediato futuro si registrano anche da parte di Tesla con l'aggiornamento della tecnologia *Full Self-Driving (FSD)* Beta nel 2023 [24]. Infine Jidu, joint venture di Baidu e Geely, ha dichiarato di introdurre sul mercato il suo modello a guida autonoma, la concept car ROBO-01, già presentata nel 2022, di livello 4 nel 2023 [25], [26].

In questi anni si sono sviluppate anche iniziative industriali che forniscono sistemi integrati di hardware e software ideati per essere installati su veicoli in commercio di diverse tipologie (autovetture, bus, furgoni) abilitandoli ad essere guidati con funzioni automatiche. Si citano ad esempio i sistemi Pony.ai e Weride, che sono in fase di sperimentazione con veicoli su strada in USA e Cina e il sistema di Mobileye, che in versione scalabile di funzionalità è già installabile su alcuni veicoli in commercio del gruppo Geely.

Questi sistemi abilitano servizi di trasporto collettivi in cui la possibile assenza del conducente può risultare economicamente vantaggiosa. Infatti si osserva che hanno effettivamente scelto funzioni di guida di livello 4 i robo-taxi e le navette per il trasporto pubblico locale. I primi, in un contesto stradale ben definito che in alcuni casi ha l'estensione di una città intera (Appendice D), sono in grado di svolgere le funzioni di un normale taxi senza richiedere la presenza di un conducente, grazie alla dotazione sensoristica installata composta da telecamere, radar, Lidar e componenti aggiuntivi (Figura 6). Questi servizi sono in rapida evoluzione e da agosto 2023 sono attivi per tutta la città di San Francisco i robo-taxi di Waymo per tutta la giornata e di Cruise durante le ore notturne. A conferma della fase di assestamento del fenomeno, si cita la recente sospensione temporanea del servizio senza conducente da parte dell'autorità californiana per Cruise, avvenuta a ottobre 2023 a seguito di incidenti osservati. La dotazione sensoristica è complessa poiché ogni sensore presenta diverse peculiarità, ad esempio la camera è in grado di classificare gli oggetti più facilmente di un radar o leggere la segnaletica orizzontale meglio di un Lidar ma ha basse prestazioni in caso di brutto tempo o scarsa luminosità [27]. Nel veicolo che viene trasformato in L4 è comunque presente il sistema di guida tradizionale (volante e pedaliera) per permettere l'intervento di un conducente qualora necessario come in caso di guida in condizioni esterne all'ODD stabilito.

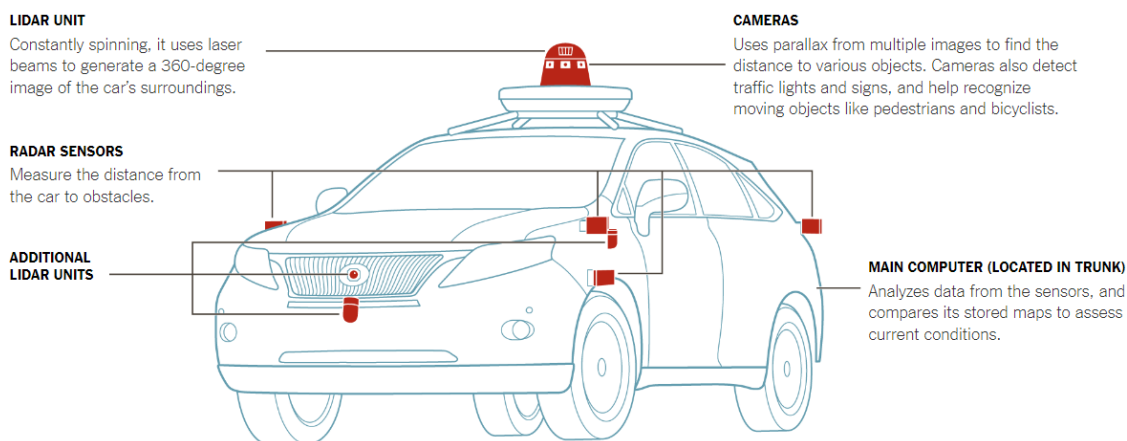


Figura 6 Tipica posizione dei sensori in un veicolo a guida autonoma destinato a servizi di tipo robo-taxi [28]

Tuttavia, esistono soluzioni di veicolo che sono specificamente ideate per il servizio di robo-taxi e che quindi hanno una configurazione diversa dal veicolo tradizionale per rendere più confortevole non solo il viaggio, ma anche la salita e discesa dal mezzo. Si cita il caso di Zoox, che propone un veicolo per 4 passeggeri ma disposti in modo non convenzionale, come indicato in Figura 7, già utilizzato per servizi erogati in forma sperimentale su strada in USA.



Figura 7 Veicolo Zoox (<https://zoox.com/vehicle/>)

L'attrattività dell'offerta verso il pubblico è strettamente collegata ai costi connessi e il confronto con altre modalità di mobilità, per questo motivo in una prima fase si prospetta una diffusione meno rapida dei robo-taxi. Ad oggi il costo per l'utente risulta elevato, infatti, oltre alle onerose spese per lo sviluppo delle tecnologie abilitanti, i fornitori devono fronteggiare importanti costi di gestione, come il mantenimento di centri di controllo remoto e la regolare manutenzione dei veicoli, di marketing e amministrativi.

Secondo l'analisi di McKinsey il costo per miglio di un robo-taxi potrebbe diminuire di oltre il 50% tra il 2025 e il 2030 (i costi del 2025 sono 2.25 volte maggiori di quelli previsti nel 2030). Si prospetta infatti una diminuzione dei costi della tecnologia abilitante e un miglioramento generale dei sistemi operativi, inoltre un'offerta su larga scala ridurrebbe le spese di gestione del servizio che come in tutte le fasi di avvio di nuove applicazioni sono generalmente elevate. Un tema centrale è il confronto con i taxi tradizionali, che comprendono il costo del guidatore, stimato circa al 60% del costo totale secondo l'Economist [29], ma richiedono spese di gestione meno elevate. Con la progressiva diminuzione di questa spesa i robo-taxi potrebbero raggiungere costi per l'utente inferiori ai taxi tradizionali. Bisogna comunque tenere conto dell'impatto sociale, in particolare sui lavoratori del settore, che la diffusione dei robo-taxi potrebbe avere e di eventuali provvedimenti governativi mirati a proteggere i servizi tradizionali (vedasi paragrafo 1.5).

Oggi diversi operatori nel settore dei veicoli automatizzati hanno attivato i loro servizi di robo-taxi principalmente negli Stati Uniti e in Cina (come riportato in Appendice D). Questo è dovuto principalmente alla presenza sul territorio di aziende specifiche del settore e alle autorizzazioni ricevute. Per i servizi di robo-taxi di fondamentale importanza sono le autorizzazioni concesse dalle commissioni statali di public utilities ai fornitori di servizi che regolano le modalità di offerta dal punto di vista commerciale e permettono una graduale crescita del settore preservando la sicurezza degli utenti, oltre che l'approvazione normativa dell'NHTSA (paragrafo 1.3).

Oltre ai servizi di tipo taxi il livello di automazione SAE 4 sembra essere diffuso per il trasporto pubblico locale, che in contesti urbani potrebbe adottare veicoli autonomi come mostrato da alcune esperienze pilota descritte in Appendice D. Queste esperienze mirano non solo a testare la sicurezza e l'efficienza dei veicoli, ma anche a valutare l'impatto sul pubblico e l'effettiva attrattività del servizio verso gli utenti. Nello studio [30] ad esempio si riporta un'analisi sui fattori che determinano l'opinione degli utenti su questa modalità di mobilità confrontando i dati raccolti in diverse città statunitensi. Dall'analisi emerge che gli utenti di città in cui sono stati lanciati progetti pilota di mobilità automatizzata sono in media più inclini a considerarne l'utilizzo. Si rileva inoltre che alcuni fattori, tra cui il livello di sicurezza percepito, la confidenza e l'interesse personale verso nuove tecnologie, hanno un impatto considerevole sul possibile utilizzo delle navette a guida automatica.

Un'applicazione interessante per la guida senza conducente è la **guida da remoto**, ovvero la guida di veicoli autonomi mediante un operatore che si trova in una posizione distante rispetto al veicolo stesso, generalmente in una centrale di controllo e si connette alle funzioni del veicolo utilizzando la rete cellulare (4G/5G). Questa tecnologia è usata principalmente in contesti non pubblici e senza interazione con altri veicoli tradizionali come magazzini, aeroporti, attività minerarie o agricole. L'utilizzo su strada pubblica è limitato da alcuni aspetti potenzialmente critici come la variabilità della connettività, che deve necessariamente rimanere stabile durante tutta l'operazione di guida a distanza, o la percezione non completa della situazione da parte del conducente remoto che può compiere manovre scorrette dovute a punti ciechi o alla consapevolezza limitata dell'ambiente circostante. L'applicazione della soluzione di guida a distanza nei servizi di trasporto urbano passeggeri (robo-taxi, robo-navette) o trasporto merci potrebbe essere di grande rilevanza, anche dal punto di vista economico per gli operatori del trasporto. Si pensi alle attività di riposizionamento di auto adibite ai servizi di *sharing*, che potrebbero essere riportate nei luoghi dove ci si aspetta maggiore utenza, senza ricorrere ai guidatori di servizio ma con operazioni da remoto. A tal proposito sono in atto diversi progetti che mirano ad aumentare la sicurezza della guida da remoto per una potenziale applicazione su strada pubblica attraverso la progettazione di sistemi anti-collisione e lo sviluppo di nuovi protocolli di connettività.

1.4.3 Proiezioni e stime di vendita delle automobili con assistenza e automazione della guida

Le previsioni di diffusione delle tecnologie di automazione nei veicoli possono essere anche molto differenti tra loro a riprova della mutevolezza e imprevedibilità dei fenomeni legati all'evoluzione dei veicoli. Questo può essere dovuto a diversi aspetti, tra cui sicuramente l'evoluzione tecnologica (es. utilizzo del Lidar), la normativa abilitante (es. omologazione ALKS, la convenzione di Vienna e l'obbligatorietà di alcuni sistemi), l'esperienza e la relativa diffusione della conoscenza dei benefici per la diffusione su tutto il mercato e infine la prudenza degli investimenti in nuove tecnologie se non supportate da un quadro normativo idoneo.

In Tabella 2 e Figura 8 sono riassunti i risultati delle proiezioni per la diffusione delle tecnologie di guida assistita e automatica di alcuni recenti studi (vedasi Appendice C per i dettagli), senza pretesa di esaustività. La diffusione del livello 3 sembra essere comunque contenuta al di sotto del 10% in tutte le stime tranne quando il quadro è limitato all'Europa per cui si raggiunge una percentuale anche del 21%. Tutti i pronostici sembrano concordare sull'ampia diffusione delle funzioni di guida di livello 2 al 2025 seppure con percentuali molto differenti (dal 22% al 59%). Percentuali comuni intorno all'1% per tutte le stime di diffusione delle funzioni di guida più automatizzate di livello 4 al 2025, con crescita contenuta comunque anche negli anni successivi.

Fonte	Livello SAE	% sulle autovetture vendute	Anno riferimento	Area
Accenture* ('Rebooting Autonomous Driving' (2020))	2	22	2025	Mondo
	3	1,3	2025	Mondo
	4	0,6	2025	Mondo
	2	60	2030	Mondo
	3	2,8	2030	Mondo
	4	1,8	2030	Mondo
Statista/McKinsey ('Global Level 2-4 autonomous vehicle sales: share of total vehicle sales'(2020))	2	59	2025	Mondo
	3	4	2025	Mondo
	4	0	2025	Mondo
	2	56	2030	Mondo
	3	5	2030	Mondo
	4	3	2030	Mondo
Roland Berger ('Advanced Driver-Assistance Systems: A ubiquitous technology for the future of vehicles ' (2021))	2	36	2025	US/EU/CN
	3	8	2025	US/EU/CN
	4	1	2025	US/EU/CN
	2	39	2025	Western EU
	3	14	2025	Western EU
	4	1	2025	Western EU
Auto2x ('21% of new cars in Europe to be highly-automated in 2025' (2021))	3	21,2	2025	EU
*include veicoli commerciali leggeri				

Tabella 2 Confronto tra alcune proiezioni di diffusione nel mercato automobilistico delle funzioni di guida SAE 2,3 e 4 al 2025 e 2030 (rielaborazione da [13], [31]–[33])

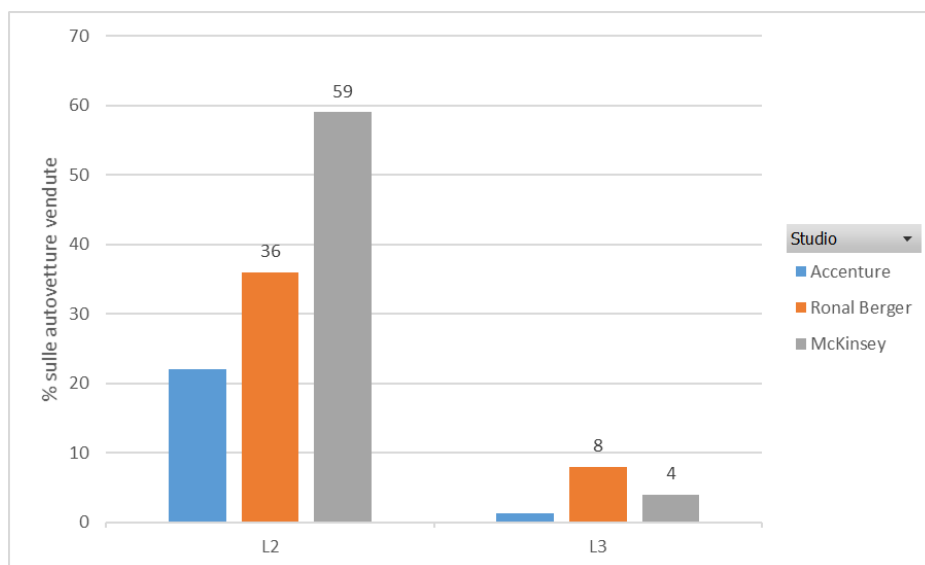


Figura 8 Confronto previsioni di diffusione dei livelli di automazione SAE L2 e 3 nel mondo nel 2025

Forse è possibile prevedere che le funzioni di guida di livello 3 abbiano lo stesso percorso evolutivo di quelle di livello 2. Queste ultime quando sono entrate nel mercato erano riservate ed opzionali spesso solo su modelli di autovetture di alta gamma (a metà degli anni '90 è stata introdotta una prima versione dell'ACC), per poi essere estese al mercato più ampio dopo anni di esperienza "sul campo".

1.5 Benefici e impatti prevedibili

1.5.1 Evoluzione dell'auto e sicurezza stradale

L'Unione Europea, come detto, ha introdotto l'obbligo di alcuni dispositivi di assistenza alla guida sui nuovi veicoli con lo scopo di ridurre l'incidentalità stradale. Poiché il 90% degli incidenti stradali in Europa è dovuto all'errore umano (94% secondo il dipartimento dei trasporti americano), le nuove tecnologie verso la guida autonoma sono una delle azioni per aumentare la sicurezza stradale [34], [35]. La Commissione Europea prevede che le misure proposte nel Regolamento (UE) 2019/2144 contribuiranno a salvare nel periodo fino al 2038 oltre 25.000 vite e a evitare almeno 140.000 lesioni gravi. Ciò contribuirà all'obiettivo a lungo termine dell'UE di avvicinarsi all'azzeramento degli incidenti mortali e delle lesioni gravi entro il 2050 ("Visione Zero") [24] che presumibilmente sarà difficilmente raggiungibile senza una buona diffusione e utilizzo degli ADAS. Secondo [36] l'effetto positivo sull'incidentalità stradale si vedrà nel momento in cui la diffusione di veicoli a guida autonoma sarà elevata, mentre nella fase di transizione l'effetto potrebbe essere marginale data la convivenza con i veicoli tradizionali. Tuttavia la percentuale di riduzione può essere valutata diversamente a seconda dell'attore: per esempio in Figura 9 è riportato il risultato di una campagna di interviste condotte da EY e Italian Insurtech Association (IIA) che fa emergere come siano più ottimisti gli operatori automotive e tecnologici e meno le compagnie assicurative, ad eccezione di Insurtech.

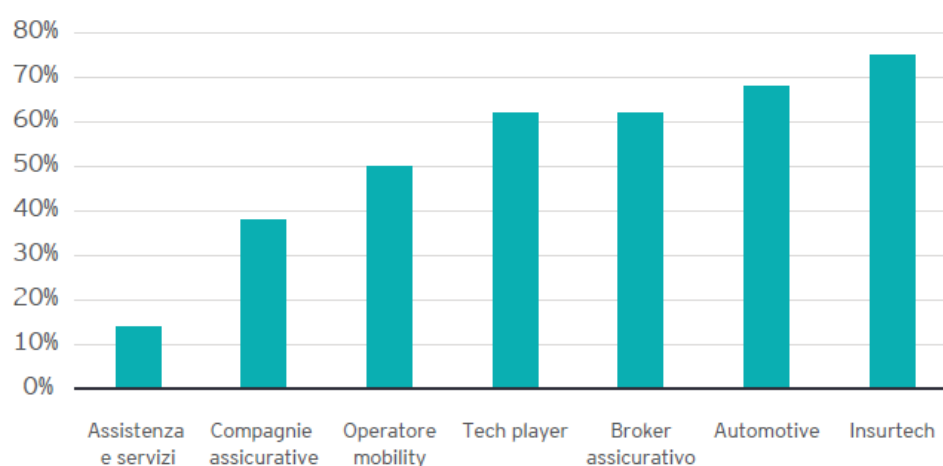


Figura 9 Percentuale riduzione incidenti per tipologia di azienda [36]

Gli studi in letteratura mostrano, attraverso diverse metodologie sperimentali che vanno dall'analisi dati dei casi di incidente alle simulazioni di traffico con gli indicatori surrogati di sicurezza, una quantificazione dei benefici sull'incidentalità stradale dovuti all'introduzione dei sistemi di assistenza alla guida nei veicoli (si rimanda agli studi per approfondimenti [6], [37]). Analizzare il beneficio del singolo sistema di assistenza alla guida è spesso difficile poiché un veicolo può essere dotato di più sistemi contemporaneamente. Inoltre, come dimostrato in [38], risulta fondamentale, per valutare la variazione dell'indice di sinistrosità, considerare l'esposizione al rischio, quindi includere nell'analisi i chilometri percorsi dalle vetture oltre alla numerosità di incidenti. Lo studio proposto, analizzando i dati da scatole nere per scopi assicurativi su un esteso dataset, ha dimostrato che la riduzione di incidentalità stradale dopo l'introduzione dell'obbligo del controllo elettronico della stabilità (ESC) è stata del 15-30%. La riduzione di incidenti raggiunge il 38% per la generazione di veicoli più recente, dopo l'introduzione della frenata automatica di emergenza (AEB), sebbene i vantaggi sulla sicurezza siano maggiori per i modelli di fascia superiore. Ulteriori benefici in termini di sicurezza sono prevedibili in un futuro con un'elevata presenza di veicoli autonomi nel traffico. Ad esempio nelle simulazioni

proposte da [39] emerge una frequenza inferiore di eventi potenzialmente pericolosi, identificati come situazioni in cui il parametro “tempo di collisione” (TTC) è minore di una determinata soglia.

Si evidenzia che una potenziale riduzione degli incidenti si può ripercuotere anche sui premi assicurativi. Infatti esistono già oggi prodotti assicurativi in cui il premio si riduce sulla base del numero e della tipologia dei sistemi di assistenza alla guida installati sul veicolo.

L'introduzione nei prossimi anni di veicoli a guida automatica nel mercato, in particolare quelli di livello 3 e 4, se registra benefici in ambito di sicurezza, dovuti alla riduzione dei tempi di reazione nella guida, dove si prevede una diminuzione di incidenti [40], della loro gravità e un minore coinvolgimento per gli utenti stradali più vulnerabili (pedoni, ciclisti), potrebbe generare un graduale processo di modifica delle caratteristiche del traffico stradale, con situazioni di traffico misto in cui i veicoli più evoluti potranno condividere la strada con veicoli tradizionali o con livelli di automazione inferiore. Infatti, nei veicoli con funzioni di livello 2 o 1 il ruolo del conducente, seppur con l'ausilio dal sistema automatico di guida, è fondamentale nel determinare sia il moto longitudinale del veicolo sia quello laterale e il comportamento su strada potrebbe differire da quello determinato dai sistemi automatici. L'analisi dell'impatto di questo fenomeno sul traffico è condotta, ad esempio, con tecniche di simulazione per riprodurre vari scenari ipotetici di penetrazione dei veicoli a guida automatica e focalizzandosi sugli effetti sulla fluidità delle condizioni di circolazione e sulla sicurezza. Da indagini condotte sul campo e riportate in [41] si osserva inoltre che le manovre di guida di L2 spesso sono impercettibili rispetto alla guida tradizionale anche da parte dei passeggeri del veicolo stesso. È auspicabile che si attivi un sistema di monitoraggio degli effetti sulla sicurezza di tipo avanzato, che tenga conto della natura degli incidenti e delle dotazioni tecnologiche del veicolo con un'analisi statistica degli incidenti approfondita, anche detta “*in-depth*”²⁰ che ha lo scopo di interpretare le cause e le modalità dell'incidente. L'analisi approfondita, secondo il codebook proposto da IGLAD [43], include informazioni sulla situazione dell'incidente, le caratteristiche dei veicoli e degli utenti coinvolti, i danni registrati a persone e cose e i sistemi di sicurezza disponibili e attivati. Questo approccio permetterebbe di valutare il ruolo degli ADAS nella mitigazione del rischio di incidenti e di identificare gli incidenti potenzialmente evitabili con il supporto dei sistemi di assistenza e controllo alla guida. Secondo la NHTSA i sistemi di sicurezza per assistenza alla guida avrebbero potuto influenzare annualmente circa il 62% degli incidenti (studio basato sugli incidenti avvenuti in USA dal 2011 al 2015) e dei decessi, il 60% dei feriti e dei relativi costi sociali. Più nel dettaglio lo studio [44] identifica il target medio di incidenti su cui alcuni sistemi ADAS selezionati, raggruppati in classi, potrebbero aver interesse (sulla base della tipologia di scenario). I sistemi per il mantenimento della corsia, ad esempio, avrebbero avuto un effetto su circa il 20% degli incidenti e sul 44% dei decessi che si sarebbero potuti evitare, mentre i sistemi di frenata automatica possono avere maggiore effetto sulla numerosità di collisioni (circa 30%) e sul numero di feriti (circa il 32%), ma incidono meno sul numero di decessi (4%), probabilmente per la minore gravità di questa tipologia di incidenti. In Italia, considerando i dati di incidentalità classificati per natura di incidente raccolti da ACI ISTAT²¹, le percentuali ottenute come media degli ultimi 10 anni confermano che i sistemi di sicurezza avrebbero potuto influenzare, considerando lo stesso approccio di [44], il 28% di incidenti frontali, 21% laterali e 11% di incidenti che coinvolgono i pedoni.

In una prima fase di diffusione dei veicoli autonomi, in cui è presumibile che rappresentino solo una parte dei veicoli presenti nel traffico stradale, non appaiono evidenti benefici. In questo scenario di traffico misto è importante, come detto, considerare l'interazione tra veicoli a guida autonoma e quelli tradizionali. A tale proposito, può essere utile riferirsi alle sperimentazioni in California che sembrano essere quelle più estese in USA. Nel 2022 i veicoli di Waymo hanno percorso più di 4,5 milioni di chilometri e sono stati registrati 71 incidenti con coinvolgimento di un veicolo in modalità guida autonoma attiva, mentre i veicoli di Zoox (al secondo posto in California per distanze percorse) hanno percorso meno di 900 mila chilometri con 30 incidenti registrati. Sebbene questi dati siano di estremo interesse, considerando che non vi sono molti esperimenti registrati su strada, dalla numerosità degli incidenti non è possibile estrarre comparazioni, in

²⁰ Esempi di banche dati di incidenti “*in-depth*” sono IGLAD (Initiative for the Global Harmonization of Accident Data) e NASS (National Automotive Sampling System) [42].

²¹ ACI Studi e ricerche - 2022.

quanto sarebbe necessaria, oltre alla normalizzazione dei casi rispetto all'esposizione al rischio, un'analisi dei singoli eventi, per valutare la gravità degli stessi e il ruolo del sistema automatico di guida caso per caso. In [45] si conferma che per confrontare la sicurezza del sistema di guida autonoma, che riporta anche i casi meno gravi, con le statistiche tradizionali di incidentalità sarebbe opportuno selezionare i casi analoghi. I risultati del primo milione di miglia percorse sembrano incoraggianti in termini di sicurezza, sia per la riduzione della frequenza di incidenti che della loro gravità rispetto ai veicoli tradizionali, ma si deve ricordare che l'ambiente nel quale i veicoli hanno viaggiato probabilmente non è comparabile con quello dei veicoli tradizionali per cui sono disponibili le statistiche ufficiali di incidentalità. Ad ogni modo, è stato notato come la maggior parte dei casi registrati sia causata da un errore umano, quindi da un veicolo tradizionale [46]. Questo dato evidenzia le difficoltà del veicolo a guida automatica nel comprendere alcuni comportamenti umani (manovre scorrette, velocità non ottimali) che non sono contemplati dall'intelligenza artificiale e quindi l'inevitabilità di un primo periodo di reciproco adattamento allo stile di guida. Sarebbe anche auspicabile che in una fase transitoria gli algoritmi di controllo delle funzioni ADAS e di guida automatica fossero tali da non essere distinguibili dai comportamenti di guida umani, sia per il comfort dei passeggeri sia per le reazioni dei guidatori di veicoli a guida umana [41].

1.5.2 I tempi di viaggio

Quando la penetrazione dei veicoli a guida autonoma avrà raggiunto un livello importante (60-70%) si rilevano importanti benefici per la circolazione stradale come tempi medi di viaggio ridotti in scenari di traffico congestionato o leggermente congestionato che diventano simili ai tempi di viaggio in *free-flow* per tassi di penetrazione elevate (>90%) [47]–[49]. Si stima inoltre un aumento della capacità stradale dovuto alla riduzione delle differenze di velocità di percorrenza tra i veicoli e al conseguente gap spazio-temporale ridotto mantenuto dai veicoli autonomi [50]. L'introduzione dei veicoli a guida autonoma potrebbe avere un notevole impatto sulla mobilità anche in ambito urbano. Si prevede che, in uno scenario urbano in cui sia raggiunta un'alta distribuzione di veicoli autonomi, la mobilità condivisa, sia tramite servizi pubblici di *car-sharing* o *robo-taxi*, sia per condivisione di veicoli privati nei nuclei familiari, diventi diffusa, generando in questo modo una riduzione del numero di veicoli circolanti, ma un aumento dei viaggi fatti da ogni veicolo [51]. Infatti, potendo questi veicoli viaggiare anche vuoti, potrebbero tornare nei luoghi di origine per effettuare ripetuti servizi di trasporto in orari diversi. Inoltre, il veicolo autonomo sarebbe accessibile a molti più utenti, considerando le categorie ad oggi escluse dalla guida di veicoli tradizionali (minorenni e altre persone non patentate), con un inevitabile aumento nel numero di viaggi. Possiamo quindi notare come l'impatto complessivo sulle condizioni di circolazione in ambito urbano presenta un'incertezza data da fattori che influenzano il fenomeno in maniera contrastante.

Le incertezze sulle previsioni riguardano anche come l'automazione dei veicoli può contribuire a ridurre il consumo energetico e le emissioni inquinanti, perché i veicoli con funzioni evolute di guida sono in grado di ridurre il consumo di energia, evitando le inefficienze dovute a comportamenti di guida aggressivi. Tuttavia, bisogna considerare anche possibili rischi per la sostenibilità ambientale. Ad esempio, la maggiore convenienza dei viaggi in auto potrebbe portare ad un aumento del traffico e dei livelli di congestione stradale, con impatti negativi sull'ambiente [52].

1.5.3 Gli spazi e la forma della città

L'introduzione dei veicoli autonomi avrà un importante impatto sui parcheggi, perché sono in grado di guidare da soli verso parcheggi distanti dal luogo in cui l'utilizzatore ha lasciato il veicolo [53]. Questo porterà ad un cambiamento nelle aree urbane ed in particolare nei centri cittadini, se saranno utilizzate le aree periferiche per la realizzazione di appositi parcheggi per veicoli autonomi, liberando così le aree centrali dalle automobili e dalle infrastrutture di parcheggio che potranno essere sfruttate in altro modo. Questo fenomeno renderà necessario anche una riprogettazione delle entrate degli edifici che dovranno permettere ai veicoli autonomi

di sostare brevemente per la discesa e salita dei passeggeri. Sarà quindi fondamentale predisporre apposite aree di salita/discesa in prossimità degli ingressi degli edifici. Nonostante i potenziali benefici, bisogna tener conto del conseguente aumento di chilometri percorsi dai veicoli, che dovranno, dopo aver lasciato l'utente, raggiungere e tornare dal parcheggio predisposto, e delle conseguenze ambientali. L'uso dei veicoli automatici potrebbe trovare impiego anche nella mobilità condivisa fra utenti. Invece di possedere un veicolo privato che rimane fermo per lunghe durate nella giornata, si potrebbe coordinare tra più utenti l'utilizzo di un singolo veicolo. Ciò potrebbe ridurre il numero di veicoli sulla strada compensando così l'aumento di chilometri percorsi per veicolo. Inoltre, questo tipo di mobilità potrebbe raggiungere costi sufficientemente bassi da diventare competitiva anche nei confronti dei trasporti pubblici di massa, che comunque prevalgono in termini di capacità di trasporto. Anche il sistema di trasporto pubblico probabilmente subirà una profonda trasformazione, con una struttura di servizi che andrà verso servizi non di linea, soprattutto nelle aree/ orari a bassa densità di domanda con un continuum di servizi che passa dal taxi al servizio condiviso con altri utenti con tempi e prezzi differenziati.

1.5.4 Il mercato del lavoro

L'evoluzione del veicolo e l'introduzione di nuove tecnologie a supporto dell'automazione rappresentano un elemento di notevole sviluppo tecnologico ed economico, ma, oltre agli impatti già descritti, potrebbero indurre conseguenze sulla società e sul mondo del lavoro coinvolto dall'innovazione. Un'analisi dell'automazione e digitalizzazione dei trasporti e le ripercussioni di tali fenomeni sugli utenti dei trasporti e sulla forza lavoro è condotta nell'ambito del progetto europeo WE-TRANSFORM²² che mira alla creazione di una piattaforma collaborativa fra gli attori coinvolti. Nel mercato del lavoro, in particolare, si prevedono trasformazioni sulla quantità di mano d'opera richiesta, sulle condizioni future di lavoro e sulle nuove competenze necessarie. Lo studio del fenomeno è basato sulla raccolta di informazioni e analisi esistenti sul settore dell'automazione dei trasporti, sugli impatti già sperimentati nella transizione digitale di altri settori come l'industria manifatturiera o edile e su studi riguardanti gli effetti sulla forza lavoro dell'automazione e dell'uso di intelligenze artificiali. Secondo l'analisi condotta uno degli effetti principali dell'automazione dei trasporti è la perdita di posti di lavoro. Una ragione si trova nell'alta quota di lavori, circa il 50%, che in breve tempo potrebbero non richiedere personale ed essere interamente svolti da funzioni basate su intelligenza artificiale. Un altro elemento è costituito dal livello di competenze richieste alla forza lavoro settoriale: nuove conoscenze di livello elevato saranno fondamentali per lavorare nel settore dei trasporti automatizzati. Ciò potrebbe penalizzare i lavoratori di età avanzata e con meno qualifiche a vantaggio di elementi con competenze più specifiche, con offerta di nuovi posti di lavoro. Si prevede una richiesta maggiore di lavoratori con competenze digitali e di "*problem solving*", mentre le mansioni che richiedono attività ripetitive e schematiche saranno ad alto rischio di utilizzo nei sistemi automatizzati. Questi elementi costituiscono contemporaneamente una barriera e un'opportunità per il settore, infatti, nonostante sia necessario tutelare i lavoratori penalizzati dallo sviluppo dell'automazione, si potrebbe osservare una crescita delle figure professionali con nuove prospettive di carriera nel settore dei trasporti.

1.5.5 I costi e le modalità di uso

Un altro impatto da analizzare con ripercussioni sulle modalità di diffusione dei veicoli a guida autonoma riguarda il loro costo totale di possesso e utilizzo (TCOU), ovvero la somma di tutti i costi privati relativi all'acquisto e all'utilizzo di un'auto durante il periodo di proprietà, che può variare in funzione del servizio di trasporto. Lo studio [54] analizza il costo TCOU per quattro categorie di trasporto, dal veicolo privato a guida manuale ai servizi a chiamata automatizzati e condivisi, passando per il veicolo privato autonomo e i servizi a chiamata autonomi non condivisi. L'analisi TCOU per veicoli di proprietà include i costi di acquisto del veicolo, l'ammortamento annuale, il carburante (o l'elettricità), l'assicurazione, la manutenzione e le altre spese di utilizzo connesse. Per i servizi di mobilità condivisa, il TCOU rappresenta la somma dei costi sostenuti

²² <https://wetransform-project.eu/>

dall'utente per usufruire del servizio. Uno dei maggiori costi non finanziari dei veicoli è il tempo speso alla guida, che è invece risparmiato per i veicoli a guida automatica in quanto possono sollevare il conducente dai doveri di guida, in modo che il tempo di guida possa essere speso per altre attività. Questo elemento, anche se complesso da stimare in termini monetari, è incluso nell'analisi in questione. In Tabella 3 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di costo monetario e del tempo di guida.

	Veicoli privati a guida manuale	Veicoli privati a guida autonoma		Servizi a chiamata automatizzati ad uso esclusivo		Servizi a chiamata automatizzati condivisi	
		convenzionale	elettrico	convenzionale	elettrico	convenzionale	elettrico
Costo monetario utente (€/miglio)	0.62	0.71	0.68	0.79	0.65	0.59	0.49
Costo tempo utente (€/miglio)	0.42	-40%	-40%	-20%	-20%	-10%	-10%

Tabella 3 TCOU in €/miglio per le diverse alternative incluse nell'analisi

Dai risultati dello studio emerge come il costo dei veicoli privati autonomi (incluso il risparmio del tempo di guida) potrebbe avvicinarsi a quello dei veicoli tradizionali nei prossimi anni. Interessante è anche la comparazione con le modalità di mobilità a chiamata autonoma che se condivisa risulta più conveniente del veicolo privato. La guida automatica con i servizi di livello 4 descritti nei paragrafi precedenti, come i robo-taxi, può essere un elemento a favore per la possibile futura transizione verso il concetto di *pay-per-use*, ovvero il pagamento del servizio in base al suo utilizzo effettivo, rispetto al tradizionale "possesso" del veicolo che comporta costi fissi che prescindono dal reale utilizzo.

1.6 Criticità e condizioni abilitanti

Il periodo transitorio in cui sulle strade ci saranno veicoli sempre più autonomi insieme ad altri tradizionali e a guida manuale potrebbe durare decenni e ci si deve attrezzare. Questa coesistenza potrebbe porre problemi di sicurezza e di gestione del traffico, se si considera che i veicoli a guida automatica dovrebbero rispettare le regole di circolazione assegnate, che spesso gli utenti sono abituati a reinterpretare, e spesso a non rispettare. Oltre ai classici limiti di velocità, spesso ritenuti eccessivamente prudenziali dagli automobilisti, si deve notare che oggi convivono sistemi con regolazione esplicita (ad esempio, i semafori) e sistemi che richiedono comportamenti di interpretazione e adattamento da parte degli utenti (ad esempio, la regolazione a precedenza e la circolazione a rotatoria in corsia larga, che viene reinterpretata e usata con file parallele di veicoli). Questi meccanismi di regolazione dovrebbero essere usati con cautela nel periodo transitorio in caso di traffico misto, mentre sarebbero da preferire sistemi di regolazione del traffico con logica esplicita che non lasci quindi spazio a interpretazione. Sono noti, ad esempio, alcuni casi di blocco della circolazione osservati in USA e causati da veicoli autonomi che non riuscivano ad entrare in autostrada, perché cercavano di rispettare le condizioni di prudenza prestabilite.

Permangono, anche in questa fase di transizione verso l'obbligatorietà dei già citati sistemi ADAS, le criticità, già evidenziate in [6], legate alle sfumature fra i sistemi, che potrebbero apparire simili agli utenti. Ad esempio ALKS (Automatic) e ELKS (Emergency) supportano la guida con riferimento al mantenimento della corsia, ma presentano differenze sostanziali, in quanto il primo agisce in modo continuo durante la guida mentre il secondo interviene soltanto per correggere situazioni potenzialmente critiche. Ricordando che ELKS sarà obbligatorio per le vetture immatricolate dal 2024, la scelta dell'utente finale verso il sistema analogo, ma più evoluto, potrebbe riscontrare altre difficoltà:

- La terminologia tecnica o commerciale che spesso è diversa tra produttori di veicoli ed in alcuni casi anche fuorviante, richiamando termini di automazione erroneamente. Per esempio, Euro NCAP nelle valutazioni dei “*Highway Assist Systems*²³” (SAE_Livello_2), include un giudizio sul nome che viene dato al sistema stesso. Se il termine include riferimenti all’assistenza (es. *assist* ...) ottiene il massimo punteggio, viceversa minimo se contiene riferimenti all’automazione (es. *pilot*, *auto*...). In questo contesto lo Stato della California ha varato una legge per la terminologia da utilizzare dai produttori di veicoli per gli ADAS di livello 2 SAE. Infatti, la legge SB 1398 del 2022 prevede che i costruttori forniscano informazioni dettagliate sul funzionamento dei sistemi di assistenza con controllo della guida di livello 2, esplicitando inoltre in maniera chiara le limitazioni previste, rendendo consci i guidatori di quello che l’auto può fare con la supervisione del conducente [55].
- Una mancanza di comunicazione reale dei benefici del singolo sistema e dei vantaggi di funzioni di guida di livello 2, che possano incentivare i conducenti nell’acquisto e di conseguenza nel regolare utilizzo durante i viaggi.
- Spesso i singoli sistemi sono inglobati in “pacchetti” di tecnologie di cui, in alcuni casi, non sono noti chiaramente i componenti. L’acquirente/conducente del veicolo non può, per esempio, facilmente comprendere se il sistema ISA di cui è dotato il veicolo utilizza la lettura della segnaletica stradale in tempo reale oppure i dati delle mappe precaricate.

Si intravedono quindi nuovi compiti che spetteranno al settore pubblico, che deve prepararsi ad omologare sistemi di automazione della guida con caratteristiche variegata e spesso basati su Intelligenza Artificiale con logiche che quindi non obbediscono a regole comportamentali fisse e non sono verificabili e riproducibili in un test di prova. Queste logiche di controllo evolute per giunta imparano e cambiano comportamento nel tempo.

Un aspetto fondamentale e non trascurabile è sicuramente quello della *cybersecurity* per cui si devono cercare soluzioni contro eventuali attacchi informatici, che possono introdurre una vulnerabilità delle tecnologie descritte in questo capitolo, ovvero coinvolte con l’automazione e connessione dei veicoli [51]. Dalle esperienze sembra che gli attacchi hacker in grado di colpire in modo esteso e contemporaneo flotte di veicoli autonomi e connessi non siano molto diffusi, probabilmente a causa dei criteri di progettazione molto differenti tra loro per i diversi modelli anche all’interno della stessa casa automobilistica [56]. Secondo le stime di [57] nel 2019 il numero di cyberattacchi sui veicoli connessi è stato di ben sette volte superiore alla stessa cifra del 2016, con un aumento del 99% degli incidenti dal 2018.

Gli attacchi informatici che possono colpire il veicolo sono generalmente di 4 tipologie [58]:

- *Safety*, ovvero l’attacco più critico che colpisce gli elementi indispensabili alla guida come freni, sterzo;
- *Operatività*, che colpiscono le funzioni come navigatore o condizionatore;
- *Privacy*, coinvolgendo i dati privati usati dal veicolo, quali geolocalizzazione, percorsi, lista chiamate, microfoni;
- *Finanziario*, che può avvenire per esempio in caso di furto del veicolo che ha memorizzato metodi di pagamento.

Con riferimento alla sicurezza informatica la norma UNECE di riferimento per le case automobilistiche e OEMs, che ambiscono alla creazione di un sistema di gestione della sicurezza informatica unico e condiviso, nonché alla definizione dei requisiti per tutto il ciclo di vita del veicolo, è la UN Regulation No. 155 - *Cyber security and cyber security management system*.

Se i sistemi di assistenza alla guida permettono una riduzione dei premi assicurativi, d’altro canto si aggiungono nuovi **rischi** come quello degli attacchi informatici appena citato, che invece compensano questa decrescita. Senza dimenticare che la componente tecnologica dei veicoli comporterà dei costi di riparazione e manutenzione probabilmente maggiori, poiché richiede l’intervento di officine specializzate, aumentando il costo totale del sinistro [36].

²³ Vengono valutati: *Speed Assistance*, *Adaptive Cruise Control Performance* e *Steering Assistance*.

Il veicolo ormai non ha più solo componenti hardware, anzi la parte software sembra diventare preponderante e quindi occorre chiedersi se anche l'omologazione non debba evolversi e diventare "dinamica" per stare al passo con gli aggiornamenti dei software. La seconda norma proposta da UNECE (UN Regulation No. 156 - *Software update and software update management system*) ha proprio l'obiettivo di definire disposizioni uniformi relative all'omologazione dei veicoli per quanto riguarda l'aggiornamento software. Quello che viene introdotto dal regolamento è il Certificato di conformità per il sistema di gestione degli aggiornamenti software (SUMS), valido per 3 anni a meno di ritiro. Il SUMS è "un approccio sistematico che definisce i processi e le procedure organizzative per soddisfare i requisiti per la distribuzione degli aggiornamenti del software". La casa automobilistica è tenuta a informare l'autorità di omologazione qualora vengano effettuate modifiche pertinenti al SUMS e in quel caso l'autorità valuterà se sono necessari nuovi controlli. Nell'articolo 7 del regolamento sono indicati i processi di verifica per la valutazione iniziale. Ad esempio, uno dei processi è quello che consente di identificare in modo univoco le informazioni relative a tutte le versioni software iniziali e aggiornate, compresi i dati di convalida dell'integrità, e i componenti hardware pertinenti di un sistema omologato.

Uno degli ostacoli principali alla diffusione di prodotti assicurativi dedicati alla guida autonoma è l'attribuzione della responsabilità in caso di incidente o di infrazioni del Codice della Strada. Infatti con l'aumento dei livelli di automazione le attività di guida passano dal conducente al veicolo, quindi la responsabilità può essere della casa automobilistica trattando il sinistro come un difetto di fabbrica o vizio di costruzione [59]. In questo caso comunque permane la complessità della questione poiché il ciclo produttivo è composto da fasi di responsabilità di diversi attori: chi scrive l'algoritmo e chi lo verifica, chi ne esegue la manutenzione, chi lo installa e chi si occupa degli aggiornamenti [60]. Per i livelli di automazione in cui il conducente ha l'obbligo di supervisione del veicolo, secondo [61] "si tratterebbe di una sorta di applicazione analoga dell'art. 2051 c.c. sui danni cagionati da cose in custodia: il soggetto non sarebbe più responsabile in quanto conducente del veicolo, bensì come custode dello stesso, potendo scagionarsi solo provando il caso fortuito".

Ad oggi non è stato definito un quadro normativo per questo tema seppure alcune case automobilistiche inizino a dichiarare esplicitamente la propria responsabilità in caso di guasto (es. Volvo e Audi). La *Law Commission* inglese²⁴ ha proposto il 26 gennaio 2022 un rapporto per introdurre un nuovo *Automated Vehicles Act* [62]. Tra le indicazioni viene trattata anche la regolamentazione della responsabilità in caso di incidente. In particolare, identifica come responsabile, ovvero chi affronterà le sanzioni, colui che ha ottenuto l'autorizzazione come "funzione di guida autonoma", quindi non più il conducente. Quest'ultimo risulta un utilizzatore (*user-in-charge*) comunque responsabile della guida quando il sistema lo richieda ed è comunque responsabile, ad esempio, di indossare le cinture di sicurezza.

Si intravede quindi anche per i veicoli con funzioni automatiche di guida un meccanismo di monitoraggio e sanzionatorio analogo a quello che attualmente è rivolto prevalentemente al conducente, ad esempio con il rilevamento delle infrazioni, che possono comportare la riduzione dei punti della patente, fino al ritiro, attivando un processo cumulativo degli effetti dovuti ad errati comportamenti di guida. In questi casi, non essendoci ancora una giurisprudenza consolidata, è prevedibile che caso per caso si valutino le responsabilità dei soggetti coinvolti per determinarne le responsabilità e le eventuali sanzioni. L'obbligatorietà dell'EDR a bordo dei veicoli per registrare il comportamento dei sistemi di assistenza alla guida in caso di incidente sarà sicuramente uno strumento utile, seppur il loro utilizzo è differente da quello delle comuni scatole nere assicurative (paragrafo 3.3.4).

Molte delle tecnologie descritte si basano anche sulla "lettura" dell'ambiente circostante al veicolo e soprattutto della segnaletica stradale verticale ed orizzontale. Il supporto al mantenimento della corsia ad esempio si attiva solo nel momento in cui la segnaletica orizzontale di delimitazione delle corsie è ben leggibile; oppure l'ISA può essere efficace se riesce a leggere i limiti di velocità dalla segnaletica verticale e associarli correttamente alle corsie di pertinenza (ad esempio, un caso tipico è la velocità indicata alle rampe in uscita dalle autostrade con velocità ridotta rispetto a quella della carreggiata principale), e ove non è possibile se usa

²⁴ Il Regno Unito non è tra i firmatari della Convenzione di Vienna.

le mappe precaricate e aggiornate per adeguare la velocità. Sembra quindi intuitivo che, affinché possano funzionare correttamente, gli ADAS debbano avere il supporto di una segnaletica stradale aggiornata (anche per effetto dei cantieri stradali) e adeguata (con linee di corsia ben delineate e la sostituzione o eliminazione dei cartelli obsoleti). In questo processo però devono essere coinvolti diversi attori, tra cui anche le amministrazioni di piccoli comuni, per esempio, che devono garantire la continuità dei servizi di manutenzione della segnaletica. Probabilmente sarà necessario gestire la frammentazione italiana della gestione della segnaletica stradale, che è a cura dei proprietari delle strade, affidando le funzioni di gestione e manutenzione ad un organo di più ampio livello (es. su scala provinciale o regionale) oppure ad un'autorità di controllo attualmente esterna al processo di manutenzione delle strade (paragrafo 3.2.1).

Gli organismi pubblici di controllo devono inoltre attrezzarsi per monitorare il comportamento sul campo dei veicoli e prendere provvedimenti se il risultato del monitoraggio evidenzia delle criticità che richiedono interventi correttivi. Nella situazione attuale, una versione semplificata di monitoraggio è attuata con il meccanismo della sanzione, con la sospensione della patente e la eventuale rieducazione alla guida. Strategie simili potrebbero essere trasferite anche nel caso di guida automatica, già a partire dal Livello 3, sfruttando le potenzialità del monitoraggio continuo per identificare eventuali lotti di veicoli non conformi.

In questo ambito, il ruolo degli organismi pubblici è fondamentale nell'adeguamento delle strade e della segnaletica, con una logica di classificazione dei contesti di guida che sia conforme agli ODD delle auto.

Fra le criticità da segnalare per i sistemi a guida automatica, in particolare per quelli adibiti a servizio di trasporto pubblico di robo-taxi vi è la scarsa accettazione da parte di alcune categorie di utenti, che potrebbero esercitare azioni di boicottaggio a scopo di protesta o di ostacolo alla diffusione dei nuovi servizi [63]–[66]. Si osservano azioni, condivise e promosse attraverso canali social, che puntano a immobilizzare i veicoli ponendo oggetti sugli stessi per neutralizzare i sensori, o di atti vandalici compiuti per danneggiare le dotazioni interne dei veicoli.

1.7 La percezione pubblica dell'evoluzione dell'auto. Indagine su un campione di Soci e utenti ACI

Il paragrafo riporta alcune prime evidenze di una indagine, in via di pubblicazione, realizzata dalla Fondazione Caracciolo nel 2023.

Obiettivo dell'indagine è quello di rispondere, attraverso le dichiarazioni dirette dei conducenti di autovetture, ad alcune domande che le trasformazioni in atto descritte in questo studio pongono, in termini di livello di conoscenza, d'uso, di percezione di sicurezza, di comfort e di sostenibilità ambientale e di accettazione delle nuove tecnologie. Si tratta di un campione “non casuale” di automobilisti sistematici particolarmente attenti e partecipi alle trasformazioni del mondo dell'automobile, con auto più nuove e maggiore presenza dell'elettrico, non particolarmente giovani, con forti aspettative sul ruolo della tecnologia e la capacità di risolvere i problemi. Ma proprio per questa ragione forse più interessanti per gli scopi di questo lavoro, perché rappresentano gli orientamenti di breve periodo della componente di automobilisti più informati. I sistemi ADAS hanno diversi livelli di disponibilità sulle automobili e quindi di utilizzo. Sono comunque significative le percentuali di automobilisti che “non usano consapevolmente” i sistemi avanzati pur disponibili, per diverse ragioni fra le quali spicca “l'abitudine al pieno controllo dell'auto”. Comunque una quota significativa ritiene “utile una maggiore formazione” su questi sistemi e la gran parte che siano “oggetto dei corsi di formazione per l'accesso alla patente”. Per quanto riguarda gli atteggiamenti verso l'auto elettrica solo il 22% ne ha guidata una e solo il 14% si dichiara interessato ad acquistarne una nei prossimi anni (comunque oltre tre volte la percentuale di acquisto reale) per ragioni connesse ai problemi di ricarica, durata e maggiore costo. Gli intervistati sono molto più interessati alle auto ibride non Plug-in, forse percepite come il miglior compromesso verso la decarbonizzazione del parco.

Lo studio si pone una domanda di fondo: se l'auto di domani sarà automatica ed elettrica, quando si vedranno realmente gli effetti di questa trasformazione?

L'indagine ha visto una larga partecipazione degli utenti coinvolti (soci ACI e utenti web ACI), registrando oltre **9.000 risposte complete**. Un successo per un'indagine piuttosto lunga e articolata. Il **53%** dei rispondenti ha dichiarato di essere **socio ACI** mentre il **47% solo utente registrato** al sito web ACI.

Il questionario strutturato, somministrato on-line, ha preso in esame tre campi di domande:

- 1) domande generali sul livello di conoscenza dei sistemi di assistenza alla guida (**ADAS**);
- 2) domande dettagliate e motivate sul livello di conoscenza e di uso consapevole di alcuni sistemi quali:
 - il Sistema avanzato di frenata di emergenza (Advanced Emergency Braking, **AEB**),
 - il Sistema di controllo della velocità di viaggio (Cruise Control, **CC**),
 - il Sistema di controllo adattivo della velocità di viaggio (Adaptive Cruise Control, **ACC**),
 - il Sistema di adattamento intelligente della velocità (Intelligent Speed Assistance, **ISA**),
 - il Sistema di emergenza per il mantenimento della corsia (Emergency Lane Keeping Assist, **ELKS**),
 - il Sistema per il mantenimento della corsia (Lane keeping Assistant, **LKA**);
- 3) domande sulla conoscenza, uso, opinione e intenzioni d'acquisto futuro **dell'auto elettrica**.

L'indagine ha previsto, inoltre, alcune domande che aiutassero a profilare meglio i rispondenti, in particolare con riferimento al loro "rapporto con l'automobile", per comprendere il livello di conoscenza e interesse per l'auto e di attenzione ai temi della sicurezza stradale e della sostenibilità ambientale, come possibili fattori rilevanti ai fini delle scelte d'uso e d'acquisto dell'auto.

Dopo aver illustrato alcuni dati sul profilo dei rispondenti, in questo paragrafo l'analisi si soffermerà sui dati relativi agli **ADAS**, mentre alcune osservazioni sul livello di accettazione e diffusione dell'auto elettrica verranno riportate nel paragrafo 2.2 (2.2.2.1).

Il campione

Il campione ha un'età media di circa 58 anni, con una larga prevalenza di genere maschile (il 91%) e un livello di istruzione (misurato tramite titoli di studio) pari, per circa il 50% dei rispondenti, al diploma, e per il 20% alla laurea magistrale.

Il 60% dei rispondenti è ancora occupato, sono lavoratori dipendenti a tempo pieno il 45%, lavoratori indipendenti il 13% e solo il 2% part time. Quasi il 37% è pensionato.

In termini di provenienza, la distribuzione è relativamente equilibrata tra Nord-Est (25%), Nord-Ovest (33%) e Centro (27%). Il Sud (10% circa) e le Isole (5% circa) sono le aree meno presenti nel campione.

I rispondenti al questionario sono dei **forti utilizzatori dell'auto**, dichiarano infatti di utilizzarla "tutti i giorni" l'**82%**, mentre la usano "una volta alla settimana o più" il **17%**.

L'auto che utilizzano con maggiore frequenza per i loro spostamenti è piuttosto recente, quasi il **43% dei rispondenti usa un'auto immatricolata meno di 5 anni fa** (0-4 anni) e il **31,4%** si sposta con un'auto che va **dai 5 ai 10 anni**.

Fasce anni età da immatricolazione	0-4 anni	5-10 anni	11-20 anni	21-30 anni	>30	
%	42,6	31,4	21,7	3,3	1,0	100,0

Tabella 4 Ripartizione per fasce d'età delle auto più frequentemente utilizzate, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

Il tipo di auto utilizzata con maggiore frequenza è un'auto **diesel** (il **43,5%**), seguita da un'auto a **benzina** (il **28,5%**); le **ibride benzina non Plug-in** sono utilizzate dal **13%** dei rispondenti, mentre l'auto a **GPL** dal **7,4%**.

Solo il **2,4%** dei rispondenti dichiara di usare un'auto **elettrica** per i propri spostamenti e l'**1,9%** indica le **Ibride Plug-in**.

Potrebbe indicare la tipologia di alimentazione dell'auto che utilizza con maggiore frequenza per i suoi spostamenti		
	n.a	%
Benzina	2.591	28,5
Diesel	3.952	43,5
Elettricità	220	2,4
GPL	669	7,4
Ibrida benzina	1.168	12,9
Ibrida diesel	86	0,9
Ibrida Plug-in	171	1,9
Metano	221	2,4
TOT	9.078	100,0

Tabella 5 Auto maggiormente utilizzate per alimentazione, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

Sono state inoltre somministrate alcune domande di auto-percezione del livello di conoscenza e interesse per le automobili. Sulla base di un elenco di affermazioni che vanno da un massimo di conoscenza e interesse ad un minimo, di chi considerata l'auto "solo un mezzo per spostarsi", i rispondenti dovevano indicare il livello di accordo/disaccordo su una scala a 5.

Gli utenti dichiarano di avere un elevato interesse per le automobili, il **50,4%** "**cerca costantemente informazioni**" sul tema (d'accordo e fortemente d'accordo) e il **50,3%** "**ritiene di sapere molte cose sulle auto**" (d'accordo e fortemente d'accordo). Quindi una platea di persone che dimostra di vedere nell'auto qualcosa in più rispetto all'essere "solo" un mezzo di trasporto. Il 62% risponde infatti di essere "fortemente in disaccordo" e in "disaccordo" con la voce "**So poco sulle automobili perché per me rappresentano solo un mezzo di trasporto**".

	Fortemente in disaccordo	In disaccordo	Né in accordo, né in disaccordo	D'accordo	Fortemente d'accordo
So molte cose al riguardo delle automobili	2,2%	8,7%	38,7%	35,7%	14,6%
Mi considero un esperto di automobili	6,2%	20,0%	44,1%	20,5%	9,1%
Il livello di conoscenza che ho circa le automobili è superiore rispetto al livello di conoscenza che hanno i miei amici o conoscenti	5,1%	16,3%	39,9%	27,0%	11,7%
Cerco costantemente informazioni sulle automobili	6,6%	15,5%	27,6%	38,2%	12,2%
Non mi interessano le automobili	37,4%	32,7%	22,0%	5,9%	2,0%
So poco sulle automobili perché per me rappresentano solo un mezzo di trasporto	32,8%	29,3%	19,5%	13,2%	5,1%
L'unica cosa importante per me è che mi possano portare da un punto A ad un punto B	34,4%	27,2%	18,6%	13,8%	5,9%

Tabella 6 Auto-percezione del proprio livello di conoscenza dell'auto, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

L'indagine ha cercato di raccogliere anche qualche informazione sul livello di accettazione delle nuove tecnologie e di percezione positiva o negativa del possibile contributo delle stesse per risolvere i problemi legati all'incidentalità stradale e alla sostenibilità ambientale.

Il rapporto con la tecnologia dei rispondenti consente di inquadrare meglio le risposte relative all'uso dei sistemi di assistenza alla guida ADAS, ma anche all'auto elettrica (si veda il 2.2.2.1). Anche in questo caso sono state sottoposte all'attenzione dei rispondenti alcune affermazioni, chiedendogli di indicare, in una scala che va da "Fortemente in disaccordo" a "Fortemente d'accordo", la loro posizione.

Pur avendo registrato percentuali significative nelle posizioni di mezzo (forse dovute a mancanza di informazioni), quasi il 67% ritiene che i problemi ambientali potranno essere risolti tramite le nuove tecnologie e il 38,6% grazie alla scienza moderna; così, anche i problemi di sicurezza stradale possono essere risolti dalle nuove tecnologie per il 62% dei rispondenti. Posizioni confermate dalle risposte attribuite alle asserzioni negative rispetto al contributo che le nuove tecnologie a supporto della guida possono avere sia in termini di sostenibilità ambientale sia di sicurezza.

	Fortemente in disaccordo	In disaccordo	Né in accordo, né in disaccordo	D'accordo	Fortemente d'accordo
La maggior parte dei problemi ambientali può essere risolta applicando tecnologie migliori e più avanzate	4,7%	8,1%	20,4%	43,8%	22,9%
La scienza moderna risolverà i nostri problemi ambientali	7,8%	15,5%	38,1%	29,9%	8,7%
La maggior parte dei problemi di sicurezza stradale può essere risolta applicando tecnologie migliori e più avanzate	4,2%	11,2%	22,4%	43,2%	19,0%
Le nuove tecnologie di guida impatteranno negativamente sull'ambiente	17,7%	37,5%	34,2%	7,4%	3,2%
I problemi di sicurezza stradale aumenteranno significativamente a causa delle nuove tecnologie di guida	22,1%	33,5%	28,5%	11,5%	4,4%

Tabella 7 Valutazione del livello di accordo/disaccordo rispetto ad alcune affermazioni relative al rapporto benefico/criticità tra nuove tecnologie e sostenibilità ambientale e sicurezza stradale, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

Gli ADAS

Rispetto alla generica conoscenza dei sistemi di assistenza alla guida, il questionario ha proposto ai rispondenti di indicare il proprio livello di conoscenza in una scala da 1 a 5, dove 1 è uguale a “non li conosco per niente”, e 5 è uguale a “li conosco molto bene”.

Solo il **10%** dei rispondenti ha dichiarato di “**non conoscerli per niente**” (1), e un altro **10%** “**ne ha sentito parlare ma non li conosce abbastanza**” (2), mentre quasi il **25%** ha indicato il **livello massimo di conoscenza** (5) e ben il **33,4%** ha dichiarato di conoscere “**abbastanza bene**” gli ADAS (4).

Si è voluto indagare il rapporto con i sistemi di assistenza alla guida per cogliere, oltre al livello di conoscenza, anche la presenza/assenza nel proprio veicolo e l'uso per scelta di questi strumenti. La lettura dei dati evidenzia un **approccio molto positivo ai sistemi di assistenza alla guida**, infatti:

- il **54,3%** dei rispondenti che conoscono gli ADAS ne fanno anche un uso consapevole (“**li conosco e li utilizzo consapevolmente**”);
- il **25,5%** pur conoscendoli, “**non li usa perché non sono presenti nella propria auto**”;
- solo il **9,3%**, pur possedendo un'auto dotata di questi sistemi, “**non li utilizza per propria scelta**”.

Il rapporto con i sistemi di assistenza alla guida (ADAS)	%
Non li conosco per niente	0,8%
Ne ho sentito parlare ma non li conosco abbastanza	10,1%
Li conosco ma non li utilizzo perché non sono presenti nella mia auto	25,5%
Li conosco, sono presenti nella mia auto ma non li utilizzo per mia scelta	9,3%
Li conosco e li utilizzo consapevolmente	54,3%
Totale	100%

Tabella 8 Livello di conoscenza e di uso degli ADAS in generale, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

Passando dal generale al particolare, l'analisi si è poi soffermata sul livello di conoscenza e accettazione di alcuni specifici ADAS. Si riportano di seguito alcuni dei dati emersi:

AEB – Per i sistemi di frenata avanzata di emergenza si registrano condizioni di **utilizzo consapevole** pari al **48,8%** dei casi e solo il **4,8%** rifiuta di utilizzarli per scelta. Il **36,7%** dichiara di possedere un'auto non dotata di questo sistema.

CC – Il sistema Cruise Control risulta essere tra i **più utilizzati** dal campione, con un valore pari al **59,5%** per la risposta **“li conosco e li utilizzo consapevolmente”**, rispetto ai valori registrati dagli altri sistemi di assistenza alla guida. Al contempo, presenta anche **le percentuali più alte di rifiuto consapevole (18,4%)** e di **manca della dotazione** nella propria automobile (**18,3%**).

ACC – Il sistema Cruise Control adattivo **non è utilizzato dal 43%** del campione perché **assente nell'auto di proprietà**. L'**11%** non lo utilizza per scelta, mentre il **34,5%** dichiara di essere un **utilizzatore consapevole** del sistema. Il **3,3%** non sa cosa sia.

ISA – Il sistema ISA **non è utilizzato dal 56%** dei rispondenti. Il **43,7%** non lo utilizza poiché assente all'interno del proprio veicolo e il **12,3%** non lo utilizza per propria scelta. Il **19,3%** non lo conosce **“abbastanza”** o **“per niente”**, mentre il restante **24,7%** lo conosce e lo usa consapevolmente.

ELKS – I dati riflettono un buon livello di conoscenza dell'ELKS. Una percentuale significativa di persone lo **utilizza consapevolmente (30,9%)**. Tuttavia, il **44%** dichiara di non utilizzarli **per assenza della dotazione** all'interno del proprio veicolo oppure **per propria scelta (12,2%)**.

LKA – Una percentuale considerevole conosce il sistema LKA ma **ha scelto di non utilizzarlo (14,2%)** oppure è impossibilitato a causa **dell'assenza del sistema nel proprio autoveicolo (39,6%)**. Il **34,8%**, invece, si dichiara **utilizzatore** del dispositivo. Solo un **11,4%** dichiara di non conoscerlo o non conoscerlo abbastanza.

	Advanced Emergency Braking (AEB)	Cruise Control (CC)	Adaptive Cruise Control (ACC)	Intelligent Speed Assistance (ISA)	Emergency Lane Keeping Assist (ELKS)	Lane Keeping Assistant (LKA)
Non li conosco per niente	1,3%	0,7%	3,3%	7,0%	3,9%	3,0%
Ne ho sentito parlare ma non li conosco abbastanza	8,3%	3,2%	8,2%	12,3%	9,0%	8,4%
Li conosco ma non li utilizzo perché non sono presenti nella mia auto	36,7%	18,3%	43,0%	43,7%	44,0%	39,6%
Li conosco, sono presenti nella mia auto ma non li utilizzo per mia scelta	4,8%	18,4%	11,0%	12,3%	12,2%	14,2%
Li conosco e li utilizzo consapevolmente	48,8%	59,5%	34,5%	24,7%	30,9%	34,8%
Totale	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabella 9 Livello di conoscenza e utilizzo di alcuni ADAS, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

L'indagine ha poi provato ad indagare i motivi di **coloro che hanno dichiarato di non usare per scelta gli ADAS** pur conoscendoli e avendoli nella propria auto. I rispondenti potevano selezionare da una a più opzioni o nessuna.

Tra i fattori di rifiuto per i singoli sistemi, la motivazione più frequente è il **“desiderio di avere il pieno controllo dell'auto”**.

	AEB	CC	ACC	ISA	ELKS
Desidero avere il pieno controllo dell'auto	57,9%	67,7%	61,1%	44,2%	56,6%

Mentre, le percentuali di chi ha risposto di non fidarsi in generale della tecnologia sono abbastanza basse per tutti gli ADAS proposti:

	AEB	CC	ACC	ISA	ELKS
Non mi fido della tecnologia	12,2%	6,1%	8,6%	4,8%	7,2%

L'analisi di dettaglio dei fattori considerati negati da chi rifiuta i singoli sistemi ha evidenziato inoltre che:

AEB - il **33%** ritiene che **“causi troppi falsi allarmi”**; il **22,8%** che **“effettui una frenata troppo brusca”** e il **21,8%** **“non riconosca alcuni ostacoli”**.

CC – il **16,9%** ritiene che **“comporti una perdita di piacere nella guida”** e il **10,4%** che **“distragga durante la guida”**.

ACC – il **26%** ritiene **“difficile comprenderne il funzionamento”** e il **23%** che **“comporti una perdita di piacere nella guida”**, il **12,4%** che **“distragga durante la guida”**.

ISA – il **33%** ritiene di **“riuscire a rispettare i limiti di velocità anche senza supporto”**, il **19%** che **“comporti una perdita di piacere alla guida”**, il **17%** ha paura che **“possano leggere i limiti di velocità in modo errato”**, l'**11%** che **“distragga durante la guida”**.

ELKS – il **29%** ritiene che **“causi troppi falsi allarmi”**, il **24,8%** che **“effettui una sterzata troppo brusca”** e il **15,5%** è **“infastidito dai segnali visivi e/o sonori”**.

Un altro importante fattore di rifiuto è dato dal **fastidio per gli allarmi, i segnali visivi e sonori** che causano anche **distrazione**, in particolare per l'**AEB (47,5%)** e per l'**ELKS (44,6%)**.

I fattori di rifiuto indicati mettono in evidenza soprattutto una **esigenza di formazione e maggiore esperienza d'uso** di questi strumenti, per non farsi cogliere impreparati durante la guida e, in alcuni casi, si rileva **poca fiducia nella tecnologia in rapporto alle infrastrutture circostanti**, oltre alla **paura di una perdita di piacere durante il viaggio**.

Formazione e Informazione sui Sistemi di Assistenza alla Guida

Abbiamo voluto chiedere ai rispondenti se parteciperebbero ad un corso di formazione sull'utilizzo corretto dei sistemi di assistenza alla guida e se rilevano la necessità di integrare informazioni sugli ADAS nei corsi per la patente.

Pur avendo registrato percentuali elevate tra i rispondenti di conoscenza degli ADAS, si riscontra una positiva risposta (il **44%**) rispetto alla possibilità di **integrare le proprie informazioni** tramite **un corso di formazione per un uso corretto dei sistemi di ausilio alla guida**. Tuttavia, c'è anche un numero significativo di persone (il **26,9%**) che non parteciperebbe a corsi di formazione.

Parteciperebbe a un corso di formazione sull'utilizzo dei sistemi di assistenza alla guida (ADAS)?	%
Sì	44,1%
No	26,9%
Non so	29,0%
Totale	100%

Tabella 10 Disponibilità a partecipare ad un corso di formazione su ADAS.

Particolarmente sentita è invece l'esigenza di **integrare i corsi per la patente di guida** con informazioni sull'uso degli ADAS (il **77,7%**).

Ritiene necessario integrare queste conoscenze nei corsi per la patente?	%
No	12,1%
Non so	10,1%
Sì	77,7%
Totale	100%

Tabella 11 Necessità di integrare informazioni su ADAS nei corsi per la patente.

2 LA SOSTENIBILITÀ NELL'AUTO DI DOMANI

Se l'automazione migliorerà gli standard di sicurezza e il comfort di viaggio, l'elettrificazione sembra essere considerata dai decisori pubblici, in particolare a livello europeo, la principale leva di azione dei processi di riduzione delle emissioni, in un cammino che tuttavia non si preannuncia né semplice, né veloce. La complessità è legata a più fattori: allo stadio di maturità tecnologica delle batterie, alla disponibilità su larga scala delle materie prime, alla mancanza di una rete capillare di ricarica sul territorio, alla generazione e al consumo dell'energia; la velocità è legata anche ai fisiologici tempi di rinnovo del nostro parco circolante, in cui la percentuale di veicoli elettrici, nonostante la crescita registrata negli ultimi anni, è ancora allo 0,4%. Criticità di cui tiene conto il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, recentemente aggiornato e inviato dal Governo alla Commissione europea, nel mese di giugno 2023. Un Piano che stabilisce, sulla base delle indicazioni europee²⁵, gli obiettivi nazionali relativi alla riduzione delle emissioni di gas serra, al rafforzamento della sicurezza energetica e all'incremento delle fonti rinnovabili, disegnando una roadmap, realistica e sostenibile, anche in termini economici e sociali, delle misure utili al raggiungimento dei target, intermedi e finali al 2030, di carattere generale e, per quanto ci riguarda, relativi al settore dei trasporti.

Se l'obiettivo delle politiche elaborate nel nuovo Piano prevede un incremento delle rinnovabili fino alla copertura nel 2030 del 40% del consumo lordo finale complessivo di energia (mentre per il consumo della sola energia elettrica l'obbligo previsto è del 65%), la traiettoria disegnata per il settore dei trasporti prevede al 2030 un incremento di circa due punti percentuali all'anno per la quota di energia da FER nei consumi finali lordi, superando l'obiettivo in precedenza fissato al 29%, e raggiungendo il valore del 31% di consumo di energia rinnovabile, secondo i criteri di calcolo della Direttiva RED III. Il Piano Nazionale evidenzia come l'utilizzo di più vettori energetici consentirà di traguardare gli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione e come, oltre all'elettrificazione diretta dei trasporti, un importante ruolo sarà svolto dai biocarburanti, soluzione chiave per la decarbonizzazione del parco circolante esistente. Come nei precedenti studi della Fondazione Caracciolo, anche qui verrà messa in evidenza l'importanza di una valutazione complessiva del consumo energetico e di quello da fonti rinnovabili per una pianificazione sostenibile delle misure a sostegno della transizione ecologica della mobilità.

2.1 La situazione del parco veicolare in Italia

I dati sulla composizione del parco circolante ci riportano alla realtà e da qui appare doveroso partire nella valutazione di qualsiasi scenario sul "parco autoveicoli di domani". Se è importante guardare al futuro e all'auto che si vorrebbe promuovere per raggiungere i target ambientali, lo è altrettanto concentrarsi sullo stato dell'arte di un parco autoveicoli costituito ancora per il 96% da ICEVs²⁶ e sull'evoluzione storica di rinnovo dei veicoli più vecchi, altamente inquinanti, ancora presenti in percentuali significative nella nostra flotta (il 39,4% con oltre 15 anni e il 59% se si considerano quelli con oltre 10 anni di età). Un'analisi che deve obbligatoriamente tener conto del contesto socio-economico del Paese e delle contingenti criticità a livello locale, nazionale ed extranazionale, per muovere misure efficaci in termini di sostenibilità.

²⁵ L'Europa, con il *Pacchetto per la neutralità climatica Fit for 55* e il *RePowerEU*, ha voluto, da un lato, incrementare gli obiettivi di riduzione delle emissioni del 55% al 2030, fino alla neutralità carbonica al 2050, e, dall'altro, ridurre la dipendenza energetica dalla Russia attraverso l'incremento delle fonti rinnovabili, l'efficientamento energetico e la diversificazione delle fonti.

²⁶ Nel calcolo sono state escluse le autoveicoli ibride elettriche.

2.1.1 Il parco circolante autovetture e i dati sulle radiazioni

Come emerge dalla Tabella 12, quasi un terzo delle autovetture in circolazione è di classe Euro 3 o di classi precedenti. Un valore che desta preoccupazioni notevoli in termini di sicurezza stradale e inquinamento. Più volte nei lavori della Fondazione Caracciolo sono stati messi in evidenza i limiti ambientali e di sicurezza delle motorizzazioni più vecchie, che possono avere *performance* emissive anche 30 volte peggiori rispetto a quelle moderne (ad esempio nel confronto sul PM10 fra Euro 6 e Euro 0) e, nel contempo, presentano un rischio di incidentalità e lesività più che doppio (un veicolo con più di 10 anni di età presenta, a parità di km, più del doppio delle probabilità di rimanere coinvolto in un incidente stradale).

	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Elettriche	ND	Totale (n.a.)
2019	9,2%	2,5%	8,4%	12,3%	26,9%	17,6%	22,8%	0,1%	0,1%	39.545.232
2020	9,1%	2,3%	7,7%	11,4%	25,8%	17,4%	26,2%	0,1%	0,1%	39.717.874
2021	9,0%	2,2%	7,0%	10,3%	24,4%	17,1%	29,7%	0,3%	0,1%	39.822.723
2022	8,9%	2,1%	6,4%	9,5%	23,3%	16,7%	32,6%	0,4%	0,1%	40.213.061

Tabella 12 Parco circolante autovetture per standard Euro negli anni 2019, 2020, 2021, 2022 (val. %) (Fonte dati ACI)

Nonostante questi limiti, non si può non constatare come il processo di rinnovo del parco si modifichi molto lentamente.

La Tabella 13, che illustra le percentuali del radiato per standard Euro sul totale radiato nel 2022, evidenzia valori di sostituzione più elevati tra i veicoli con classi emissive più performanti (Euro 4, in particolare, ma anche Euro 5 e 6).

	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	NC/ND	TOTALE
%	1,33	2,40	17,73	25,87	34,67	8,12	7,44	2,44	100,00

Tabella 13 Autovetture radiate per standard emissivo nel 2022 (% sul totale radiato) (Fonte dati ACI)

Anche considerando i dati relativi al radiato per classe emissiva rispetto al parco circolante corrispondente (stesso standard Euro), nella Tabella 14, sebbene nel 2022, ad eccezione delle Euro 0 ed 1, si siano registrate percentuali più elevate tra i veicoli più vecchi, risulta ancora significativa la loro presenza nelle strade italiane. Infatti, nel 2022 il 18% del parco autovetture è costituito ancora da veicoli Euro 1, 2 e 3 (con le Euro 0 si arriva al 27%).

Politiche di incentivazione, strutturali e non emergenziali, alla sostituzione anche con Euro 6, performanti in termini sia di riduzione delle emissioni nocive, sia in termini di maggiore sicurezza stradale e già presenti sul mercato, consentirebbero di facilitare il raggiungimento dei traguardi ambientali e sanitari in modo più equo ed economicamente più sostenibile (anche tenendo conto, come si vedrà più avanti, che i veicoli a combustione interna di ultima generazione sembra possano utilizzare, senza modifiche, i nuovi carburanti green²⁷).

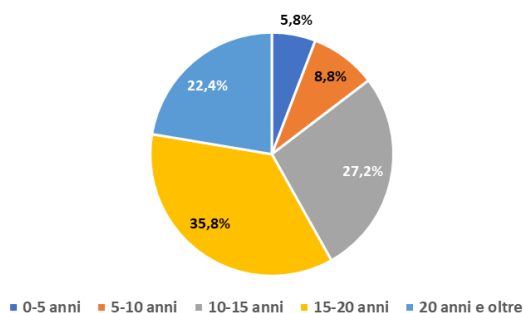
²⁷ Come confermato anche nel PNIEC – giugno 2023.

	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	NC	ND	TOTALE
AV 2021	3.582.374	877.428	2.772.608	4.107.621	9.712.345	6.795.891	11.834.515	118.034*	21.907	39.822.723
AV Radiate 2022	14.002	25.156	186.074	271.609	363.911	85.234	78.122	25.620**	23	1.049.751
% AV Radiate 2022 su parco AV 2021	0,39	2,87	6,71	6,61	3,75	1,25	0,66	21,71	0,10	

Tabella 14 Autovetture radiate per standard Euro nel 2022 in rapporto al circolante corrispondente (stessa classe emissiva) nel 2020
(Fonte dati ACI) *Auto elettriche ** A metano, GPL, elettriche

Una valutazione attenta dei dati storici delle radiazioni per fascia d'età (Figura 10) mette in evidenza come una percentuale significativa di veicoli radiati (oltre un quarto) abbia un'età compresa tra i 10 e i 15 anni di età e che la quota più elevata di radiazioni sul totale radiato riguardi i veicoli della fascia 15-20 anni. L'analisi dei dati degli ultimi 10 anni porta a presupporre che il processo di sostituzione dei veicoli più vecchi sarà molto più lento di quanto si possa pensare. Tale analisi fa supporre che anche dopo il 2035, anno del previsto bando delle auto termiche dal mercato, il parco circolante sarà costituito ancora per più del 50% da veicoli termici. Una strategia eco-razionale, tesa al raggiungimento dei target ambientali, deve considerare soluzioni, che accompagnino il futuro passaggio all'elettrificazione dei veicoli, che consentano di ridurre le emissioni dei veicoli circolanti da qui al 2050.

Radiazioni AV per fascia di anzianità (media anni 2013-2022) – val. %



Parco circolante AV per fascia di anzianità (2022) – val. %

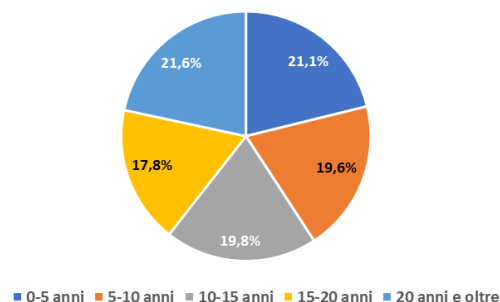


Figura 10 Media radiazioni autovetture per fascia d'età (anni 2013-2022) e parco circolante autovetture per fascia d'età (2022)

2.2 Auto elettrica: le prospettive di crescita nel medio periodo

Dopo un lungo periodo di attesa, nell'ultimo triennio, il mondo delle autovetture elettriche a livello europeo sembra diventato realtà. Secondo gli ultimi dati dell'ACEA (Associazione Europea dei Costruttori di Automobili), nel mese di giugno del 2023 le auto elettriche, con una quota di vendite passata dal 10,7% del giugno 2022 al 15,1%, hanno superato per la prima volta le vendite di auto diesel, raggiungendo valori importanti per una tecnologia assolutamente emergente e promettente. Un mercato trascinato soprattutto dall'incremento registrato nei Paesi Bassi, in Germania e in Francia. In Italia, la quota di vendite di BEV si attesta ancora al 4,4% (quindi molto lontana dalle vendite delle diesel), mantenendo una presenza ancora embrionale in termini di presenza all'interno del parco in circolazione (0,4%).

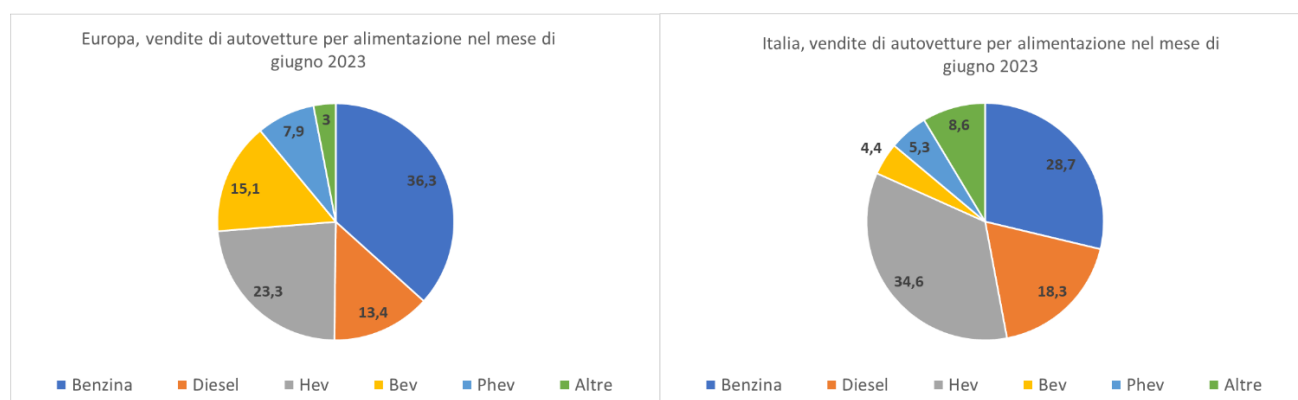


Figura 11 Vendite autovetture per alimentazione nel mese di giugno 2023, Europa e Italia (Val. %) (Fonte: ACEA, 2023)

L'avanzamento tecnologico, i programmi industriali di molte case automobilistiche, la necessità di contenere le emissioni climalteranti lasciano supporre un avanzamento costante e definitivo delle motorizzazioni. La *dead line* di questo processo, condizionata anche in parte dalla normativa europea, riguarda questo risultato in un periodo compreso fra il 2030 e il 2035, ma come si è visto questo è un risultato che interessa soltanto "il nuovo". Nonostante molte case automobilistiche abbiano dichiarato di avere in programma il passaggio al solo elettrico anche prima del 2035 (Tabella 15), è verosimile che gli effetti di questa transizione su larga scala non riguardino il breve periodo.

Gruppo industriale	PROGRAMMI DICHIARATI
Gruppo Stellantis (Fiat, Chrysler, Dodge, Maserati, Alfa Romeo, Lancia, Opel, Peugeot, Citroen, DS)	nel 2030 venderanno in Europa il 100% di auto elettriche ed il 50% negli Stati Uniti.
Renault	solo auto elettriche a batteria entro il 2030
Dacia e Alpine	soli modelli elettrificati entro il 2026
Nissan	solo auto elettriche a batteria entro il 2030
Toyota	30 nuovi modelli elettrici entro il 2030
Lexus	solo auto elettriche a batteria entro il 2035
Volvo	solo auto elettriche a batteria entro il 2030
Audi(Gruppo Volkswagen)	solo auto elettriche a batteria entro il 2033
Lamborghini	elettrificare con modelli ibridi l'intera gamma di sportive entro la fine del 2024
Mercedes	solo architetture 100% elettriche dal 2025
Jaguar	solo auto elettriche a batteria entro il 2025
Bmw	intende vendere 10 milioni di elettriche nei prossimi dieci anni
Mini	solo auto elettriche a batteria entro il 2030

Tabella 15 Programmi industriali lanciati dalle case automobilistiche nelle dichiarazioni stampa (Fonte: raccolta articoli stampa web 2022, Fondazione Caracciolo)

Nel periodo intermedio e per molti anni dopo il 2030, rimane sullo sfondo l'esigenza di eliminare il più velocemente possibile i veicoli più vecchi, con una priorità rigorosa che parta dai più inquinanti, ossia dai veicoli con più di 20 anni. Se gli attuali limiti legati all'autonomia o al prezzo possono essere un ostacolo, è fondamentale avere un approccio di neutralità tecnologica, promuovendo soluzioni già oggi molto efficienti e a basso costo, quali sono ad esempio i veicoli HEV (*Hybrid Electric Vehicle*), che ricaricano autonomamente la batteria con l'energia elettrica recuperata in fase di decelerazione e producono emissioni relativamente ridotte rispetto a un veicolo a trazione endotermica, e che hanno visto una crescita significativa nel mercato

europeo e italiano nel primo semestre 2023 (+28% in Europa e +30% in Italia²⁸) o i PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), più costosi, ricaricabili mediante le infrastrutture esterne, che garantiscono decine di chilometri di autonomia in trazione elettrica.

Il processo di rinnovo del parco avviene lungo l'arco di più decenni e, in questa prospettiva, anche l'aumento significativo nelle vendite di veicoli ibridi o elettrici è oggi quasi impercettibile negli effetti sul parco. In particolare, come mostrato in Tabella 16, l'aumento considerevole (in parte indotto dalla generosa politica di incentivi pubblici) dei veicoli elettrificati di questi ultimi anni (anche se nel 2022 si registra una flessione delle prime immatricolazioni elettriche rispetto al 2021) non si riflette in valori assoluti sul parco circolante, rappresentando solo lo 0,4% del totale, e i veicoli ibridi meno del 4%. Elemento che rinforza la necessità di incrementare gli sforzi e gli investimenti per lo sviluppo della produzione e diffusione di combustibili *carbon neutral*, che, come si vedrà più avanti, possono essere utilizzati dai veicoli termici di ultima generazione.

	2019		2021		2022	
	Immatricolato	Parco circolante	Immatricolato	Parco circolante	Immatricolato	Parco circolante
BENZINA	45,66%	45,96%	31,72%	44,71%	28,19%	43,99%
BENZINA E GAS LIQUIDO	7,02%	6,51%	7,12%	6,99%	8,87%	7,21%
BENZINA E METANO	1,97%	2,44%	2,09%	2,47%	0,05%	2,56%
GASOLIO	40,03%	44,17%	22,66%	42,92%	19,58%	42,10%
ELETTRICITÀ	0,54%	0,06%	4,55%	0,30%	3,70%	0,39%
IBRIDO BENZINA	4,08%	0,80%	27,96%	2,33%	34,23%	3,44%
IBRIDO GASOLIO	0,69%	0,05%	3,90%	0,26%	4,67%	0,43%
NON DEFINITO	0,01%	0,01%	0,00%	0,02%	0,00%	0,01%
TOTALE (val %)	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
TOTALE (val assoluti)	1.949.554	39.545.232	1.519.936	39.822.723	1.335.690	40.213.061

Tabella 16 Immatricolato e Parco veicolare autovetture per alimentazione. Anni 2019, 2021 e 2022 (val. %) (Fonte: ACI)

Sulla base degli scenari di evoluzione del parco circolante recentemente presentati dal Mims nel Documento di indirizzo strategico per la mobilità e la logistica [67] si stima: secondo uno scenario “prudenziare”, al 2030, un parco circolante autovetture costituito per il 3% da BEV e il 23% da HEV; mentre in uno scenario “ottimistico”, che vede la sostituzione del 48% delle auto da qui al 2030, una presenza di auto a batteria pari al 12% del parco circolante e un più consistente 27% di HEV.

Negli scenari al 2030 presentati dal Politecnico di Milano [68] si passa da un 11% di auto elettriche (BEV+ Plug-in) – in una ipotesi *Business as Usual*, che prevede “uno sviluppo «inerziale» rispetto agli attuali trend in atto, senza l'introduzione di provvedimenti di *policy*” – ad un 17% (in uno scenario incentivato per il raggiungimento dei target Pniec di 6,6 milioni di auto elettrificate, di cui 4,3 milioni di veicoli elettrici puri (BEV) fino ad uno scenario estremo di “*full decarbonization*”, con un 23% di auto tra BEV e Phev, in un parco circolante ridotto del 9% rispetto all'attuale (in tutti gli scenari).

In entrambe le pubblicazioni appare evidente che la presenza di veicoli termici nei prossimi anni, e ben oltre il 2030, sarà ancora consistente, da un massimo stimato del 95% (comprese le HEV) ad un minimo di circa il 77% negli scenari citati. Uno zoccolo duro che continuerà a circolare, in particolare nelle regioni più povere, anche tenendo conto dell'ipotesi di bando delle termiche dal nuovo immatricolato nel 2035.

²⁸ Dati ACEA, European Automobile Manufacturers' Association, 2023.

2.2.1 È vero progresso quando una tecnologia è per tutti [Henry Ford]

La diffusione dei veicoli elettrici è stata per anni frenata da una serie di limiti tecnologici (tempi di ricarica, autonomia) e di costi di produzione. Limiti che ancora oggi non rendono queste vetture per tutti. Nel tempo sono stati compiuti molti passi avanti, ma su alcuni aspetti, ad esempio quello legato alla spesa per la produzione delle batterie e dei veicoli in generale, persiste ancora un divario importante di costo di realizzazione fra le vetture endotermiche e quelle elettriche. Tra i 5 modelli di veicoli più venduti, il prezzo medio di listino di un'auto elettrica è di quasi 35.000 Euro contro i circa 23.000 di un'auto termica (Tabella 17).

La serie storica dell'ultimo decennio, caratterizzata da un calo significativo e costante nei costi di produzione delle batterie, lasciava supporre che questo divario potesse ridursi rapidamente; i pronostici, quantomeno nell'ultimo anno, si sono tuttavia schiantati contro l'aumento generalizzato dei costi energetici e delle materie prime, aspetti che sui veicoli elettrici molto più che su quelli termici giocano un ruolo cruciale sulla determinazione del prezzo finale.

Tipologia di modelli per fascia di incentivo	BEV CO2 0-20	Ibridi Plug-in CO2 21-60	Ibridi HEV CO2 61-120	ICEV CO2>100
Prezzo minimo di listino	25.210	40.700	15.500	11.500
Prezzo massimo di listino	46.990	50.250	28.050	35.020
Prezzo medio di listino	34.886	45.460	20.890	22.824

Tabella 17 Prezzo di listino minimo, massimo e medio delle prime 5 autovetture più vendute nei primi sei mesi del 2023 fra elettriche a batteria (BEV), ibride Plug-in (PHEV) e ibride (HEV) (Fonte: Fondazione Caracciolo da dati UNRAE e listini case automobilistiche)

Un divario così consistente, pur parzialmente compensato dagli incentivi all'acquisto, rende la scelta fra veicoli un'opzione caratterizzata da una forte discriminante economica, con un divario che appare ben evidente nel confronto regionale.

Le regioni a più alto reddito pro capite (> 30.000 Euro) presentano una percentuale di veicoli elettrici a batteria circa cinque volte più elevata rispetto a quella presente nelle regioni con reddito pro capite inferiore a 25.000 Euro (Figura 12). Così come, in parallelo, le regioni con PIL pro capite più basso hanno anche percentuali di veicoli Euro 6 sul totale del proprio parco che non superano il 23% (dato molto più basso della media italiana pari al 32,6%) (Figura 13). Il Mezzogiorno conta in media meno del 22% di auto Euro 6. L'incremento del nuovo immatricolato elettrico (BEV e PHEV) rischia di non avere l'effetto desiderato di totale sostituzione dei veicoli termici, poiché questi ultimi troveranno maggiore spazio e diffusione nel mercato dell'usato soprattutto nelle regioni più povere.

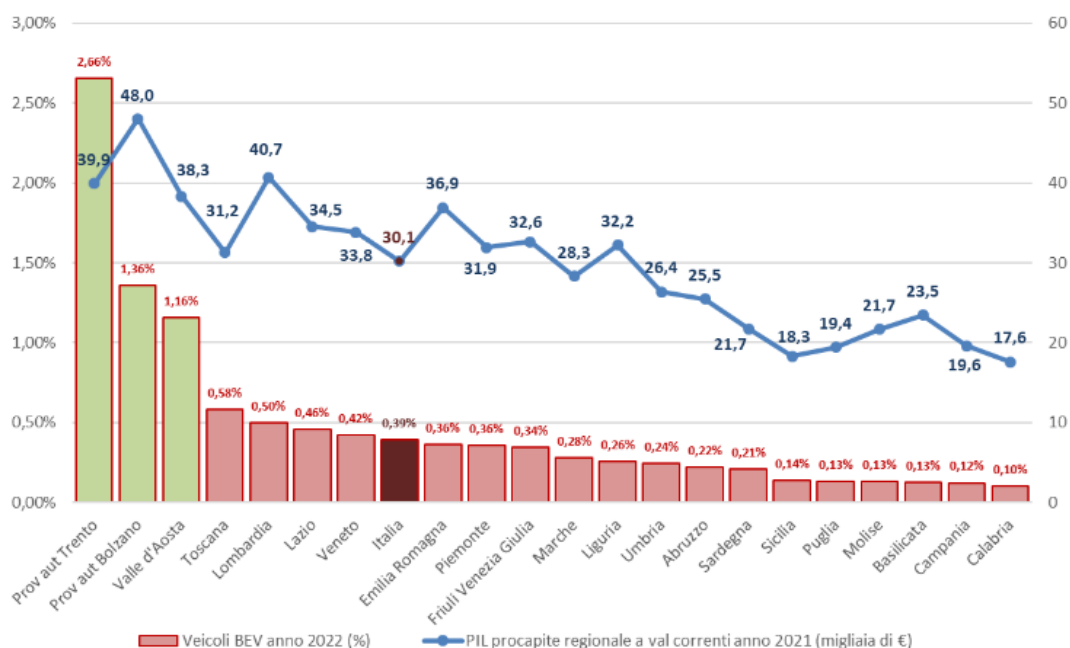


Figura 12 Distribuzione Pil pro-capite a valori correnti (in migliaia di euro) e quota autovetture ad alimentazione elettrica (val. %) per regione* (Fonte: ACI e ISTAT)

* Per evitare possibili distorsioni nella lettura dei dati, i dati della regione Valle d'Aosta e delle province autonome di Trento e Bolzano sono riportati in colore diverso per sottolineare il differente regime di tassazione praticata negli ultimi 10 anni sull'immatricolazione dei veicoli.

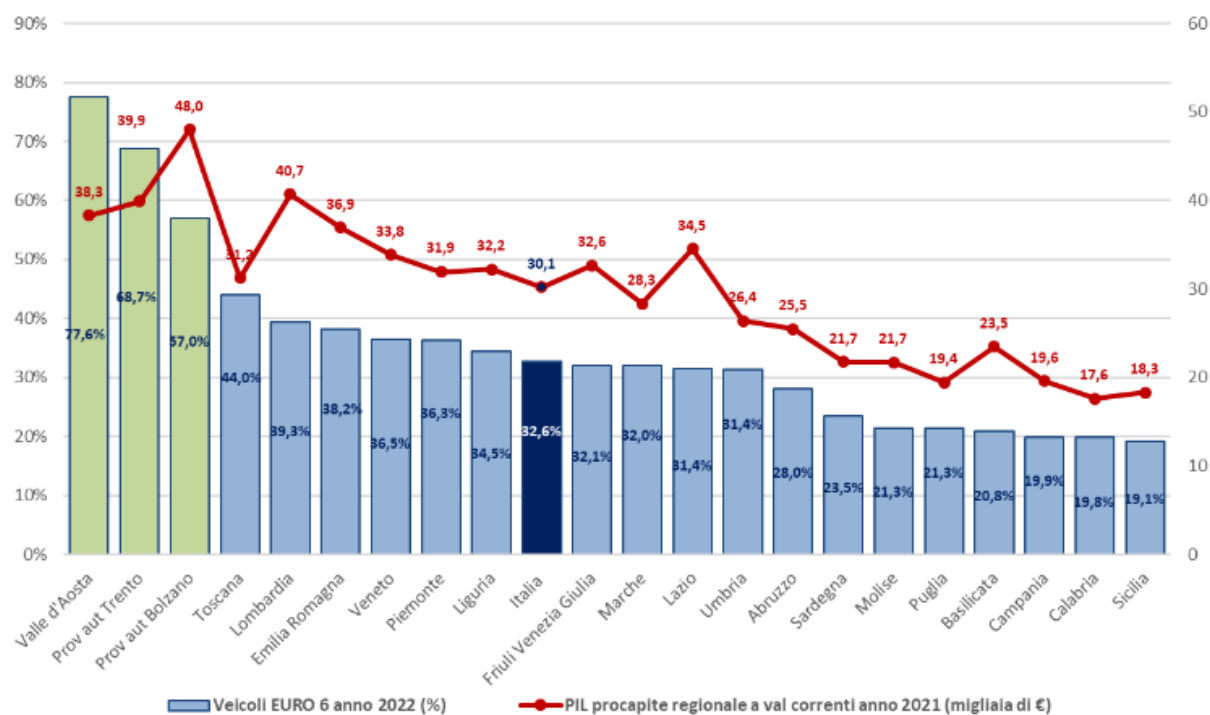


Figura 13 Distribuzione Pil pro-capite a valori correnti (in migliaia di euro) e quota autovetture Euro 6 (val. %) per regione* (Fonte: ACI e ISTAT)

* Per evitare possibili distorsioni nella lettura dei dati, i dati della regione Valle d'Aosta e delle province autonome di Trento e Bolzano sono riportati in colore diverso per sottolineare il differente regime di tassazione praticata negli ultimi 10 anni sull'immatricolazione dei veicoli.

2.2.2 Elettrificazione della mobilità e incremento della domanda energetica: quale impatto sulle emissioni?

Tra le criticità da affrontare per una transizione ecologica della mobilità sostenibile non si deve sottovalutare il delicato rapporto fra aumento delle auto elettriche e incremento della domanda energetica e possibili effetti sulle emissioni climalteranti. Come è noto, l'incremento o il decremento delle fonti energetiche convenzionali è destinato a produrre una variazione nelle emissioni totali, ma anche nelle emissioni medie per unità di energia generata. In questa prospettiva, l'aumento dei consumi energetici legati alla maggiore diffusione di auto elettriche o anche di quelle a idrogeno (specie se verde) implica un peggioramento delle emissioni medie destinato a ripercuotersi non solo sul comparto *automotive*, ma su tutti quelli che utilizzano energia elettrica (industria, consumi domestici *etc.*).

Secondo quanto previsto dal Piano Nazionale Integrato per l'energia e il clima (PNIEC) [69] entro il 2030 sulle nostre strade ci saranno 6,6 milioni di veicoli ad alimentazione elettrica, di cui 4,3 milioni di veicoli elettrici puri (BEV) e i restanti ibridi elettrici Plug-in (PHEV).

Secondo lo *scenario al 2030* proposto nel PNIEC, i consumi di energia elettrica saranno di 326,6 TWh (in diminuzione rispetto al valore di 329,8 TWh dei consumi interni lordi di energia elettrica registrato nel 2021) e la percentuale di energia elettrica verde consumata sarà del 48,9% (160 TWh).

Stimando una percorrenza media di 11.200 km annui e un consumo medio di 1,5 MWh per auto, l'aumento previsto dei veicoli elettrici al 2030 comporterebbe un dispendio energetico di circa 9,9 TWh annui, che, secondo gli scenari previsionali sui consumi di energia elettrica descritti nel PNIEC, equivarrebbero a circa il 3% del totale (circa 327 TWh annui) e al 6,2% dei consumi di energia prodotta da FER (160 TWh annui).

Quote di consumo sul totale non elevatissime, che tuttavia non vanno trascurate nei loro impatti emissivi. Il tema è stato ampiamente affrontato nello studio pubblicato dalla Fondazione nel 2021, "Per una transizione ecorazionale della mobilità automobilistica italiana", al quale si rinvia per gli approfondimenti di dettaglio [70]. Si ritiene qui opportuno richiamare le conclusioni del lavoro, riportate in Figura 14, in cui sono confrontate emissioni complessive annue previste per il 2030 per singola autovettura elettrica, ibrida, a idrogeno, a metano e a benzina, con una distinzione per tipologia di vetture. I risultati, certamente migliorabili, mostrano conclusioni di estremo interesse e ancora prima invitano a una riflessione sul sistema energetico nel suo complesso. In particolare dal grafico emerge come, le differenze emissive dei vari sistemi di alimentazione, si assottiglino notevolmente nel momento in cui si stimano anche gli effetti diretti legati all'incremento della domanda energetica e all'alterazione del mix di fonti rinnovabili.

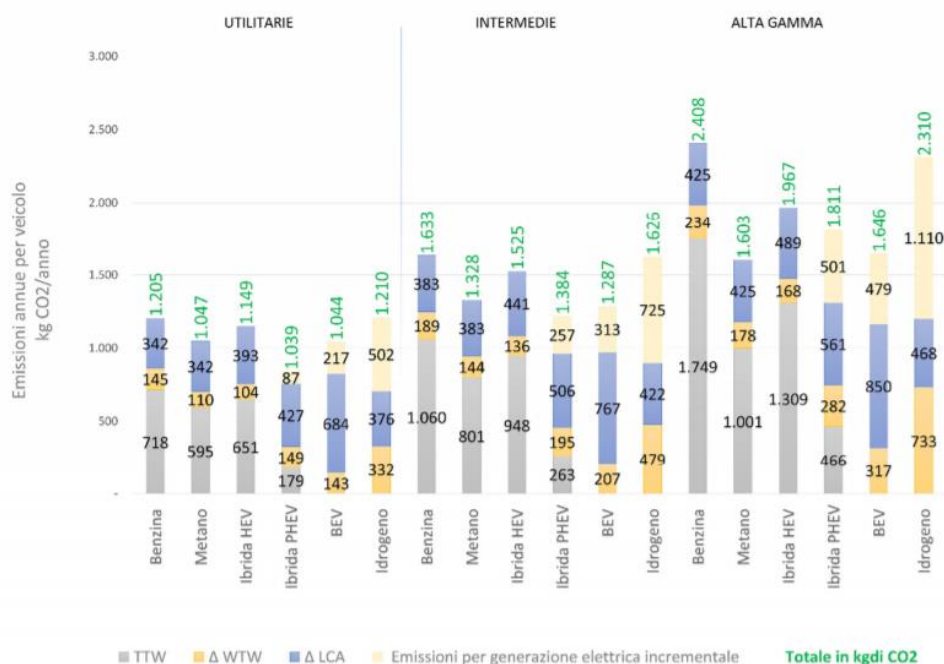


Figura 14 Contributo emissivo dell'analisi Tank to Wheel (TTW), Well to Wheel (WTW), analisi in LCA e il contributo per la generazione elettrica incrementale delle emissioni annue di CO2 per singolo veicolo [55]

In particolare, i veicoli elettrici BEV finiscono per avere emissioni pari o di poco superiori a quelle dei veicoli termici, dei veicoli a metano e soprattutto di quelli ibridi. L'idrogeno prodotto attraverso l'elettrolisi con elettricità prelevata dalla rete (scenario mix italiano al 2030) risulta il vero fallimento delle politiche energetiche di breve periodo. Ovviamente questo metodo presenta molte imprecisioni. Una valutazione più accurata richiederebbe uno studio attento dei flussi energetici, che riesca a valutare gli impatti anche in funzione delle fasce orarie di consumo.

Gran parte del potenziale di riduzione delle emissioni dell'auto (elettrica) di domani, così come dei nuovi combustibili *carbon neutral*, è legato al sistema di produzione dell'energia, che in Europa e ancora di più nel resto del mondo rimane largamente ancorato all'utilizzo di fonti fossili. In termini percentuali, l'Europa può vantare il risultato migliore, pur generando energia da fonti rinnovabili per meno del 40% del totale prodotto. La tabella di seguito riportata indica i valori in percentuale dell'energia elettrica prodotta per singola fonte utilizzata nel EU a 27 e in Germania, Spagna, Francia e Italia.

	Coal	Oil	Nat. gas	Biofuels	Waste	Nuclear	Hydro	Wind	Solare PV	Other sources	FER %
EU- 27	14,50%	1,70%	19,00%	5,20%	1,40%	25,20%	12,90%	13,30%	5,50%	1,40%	37,90%
Germania	28,00%	0,80%	16,20%	7,00%	2,10%	11,80%	4,30%	19,50%	8,40%	1,80%	40,20%
Spagna	1,80%	3,70%	26,10%	2,20%	0,70%	20,60%	12,00%	22,60%	8,00%	2,30%	47,10%
Francia	1,00%	1,00%	6,00%	1,30%	0,80%	68,40%	11,50%	6,60%	2,80%	0,40%	22,80%
Italia	4,90%	2,70%	49,90%	5,80%	1,60%	0,00%	16,50%	7,30%	8,70%	2,70%	41,10%

Tabella 18 Confronto mix energetico elettrico EU-27 e Germania, Spagna, Francia e Italia 2021 (Fonte: EUROSTAT, 2023)

In Italia, nel 2021, gli impianti di produzione elettrica da fonti rinnovabili (FER) hanno fornito il 41% del totale dell'energia elettrica. Un risultato raggiunto in circa 20 anni di investimenti (nel 2005 la potenza installata da FER era pari a quasi 21 GW, mentre nel 2021 è arrivata a 58 GW). Negli ultimi 10 anni, dopo il picco di crescita

registrato nel 2011-2012, l'Italia ha visto un incremento di potenza installata pari a circa 1 GW annuo. Per raggiungere gli obiettivi previsti dal PNIEC, nei prossimi anni le FER dovrebbero essere incrementate del 100%, quindi dovrebbero passare da 1GW a quasi 7 GW di nuove installazioni ogni anno. Un obiettivo arduo da perseguire visto che, pur essendo stati installati oltre 3,2 GW di nuova capacità elettrica rinnovabile, nel 2022, di cui quasi 2,5 GW sono rappresentati da impianti fotovoltaici, il tasso di crescita annuale è ancora molto lontano da quello necessario per raggiungere gli obiettivi al 2030.

Una voce importante riguarda anche le fonti fossili, molto diverse fra loro in termini di modalità di impiego, sicurezza degli approvvigionamenti e soprattutto impronta carbonica. Si tratta di un tema al quale la Fondazione Caracciolo ha dedicato diversi approfondimenti, non mancando in più occasioni di sottolineare l'importanza di *“continuare a garantire adeguati approvvigionamenti dalle fonti convenzionali, perseguendo la sicurezza e la continuità della fornitura”*.

Nel 2022, secondo i dati preliminari del TSO (Terna), il fabbisogno di energia elettrica in Italia è stato pari a 295,8 TWh, un valore in flessione dell'1,7% rispetto al 2021. La richiesta di energia è stata coperta per 274,6 TWh da produzione interna, e il 31,1% della domanda è stato soddisfatto dalle fonti rinnovabili. La restante quota di fabbisogno è stata coperta dalle importazioni nette dall'estero (21,2 TWh).

Fonti primarie utilizzate	Anno 2019	Anno 2020	Anno 2021	Anno 2022
Rinnovabili	40,0%	42,4%	41,0%	36,0%
Carbone	6,4%	4,8%	4,9%	8,0%
Gas naturale	48,2%	47,7%	49,8%	49,8%
Altri prodotti fossili *	5,3%	5,2%	4,4%	6,2%

Tabella 19 Composizione del mix della produzione lorda di energia elettrica in Italia (Fonte: TERNA)

* Comprende prodotti liquidi, solidi e gassosi di origine fossile e non rinnovabile

Dal lato della produzione, la contrazione della generazione idroelettrica (-37,7%), imputabile al lungo periodo di siccità, in combinazione alla riduzione di tutte le FER (ad eccezione del fotovoltaico che ha registrato un +12,3% rispetto al 2021), ha portato ad una riduzione della produzione complessiva di energia elettrica da FER di 5 punti percentuali rispetto all'anno precedente; la carenza è stata parzialmente compensata dall'aumento della generazione termoelettrica (+6,1%) e in particolare dall'incremento di quella a carbone a seguito delle azioni messe in atto dal Governo per fronteggiare la crisi del gas.

Se i processi di transizione energetica hanno a fattore comune l'idea di spingere per una elettrificazione massiva dei trasporti, è evidente come questo passaggio abbia delle dirette conseguenze sulla domanda di energia e sulle fonti necessarie a soddisfarla.

2.2.2.1 I dati dell'indagine sulla percezione pubblica dell'evoluzione dell'auto elettrica

Come anticipato nel paragrafo 1.7, si riportano qui alcuni dati sul livello di accettazione e diffusione delle auto elettriche come risultato preliminare dell'indagine citata.

Abbiamo chiesto ai soci ACI e agli utenti registrati nel sito web ACI se hanno mai usato un'auto elettrica, non solo come conducenti, ma anche come passeggeri, dato che ancora, in Italia, la percentuale delle auto elettriche in circolazione è pari solo allo **0,4%** dell'intero parco autovetture.

Significativa è la percentuale di rispondenti che dichiara di **NON averle mai utilizzate** (il **63,5%**). Solo il **22%** le ha guidate e il **14,5%** le ha provate almeno **come passeggero**.

Usa o ha mai usato un'auto elettrica?	#	%
No	5763	63,5%
Sì, come passeggero	1316	14,5%
Sì, come conducente	1999	22,0%
Totale	9078	100%

Tabella 20 Percentuale di utilizzo di auto elettriche all'interno del campione

Ma quali sono i motivi che inducono a non voler usare un'auto elettrica?

Abbiamo proposto alcune possibili motivazioni chiedendo ai rispondenti di indicare se sono d'accordo o meno su una scala a 5, come riportato nella tabella che segue.

Tra i fattori che sembrano ostacolare maggiormente l'adozione di questo tipo di veicolo, sono soprattutto i limiti di contesto che vengono percepiti come negativi: oltre il **44%** ritiene infatti che **non ci siano abbastanza stazioni per ricaricare l'auto** nella città di appartenenza o nei luoghi che frequenta, il **39,5%** ritiene che ci voglia **troppo tempo per ricaricare l'auto**, e il **32%** teme di **ritrovarsi con la batteria scarica** durante il viaggio. Meno rilevanti nella scelta di NON uso sembrano essere la percezione di efficienza e sicurezza delle BEV, mentre un buon **23%** ritiene che siano **ancora alti i costi di acquisto e gestione** del veicolo.

Molti rispondenti non hanno voluto prendere una posizione decisa rispetto ai fattori elencati, questo dato può essere letto anche come una difficoltà a rispondere in maniera consapevole per una mancanza di informazioni o di esperienza.

Quali sono i fattori che la portano (porterebbero) a non utilizzare le auto elettriche?					
	Fortemente in disaccordo	In disaccordo	Né in accordo, né in disaccordo	D'accordo	Fortemente d'accordo
Non credo che sia una auto con buone prestazioni	19,3%	27,1%	32,6%	13,4%	7,7%
Non credo che un'auto elettrica sia sicura e affidabile	19,7%	27,9%	29,0%	14,3%	9,2%
È un'auto che ha tanti costi di acquisto e di gestione	6,5%	9,9%	24,2%	36,1%	23,3%
Ho paura che possa ritrovarmi con la batteria scarica mentre sono in viaggio	5,5%	8,0%	17,6%	37,0%	32,0%
Non ci sono abbastanza stazioni per ricaricare l'auto nella mia città o nei luoghi che frequento	3,7%	4,4%	12,3%	35,3%	44,3%
Per ricaricare un'auto elettrica ci vuole troppo tempo	3,2%	4,7%	17,1%	35,4%	39,5%
Non sono molto disponibili sul mercato	6,8%	16,5%	45,1%	22,1%	9,6%
Mi piacciono i rumori delle auto tradizionali (es., il rumore del motore)	25,4%	18,5%	24,2%	16,3%	15,7%
L'auto elettrica non è divertente da guidare	23,8%	22,7%	35,8%	9,3%	8,4%
Non credo che acquistare un'auto elettrica possa ridurre in modo significativo il mio impatto sull'ambiente	13,6%	16,0%	20,3%	22,0%	28,0%

Tabella 21 Fattori che influenzano negativamente la scelta di un'auto elettrica (indagine Fondazione Caracciolo, 2023)

Tra i fattori che invece potrebbero influenzare in positivo la scelta di un'auto elettrica: "il ridotto impatto ambientale" è indicato dal 52% dei rispondenti, seguito dagli "incentivi proposti dalle amministrazioni" (il 43%). I "minori costi nel lungo periodo" rappresentano un elemento rilevante per il 38,4% dei casi. Una maggiore presenza di stazioni di ricarica convince il 37%.

Quali sono i fattori che la portano (porterebbero) a utilizzare le auto elettriche?					
	Fortemente in disaccordo	In disaccordo	Né in accordo, né in disaccordo	D'accordo	Fortemente d'accordo
Le prestazioni	18,2%	14,3%	35,8%	23,2%	8,5%
La sicurezza	15,4%	11,5%	36,7%	25,2%	11,2%
Il ridotto impatto ambientale	17,7%	10,5%	19,5%	29,7%	22,6%
Il piacere alla guida	17,1%	13,5%	36,5%	22,7%	10,2%
I minori costi nel lungo periodo	18,2%	15,3%	28,0%	25,1%	13,3%
Il consiglio delle altre persone	29,6%	22,8%	38,5%	7,5%	1,7%
La semplicità di manutenzione e gestione	16,7%	14,3%	31,2%	27,4%	10,4%
La presenza di stazioni per ricaricare l'auto nella mia città o nei luoghi che frequento	27,9%	15,9%	19,2%	19,7%	17,3%
I vantaggi che le istituzioni offrono per chi usa un'auto elettrica (es., parcheggio gratuito)	17,4%	12,6%	27,2%	29,4%	13,5%

Tabella 22 Fattori che influenzano positivamente la scelta di un'auto elettrica (indagine Fondazione Caracciolo, 2023)

Abbiamo voluto sondare anche le intenzioni di acquisto dell'auto negli anni a venire. Sugli oltre 9.000 rispondenti, quasi **8.600 sono le risposte che possiamo considerare valide per questa domanda**, con indicazione del periodo in cui è previsto l'acquisto. Di questi ultimi, il **71%** pensa che comprerà un'auto nei **prossimi 5 anni** e il **25%** nei **prossimi 6-10 anni**. Il 4% risponde che pensa di acquistare tra oltre i 10 anni e i 20 anni.

Rispetto al tipo di alimentazione, l'ipotesi di **acquisto di un'auto elettrica** è stata indicata dal **14%** dei rispondenti, così come per le auto a benzina e quelle diesel, mentre la percentuale più alta è rappresentata da chi sceglie **un'auto Ibrida a Benzina non Plug-in** (il **30,8%**), che, se sommati ai valori delle Ibride Diesel, raggiungono quasi il 42% dei rispondenti.

Per la Sua prossima auto, selezionare il tipo di alimentazione del veicolo che crede sceglierà al momento dell'acquisto	
	%
Benzina	14,4
Diesel	13,5
Elettricità	14,0
GPL	7,9
Ibrida benzina	30,8
Ibrida diesel	11,0
Ibrida Plug-in	6,8
Metano	1,6
Tot	100,0

Tabella 23 Intenzioni d'acquisto di un'auto per alimentazione, secondo le dichiarazioni dei rispondenti all'indagine (Fondazione Caracciolo, 2023)

2.2.3 Le infrastrutture di ricarica per i veicoli elettrici

Un tema centrale nella diffusione del veicolo elettrico è la rete di infrastrutture di ricarica distribuita nel territorio. Una criticità rilevata che impedisce una rapida diffusione dei veicoli a trazione elettrica è infatti l'attuale offerta di punti di ricarica, non ancora capillare come quella dei carburanti, in particolare con riferimento ai punti di ricarica ad elevata potenza lungo le autostrade. A giugno 2023 risultano installati 36.389 punti di ricarica in ambito pubblico. Considerando il parco di BEV al 31 dicembre del 2022, si stima un tasso di circa 1 punto di ricarica pubblico ogni 4 BEV.

È importante notare il forte incremento registrato in comparazione all'anno precedente: nel primo semestre del 2023 sono state installate 5.533 nuove unità con aumento di circa il 18%. Questo dato è indice della direzione intrapresa verso l'adeguamento della rete infrastrutturale.

Di seguito, la Tabella 24 riporta i punti di ricarica per tipologia e potenza installata presenti sul territorio nazionale.

Tipologia	Potenza	Numero di punti	%
Slow	$P < 7,4 \text{ kW (AC)}$	779	2,14%
Slow Quick	$P < 50 \text{ kW (DC)}$	196	0,54%
	$7,4 \text{ kW} \leq P < 22 \text{ kW (AC)}$	25.137	69,08%
Fast	$P \geq 22 \text{ kW (AC)}$	5.702	15,67%
	$50 \text{ kW} \leq P < 150 \text{ kW (DC)}$	2.525	6,94%
Ultra fast - level 1	$150 \text{ kW} \leq P < 350 \text{ kW (DC)}$	1.818	5,00%
Ultra Fast - level 2	$P \geq 350 \text{ kW (DC)}$	232	0,64%
Totale		36.389	

Tabella 24 Punti di ricarica per potenza [kW] erogata in Italia nel secondo trimestre del 2023 (Fonte: EAFO [71])

La presenza di infrastrutture a bassa potenza è elevata rispetto ai punti di ricarica ad alta potenza che sono invece ancora molto limitati rappresentando una criticità nella rete. Secondo il rapporto a cura del Mims [72] è fondamentale lavorare su un ulteriore sviluppo dell'offerta di stazioni a potenza medio-bassa e sulla costruzione di una adeguata rete ad alta potenza. Un punto importante del problema è combinare l'installazione massiva di infrastrutture a una strategia che venga incontro alle necessità degli utenti. I punti di

ricarica a bassa potenza che richiedono un tempo maggiore per le operazioni di ricarica sono ideali in luoghi in cui i veicoli sostano per tempi lunghi (luoghi di lavoro, punti di attrazione, garage, parcheggi di interscambio) o in appositi hub per la ricarica notturna, mentre infrastrutture fast o ultra-fast risultano di fondamentale importanza sulla rete autostradale e sulle strade di grande comunicazione.

La gestione strategica della rete di infrastrutture di ricarica è fondamentale per lo sviluppo del settore. Esistono diverse opzioni di ricarica ed è necessario comprendere quali possano essere le più interessanti che garantiscano un servizio adeguato agli utenti. Una tematica rilevante per i vari attori è se puntare maggiormente sulle infrastrutture pubbliche o quelle private. Nelle applicazioni la soluzione dipende dal contesto a cui ci si riferisce, ad esempio in comuni relativamente piccoli, lontani dai contesti metropolitani, le infrastrutture private potrebbero essere più adatte alle caratteristiche del luogo, delle abitazioni e degli utenti. Al contrario, in contesti fortemente urbanizzati come le grandi città, garantire una rete pubblica di livello risulta fondamentale. In questo caso, poche abitazioni o condomini possono installare colonnine private, quindi è necessario aumentare l'offerta pubblica ricorrendo a diverse soluzioni di ottimizzazione dello spazio e della rete elettrica. Un esempio virtuoso è quello dell'installazione di punti di ricarica nei pali per l'illuminazione pubblica della luce sfruttando l'infrastruttura elettrica presente. Tale applicazione ha avuto successo in molte metropoli europee permettendo ai residenti non provvisti di parcheggi privati di ricaricare le loro auto in diverse fasce orarie. Una ulteriore sinergia potrebbe essere attivata con la rete elettrica disponibile per l'alimentazione di tram e filobus oppure per la ricarica di bus elettrici ai depositi e ai capolinea.

Con la crescita del mercato del veicolo elettrico si rileva un'ampia crescita di servizi connessi che mirano a offrire sempre più alternative di ricarica agli utenti. Diverse aziende offrono servizi di ricarica *"on demand"* ovvero la possibilità di prenotare un'operazione di ricarica per il proprio veicolo che viene eseguita da operatori tramite apparecchiature di ricarica *fast* mobili. Un altro servizio, attivo nel mondo del *carsharing* in Italia ma disponibile anche per vetture private in altri paesi, è il *"battery swap"*, che consiste nella sostituzione rapida della batteria scarica con una carica.

2.2.3.1 L'auto elettrica come serbatoio energetico per la rete: il Vehicle-to-Grid (V2G)²⁹

Se l'aumento dei consumi energetici legati all'avvento dell'auto elettrica può costituire un freno alla dismissione delle fonti fossili, la capacità di stoccaggio dei veicoli a batteria, favorendo un impiego ottimale delle fonti rinnovabili, può operare in direzione opposta, consentendo un impiego dell'energia prodotta da fonti rinnovabili anche nelle ore di bassa produzione.

Si tratta del cosiddetto *Vehicle-to-Grid* (V2G), una tecnologia che permette di usare i veicoli elettrici come sistemi di accumulo e scambio di elettricità con la rete elettrica. Alla base del suo funzionamento si trova la tecnologia di ricarica bidirezionale che consente un flusso di energia elettrica dalla rete al veicolo e viceversa. Nei momenti in cui il veicolo non viene usato per gli spostamenti, la sua batteria e la strumentazione di bordo hanno la capacità di trasmettere energia e informazioni alla rete elettrica, al pari di un normale sistema di accumulo elettrico. In questo modo il pacco batterie di un veicolo elettrico può funzionare da serbatoio energetico per la rete, immagazzinando l'energia in eccesso e restituendola in caso di picchi di consumo sulla rete, offrendo reciproci vantaggi a tutti gli attori coinvolti³⁰. I fornitori e gestori della rete elettrica hanno interesse nell'avere ulteriori riserve energetiche distribuite sul territorio e utilizzabili in caso di necessità, mentre gli utenti che partecipano al programma di ricarica bidirezionale potranno avvalersi di tariffe agevolate per la ricarica durante le ore di minore domanda e, durante la fase di scarica (intesa come vendita di energia elettrica al gestore), cedere l'energia ad un costo vantaggioso nelle ore in cui la rete è più carente, e quindi con un risparmio importante nei costi operativi del proprio veicolo.

²⁹ Estratto da *Auto elettrica: veicolo che consuma energia o che la conserva?*, Fondazione Filippo Caracciolo, Giugno 2023.

³⁰ Si vedano i modelli di business e i casi d'uso del progetto Incit-EV (Del2.2) (<https://www.incit-ev.eu/>) sviluppati tenendo conto le esigenze dei diversi attori coinvolti nel settore.

Grazie allo scambio bidirezionale il veicolo elettrico diventa parte attiva della rete elettrica intelligente, altrimenti nota come *Smart Grid*. Inserito in questo contesto il V2G si presenta come un'opportunità di efficientamento della rete elettrica nazionale, offrendo la possibilità di usare le batterie delle auto come sistema di bilanciamento e regolazione di frequenza della rete elettrica distribuito, aumentandone le capacità globali di accumulo.

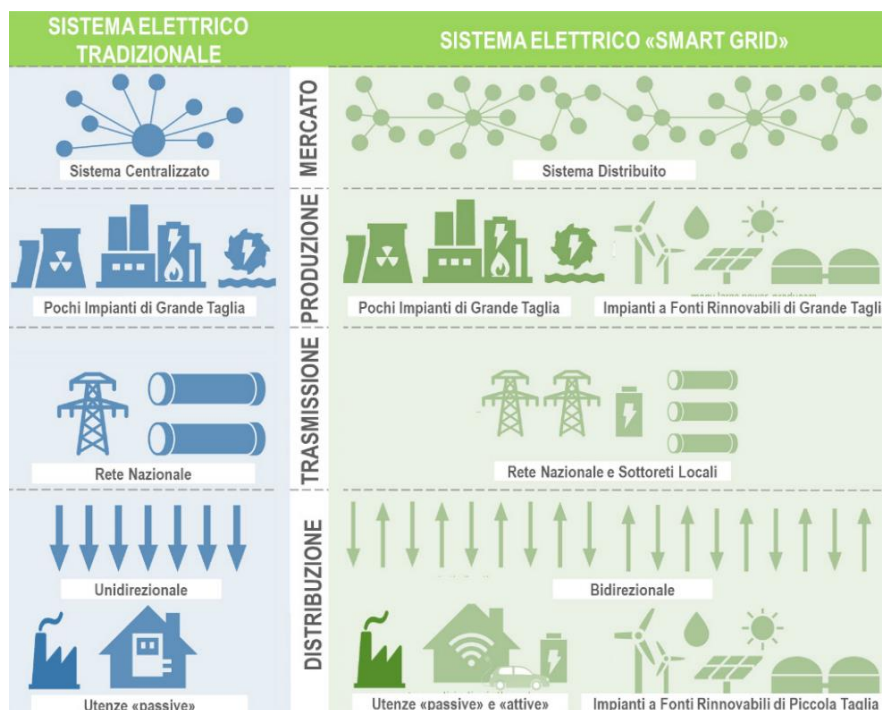


Figura 15 Sistema elettrico tradizionale verso SG [68]

Al fine di comprendere l'importanza di questa tecnologia e della sua diffusione, è necessario iniziare ad immaginare l'auto elettrica come una batteria con le ruote. In questo contesto lo sviluppo della tecnologia V2G, in sinergia con le altre tecnologie di accumulo, diventa un prezioso strumento di gestione della rete elettrica.

2.2.3.2 L'evoluzione attesa delle infrastrutture di ricarica: impatti e criticità

Dal lato infrastruttura diventa infatti imprescindibile il ricorso a colonnine di ricarica bidirezionali e *smart meter* per il flusso bidirezionale di energia e informazioni sia pubblico che privato. Superando gli aspetti puramente tecnologici e di sicurezza legati alla realizzazione dei dispositivi e degli impianti, in uno scenario previsionale di larga diffusione dei veicoli elettrici e sviluppo delle tecnologie V2G, la grande portata dei flussi di energia e dati trasmessi andrà gestita per consentire un uso intelligente delle risorse. In questo senso l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) ha adottato delle disposizioni per integrare il V2G alla regolazione esistente del sistema di distribuzione dell'energia elettrica, al fine di garantire l'equilibrio tra domanda e offerta. Un aspetto fondamentale si trova nella definizione dei requisiti tecnici delle infrastrutture adatte all'abilitazione della tecnologia in questione che garantiscano sicurezza e tengano conto delle esigenze dei veicoli consentendo allo stesso tempo un'adeguata partecipazione delle infrastrutture di ricarica esistenti. Il primo passo per la regolamentazione del V2G in Italia viene dal D.M. 30 gennaio 2020, con cui sono stati stabiliti i criteri e le modalità per la diffusione del V2G, sfruttando le Unità Virtuali Abilitate Miste (UVAM), che permettono l'aggregazione degli utenti in un unico impianto virtuale di produzione e consumo elettrico, al pari di quanto accade per i possessori di piccoli impianti fotovoltaici e sistemi di accumulo tradizionali.

L'aspetto critico più sentito del V2G, che influisce negativamente sulla fiducia nei sistemi di scambio bidirezionale da parte degli utenti, è legato al decadimento della capacità, della potenza e conseguentemente della vita utile delle batterie a seguito dei ripetuti cicli di carica e scarica per scopi diversi dall'autotrazione. Le batterie coinvolte nello scambio bidirezionale saranno certamente più soggette ad un invecchiamento precoce, per effetti legati alla temperatura, alla velocità e alle tensioni dei cicli di carica e scarica. Questi aspetti andranno valutati accuratamente dal punto di vista delle garanzie relative al veicolo, come anche dai punti di vista economico e normativo. Oltre che ai processi di carica e scarica, la velocità del decadimento è anche legata alle caratteristiche intrinseche della batteria, che è soggetta a processi di degrado naturale in funzione dell'età "anagrafica" e del rapporto tra tempo di fermo e tempo di utilizzo, che può avere un'influenza negativa sul decadimento delle prestazioni. Nei veicoli privati, in considerazione di quanto emerso dall'osservazione delle abitudini di guida degli italiani, questo rapporto è molto elevato: nel 2018 il tempo trascorso in auto è stato pari solo al 5% della giornata, nel restante 95% delle ventiquattro ore l'auto era in sosta³¹.

Considerando entrambi i meccanismi (cicli ripetuti di carica/scarica e degrado naturale), si deduce come un corretto bilanciamento tra le applicazioni V2G e l'uso per autotrazione, all'interno di un sistema di scambio gestito da algoritmi dedicati, possa essere favorevole ad una maggiore vita utile del veicolo e ad una connessione efficace con la rete elettrica. Tuttavia è bene ricordare che la ricerca sul tema è ancora in uno stadio iniziale e che al momento non sono presenti in letteratura studi scientifici che confermino in maniera disambigua l'influenza negativa del V2G sulla vita utile delle batterie.

Allo stato attuale la scarsa diffusione di veicoli che permettono lo scambio bidirezionale, e l'impossibilità di abilitarli a causa della mancanza di regolazione e conseguentemente di punti di scambio, lascia ancora margine alle sperimentazioni e ai progetti pilota già avviati, che, sebbene siano dei modelli in scala molto ridotta, sono fondamentali per valutare appieno le potenzialità di questo sistema.

2.3 La soluzione dei carburanti a basso impatto

Considerati i tempi della transizione ecologica, come già accennato, appare verosimile che al 2030, l'incidenza dei modelli termici sarà ancora prevalente, con percentuali di diffusione superiori al 70%. In questa prospettiva, lo sviluppo dei carburanti a basso impatto in termini emissivi appare una soluzione da sostenere per i suoi benefici ambientali oltre che per le potenziali ricadute economiche e sociali, così come d'altra parte sottolineato nel nuovo PNIEC, il raggiungimento dei target ambientali è legato al contributo incrementale e complementare di biocarburanti di prima generazione (ad esclusione dei biocarburanti da palma e di quelli ad alto rischio ILUC), dei biocarburanti avanzati (di origine biologica e non), da elettricità da FER, soprattutto per i veicoli BEV e PHEV, come soluzione ottimale per la mobilità urbana privata. I combustibili *carbon neutral* rappresentano sicuramente una soluzione in particolare nel settore dei trasporti *hard to abate*, come il trasporto merci, che in Europa rappresenta circa il 36% del totale emesso dal settore trasporti complessivamente considerato. Il parco degli autocarri trasporto merci italiano è composto ancora per oltre il 62% da Euro 4 e precedenti. Di prioritaria importanza è dunque incentivare il rinnovo di un parco mezzi poco sicuro e inquinante; un rinnovo che, per i motivi noti, al momento non può essere rivolto alla sola elettrificazione. La soluzione dei biocarburanti potrebbe dunque contribuire ad una più rapida decarbonizzazione del settore. Come osservato in Paths to 2030 [73], in uno scenario previsionale ottimistico³², una elevata disponibilità di HVO permetterebbe di ridurre del 21% il contributo WTW delle merci pesanti, impattando positivamente anche sulle auto. Secondo il Cluster trasporti, 2023, ad esempio, l'utilizzo

³¹ Comunicato stampa Osservatorio UnipolSai 2019, https://www.unipolsai.com/sites/corporate/files/pages_related_documents/cs_osservatorio-unipolsai-2019.pdf

³² In ragione di ipotesi verosimili più favorevoli ad una riduzione della CO₂ emessa, considerando tre dimensioni: 1) evoluzione della domanda (anche con politiche di "avoid"); 2) "shift" modale; 3) "improve" tecnologico del parco circolante in ragione di investimenti, politiche, tendenze in atto/previste.

di HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) e di CBM (Bio Metano Compresso) porterebbe, al 2030, una riduzione complessiva dell'intero trasporto stradale del 41% delle emissioni di CO₂eq WTW rispetto al 2005.

In generale i cosiddetti *Low Carbon Fuels* (LCF) sono combustibili di origine biogenica o sintetica in grado di abbattere le emissioni di CO₂ dei trasporti senza il processo di rinnovo del parco circolante e usando le infrastrutture esistenti per la loro distribuzione, con eventuali adattamenti. In funzione della materia prima utilizzata per la loro produzione nonché delle tecnologie produttive, sono classificabili nelle seguenti tipologie principali:

- biocarburanti liquidi avanzati (in miscela con fossili o in purezza) ottenuti da materiali di scarto di origine organica;
- biometano e bio-GNL ottenibili dall'*upgrading* del biogas producibile dagli scarti delle colture agricole, dai reflui zootecnici e residui agro-industriali o dai fanghi di depurazione;
- *recycled carbon fuels*, ottenuti da rifiuti indifferenziati e dal riutilizzo di rifiuti plastici non utilizzabili per il riciclo chimico della plastica;
- *e-fuels*, carburanti sintetici ottenuti dalla sintesi di idrogeno rinnovabile o a basso impatto ambientale e anidride carbonica ricavata dall'atmosfera o, molto più opportunamente, da sorgenti concentrate;
- l'idrogeno (verde o blu³³) che può essere impiegato come combustibile nei *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV) o anche direttamente nei motori a combustione interna, ma che necessita di motori modificati e della costruzione di una filiera distributiva dedicata.

Ciascuno di questi vettori energetici ha un proprio fattore di abbattimento delle emissioni nette di CO₂ quando sostituiti ai combustibili fossili. Sebbene già trattato in altri recenti lavori della Fondazione, è opportuno dettagliare che, a prescindere dal veicolo nel quale sono utilizzati, la CO₂ prodotta da questi combustibili, essendo di origine biologica, non produce un incremento netto di quella presente in atmosfera, e non è considerata come emissione climalterante. Ciò che invece produce un impatto sul clima sono i processi industriali della loro filiera, che, utilizzando in tutto o in parte energia da fonti fossili, rendono il bilancio netto di CO₂ emessa del biocarburante non nullo. Tuttavia, in taluni casi il bilancio netto del ciclo della CO₂ può diventare anche negativo, ad indicare una sottrazione netta di essa dall'atmosfera. Il riferimento scientifico europeo più autorevole su questo tema è certamente il rapporto del Joint Research Center della Comunità Europea sull'analisi *Well-to-Wheel* (dal pozzo alla ruota) dell'impatto delle varie tecnologie di trazione e dei relativi vettori energetici, aggiornato ogni 3-4 anni [73].

Per dare una indicazione del potenziale dei biocarburanti per autotrazione, si riportano in Figura 16 i valori di emissioni di CO₂ equivalente in grammi per chilometro percorso per diverse tipologie di tecnologia di trazione e relativo vettore energetico attesi per il 2025, come riportate nello studio citato. Quali esempi di biocarburanti, sono stati selezionati l'*Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO) ed il biometano, la cui filiera, come noto, ha già raggiunto una scala industriale importante in Italia.

³³ L'idrogeno può essere ottenuto attraverso l'elettrolisi dell'acqua in celle elettrochimiche alimentate da elettricità prodotta da fonti rinnovabili; in questo caso, come noto, l'idrogeno viene definito "verde". Viene invece denominato "blu" quello prodotto a partire da gas naturale con sistemi di cattura, stoccaggio ed utilizzo della CO₂.

Emissioni CO ₂ equivalente su base WTW (2025)		Descrizione
DISI Hybrid - high octane gasoline	~86	• Ibrido ad accensione comandata alimentato con benzina ad alto numero di ottano
SI Hybrid - CBM	~12	• Ibrido ad accensione comandata alimentato con biometano compresso
CIDI Hybrid	~100	• Ibrido Diesel alimentato con gasolio
CIDI Hybrid - HVO	~13	• Ibrido Diesel alimentato con biocombustibile di seconda generazione (HVO)
BEV	~33	• Elettrico con batteria
FC Range extender	~35	• Elettrico con Fuel Cell come range-extender

Figura 16 Emissioni CO₂ equivalente in g/km per una vettura di media classe equipaggiata con tecnologie di trazione previste al 2025 e relativi vettori energetici [73]

La Figura 16 mostra chiaramente che, se alimentati con biocarburanti, i veicoli con motore termico possono avere un impatto climalterante paragonabile a quello dei veicoli elettrici, siano essi a batteria che alimentati ad idrogeno.

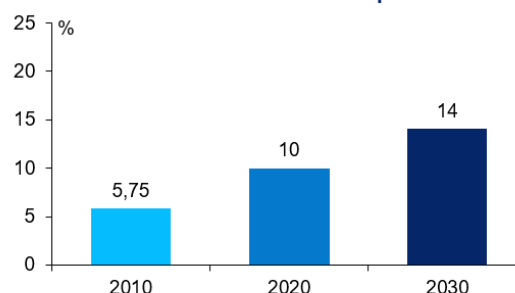
A differenza della rete elettrica di ricarica e dell'infrastruttura dell'idrogeno, principali colli di bottiglia per la diffusione dei veicoli a batteria e celle a combustibile, la diffusione dei biocarburanti è al momento limitata dalla capacità produttiva della filiera, sia per l'approvvigionamento della materia prima, sia per gli impianti di produzione, in quanto essi potranno sfruttare la rete di distribuzione esistente (sia per i liquidi che per i gassosi) ed essere immediatamente utilizzati dal parco di autovetture termiche ed ibride.

Relativamente a ciò però, è opportuno rilevare che in ambito europeo e nazionale sono in fase di revisione i programmi ed obiettivi di promozione ed utilizzo dei biocarburanti al fine di accelerarne l'utilizzo.

BOX: Evoluzione della normativa europea sui Biocarburanti

- **Direttiva n. 2003/30/CE** (8 maggio 2003)
 - Introduzione progressiva, negli Stati membri della UE, di una quota percentuale di biocarburanti (indicati in uno specifico elenco) nei carburanti per autotrazione, con obiettivi, indicativi e non vincolanti, pari al 2% del totale nel 2005 fino a raggiungere il 5,75% nel 2010
- **Direttiva n. 2009/28/CE** (23 aprile 2009)
 - Introduzione dell'obiettivo vincolante del 10% di energia da FER nei trasporti terrestri, da raggiungere nel 2020, e dell'obbligo per i biocarburanti del rispetto di criteri di sostenibilità
- **Direttiva n. 2009/30/CE** (23 aprile 2009)
 - Definizione delle specifiche di carburanti e biocarburanti e dei criteri di sostenibilità per i biocarburanti
- **Direttiva n. (UE) 2015/1513** (9 settembre 2015)
 - Introduzione di un limite massimo del 7% (CAP) per la quota di energia rinnovabile nei trasporti coperta dai biocarburanti prodotti da colture a destinazione alimentare (Direttiva ILUC)
- **Direttiva 2018/2001/UE** (11 dicembre 2018)
 - Aggiornamento della Direttiva n. 2009/30/CE (RED I), con la definizione di nuovi obiettivi per il 2030, e introduzione di criteri di sostenibilità per energia da biomasse e biogas

Obiettivi % indicativi e vincolanti di consumi di energia da fonti rinnovabili nel settore dei trasporti nella UE



Tali misure contribuiranno alla decarbonizzazione del sistema dei trasporti stradali, anche in relazione al fatto che il parco circolante di veicoli con motori termici rappresenterà la maggioranza per molti anni a venire.

Il processo di revisione normativa è stato nel tempo seguito dall'impiego crescente dei carburanti a basso impatto.

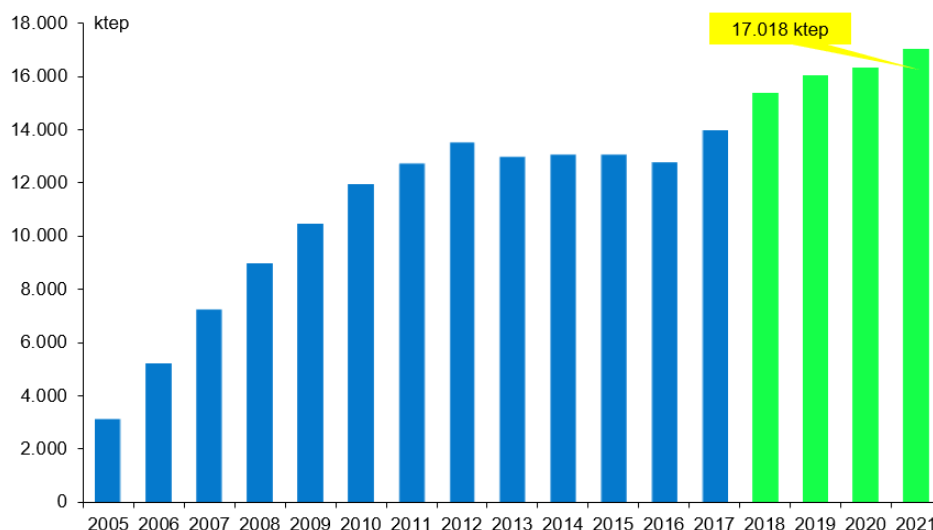


Figura 17 Consumi di biocarburanti nei paesi dell'Unione Europea (UE 27). Anni 2005 – 2021 (Fonte: Osservatorio Muoversi con Energia, Elaborazione su dati EurObserv'ER - RES in Transport Barometer, 2021 e 2022, da Vito Pignatelli, 2023)

Le linee di sviluppo più interessanti nell'impiego dei carburanti a basso impatto riguardano principalmente l'utilizzo dei biocarburanti avanzati. "Per biocarburanti avanzati si intendono tutti i biocarburanti liquidi prodotti da scarti e residui agricoli ed agroindustriali, biomasse lignocellulosiche, alghe e colture di microalghe, ad eccezione di quelli ottenuti da oli alimentari esausti e grassi animali non commestibili (Direttiva 2001/2018/UE, Allegato IX Parte A). È considerato 'avanzato' anche il biometano ottenuto dalle stesse materie prime. L'unico elemento che distingue un biocarburante convenzionale da uno avanzato è la materia prima utilizzata per la sua produzione, indipendentemente dalla tecnologia e dalle caratteristiche del processo produttivo"³⁴. Il vantaggio principale dei biocarburanti avanzati è rappresentato dal fatto che il loro utilizzo non è concorrente a quello degli impieghi tradizionali.

Altra frontiera tecnologia di estremo interesse riguarda i biocarburanti "drop in". I biocarburanti tradizionali sono chimicamente diversi dagli idrocarburi a causa della presenza di ossigeno, che ne peggiora le caratteristiche, rendendoli inadatti all'uso per il trasporto aereo e creando problemi di incompatibilità in caso di miscelazione con i combustibili per autotrazione (il cosiddetto "blending wall"). Per trasformare un prodotto derivante dalla biomassa (come oli vegetali, grassi, alcoli, oli di pirolisi etc.) in una miscela di idrocarburi è necessario rimuovere il contenuto di ossigeno per portare il rapporto H_{eff} (idrogeno effettivo) / C il più vicino possibile al valore 2 tipico del gasolio e del jet fuel.

³⁴ Vito Pignatelli, Osservatorio Muoversi con Energia, Fondazione Caracciolo, 2023.

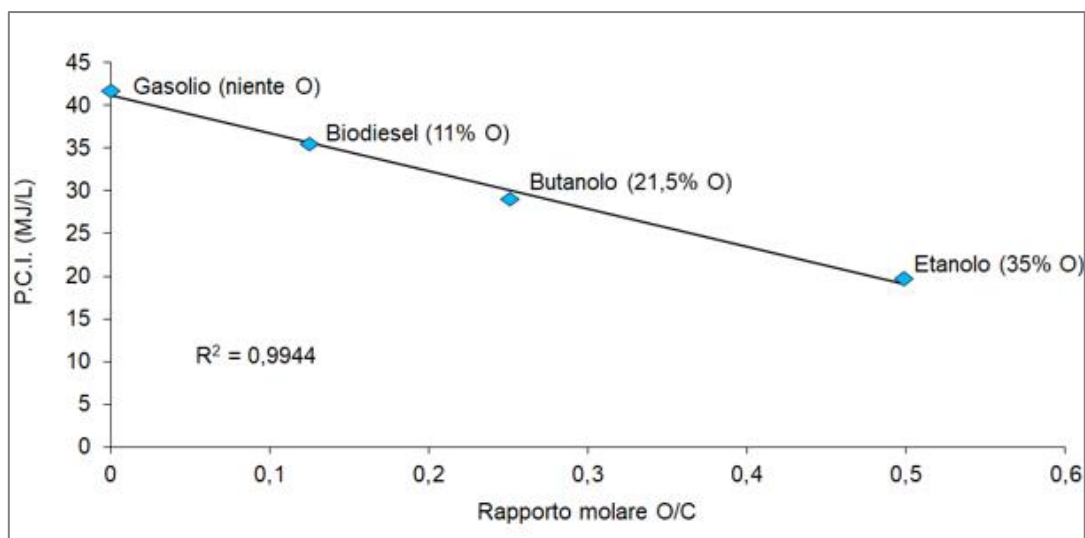


Figura 18 Effetto del contenuto di ossigeno sulla densità energetica dei combustibili liquidi (Fonte: Oak Ridge National Laboratory, 2013)

I biocarburanti “drop-in” possono essere prodotti a partire da diverse materie prime, con processi e tecnologie che presentano diversi livelli di sviluppo, da quelli ancora oggetto di attività di RST (Ricerca e Sviluppo Tecnologico) a quelli già utilizzati su scala industriale. I biocarburanti “drop-in” presenti attualmente sul mercato in quantità significative sono gli HVO (oli vegetali idrotrattati) e altri derivati dall'idrogenazione di materie oleaginose (HEFA, tallolio). Se prodotti da scarti, rifiuti e biomasse residuali diverse dagli oli esausti e grassi animali, o colture algali, sono considerati a tutti gli effetti biocarburanti avanzati. In Italia, nel 2021, gli HVO immessi al consumo come carburanti per autotrazione ammontavano a circa 150.000 t, corrispondenti a poco meno dell'11% del totale di biocarburanti utilizzati in miscela con il gasolio.

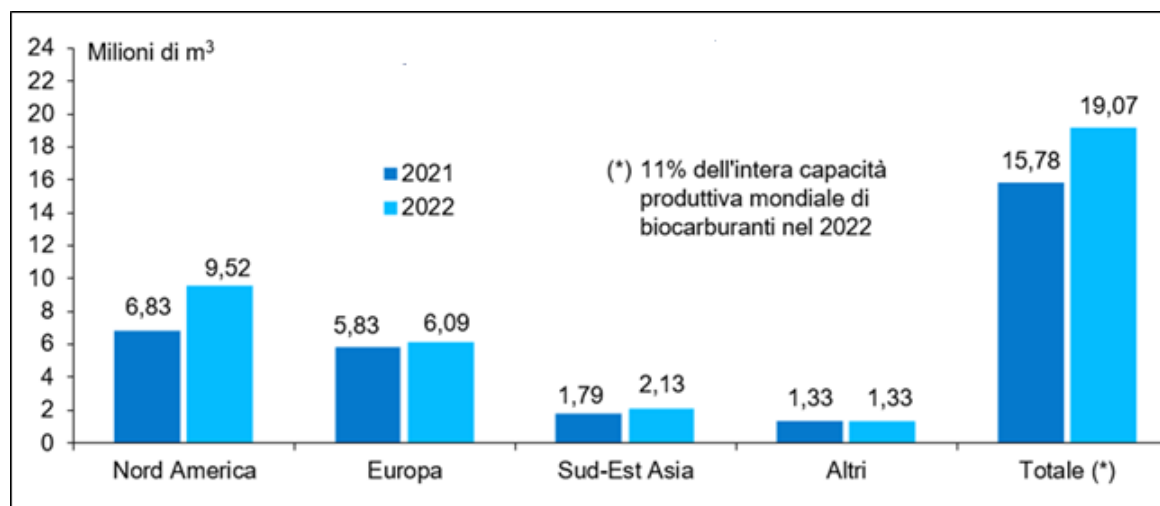


Figura 19 Capacità produttiva mondiale di HVO

La direttiva europea sulle fonti rinnovabili (UE) 2018/2001 (RED II) è stata recepita a livello nazionale con il DLgs 199/2021. Il Decreto ha definito “gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi di incremento della quota di energia da fonti rinnovabili al 2030”, in attuazione della direttiva RED II e reca disposizioni necessarie all'attuazione delle misure del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) in materia di energia da fonti rinnovabili. Con il DLgs 199/2001 l'Italia si è posta un obiettivo minimo del 30% come quota complessiva di energia da fonti rinnovabili

sul consumo finale lordo, che relativamente ai trasporti, in linea con il PNIEC, prevede l'obbligo per i *fuel supplier* di conseguire entro il 2030 una quota almeno pari al 16% di fonti rinnovabili sul totale di carburanti immessi in consumo nell'anno di riferimento, e calcolata sulla base del contenuto energetico (DLgs 199/2021):

Più in dettaglio, nell'ambito del macro-obiettivo su indicato, si sono definiti tre differenti sotto-obiettivi come di seguito illustrati:

- un target pari almeno al 16% al 2030 sul totale di carburanti immessi in consumo nell'anno di riferimento (l'attuale PNIEC in fase di revisione prevede oggi un obiettivo pari al 22%);
- target crescenti per i biocarburanti avanzati (compreso il biometano) come quota minima di immesso in consumo: almeno 2,5% dal 2022 e almeno 8% al 2030 di cui una quota da definire per il periodo post 2022 da miscelare fisicamente per biocarburanti avanzati liquidi (pari allo 0,6% in energia per il 2022 - introdotto dal DM 30.12.2020 e fatto salvo dal DLgs 199/2021);
- target crescenti per i biocarburanti miscelati nella benzina: 0,5 % dal 2023 e 3% dal 2025 sul totale della benzina immessa in consumo.

Al di fuori degli obiettivi RED II, l'Italia si è imposta un obbligo aggiuntivo di immissione in consumo di una quota di biocarburanti liquidi utilizzati in purezza espressa in volume e pari a 300 kton per il 2023, incrementato di 100 kton fino a 1 Mln ton al 2030. I criteri e le modalità di attuazione della misura e di riparto delle risorse saranno definiti con appositi decreti MiTE/MEF.

Nella prima metà del 2023, la direttiva UE 2018/2001 è stata aggiornata a livello comunitario con la RED III, approvata in via definitiva dal Parlamento UE a Strasburgo il 12 settembre 2023. Secondo la revisione proposta, e già approvata dal Consiglio europeo nel mese di giugno 2023[74], la quota minima obbligatoria per i Paesi dell'UE di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo al 2030 è del 42,5%, con l'impegno, non vincolante, però di tutti i Paesi di raggiungere l'obiettivo del 45%. Per quanto riguarda i trasporti, tutti gli Stati membri devono imporre ai propri *fuel supplier* l'obbligo di raggiungere entro il 2030 una quota pari almeno al 29% di fonti rinnovabili³⁵ sul consumo finale di energia nel settore dei trasporti (o di ridurre del 14,5% l'intensità delle emissioni di gas serra)³⁶. La quota di biocarburanti avanzati e biogas prodotti dalle materie prime elencate nell'allegato IX, parte A della Direttiva RED II (2018/2001 EU), e dei combustibili rinnovabili di origine non biologica nell'energia fornita al settore dei trasporti dovrà essere almeno dell'1% nel 2025 e del 5,5% nel 2030, di cui una quota di almeno 1 punto percentuale di combustibili rinnovabili di origine non biologica.

In Italia, il nuovo Piano Nazionale integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC 2023), che tiene conto delle modifiche proposte con la RED III, indica un obiettivo generale pari al 31% di FER sui consumi finali lordi di energia nei trasporti³⁷, e definisce differenti sotto-obiettivi orientativi che prevedono l'impiego di un mix ottimale delle diverse fonti rinnovabili:

- Incremento dei biocarburanti di prima generazione in termini assoluti da circa 210 ktep a 950 ktep nel 2030 (pari al 2,3% del consumo complessivo dei trasporti), abbandonando progressivamente le materie prime ad alto rischio ILUC.
- Superamento dell'obiettivo specifico del 5,5% (di cui 1% di origine non biologica) al 2030 sui biocarburanti avanzati posto dalla RED III, fino al raggiungimento del 10%.
- Incremento dei biocarburanti da oli vegetali esausti e grassi animali fino al valore del 2,5% al 2030 (il valore indicato dalla RED III è di 1,7%) con materie prime di origine nazionale in un'ottica di economia circolare, sostenibilità e tracciabilità.

³⁵ Incrementando la quota target del 14% prevista dalla RED II.

³⁶ Article 25, *Greenhouse gas intensity reduction in the transport sector from the use of renewable energy, come modificato nella Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive (EU) 2018/2001*.

³⁷ Scenario di policy al 2030, PNIEC 2023[69].

- Contributo atteso di 0,95 Mtep di energia elettrica da FER per il settore stradale.
- Contributo atteso di 0,34 Mtep di energia elettrica da FER per il trasporto su rotaia.
- Contributo del 2% dei consumi settoriali complessivi (in raffineria o uso diretto nei veicoli) per l'idrogeno prodotto da FER di origine non biologica.
- Peso crescente non ancora quantificato per l'idrogeno prodotto da FER di origine biologica.
- Contributo di 250 ktep al 2030 dei biocarburanti in aviazione e navigazione.
- Valorizzazione del recupero degli scarti con l'uso (in quantità ancora da definire) di carburanti non rinnovabili prodotti attraverso il recupero di carbonio (*recycled fossil fuels*), con risparmio emissivo di almeno il 70% sul ciclo di vita.

2.3.1 Combustibili *carbon neutral* a confronto

Le riflessioni prospettiche sullo sviluppo del parco circolante e sull'uso delle fonti rinnovabili nei trasporti portano con sé due riflessioni consequenziali. Da un lato, per molti anni a venire, sicuramente non meno di un trentennio, dovremo confrontarci con una percentuale significativa di veicoli termici all'interno del nostro parco circolante, dall'altro, ancora per non meno di un ventennio, dovremo confrontarci a livello globale, ma anche locale, con una produzione di fonti rinnovabili incapace di soddisfare una domanda energetica spesso crescente.

Nel tentativo di offrire una prospettiva razionale alle diverse opzioni al vaglio, le pagine seguenti contengono una analisi comparata di alcune delle alternative di alimentazione dei veicoli su gomma dal punto di vista del consumo energetico. Le analisi contenute in tabelle riepilogative mettono a confronto le proprietà e il dispendio energetico di diversi carburanti alternativi secondo due approcci in uso: "dal serbatoio alla ruota" (Tank To Wheel, TTW), e dal "pozzo alla ruota" (Well To Wheel, WTW), tenendo conto del differente consumo energetico richiesto nelle fasi di produzione dei carburanti oggetto dello studio (processi e materie prime necessarie).

L'analisi delle diverse soluzioni al vaglio parte dalla valutazione del potere calorifico inferiore³⁸ dei diversi carburanti. Al netto dell'idrogeno verde, che esprime il suo potere energetico rispetto all'unità di peso in kg, gli altri carburanti sono confrontati rispetto all'unità di volume in litri e presentano valori molto simili.

Nell'ultima colonna della tabella è confrontata la resa energetica delle diverse soluzioni. Questo valore tiene conto del potere calorifico inferiore, ma anche dell'efficienza del motore. In questo caso i carburanti per motori termici presentano valori molto simili, mentre significativamente più efficienti appaiono i motori elettrici alimentati a idrogeno verde e ancora di più i motori elettrici a batteria.

Alimentazione	Potere calorifico inferiore del carburante		Consumi veicoli ³⁹	Resa energetica TTW
Elettricità	-	-	6,9 km/kWh	14,5 kWh/100 km
Idrogeno verde (per FCEV)	120 MJ/kg	33,33 kWh/kg	100 km/kg	33,3 kWh/100 km
Diesel	36 MJ/l	10 kWh/l	18,5 km/l	54 kWh/100 km
HVO* (da UCOs**)	34 MJ/l	9,44 kWh/l	18,5 km/l	51 kWh/100 km
HVO (da colture)	34 MJ/l	9,44 kWh/l	18,5 km/l	51 kWh/100 km
e-diesel (con idrogeno verde)	34 MJ/l	9,44 kWh/l	18,5 km/l	51 kWh/100 km

Tabella 25 Dispendio energetico in kWh/100 km per veicoli con diverse alimentazioni "dal serbatoio alla ruota"; * HVO: Hydrotreated Vegetable Oil; **UCOs: Used cooking oils; TTW: Tank To Wheel

³⁸ È definito potere calorifico inferiore l'energia che si può ricavare dalla completa conversione in energia di una massa unitaria di un vettore energetico in condizioni standard.

³⁹ Il consumo dei veicoli è stato determinato assumendo i valori ufficiali di modelli di pari gamma. (Modello FCEV: Toyota Mirai, Modello elettrico: Volkswagen ID4, modello Diesel: Peugeot 3008 diesel).

In questa prospettiva i motori a fuel cell e i motori elettrici appaiono la soluzione più efficiente. Soluzione che tuttavia non tiene conto dell'energia utilizzata in fase di produzione del vettore energetico. Allargando lo sguardo ai consumi energetici impiegati per la filiera produttiva dei carburanti, infatti, alcuni valori appaiono capovolti.

Secondo quanto riportato dalla società di consulenza inglese Ricardo, commissionata da Energy & Environment, per uno studio [75] sviluppato per la Commissione Europea nel 2020, la domanda di energia cumulativa, in rapporto ad ogni MJ di carburante prodotto, varia notevolmente a seconda del tipo di processo e della materia prima impiegata, come mostrato nella Tabella 26.

Carburante	Materia prima	Processo	Trasporto	Totale
	MJ/MJ final fuel	MJ/MJ final fuel	MJ/MJ final fuel	MJ/MJ final fuel
Idrogeno verde	0,000000	1,994817	0,110878	2,105694998
Diesel	0,025777	1,242657	0,012504	1,280938357
HVO (da UCOs)	0,000401	0,185044	0,012504	0,197949332
HVO (da colture)	1,809027	0,167711	0,012504	1,989241999
e-diesel (idrogeno verde + CO₂)	0,000000	3,062936	0,012504	3,075439934

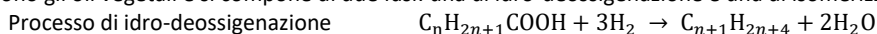
Tabella 26 Domanda di energia cumulativa in MJ per diversi tipi di carburante

Fra tutti, il valore più interessante è quello legato alla produzione di HVO da UCOs che risulta energeticamente molto conveniente, anche per via del fatto che la componente di approvvigionamento della materia prima ha un valore molto basso e il processo chimico con cui viene trattata è poco dispendioso dal punto di vista energetico rispetto ad altre tecniche (gli oli di partenza sono già chimicamente molto simili agli idrocarburi); una soluzione che appare vantaggiosa anche se confrontata con la produzione di HVO da semi oleosi provenienti da colture dedicate, che implica costi energetici aggiuntivi legati alla coltivazione e all'estrazione degli oli dalla materia prima.

Estremamente svantaggiosa è, invece, la catena produttiva del diesel sintetico (ottenuto da CO₂), prodotto attraverso un processo altamente energivoro; in questo caso è il processo chimico di sintesi ad avere il peso maggiore.

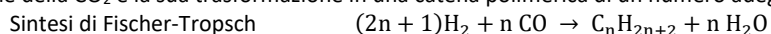
La grande differenza nella domanda energetica per i processi chimici alla base della produzione di HVO e diesel sintetico risiede nella quantità di idrogeno necessaria a completare le due reazioni. Infatti il processo di idro-deossigenazione degli oli vegetali, alla base della produzione di HVO, ha un dispendio in termini di idrogeno necessario di circa 7 volte inferiore al processo di sintesi di Fischer-Tropsch per la produzione di e-diesel⁴⁰. Quindi per produrre 1 kg di HVO è necessario impiegare 39,4 g di idrogeno, contro i 292 g necessari per 1 kg di e-diesel. È evidente che una grande parte del peso energetico per la produzione di diesel alternativi si riversa

⁴⁰ Nel caso dell'HVO il processo di produzione vero e proprio si basa sulla conversione in idrocarburi degli acidi organici che, insieme al glicerolo, costituiscono gli oli vegetali e si compone di due fasi: una di idro-deossigenazione e una di isomerizzazione.



Nella prima fase si impiega l'idrogeno per eliminare l'ossigeno dalla materia prima e saturare i doppi legami, la seconda reazione serve a migliorare le proprietà a freddo della paraffina ottenuta. A livello puramente stechiometrico, la reazione sopra indicata richiede 3 moli di idrogeno per mole di HVO; sono però necessarie altre 6 moli per la separazione delle catene degli acidi organici della glicerina. Questa fase preliminare richiede quindi nel complesso 2 moli per mole di acido organico libero prodotto per cui, in definitiva, per la produzione di una mole di HVO sono necessarie come minimo 5 moli di idrogeno che, secondo i rapporti ponderali, corrispondono a circa 39,4 g di idrogeno per kg di HVO.

Nella catena produttiva del diesel sintetico si usa il processo di sintesi di Fischer-Tropsch, che ha una elevata richiesta di idrogeno, per poter effettuare la riduzione della CO₂ e la sua trasformazione in una catena polimerica di un numero adeguato di atomi di carbonio.



Per ottenere un prodotto di sintesi con la stessa formulazione del diesel tradizionale (C₁₈H₃₈) sono quindi necessarie come minimo 37 moli di idrogeno per produrre una singola mole di e-diesel. In base ai rapporti ponderali questo si traduce in 292 g di idrogeno per kg di e-diesel (una quantità di idrogeno di oltre 7 volte maggiore rispetto a quella richiesta per la produzione di HVO).

nel processo di idrolisi per ottenere l'idrogeno verde necessario (che di per sé ha un costo energetico non trascurabile).

In conclusione, aggiungendo al computo della resa energetica legata all'uso dei carburanti anche l'energia relativa al processo di lavorazione e all'estrazione della materia prima, gli equilibri visti in precedenza cambiano e il quadro della situazione si fa più completo (Tabella 27).

Alimentazione	Consumi veicoli	Dispendio energetico WTW* (kWh/100 km)
Elettrico	6,9 km/kWh	14,5
Idrogeno verde (per FCEV)	100 km/kg	70,19
HVO (da UCOs)	18,5 km/l	10,09
HVO (da colture)	18,5 km/l	101,46
e-diesel (con idrogeno verde)	18,5 km/l	156,86

Tabella 27 Dispendio energetico in kWh/100 km per veicoli con diverse alimentazioni "dal pozzo alla ruota"⁴¹ (*WTW: Well To Wheel)

Dal confronto dei dati riportati in Tabella 27, quella dell'auto elettrica risulta essere una tecnologia energeticamente molto conveniente, ma l'HVO da UCOs appare altrettanto efficiente, con valori anche più bassi. Nella valutazione dell'intera filiera, gli e-diesel, invece, perdono significativamente terreno.

È chiaro che l'impatto energetico legato ai processi produttivi è imprescindibile in un'ottica di efficientamento energetico del sistema dei trasporti; diventa quindi fondamentale applicare delle strategie mirate per il futuro dei trasporti stradali che tengano conto anche di questo aspetto. Il motore elettrico, come del resto indicato nelle normative, sembra destinato a diventare la tecnologia di elezione per le auto e i veicoli commerciali leggeri, mentre l'HVO e l'idrogeno potranno essere preferiti dove l'elettrificazione è più complessa, oppure a vantaggio di opzioni trasportistiche in cui l'uso dell'elettrico ha maggiori difficoltà a penetrare.

Nella prospettiva di valorizzare il potenziale dell'HVO (da UCOs), resta da sciogliere il nodo delle quantità: trattandosi di un carburante ottenuto da materiale di scarto di lavorazioni dell'industria agro-alimentare non è una risorsa di cui si dispone in quantità sufficienti a coprire l'intero fabbisogno del parco veicolare, anche in considerazione del pre-esistente e consolidato mercato degli oli vegetali esausti che sono ampiamente impiegati nelle industrie cosmetiche e chimiche (lubrificanti, vernici etc.).

2.4 La nuova regolamentazione euro 7

Il 10 Novembre 2022, la Commissione Europea ha proposto al Parlamento europeo una nuova normativa sulle emissioni inquinanti prodotte da tutti i veicoli dotati di motore a combustione circolanti su strada e denominata Euro 7, da intendersi valida sia per le autovetture che per i veicoli commerciali. La proposta è stata sviluppata sulla base del lavoro svolto dal CLOVE (Consortium for ultra Low Vehicle Emissions – Consorzio per le emissioni dei veicoli a basso impatto ambientale, comprendente organizzazioni dell'industria, del mondo accademico e della ricerca), incaricato dalla Commissione allo sviluppo della normativa. Il lavoro del

⁴¹ La stessa analisi, applicata al caso del Diesel tradizionale non è stata riportata in tabella in quanto non si tratta di un combustibile per il quale l'elettricità è un vettore energetico fondamentale nel processo di produzione. Tuttavia è corretto indicare che il calcolo è applicabile anche in questo caso specifico e il valore ottenuto è di 69,17 kWh/100 km.

CLOVE è stato condotto anche con la collaborazione di vari *stakeholders*: industria automobilistica in primis, Stati membri, autorità governative, associazioni ambientaliste e dei consumatori [76].

Per tutti i veicoli di prima immatricolazione, la proposta prevede l'entrata in vigore della nuova normativa il 1° luglio 2025 per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni), ed il 1° luglio 2027 per i veicoli commerciali pesanti (autocarri e autobus), con eccezioni per i piccoli costruttori.

La nuova normativa è stata sviluppata con ben determinati macro-obiettivi:

- Garantire limiti alle emissioni nocive in una più ampia gamma di condizioni di guida su strada per la verifica delle vetture (*Real Driving Emissions* – RDE) rispetto all'attuale normativa Euro 6 (autovetture) ed Euro VI (veicoli pesanti);
- Garantire il soddisfacimento dei limiti per tutta la vita utile del veicolo;
- Introdurre limiti emissivi ad altre sostanze inquinanti non contemplate nella normativa Euro 6/VII;
- Introdurre vincoli sulla durabilità delle batterie.

Nello sviluppo della normativa si è fatto riferimento sia alle esperienze acquisite nell'applicazione della attuale regolamentazione, soprattutto in merito alle verifiche su strada (RDE), che alla necessità di introdurre limiti ad alcuni inquinanti precedentemente ritenuti "secondari", ma divenuti rilevanti grazie alla progressiva riduzione delle emissioni dirette legate alla diffusione delle tecnologie di controllo emissioni Euro 6 (è appunto il caso delle particelle solide emesse dai freni in fase di frenata e dagli pneumatici durante il rotolamento su asfalto).

Il lavoro di preparazione della normativa, iniziato nell'Ottobre 2018, si è sviluppato in cinque fasi principali:

1. Costruzione di una statistica delle emissioni dei veicoli Euro 6 in uso reale;
2. Analisi del database ed identificazione delle condizioni di uso critiche per le emissioni, con individuazione dei limiti delle procedure di prova e delle tecnologie di controllo emissioni;
3. Identificazione delle tecnologie innovative potenzialmente compatibili per il controllo delle emissioni in riferimento ad un ulteriore inasprimento della normativa;
4. Valutazione tecnico-economica di tali tecnologie mediante campagne sperimentali su veicoli;
5. Definizione dei nuovi limiti di emissioni e delle relative procedure di prova, anche in relazione ai costi delle tecnologie.

Senza dilungarsi nella descrizione dei nuovi limiti per singola specie inquinante oltre che delle procedure di prova, facilmente reperibili dal web, è più interessante evidenziare in modo semplice le differenze salienti rispetto all'attuale regolamentazione relativamente alle autovetture ed ai furgoni leggeri:

- Unificazione delle differenti direttive tra veicoli leggeri (benzina, diesel, metano *etc.*) e pesanti in un'unica direttiva, sebbene con differenti limiti tra autovetture e furgoni leggeri rispetto ai veicoli commerciali pesanti;
- Significativa estensione delle condizioni di prova su strada (RDE) in modo da comprendere la quasi totalità delle modalità di uso reale delle vetture (ad esempio la possibilità di verificare il veicolo in un range di temperatura ambientale variabile tra -10 e +45 °C), senza nessun fattore di conformità nel passaggio dalla prova di laboratorio a quella su strada, entro gli 8 anni di vita dei veicoli o 160.000 km, ed un fattore di tolleranza di 1.2 (20% in più) per i soli inquinanti gassosi, entro i 10 anni di vita o 200.000 km;
- Uniformità delle emissioni di NOx tra tutti i veicoli e pari a 60 mg/km, estensione dell'intervallo di misura della dimensione delle particelle carboniose emesse allo scarico (a partire da 10 nm anziché 23), introduzione di un limite alle emissioni di ammoniaca (pari a 5 mg/km), alle particelle rilasciate dai freni (7 mg/km prima del 2035 e 3 mg/km dopo tale anno), ed alle emissioni causate dall'evaporazione dei fluidi di bordo, mentre per gli altri inquinanti le restrizioni Euro 6 sono state sostanzialmente mantenute;
- Introduzione di vincoli di durabilità della batteria per tutti i veicoli ibridi, sia essi ibridi puri che i cosiddetti "Plug-in", ovvero un limite di riduzione di capacità di carica pari all'80% di quella iniziale

entro i primi 5 anni di vita o 100.000 km, a seconda di quale evento si verifichi prima, e successivamente, 70% entro gli 8 anni di vita o 160.000 km. Questi vincoli diventano rispettivamente 75% e 65% nel caso dei furgoni leggeri.

La Tabella 28 illustra le differenze salienti tra le due regolamentazioni in termini di emissioni allo scarico.

	Euro 7	Euro 6	Euro 7	Euro 6
	<i>Per km</i>	<i>Per km</i>	<i>Per viaggio <10 km</i>	<i>Per viaggio <10 km</i>
NO _x (Ossidi di azoto)	60 mg/km	60 mg/km benzina 80 mg/km diesel	600 mg	-
PM (Particolato)	4,5 mg/km	4,5 mg/km	45 mg	-
PN (Numero di particelle)	6x10 ¹¹ /km	6x10 ¹¹ /km	6x10 ¹²	-
CO (Monossido di carbonio)	500 mg/km	1.000 mg/km benzina 500 mg/km diesel	5.000 mg	-
THC (Idrocarburi totali)	100 mg/km	100 mg/km benzina	1.000 mg	-
NMHC (Idrocarburi non metanici)	68 mg/km	68 mg/km benzina	680 mg	-
NH ₃ (Ammoniac)	20 mg/km	-	200 mg	-

Tabella 28 Confronto limiti emissioni/km di NO_x, PM, PN, CO, THC, NMHC e NH₃ per standard emissivo EU

La Tabella 29, invece, mostra le differenze in termini di particelle da freni.

	Euro 7	Euro 6
PM10	7 mg/km fino al 2034 3 mg/km dal 2035	-
PN	-	-

Tabella 29 Limiti emissivi di particelle da freni introdotte con lo standard Euro 7

Infine, la Tabella 30, riporta le prestazioni di durabilità della batteria per i veicoli Euro 7 rispetto all'Euro 6 che non contemplava questo parametro.

	Euro 7	Euro 6
A 5 anni/100.000 km	80%	-
Dai 5 anni/100.000 km agli 8 anni/160.000 km	70%	-

Tabella 30 Prestazioni di durabilità batterie introdotte con lo standard Euro 7

Da una analisi complessiva del nuovo pacchetto normativo si evince che la sua attuazione comporterà un ulteriore significativo passo in avanti nell'abbattimento delle emissioni nocive da motori a combustione, già di per sé molto basse con gli attuali Euro 6.

In particolare, per le sole emissioni inquinanti, con l'applicazione della regolamentazione, le future auto Euro 7, se non intrinsecamente “zero-emission” come i veicoli elettrici, potrebbero essere considerate ambientalmente “neutrali”. Questo concetto, introdotto dalla comunità scientifica qualche anno addietro, sta ad indicare un contributo emissivo del veicolo che può essere considerato trascurabile rispetto all'inquinamento prodotto dagli altri settori (residenziale, industria, agricoltura, altri trasporti etc.) [77].

L'applicazione della Euro 7 comporterà quindi un rilevante aggiornamento tecnologico di tutti i propulsori ma principalmente incentrato sull'incremento dell'efficacia dei sistemi di controllo emissioni già utilizzati per le auto Euro 6 (ad esempio catalizzatori a tre vie, catalizzatori per ossidi di azoto ed ammoniaca, filtri antiparticolato etc.). Un aspetto di rilievo sarà l'introduzione di nuove soluzioni di gestione del motore per accelerare il riscaldamento dei catalizzatori allo scarico, aspetto cruciale per garantire la loro piena funzionalità in tutte le condizioni di utilizzo del veicolo.

Allo stesso tempo, le restrizioni sulle emissioni di particelle da freni implicheranno l'adozione di pacchetti tecnologici atti a ridurre l'usura, così come i vincoli sulla durabilità delle batterie ne imporranno un'oculata progettazione e gestione energetica.

La proposta della Commissione è stata fortemente rimodulata dal Consiglio Europeo il 26 Settembre 2023, che ha infatti approvato requisiti e disposizioni decisamente meno stringenti rispetto a quelli proposti dal massimo organo esecutivo dell'Unione Europea. Sostanzialmente, il Consiglio ha proposto di mantenere per auto e furgoni leggeri le regole previste dall'attuale normativa Euro 6.

L'iter procedurale è seguito con la successiva votazione del Parlamento Europeo il 12 Ottobre 2023. La Commissione Ambiente (Envi) del Parlamento ha adottato una posizione intermedia tra quella severa della Commissione Europea e quella più “morbida” del Consiglio. In particolare, la Envi, sebbene favorevole all'inasprimento dei limiti Euro 7 così come definiti dalla Commissione Europea, ha proposto che le norme di emissione in vigore (Euro 6) per auto e veicoli commerciali leggeri si applichino non più fino al 2025, ma fino al primo luglio 2030. In pratica, sì all'Euro 7, ma con tempi di applicazione più lunghi.

La strada per la legalizzazione dell'Euro 7 non è quindi ancora conclusa e si dovrà attendere il completamento della procedura negoziale tra Commissione, Consiglio ed Europarlamento. Ad ogni modo, è prevedibile aspettarsi nei prossimi anni l'arrivo sul mercato di veicoli Euro 7 ad impatto ambientale estremamente basso e garantito sull'intero ciclo di vita (o quasi).

Vi è però un altro aspetto su cui riflettere; l'approvazione del pacchetto “Fit for 55” del 28 Ottobre 2022 che sancisce lo stop ai veicoli che emettono anidride carbonica allo scarico a partire dal 2035, implica una finestra temporale di applicabilità della Euro 7 di circa nove anni e mezzo, o addirittura 5 se sarà approvata la proposta dell'Europarlamento. È lecito riflettere sulla opportunità di tale normativa, tenuto conto, come già detto, che le attuali auto Euro 6d sono già molto poco inquinanti.

Da un punto di vista tecnico, sociale ed ambientale, l'introduzione della nuova regolamentazione è certamente un evento positivamente rilevante: nella fase di transizione, in parallelo alla diffusione dei veicoli elettrici, l'Euro 7 accelererà la mitigazione degli effetti nocivi del trasporto stradale diffondendo veicoli molto più “puliti” per soddisfare quella frazione di domanda di mobilità che non avrà ancora optato per la trazione puramente elettrica o ad idrogeno.

Volendo dare un termine di paragone semplice, per meglio percepire cosa significa il passaggio ad una tecnologia Euro 7, basti pensare che un'auto di media classe, che avrà emissioni di NOx non superiori a 60 mg/km, avrà quindi una emissione di NOx di 1 g per kg di combustibile consumato, lo stesso di una cucina a gas per uso domestico³⁹ [78].

È altresì interessante osservare che con l'ipotesi estrema di una conversione “istantanea” del parco veicolare mosso da motori termici a veicoli Euro 7, con un consumo globale di benzina, gasolio, GPL e metano di circa

28 milioni di tonnellate⁴², si arriverebbe ad una emissione complessiva nazionale di NOx da autoveicoli di circa 21.000 tonnellate, a fronte di circa 165.000 tonnellate emesse nel 2020^{40,41} [72].

Nel 2021, il consumo globale di gas naturale per uso residenziale e commercio, escludendo quindi industria, elettricità e calore, è stato di circa 32 miliardi di m³ (21 milioni di tonnellate)⁴³, a cui è corrisposta quindi una emissione stimata di NOx di circa 21.000 tonnellate.

Confrontando le due sorgenti emissive, risulta che nell'ipotesi di un completo istantaneo rinnovo del parco circolante con Euro 7, i contributi emissivi di NOx da trasporto autoveicolare e residenziale si equivarrebbero, equiparando quindi il contributo del trasporto autoveicolare alle altre sorgenti emissive; e ciò senza tener conto dell'ulteriore contributo alla riduzione legato alla penetrazione nel circolante dei veicoli elettrici. Per chiarezza si riportano i dati di emissioni NOx complessive in Figura 20.

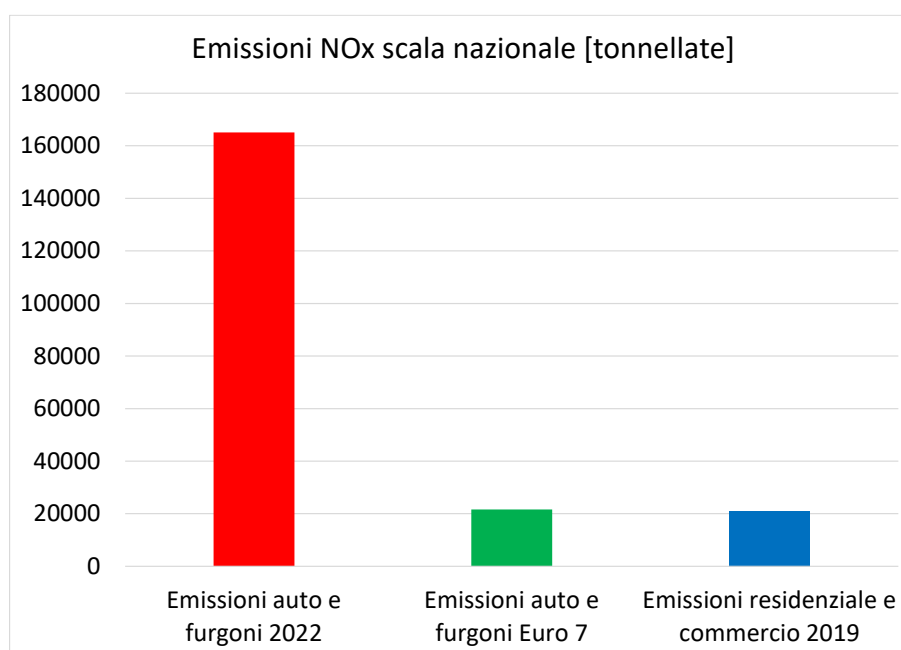


Figura 20 Emissioni di NOx - scala nazionale (tonn.)

In termini di mercato e scelte economiche per i piani industriali per i costruttori la situazione appare invece più complessa. Sebbene la definizione della normativa tiene conto delle potenzialità delle tecnologie disponibili e dei relativi costi, e comporterà una ripresa economica della filiera della componentistica, i costruttori si troveranno a sviluppare nuovi veicoli con il duplice obiettivo di: rispettare l'Euro 7 per le auto con motore termico ed avere un listino di sole elettriche dal 2035. Ciò richiederà notevoli investimenti sia in ricerca e sviluppo che per le catene di produzione. L'Associazione europea dei costruttori (ACEA - European Automobile Manufacturers' Association) ha già espresso parere critico sulla proposta Euro 7 [79], precisando che l'introduzione della nuova normativa comporterà un aumento dei costi delle vetture dotate di motore termico a fronte di benefici marginali rispetto agli attuali Euro 6 che già hanno emissioni difficilmente

⁴² *Paths to 2030, Possibili traiettorie del trasporto su strada per il raggiungimento degli obiettivi del pacchetto climatico EU "Fit for 55"*, Cluster trasporti, 2023.

⁴³ <https://www.arera.it/it/dati/gmconsumi.htm>

³⁹ Il limite Euro 7 NOx di 60 mg/km corrisponde a 1 g di NOx per kg di combustibile bruciato per un'auto di media classe che consuma circa 6 kg per 100km. Una cucina a gas naturale emette circa 20-25 ng di NOx per Joule di energia prodotta dalla combustione che equivale a circa 1 g per kg di metano combusto.

⁴⁰ Fattori emissivi NOx/TJ consumati da <https://fettransp.isprambiente.it/#/home>

⁴¹ Consumo totale TJ di auto e furgoni da Studio Cluster Trasporti "Paths 2030".

misurabili. La critica è prevalentemente orientata all'estensione delle condizioni ambientali considerate conformi per i test su strada, chiedendo un "alleggerimento" della normativa ed una maggiore attenzione al sostegno politico nel ricambio del parco con veicoli a zero emissioni (elettrici), anche in considerazione degli enormi investimenti già effettuati per la transizione verso l'elettrico.

2.5 Scenari di mobilità sostenibile per la mitigazione degli impatti ambientali

Lo sviluppo dell'auto nella direzione della sostenibilità, e del contenimento degli impatti ambientali legati al suo utilizzo, rappresenta un elemento fondamentale nel contesto delle strategie europee di tutela dell'ambiente; è tuttavia innegabile che, ad oggi, gli obiettivi sfidanti assunti nella prospettiva della neutralità carbonica impongano l'adozione di misure, diversificate ma integrate, da adottare in molteplici ambiti della società. Il percorso verso la neutralità carbonica, deve, pertanto, partire da un processo di evoluzione dell'auto che sia parte di uno scenario più ampio di strategie integrate.

A fronte dell'impegno giuridicamente vincolante di conseguire la neutralità carbonica entro il 2050⁴⁴, la recente revisione del pacchetto "Fit for 55"⁴⁵ definisce nuovi obiettivi che prevedono la progressiva riduzione delle emissioni inquinanti del 55% entro il 2030, con un obiettivo ulteriore di ridurre del 100% le emissioni di autovetture e furgoni di nuova immatricolazione, a partire dal 2035.

Dall'esame delle complessive strategie europee per la decarbonizzazione emerge un approccio esteso ai molteplici settori responsabili della produzione di emissioni inquinanti e un costante impegno a garantire la coerenza e il coordinamento delle diverse azioni intraprese. Ciò considerato, e anche alla luce dell'insieme di strumenti di programmazione che sono stati adottati per il perseguimento degli obiettivi in ambito nazionale, appare opportuna una riflessione sui risultati conseguiti e verosimilmente conseguibili entro il 2050; l'andamento dello scenario emissivo negli ultimi anni, infatti, ha messo in evidenza una ripresa significativa delle emissioni di GHG, in buona parte riconducibile sia alla ripresa economica post Covid-19 che alla crescita della mobilità privata. È inoltre sempre più evidente l'importanza di valutare gli impatti delle strategie adottate in termini industriali e socio-economici.

2.5.1 Strategie integrate per il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità

Nel documento del Ministero delle Infrastrutture e Mobilità Sostenibili (oggi Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), denominato "Verso un nuovo modello di mobilità sostenibile", emerge come il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale definiti in ambito europeo, e recepiti in ambito nazionale, sia possibile solo attraverso l'attuazione di un insieme di misure che siano in grado di influire sia sulla domanda di mobilità che sull'offerta, fattori che devono necessariamente essere considerati contestualmente poiché interdipendenti e connessi [80]. Ciò, peraltro è coerente con recenti studi che ribadiscono la necessità di un approccio integrato alle politiche di mobilità.

Tra i diversi contributi al dibattito europeo in merito alle politiche di mobilità che possano maggiormente agevolare il raggiungimento degli obiettivi del pacchetto climatico "Fit for 55", il Cluster Trasporti è

⁴⁴ Si rinvia a quanto previsto dal Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (ce) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999.

⁴⁵ Revisione normativa attuata con il Regolamento (UE) 2023/851 del 19 aprile 2023 che modifica il Regolamento (UE) 2019/631, aggiornando gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ dell'Unione per autovetture e furgoni nuovi alla luce della nuova normativa europea sul clima (Regolamento (UE) 2021/1119).

recentemente intervenuto con un approfondimento che parte dalla considerazione per cui, nell'ambito delle politiche ambientali, "l'approccio multidisciplinare ASI (dall'inglese *Avoid, Shift, Improve*, ovvero contenimento della domanda, politiche di diversione modale e miglioramento tecnologico) risulta essere sicuramente il più promettente, e forse anche l'unico attuabile"⁴⁶.

Lo studio del Cluster Trasporti persegue i seguenti obiettivi:

1. offrire una stima dei volumi di traffico, in termini di veicoli*km, del gas serra e dei consumi energetici imputabili ai trasporti stradali in Italia;
2. offrire una stima dei possibili effetti dell'attuazione di diversi scenari di politiche di mobilità rispetto al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dell'inquinamento previsti dal pacchetto "Fit for 55";
3. stimare i possibili effetti di scenari che prevedano l'impiego di nuovi vettori energetici.

Lo studio ha preliminarmente messo in evidenza che i dati ufficiali sulla domanda di mobilità appaiono sottostimati, sia con riferimento alla mobilità delle persone che delle merci; ciò sarebbe imputabile a diverse cause tra cui la grande variabilità tra le fonti di dati normalmente utilizzate, la diversità delle unità di misura e la diversità dei metodi di calcolo utilizzati per le stime.

Più in generale nello studio si evidenzia la difficoltà di prevedere l'evoluzione dei livelli di emissioni al 2030 a causa di fattori esterni, idonei ad incidere in modo sensibile sulla domanda, come variabili socio-economiche e modifiche del comportamento degli utenti, o sull'offerta, come eventuali innovazioni tecnologiche o tempi e costi di realizzazione di interventi infrastrutturali, innovazioni normative o l'affermazione di interessi particolari.

Nella stima dei possibili effetti di riduzione delle emissioni inquinanti rispetto agli obiettivi previsti da "Fit for 55", lo studio si riferisce a due possibili scenari: uno scenario ottimistico, che prevede l'attuazione di interventi molto efficaci nella riduzione della CO₂ emessa, e uno scenario prudenziale. Le stime si basano sia sul ciclo "Tank-to-Wheel" (TTW) che "Well-To-Wheel" (WTW).

Nella costruzione degli scenari, come già sottolineato, è stato adottato l'approccio ASI e, pertanto, sono state ipotizzate misure articolate su tre linee di intervento:

1. "Avoid", ovvero l'attuazione di politiche volte alla riduzione dei veicoli*km con conseguente riduzione del numero di viaggi e delle percorrenze a favore di un maggior riempimento dei mezzi utilizzati;
2. "Shift", ovvero attuazione di politiche che incentivino un cambiamento nelle modalità di trasporto utilizzate intervenendo direttamente sulle abitudini di spostamento degli utenti;
3. "Improve", ovvero politiche di incentivo dello sviluppo tecnologico e del rinnovo del parco veicolare.

Gli scenari considerati dallo studio, pertanto, prevedono l'attuazione di differenti politiche di mobilità che vanno oltre il mero aggiornamento del parco veicolare: con riferimento alla mobilità di persone, a titolo esemplificativo, entrambi gli scenari prevedono il ricorso allo *smart working* per ridurre la domanda di mobilità così come un cambiamento nelle modalità di spostamento riconducibile agli investimenti nello sviluppo del trasporto pubblico di linea e alla diffusione di servizi di mobilità condivisa.

Dallo studio emerge una riduzione delle emissioni inquinanti al 2030 pari al:

1. 30,6% nello scenario ottimistico, e al 9,7% nello scenario prudenziale, considerando il ciclo TTW;
2. 29% nello scenario ottimistico, e al 9,1% nello scenario prudenziale, considerando il ciclo WTW.

La sensibile distanza tra le stime dei due scenari è principalmente dovuta all'incertezza sull'andamento della domanda e, conseguentemente, della diffusione di veicoli elettrici.

In entrambi i casi, emerge comunque una distanza considerevole tra gli obiettivi, definiti in ambito comunitario, e gli effetti attesi dalle misure che tendenzialmente potranno essere attuate anche sulla base di

⁴⁶ Per una sintesi esaustiva e completa dello studio si rinvia a Cascetta *et al.*, "Alcune traiettorie di decarbonizzazione del trasporto stradale in Italia al 2030: verso il Fit for 55", Le Strade, n. 1588, Giugno 2023.

valutazioni ottimistiche. Ciò conferisce ancora maggiore enfasi alla necessità di valutare strategie integrate per la riduzione delle emissioni inquinanti come nel caso del ricorso ai biocarburanti; lo studio, infatti, mette in evidenza la possibilità di un importante contributo alla riduzione delle emissioni inquinanti nel settore del trasporto merci grazie al ricorso al HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) prodotto da materie prime di scarto, residui e rifiuti di natura vegetale.

Nello studio del 2019 della Fondazione Caracciolo, “Per una transizione eco-razionale della mobilità automobilistica”⁴⁷, si è tentato di offrire una panoramica degli effetti di alcune possibili strategie per il raggiungimento degli obiettivi europei di riduzione delle emissioni inquinanti valutando, pertanto, i possibili impatti della transizione ecologica sul sistema industriale ed economico-sociale del Paese.

In questo caso, lo studio ha delineato tre differenti scenari di cui uno tendenziale e due “di progetto”, costruiti partendo dagli obiettivi comunitari. Il primo scenario, denominato “Scenario di Programma”, prevede una stima dei livelli emissivi unicamente legata all’evoluzione del mercato automobilistico in Italia alla luce dei provvedimenti già in atto. Il primo dei due scenari “di progetto”, “Scenario Tecnologico Accelerato”, è basato sull’ipotesi di una spinta notevole verso lo sviluppo e diffusione di autoveicoli a basso impatto ambientale e alimentati da fonti di energia alternative. Infine, si è ipotizzato uno scenario di “Mobilità Sostenibile”, che si basa sull’ipotesi di interventi istituzionali volti a modificare, in chiave di maggiore sostenibilità, le scelte di trasporto individuali in aggiunta alle politiche di promozione del ricorso a fonti di energia rinnovabile.

In sostanza, lo scenario “Tecnologico Accelerato” mette in evidenza fino a che punto sia necessario investire nello sviluppo tecnologico affinché siano rispettati i limiti emissivi europei al 2030. Lo scenario di “Mobilità Sostenibile” mette in evidenza quali siano gli obiettivi di composizione modale della domanda da raggiungere, mediante provvedimenti di politica di mobilità, affinché siano ottenuti gli stessi effetti rispetto ad un quadro di iniziative esclusivamente orientato allo sviluppo tecnologico.

Dall’analisi dello scenario di Mobilità Sostenibile, in particolare, emerge non solo una contrazione del parco veicolare ma anche delle percorrenze, sia in ambito urbano che extra-urbano, a cui corrisponde una maggiore offerta di servizio di trasporto pubblico nonché l’implementazione di misure volte ad incentivare forme di mobilità attiva.

Nel dettaglio, lo studio evidenzia come politiche di mobilità che siano indirizzate a ridurre in modo significativo le percorrenze con auto privata, andando ad influire sulle scelte di trasporto individuali (decremento dei veicolo/km pari a -11% in ambito urbano e -5% in ambito extraurbano), concorrerebbero in modo sensibile al raggiungimento dei target ambientali previsti al 2030. Queste politiche dovrebbero essere indirizzate ad agevolare la redistribuzione della domanda di mobilità (veicolo/km), prima soddisfatta dall’auto privata e ridotta grazie a strumenti come il telelavoro, tra spostamenti con modalità più sostenibili come *pooling*, mobilità attiva (a piedi, in bicicletta) e TPL in città. In ambito extraurbano, il 20% degli spostamenti sarebbe attratto da servizi di *ride-sharing* e il restante 80% sarebbe suddiviso tra autolinee e treni, con un incremento totale di offerta di servizi di trasporto collettivo pari al 24% per il TPL urbano, e del 12% per autolinee e treni rispetto ai dati 2017 del CNIT [70].

A parità di effetti in termini di riduzione delle emissioni inquinanti, infine, lo scenario di Mobilità Sostenibile presenterebbe anche una serie di benefici, la cui esatta quantificazione e valutazione comporta innegabili difficoltà, in termini di riduzione del congestionamento e aumento della sicurezza stradale.

In un documento recentemente presentato dal Mims nel corso del 2022 [67], si ribadisce che un contributo significativo alla riduzione delle emissioni può derivare da azioni congiunte su più livelli, strutturate secondo l’approccio ASI [81], in grado di contenere la domanda e assicurare un uso più razionale dei veicoli circolanti (*Avoid*), ma anche politiche che favoriscano il trasporto collettivo rispetto a quello individuale (*Shift*) e, infine, quelle che riguardino il miglioramento tecnologico dei trasporti (*Improve*).

⁴⁷ https://fondazionecaracciolo.aci.it/app/uploads/2022/05/Transizione_energetica_26_11_19_Def.pdf

La centralità di un approccio integrato che si avvalga di un insieme di azioni per il raggiungimento degli obiettivi europei è ribadita, peraltro, anche dal Piano per la Transizione Ecologica (PTE), la cui versione finale è stata approvata dal CITE (Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica) l'8 marzo 2022, e pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale del 15 giugno. Il PTE rappresenta lo strumento di programmazione che integra il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), al fine di garantire, tramite un insieme di misure e di azioni, le condizioni per il raggiungimento degli obiettivi fissati a livello internazionale ed europeo al 2050.

Il PTE riconosce pienamente il ruolo centrale che i veicoli elettrici, a idrogeno e i biocarburanti possono ricoprire nel perseguimento della neutralità carbonica nel 2050.

Allo stesso tempo, il Piano sottolinea la necessità che il processo di sviluppo tecnologico dell'auto, e le iniziative di incentivo per la diffusione di modelli caratterizzati da un impatto ambientale sempre più contenuto, sia integrato nel più ampio contesto di scelte di politica industriale e di politica di mobilità che si rivolgano in particolare al Trasporto pubblico locale, così come già previsto nelle linee di intervento del PNRR.

A titolo esemplificativo, si consideri che nell'ambito della Missione 3 (Mobilità) del PNRR sono previste iniziative per il potenziamento del sistema di trasporto su ferro: sono, infatti, previsti investimenti per circa 25 miliardi di euro, a cui si aggiungono 10,35 miliardi finanziati con fondi nazionali, per il completamento di infrastrutture ferroviarie sul territorio nazionale. A ciò si aggiungono interventi di miglioramento delle reti ferroviarie regionali a servizio dell'utenza pendolare, investimenti per lo svecchiamento del materiale rotabile e, in generale, per il miglioramento delle prestazioni di servizio.

La Missione 2 del PNRR, inoltre, è indirizzata alla conversione ecologica della mobilità locale con la realizzazione di 570 km di piste ciclabili urbane e 1200 km di ciclovie turistiche. Sono, infine, previsti interventi di potenziamento delle linee di trasporto pubblico, tra cui filovie e nuove linee metropolitane, e lo sviluppo di una rete infrastrutturale di ricarica elettrica pubblica che interessa sia le superstrade che l'ambito urbano.

Infine, il raggiungimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico, considerando i diversi obiettivi di riduzione della CO₂ per gli orizzonti temporali ravvicinati, non può prescindere da un sistema di monitoraggio continuo delle variabili che contribuiscono alla produzione di CO₂, al fine di supportare le possibili azioni in virtù della loro efficacia e facilità di applicazione.

2.5.2 Servizi MaaS

2.5.2.1 *Principali caratteristiche*

Nel panorama delle strategie integrate per il conseguimento degli obiettivi europei di sostenibilità ambientale, un ruolo determinante è attribuito anche alle piattaforme di servizi strutturati secondo il paradigma "MaaS"; nell'ambito di queste piattaforme e delle generali strategie discusse, l'auto, nella sua prospettiva di evoluzione, può svolgere un ruolo cruciale.

Con l'acronimo "MaaS", che riassume l'espressione "*Mobility as a Service*", ci si riferisce ad un approccio innovativo alla mobilità che consiste in una visione integrata dei molteplici servizi di trasporto, pubblici e privati, presenti su un dato territorio. In un contesto tradizionale di gestione della mobilità, la programmazione e fruizione delle diverse opzioni di mobilità è limitata allo specifico servizio di cui l'utente ritiene di avvalersi per effettuare i propri spostamenti.

In un contesto "MaaS", il tratto distintivo della gestione della mobilità è dato dall'integrazione delle diverse opzioni disponibili in modo da garantire l'efficiente utilizzo delle risorse e una razionalizzazione del rapporto fra trasporto pubblico e trasporto privato, riducendo le esternalità negative connesse al traffico automobilistico.

L'approccio "MaaS" alla mobilità si traduce nella centralità degli utenti e delle loro esigenze che rappresentano il parametro di riferimento prioritario dell'attività di programmazione dei servizi di trasporto. In questa prospettiva, il percorso di evoluzione verso una mobilità più sostenibile deve garantire, in primo luogo, l'estensione del perimetro delle opzioni tradizionalmente considerate nella programmazione dei servizi locali; dovrà essere garantito uno spazio adeguato al trasporto pubblico locale, alla mobilità individuale nonché ai più recenti servizi di mobilità condivisa nella sua accezione più ampia e inclusiva.

L'evoluzione della mobilità in un ecosistema MaaS è, inoltre, caratterizzata dalla progressiva digitalizzazione dei servizi. Nel documento "Mobilità e logistica sostenibili", pubblicato dal Ministero delle infrastrutture e mobilità sostenibili in data 21 ottobre 2022, si sottolinea come la transizione digitale svolga un ruolo centrale nell'abilitare nuovi servizi generando, conseguentemente, nuove opportunità per gli utenti così come per gli amministratori chiamati a pianificare la mobilità urbana ed extraurbana. L'uso multimodale dei servizi di trasporto, il ricorso ai servizi innovativi di mobilità condivisa e la diffusione, in prospettiva, della guida autonoma, sono considerati come fattori fondamentali per garantire la sostenibilità degli spostamenti [67].

Nel Policy brief sul MaaS proposto da UITP [82] si mette in evidenza che un ecosistema progettato efficientemente indurrà comportamenti di mobilità più sostenibili razionalizzando il rapporto tra l'utilizzo dell'auto privata e delle ulteriori opzioni di spostamento disponibili sul territorio.

La realizzazione di un ecosistema MaaS può apportare benefici anche sul piano dell'efficienza ed efficacia dell'attività di programmazione dei servizi svolta dalle amministrazioni locali; i dati sulla mobilità degli utenti raccolti dagli operatori MaaS, qualora resi disponibili, possono essere utili per migliorare i servizi di trasporto e pianificare anche interventi sulla rete più coerenti con le aspettative del territorio.

Affinché siano garantiti i suddetti risultati, tuttavia, il sistema deve essere strutturato in modo da garantire che i criteri utilizzati per aggregare i servizi di trasporto disponibili sul territorio, e fornire un servizio integrato ed intermodale, siano tali da perseguire obiettivi di sostenibilità evitando, allo stesso tempo, di determinare pericolose distorsioni di mercato; tale considerazione è particolarmente valida nel momento in cui nell'insieme di servizi integrati nell'ecosistema, siano presenti servizi pubblici erogati in regime di concessione e servizi privati erogati in un contesto di mercato concorrenziale.

L'**integrazione** che caratterizza un sistema MaaS viene comunemente ricondotta a quattro livelli che si distinguono per le funzionalità garantite [83]:

1. **Livello 1, integrazione delle informazioni** – il sistema è in grado di fornire all'utente finale informazioni relative ai diversi mezzi di trasporto disponibili sul territorio, unitamente a indicazioni sui percorsi e costi di accesso ai servizi. La disponibilità di informazioni aggregate e ottimizzate abilita l'accesso a diverse funzioni come sistemi di pianificazione multimodale dei viaggi. L'accessibilità ad un quadro di informazioni completo e facilmente fruibile può incentivare scelte consapevoli di mobilità sostenibile (es. *GoogleMaps*);
2. **Livello 2, integrazione delle prenotazioni e pagamenti** – rispetto al livello precedente, la naturale evoluzione dei sistemi informativi prevede la possibilità di accedere alla prenotazione e al pagamento dei singoli servizi accessibili tramite piattaforme (es. *Moovit*, *MyCicero*);
3. **Livello 3, integrazione dei servizi** – questo livello prevede l'integrazione dei servizi di trasporto in pacchetti predefiniti ottenibili pagando un abbonamento con un'unica fatturazione centralizzata (es. *Whim*, *Uber*, *UbiGo*). L'effettiva integrazione a questo livello comporta il superamento di difficoltà legate ai diversi modelli di business adottati dai singoli operatori di trasporto (come, a titolo esemplificativo, la possibilità di prenotare i mezzi garantita nell'ambito di tutti i servizi coinvolti) oltre a far emergere criticità legate alla redditività stessa dei servizi erogati dagli operatori di mobilità o operatori MaaS che operino in regime di libero mercato;

4. **Livello 4, integrazione degli obiettivi sociali** – questo livello si caratterizza per il tentativo di coniugare la domanda e offerta di mobilità con le regole di *governance* pubblica. L’ecosistema MaaS, in un simile contesto, assume il ruolo di strumento di attuazione di obiettivi politici, sociali e ambientali. In questo scenario riveste particolare importanza la cooperazione tra il settore pubblico e privato che, attraverso un solido sistema di regole, può garantire un allineamento tra gli interessi pubblici, indirizzati ad una mobilità efficace, inclusiva e accessibile, e gli interessi degli operatori economici privati che agiscano perseguendo finalità imprenditoriali.

L’effettiva integrazione dei servizi, nei diversi aspetti sopra considerati, presuppone un quadro di regole ben definito e strumenti di *governance* che ne agevolino le interazioni anche alla luce della diversità tra i modelli di *business* adottati. A titolo esemplificativo, si considerino le difficoltà di garantire una corretta pianificazione di un viaggio intermodale che tenga conto delle specificità delle diverse opzioni di spostamento disponibili sul territorio raccordandole con le infrastrutture, materiali e immateriali, necessarie all’efficace erogazione dei servizi.

I primi due livelli di integrazione sono ad oggi sicuramente più diffusi e facilmente conseguibili. Gli ulteriori livelli di integrazione richiedono un maggiore impegno da parte dei regolatori e degli operatori di mercato coinvolti rappresentando, tuttavia, un traguardo impegnativo e sfidante nel percorso di evoluzione della mobilità urbana ed extraurbana.

L’ecosistema MaaS può essere sviluppato secondo diversi approcci e filosofie progettuali che si caratterizzano per vantaggi e svantaggi differenti a seconda delle prospettive dei diversi attori coinvolti. Come messo in evidenza dalla letteratura di settore [82], nel valutare il miglior modello da seguire per la realizzazione di un ecosistema MaaS, un peso rilevante deve essere attribuito alle esigenze del territorio, preso in considerazione, in termini di estensione geografica, numero di utenti o esigenze di inclusione sociale.

La letteratura di settore [82], individua i seguenti modelli:

1. **Modello 1 “Commercial Integrator”** – il modello prevede la realizzazione di un mercato libero dei servizi MaaS. In questo scenario, ciascun operatore MaaS svilupperà intese commerciali con gli operatori di mobilità secondo logiche di libera concorrenza e in assenza di interventi pubblici invasivi. Le controindicazioni del presente modello sono prioritariamente legate all’assenza di controllo e indirizzo pubblico. A titolo esemplificativo, si consideri che difficilmente verranno garantiti obiettivi sociali di inclusività né ci si potrà attendere una libera condivisione dei dati di servizio con la Pubblica Amministrazione;
2. **Modello 2 “Open back-end platform”** – il modello prevede l’intervento di un’autorità pubblica che definisce un insieme di regole per l’interazione tra i vari attori del sistema e predispone un’infrastruttura abilitante che agevola lo sviluppo di soluzioni MaaS. La competizione di mercato è preservata nei rapporti con l’utenza finale. Gli elementi da considerare nello sviluppo del modello in questione sono legati, prioritariamente, alla necessità di reperire risorse per il finanziamento della realizzazione e mantenimento dell’infrastruttura nonché la necessità di sviluppare un insieme di regole che ne garantisca l’imparzialità di gestione prevenendo ogni forma di indebita influenza sul mercato;
3. **Modello 3 “Transport as the Integrator”** – in questo scenario, i servizi MaaS sono erogati direttamente dall’operatore di trasporto pubblico il quale agisce secondo un insieme di regole pubbliche, in coordinamento con un ristretto numero di operatori di mobilità selezionati. I vantaggi principali, in questo scenario, sono legati all’opportunità di valorizzare la base di utenti tipica dell’operatore di trasporto pubblico che necessariamente perseguirà obiettivi sociali, solitamente integrati nel contratto di servizio affidato dalla pubblica amministrazione. Allo stesso tempo, tuttavia,

su questa impostazione pesa il pregiudizio negativo circa l'incapacità di offrire un servizio realmente orientato alle esigenze dell'utenza finale;

4. **Modello 4 “Decentralised ledger technology for MaaS”** – questo modello, facendo ricorso a soluzioni basate su blockchain, prescinde dall'intervento di una struttura centralizzata per lo sviluppo ed erogazione dei servizi MaaS. Tutti gli attori del sistema, al contrario, operano tramite un'infrastruttura decentralizzata che garantisce il coordinamento dell'ecosistema di mobilità. Per quanto suggestivo, questo modello di sviluppo dei servizi MaaS è ancora oggetto di studio rispetto alle possibili modalità attuative.

La realizzazione dell'ecosistema MaaS transita, inoltre, per lo sviluppo di adeguate infrastrutture di carattere materiale e immateriale, la cui realizzazione e gestione può essere affidata ad un soggetto che svolgerà un ruolo di abilitatore e regolatore del sistema nel suo complesso.

La tipologia di infrastrutture materiali, necessarie nell'ambito di un ecosistema MaaS, è estremamente ampia e legata al carattere intermodale che contraddistingue questo specifico approccio alla mobilità. Da questo punto di vista sono rilevanti non solo tutti gli investimenti volti ad incrementare la qualità dell'offerta di mobilità pubblica, anche in termini di innovazione tecnologica, come investimenti sul trasporto rapido di massa, ampliamento delle flotte impiegate dal trasporto pubblico locale o sviluppo di infrastrutture per la ciclabilità e mobilità attiva, ma saranno altrettanto importanti gli interventi di investimento comunque idonei ad intervenire sulla ripartizione modale degli spostamenti spingendo nella direzione di maggiore sostenibilità ed inclusività.

Un peso strategico, infatti, può essere attribuito alla realizzazione di nodi di scambio che, oltre a rappresentare un'occasione di trasformazione e riqualificazione urbana, costituiscono il presupposto per lo sviluppo di una mobilità intermodale che possa integrare nel sistema anche gli spostamenti eseguiti con mezzi individuali, migliorando l'accessibilità al territorio e razionalizzando l'impiego di risorse.

La necessità di infrastrutture immateriali è invece legata alla condivisione dei dati di servizio al fine di sviluppare servizi di mobilità realmente idonei a soddisfare le esigenze degli utenti finali. La disponibilità di dati statici e dinamici relativi all'offerta dei servizi di trasporto, nonché il loro aggiornamento e la loro diffusione secondo un approccio non discriminatorio, rappresenta una condizione per lo sviluppo dei servizi di mobilità e ciò rappresenta un obiettivo costantemente perseguito anche dalla regolamentazione europea di settore.

Si consideri, infine, che nel nuovo paradigma di mobilità, sopra descritto, il concetto di “viaggiatore” è sostituito da quello di “cliente” orientando, pertanto, l'attività del pianificatore ad una prospettiva profondamente “user-centric” [84]. Dovendo garantire a chiunque la migliore esperienza di viaggio, qualunque sia l'esigenza di spostamento da soddisfare, è ipotizzabile la realizzazione di diverse piattaforme MaaS verticalizzate in base alle principali categorie di utenti; ciò presuppone uno studio accurato della domanda per identificare le diverse tipologie di utenza che potrebbero caratterizzarsi anche in base agli scopi degli spostamenti, come ad esempio casa-lavoro, casa-scuola o turismo, nonché a forme di disabilità. Alcuni esempi di queste applicazioni che sono progettate con riferimento ad una tipologia di utente finale sono disponibili in [85].

2.5.2.2 Il ruolo dell'auto privata nell'offerta integrata

Gli spostamenti in auto, con oltre 386 Mld di veicoli*km, rappresentano circa il 77% della mobilità su strada in Italia e vengono percorsi per la maggior parte in ambito extra-urbano, per circa 229 Mld di veicoli*km; a questi

ultimi si aggiungono gli spostamenti in ambito urbano, per circa 81 Mld di veicoli*km, e infine gli spostamenti in sede autostradale, per circa 77 Mld di veicoli*km⁴⁸.

Ciò premesso, qualunque strategia per la riduzione dell'impronta carbonica del trasporto non può che partire da un ripensamento del ruolo dell'auto che, in un gran numero di scenari, difficilmente perderà la propria centralità, in particolare, a fronte di condizioni che rappresentino un ostacolo concreto allo sviluppo del trasporto di massa; a titolo esemplificativo si considerino le peculiarità del territorio di riferimento, l'eventuale densità abitativa o specifiche esigenze di inclusione sociale.

Tale ripensamento del ruolo dell'auto privata, con l'obiettivo di contenerne le esternalità negative legate ad un suo utilizzo non razionale, può essere agevolato dalle attuali tendenze che segnano, in modo sempre più consolidato, il passaggio dal modello tipico di fruizione legata al possesso ad una fruizione legata alla condivisione.

Lo sviluppo di un ecosistema MaaS, da questo punto di vista, può rappresentare il contesto ideale per integrare l'auto in un complesso di servizi che riesca ad intercettare correttamente le esigenze di ogni tipologia di utenza garantendo un utilizzo equilibrato delle risorse e del territorio.

L'auto privata, in altre parole, in particolare se impiegata secondo logiche di condivisione ed eventualmente avvalendosi di soluzioni tecnologiche di guida autonoma, potrà rappresentare "l'entry point del MaaS, costituendo un elemento di 'avvicinamento' per offrire a utenti tradizionalmente orientati alla mobilità veicolare individuale un ventaglio di soluzioni complementari e più sostenibili" [83].

Partendo dal suddetto assunto, le diverse sperimentazioni in ambito MaaS, attuate nel corso degli anni, sono spesso state oggetto di valutazione in relazione agli effetti in termini di riduzione dell'utilizzo dell'auto. Quello che viene definito come il caso pioniere nel contesto MaaS, ovvero l'applicazione finlandese Whim, si è caratterizzato per 300mila utilizzatori nella città di Helsinki nel 2022, il 12% dei quali ha dichiarato di aver rinunciato all'uso dell'automobile di proprietà [86]. Risultati analoghi si sono registrati anche durante il progetto Smile a Vienna in occasione del quale un partecipante su cinque ha ridotto l'uso del veicolo privato; il progetto UbiGo, sviluppato in Svezia, avrebbe determinato una riduzione del 44% dell'utilizzo dell'auto privata [83].

Se l'obiettivo della razionalizzazione del rapporto tra mobilità individuale e mobilità collettiva proprio di un ecosistema MaaS sembra essere chiaro, in letteratura [84] si evidenzia la necessità di ulteriori approfondimenti, da condurre anche tramite sperimentazioni, finalizzati ad individuare le opzioni di trasporto che possano maggiormente contribuire, anche in uno scenario di integrazione, a garantire un'alternativa realistica all'utilizzo dell'auto privata. Allo stato attuale sembrerebbe che in generale i servizi basati sull'automobile (es. taxi, *car sharing* e noleggi) possano attirare maggiormente gli utilizzatori del mezzo privato garantendo allo stesso tempo un utilizzo razionale delle risorse attraverso lo sfruttamento della capacità residua proprio dei sistemi di condivisione. In questo scenario il veicolo definito "robotaxi" potrà verosimilmente svolgere una funzione rilevante nell'ambito dei servizi in condivisione grazie all'autonomia di guida e quindi alla capacità di riposizionarsi in luoghi diversi della città a seconda delle esigenze del servizio, con conseguente semplificazione delle operazioni di gestione della flotta.

Tra le indagini sulle relazioni tra sviluppo di ecosistemi MaaS e utilizzo dell'auto privata, si segnala infine la sperimentazione avviata in Australia nel 2019, rispetto alla quale è stato pubblicato un rapporto nel corso del 2020 [87]. Nell'ambito della sperimentazione sono stati resi progressivamente disponibili bundle di servizi MaaS, sviluppati alla luce dell'analisi delle attività di spostamento e sottoscrizione dei bundle esistenti, effettuata nel corso di ciascun mese di sperimentazione. L'analisi ha evidenziato un impatto, in termini di

⁴⁸ *Alcune traiettorie di decarbonizzazione del trasporto stradale in Italia al 2030: verso il "Fit for 55"*, Cascetta E. et al., Le strade, n. 1588, Giugno 2023.

riduzione dell'utilizzo dell'auto conseguente alla sottoscrizione di *bundle* mensili di mobilità. La sperimentazione sembrerebbe, inoltre, mettere in evidenza il ruolo dei *bundle* di servizi come elemento strategico per lo sviluppo dell'ecosistema MaaS; in assenza di offerte di servizio tramite sottoscrizione, l'ecosistema MaaS rischierebbe di avere un'attrattiva limitata alla sua funzione di strumento di pianificazione dei viaggi, idoneo ad influenzare la condotta degli utenti solo in ragione di una migliore informazione circa le alternative disponibili [87].

2.5.2.3 Esperienze di ecosistemi MaaS in Italia

Nel corso degli ultimi anni sono state avviate in Italia diverse sperimentazioni volte a costruire un ecosistema MaaS. Tali sperimentazioni si caratterizzano per l'approccio adottato anche, ma non solo, sotto il profilo dell'orizzonte territoriale preso in considerazione.

Nel corso del 2018 è stata lanciata la piattaforma NUGO nell'ambito di un progetto, promosso dal Gruppo Ferrovie dello Stato, che si è concluso il 31 dicembre 2022. La piattaforma consentiva di acquistare, tramite una transazione unica e avvalendosi dei principali sistemi di pagamento disponibili, titoli di viaggio da diversi vettori individuati a valle di un processo di pianificazione intermodale.

È, al contrario, ancora operativa la piattaforma ROGER che rappresenta un'esperienza MaaS, caratterizzata da un orizzonte territoriale regionale, sviluppatasi da un progetto di *mobile ticketing* finanziato dalla Regione Emilia Romagna. Dal progetto iniziale, tramite una serie di accordi che hanno coinvolto principalmente le aziende di trasporto pubblico regionale per estendersi poi anche al settore turistico, la piattaforma si è evoluta in modo da integrare molteplici funzioni che vanno dall'infomobilità, pianificazione dei viaggi intermodale, acquisto dei biglietti e loro validazione. In particolare, si deve segnalare il tentativo di integrare l'auto privata nell'ambito della piattaforma ROGER che fornisce servizi legati alla gestione della sosta in aree tariffate, abbonamenti e localizzazione della propria auto.

Tra le varie esperienze deve infine essere citato il progetto "MaaS for Italy" che rappresenta, ad oggi, il tentativo più strutturato di realizzare un ecosistema MaaS con un orizzonte nazionale. Il progetto è stato avviato, nel corso del 2021, dal Ministero per l'innovazione tecnologica e transizione digitale (oggi Dipartimento per la Trasformazione Digitale), in accordo con il Ministero delle Infrastrutture e delle Mobilità sostenibili; il progetto costituisce l'attuazione del sub-Investimento 1.4.6, all'interno della Missione 1 - Componente 1 del PNRR, finanziato dall'Unione europea nel contesto dell'iniziativa Next Generation EU, per lo sviluppo di nuovi servizi alla mobilità coerenti con il paradigma della "Mobilità come servizio".

MaaS for Italy recepisce una visione della mobilità incentrata su una razionalizzazione del rapporto tra trasporto pubblico e privato che si traduce nell'utilizzo efficiente delle risorse per il conseguimento di obiettivi di sostenibilità ambientale.

Nel documento recante gli "Indirizzi per l'attuazione del progetto MaaS for Italy" (di seguito in breve "Linee Guida"), il cui ultimo aggiornamento risale al 29 agosto 2022, l'ecosistema MaaS è definito come uno strumento idoneo a favorire lo *shift* modale verso forme più sostenibili di mobilità, razionalizzando il ricorso ai veicoli privati e contenendo, di conseguenza, le esternalità negative connesse al traffico automobilistico.

La visione alla base del progetto MaaS for Italy è fondata sulla centralità del trasporto pubblico che, nell'ambito del nuovo ecosistema, sarà chiamato alla collaborazione con soggetti privati e ad incrementare la qualità e il livello di digitalizzazione dei propri servizi.

L'architettura proposta nell'ambito di MaaS for Italy si riferisce al modello che, nell'ambito del documento Policy Brief di UITP, si caratterizza per l'implementazione di una piattaforma aperta di servizio agli operatori⁴⁹.

In maniera coerente con l'approccio proposto, "nel progetto MaaS for Italy il settore pubblico svolge un'azione 'abilitante', sia in qualità di **soggetto regolatore** per la definizione di regole, obblighi, normative e standard per l'interazione tra gli attori dell'ecosistema MaaS, sia di **soggetto abilitatore** dei MaaS Operator, attraverso la messa in campo di infrastrutture virtuali minime (leggere, lean), capaci di abilitare lo sviluppo efficace dei MaaS attraverso la realizzazione della piattaforma aperta"⁵⁰.

Le Linee Guida chiariscono inoltre le relazioni tra la suddetta piattaforma di integrazione e di interfaccia standard tra i vari Operatori dell'ecosistema MaaS, denominata Data Sharing and Service Repository Facilities - DS&SRF, e il National Access Point, previsto dal Regolamento EU 2017/1926. I requisiti di base della piattaforma sono stati definiti a valle di un processo di consultazione pubblica che ha coinvolto gli operatori MaaS e gli operatori di trasporto; la procedura di consultazione, conclusa in data 17 novembre 2021, aveva la finalità di definire un quadro conoscitivo completo per la realizzazione di una piattaforma nazionale abilitante che fosse in grado di garantire agli operatori servizi utili per lo sviluppo dei progetti pilota previsti dall'investimento 1.4.6 e, in prospettiva, dei servizi MaaS in Italia.

Il regolamento richiamato, relativo alla creazione dei NAP nazionali per i viaggi multimodali (Appendice F), ha come obiettivo la creazione di un catalogo di dati *open* che copra tutte le modalità di trasporto al fine di creare servizi informativi multimodali. In questo scenario il rapporto tra MaaS e NAP può essere bidirezionale con benefici per entrambi: l'elemento essenziale per il funzionamento di un ecosistema MaaS, infatti, è rappresentato dalla condivisione dei dati aggregati, con un certo livello di normalizzazione, che, nell'architettura del progetto MaaS for Italy, vengono forniti dagli operatori di trasporto e mobilità. La normativa europea che si è sviluppata e si sta sviluppando per la complessità dei dati MMTIS, agevolando le dinamiche di condivisione dei dati, determinerà benefici anche per i progetti MaaS che, quindi, potranno focalizzarsi principalmente sulla standardizzazione delle prenotazioni e dei pagamenti.

Il DS&SRF sarà chiamato ad operare esclusivamente in un contesto B2B (*Business-to-Business*), evitando quindi servizi direttamente a beneficio dell'utente finale [88]. Nell'architettura progettuale sono ben delineati gli **utenti** della piattaforma di integrazione e le loro possibili **azioni**, che possono variare comunque in base alla singola profilazione e i relativi accordi.

⁴⁹ "Open Back End Platform", in "Ready for MaaS? Easier mobility for citizens and better data for cities", UITP, Policy brief, maggio 2019.

⁵⁰ Si rinvia al documento "MaaS – Indirizzi per l'attuazione del progetto MaaS for Italy", ultimo aggiornamento 29 agosto 2022.

UTENTI/AZIONI	Esposizione di dati statici e dinamici (tariffe e dati topologici)	Accesso (interrogazione e lettura) ai dati sull'offerta	Composizione di viaggi e accordi tra operatori	Registrazione dei dati sugli accordi di viaggio	Interrogazione e visione degli accordi di viaggio	Effettuazione e esposizione analisi statistiche
Operatori di servizi di trasporto (es. tpl, taxi)	x	X	x		x	x
Operatori di servizi di mobilità (es. servizi sharing, operatori sosta)	x	X	x		x	x
Aggregatori e integratori di servizi territoriali o settoriali (es. RAP)	x	X			x	x
Operatori di servizi MaaS		X	x	x	x	x
Operatori di servizi turistici e/o di informazione ai passeggeri		X				x
Autorità locali e nazionali (anche Mobility Manager)	x	X				x

Tabella 31 Attori e azioni in un sistema MaaS (da Discussion paper "Data Sharing and Service Repository Facilities" (DS&SRF), elaborato da Fondazione Caracciolo, 2023)

L'architettura complessiva del progetto può quindi essere rappresentata come segue.

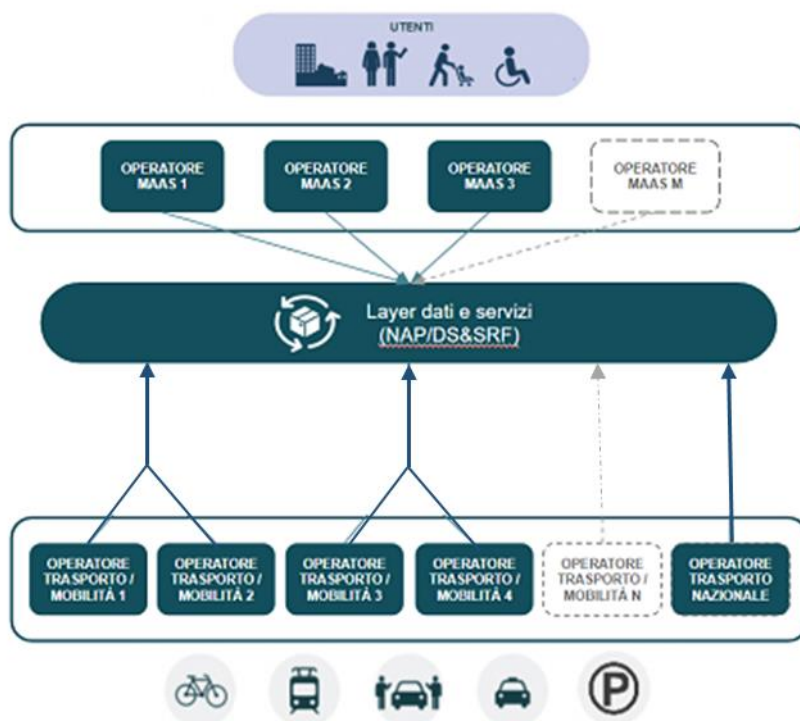


Figura 21 Azioni possibili per le diverse categorie di utenti sul DS&SRF [134]. Figura rielaborata

Nel suo complesso, il ricorso alla piattaforma DS&SRF dovrebbe consentire il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- garantire l'accessibilità del mercato MaaS facilitando i contatti e le interazioni tra Operatori di trasporto e Operatori MaaS sul territorio nazionale;
- agevolare le attività di regolamentazione del settore limitando l'accesso a soggetti accreditati e subordinando l'accREDITAMENTO al rispetto di obblighi specifici;
- agevolare l'adozione di standard in ambito nazionale;
- favorire la dimensione nazionale e interregionale favorendo, allo stesso tempo, la diffusione dei servizi MaaS anche in ambiti territoriali a domanda debole.

Allo stato attuale la sperimentazione dei servizi MaaS è stata avviata nelle città di Milano, Roma e Napoli, individuate nella prima fase del progetto MaaS for Italy, a cui si aggiungono le ulteriori città di Bari, Torino e Firenze nel 2024. Sono previste, inoltre, sperimentazioni in sette aree territoriali, come individuate dal Bando 7 territori⁵¹: la Provincia Autonoma di Bolzano e le regioni Abruzzo, Campania, Piemonte, Puglia, Toscana e Veneto.

⁵¹ Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - MISSIONE 1 - Componente 1, Sub-Investimento 1.4.6. "Mobility as a Service for Italy" - 7 Territori.

3 I SERVIZI PER L'AUTO DI DOMANI

L'auto del futuro si muoverà in uno scenario di mobilità con servizi innovativi, la cui evoluzione può essere abilitata anche grazie alle nuove potenzialità dei veicoli stessi. La connessione dei veicoli potrà abilitare servizi avanzati volti al miglioramento della sicurezza stradale ma anche ad una migliore gestione del traffico e delle infrastrutture. In questo contesto infatti servizi C-ITS potranno supportare le attività dinamiche di guida, ad esempio, per una maggiore percezione dell'ambiente. Servizi di *Smart Control* e le infrastrutture digitalizzate ed intelligenti (*Smart Road*) permetteranno una gestione del traffico e delle infrastrutture stradali più efficiente per le auto di domani. Il miglioramento dell'efficienza e della sicurezza degli spostamenti richiede anche lo sviluppo di servizi di assistenza e supporto durante gli stessi. Tra i servizi vi è sicuramente il servizio eCall, già operativo per la gestione automatica delle chiamate di soccorso, ed il registratore di eventi (EDR), che potrà permettere una migliore conoscenza del comportamento del veicolo durante i sinistri stradali, aspetto fondamentale per l'attribuzione della responsabilità in vista del cambiamento del ruolo del conducente. La connessione dei veicoli permetterà inoltre una migliore raccolta e ricezione di dati utili per l'auto durante gli spostamenti, come quelli per l'infomobilità o la diagnostica.

3.1 Connessione e cooperazione per la sicurezza stradale

Quando il veicolo è in movimento su un'infrastruttura stradale condivisa anche con altri veicoli, seppur dotato di sensori per percepire l'ambiente esterno, potrebbe trovarsi in situazioni difficilmente individuabili dal veicolo stesso, come ostacoli dietro le curve, oppure condizioni meteo avverse che generano scarsa aderenza o visibilità. Per compensare queste situazioni e supportare ulteriormente le attività dinamiche di guida a favore della sicurezza può entrare in gioco la **comunicazione** ai fini della **cooperazione** fra veicoli e con l'infrastruttura su cui viaggiano.

Le principali tecnologie di comunicazione che riguardano il veicolo comprendono un'infrastruttura di comunicazione, un formato dati standardizzato e servizi cooperativi per lo scambio di dati che può avvenire: tra veicoli (V2V, *Vehicle to Vehicle*); tra veicolo e infrastruttura (V2I, *Vehicle to Infrastructure*), con l'interazione tra veicoli e dispositivi di comunicazione installati presso l'infrastruttura stradale; tra veicolo ed altri soggetti (V2X, *Vehicle to other*), fra cui biciclette e pedoni, dotati di dispositivi mobili. Lo scambio di dati può avvenire in modo diretto fra gli oggetti connessi (dispositivi a bordo veicolo o in possesso degli utenti e installati presso l'infrastruttura), generalmente in un *range* fino a qualche centinaio di metri, o indiretto mediante la rete cellulare a cui gli oggetti stessi sono collegati.

Per garantire questo livello di comunicazione anche le infrastrutture oltre ai veicoli dovranno essere equipaggiati con tecnologie abilitanti per i servizi di cooperazione come quelli definiti **C-ITS** (Cooperative Intelligent Transport System). Questi ultimi sono servizi di allerta, assistenza e intervento con lo scopo di aumentare la sicurezza, indipendentemente dal livello di automazione del veicolo [89].

3.1.1 La cooperazione con le infrastrutture e i servizi per il veicolo (C-ITS)

I sistemi C-ITS sono basati sull'interoperabilità e la comunicazione attraverso reti aperte tra due o più sottosistemi ITS per migliorarne la qualità e livello di servizio [90]. Gli ITS⁵² si fondano sull'iterazione tra le tecnologie informatiche e i sistemi di telecomunicazione e multimedialità per l'applicazione ai sistemi di

⁵² Il 14 dicembre 2021 la Commissione europea ha adottato una proposta di modifica della direttiva 2010/40/UE sui sistemi di trasporto intelligenti, approvata dal Consiglio dei Ministri dei Trasporti dell'UE il 2 giugno 2022 (COM (2021) 813 final). Tale proposta ha, tra gli altri, lo scopo di introdurre nuovi temi legati al settore tra cui la mobilità cooperativa, connessa e automatizzata (CCAM).

trasporto. Al fine di consentire una collaborazione tra diversi attori (autorità nazionali, soggetti interessati, costruttori, fornitori e enti) per la diffusione di questi sistemi in UE, la Commissione Europea ha creato nel 2014 la “**C-ITS Platform**”. Il rapporto 2016 della piattaforma C-ITS evidenzia l'importanza del raggiungimento di specifici obiettivi tecnici comuni. In particolare introduce la lista dei “Day 1 services”, cioè servizi C-ITS da erogare a breve termine che garantiscono benefici immediati, classificabili in:

1. Servizi basati su sistemi di comunicazione V2V che mirano a garantire maggiore **sicurezza stradale** segnalando in modo tempestivo le frenate automatiche di emergenza ai veicoli che seguono, l'arrivo di veicoli di soccorso, la presenza di un veicolo lento o fermo e la formazione di code improvvise nel traffico;
2. Servizi applicabili in strade **extraurbane** che sfruttano la comunicazione V2I per segnalare al veicolo zone di particolare pericolosità, segnaletica e limiti di velocità, lavori stradali, condizioni meteo lungo l'infrastruttura. Sono inclusi inoltre servizi di raccolta dei dati cinematici dai veicoli e servizi di mitigazione delle onde di shock con suggerimenti di velocità ai veicoli;
3. Servizi che utilizzano la comunicazione V2I in contesto **urbano** come la segnalazione di velocità adeguate all'attraversamento di intersezioni semaforizzate, servizi di segnalazione di possibile violazione delle precedenza semaforiche e servizi di gestione della priorità per veicoli specifici.

Tra i servizi C-ITS elencati nel rapporto europeo della piattaforma si trovano anche i “Day 1.5 services” che riguardano ambiti di applicazione più specifici rispetto al primo gruppo di servizi e la loro erogazione è prevista successivamente rispetto ai servizi precedentemente elencati:

4. relativi al **parking** con comunicazione V2I con informazione e gestione dei parcheggi fuori strada, su strada, di interscambio e relativi alle stazioni di rifornimento e stazioni di ricarica per veicoli a combustibili alternativi;
5. che forniscono **informazioni** agli utenti sul traffico (V2I), sull'occupazione delle aree di carico/scarico merci e sulle zone urbane ad accesso limitato;
6. finalizzati alla protezione degli **utenti stradali vulnerabili** come pedoni e ciclisti, usando la comunicazione V2X;
7. di prevenzione per possibili **collisioni** fra autoveicoli e con motocicli basati su comunicazione V2V;
8. per la segnalazione di veicoli viaggianti nella direzione opposta al flusso di traffico (V2I).

Il consorzio CAR 2 CAR propone una diffusione dei servizi C-ITS con 3 fasi (Day 1, Day 2 e Day3+), raggruppati come segue [90]:

- **guida con visione estesa**, che comprende lo scambio di informazioni (V2X) di stato come posizione, velocità, direzione di marcia per attivare servizi di informazione ed avviso su situazioni rischiose non ancora visibili dall'utente (es. avviso di collisione all'incrocio, avviso di veicolo di emergenza, avviso di situazione pericolosa, avviso di veicolo fermo (Figura 22), avviso di ingorgo stradale, avviso pre/post incidente);

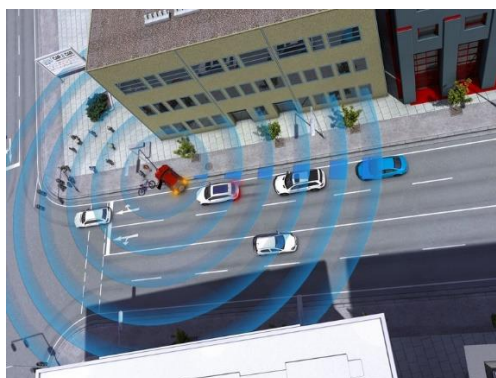


Figura 22 Esempio di servizio “avviso di veicolo fermo” (Day 1)

- **guida con percezione condivisa**, quando l'utente non condivide solo le informazioni del proprio stato ma anche le osservazioni ottenute dai propri sensori e le informazioni ambientali in ottica collaborativa (es. avviso di sorpasso, avviso di collisione in un'intersezione estesa, avviso di utente stradale vulnerabile (Figura 23), controllo adattivo della velocità di crociera cooperativo (C-ACC), avviso di lavori stradali a lungo termine, priorità ai veicoli speciali, GLOSA);

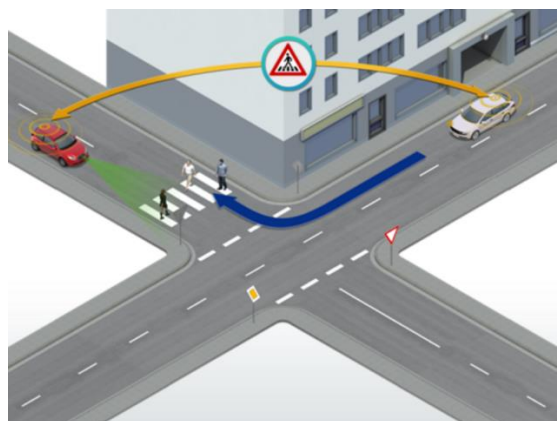


Figura 23 Esempio di servizio di "avviso di utente stradale vulnerabile" (Day 2)

- **guida cooperativa**, in aggiunta alle informazioni di stato e quelle raccolte dai sensori i veicoli condividono i dati sulle loro intenzioni per coordinare il loro comportamento anche in situazioni di traffico complesse (es. plotone statico o dinamico), prenotazione di aree di parcheggio, cooperazione fra le manovre alle intersezioni (Figura 24, cambio di corsia cooperativo, sorpasso cooperativo).



Figura 24 Esempio di servizio "cooperazione fra le manovre alle intersezioni" (Day 3+)

Le comunicazioni su cui si basano i servizi descritti possono utilizzare due standard principali (Figura 25) sullo spettro, già armonizzato a livello EU per gli ITS e i veicoli, a 5.9 GHz:

- il Wi-Fi basato sullo standard IEEE 802.11p (**ITS-G5**), che richiede l'installazione di apposite infrastrutture come le RSU (Road Side Unit), consente l'accesso wireless per l'ambiente veicolare e permette ai veicoli di dialogare tra loro anche a medio raggio (fino a circa 700 m)
- la tecnologia C-V2X (Cellular-Vehicle to other) su **rete cellulare** con il supporto dei *cloud* basata inizialmente sulle reti LTE ma con l'evoluzione su 5G⁵³, che estende la distanza di comunicazione fino

⁵³ Il 5G è l'insieme delle tecnologie di telefonia mobile e cellulare, i cui standard definiscono la quinta generazione della telefonia mobile con una significativa evoluzione rispetto a quelle precedenti; con il termine G5, o meglio ITS-G5 invece si identifica uno standard europeo per le comunicazioni veicolari basato sugli standard Wi-Fi IEEE-1609.x e IEEE-802.11p.

a circa 1200 m, garantendo una latenza inferiore dei messaggi (10ms invece dei 50ms del ITS-G5) e un “data rate” di 100Mb/s, quindi circa quattro volte superiore rispetto al ITS-G5.

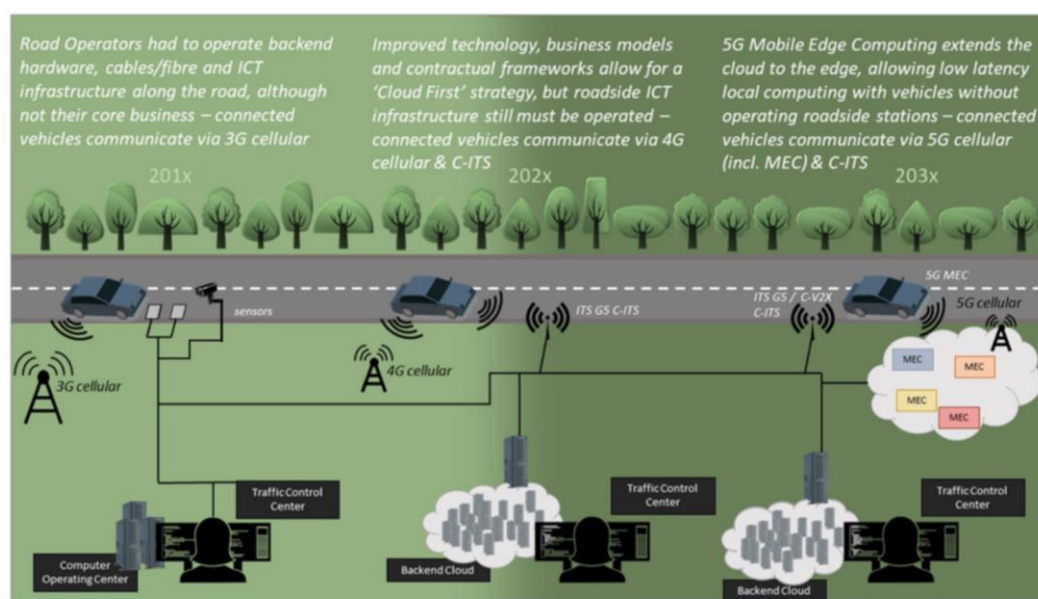


Figura 25 Evoluzione della connessione per i veicoli connessi, cooperativi ed autonomi [91]

La comunicazione diretta mediante protocollo ITS-G5 è già stata implementata su più di 500 mila veicoli circolanti e 20.000 km di strade in UE ed è usata per servizi di allerta e assistenza che richiedono elevata precisione e qualità dell'informazione, seppur in un'area limitata (es. segnalazione di un pericolo – ostacoli, situazioni di rischio imminenti – non visibile ma nelle immediate vicinanze). L'utilizzo della rete cellulare e *cloud*, anche con minori prestazioni se basata su LTE, trova applicazione nei servizi d'informazione che richiedono una copertura a più ampio raggio come i servizi di *routing*, informazioni generali sul traffico, informazioni sulle infrastrutture (segnali limiti) o servizi di monitoraggio meteorologico.

Per tener conto delle richieste degli attori in campo, è possibile considerare un approccio di coesistenza delle due tecnologie⁵⁴, come confermato dalla UE che include lo standard C-V2X in aggiunta a quello ITS-G5 probabilmente per le sue migliori prestazioni, che potranno essere operative in vista dello sviluppo del 5G e utili per servizi di guida cooperativa con uno scambio in tempo reale dei dati fra veicoli [94].

D'altro canto, si deve evidenziare che molti dei servizi C-ITS (Day 1 e Day 1.5) non richiedono tempi di latenza stringenti e sono erogabili mediante la sola tecnologia cellulare LTE tra cui allerte meteo, presenza di cantieri, zone pericolose per i veicoli, limiti di velocità e segnali stradali.

I costi di investimento ed operativi possono variare sostanzialmente sia all'aumentare delle caratteristiche dell'infrastruttura per supportare la guida autonoma (vedasi livelli di classificazione SRC nel paragrafo 3.2.1) che in base alla tipologia di infrastruttura digitale scelta. Nelle previsioni riportate in [95] si mostra come i costi operativi per la comunicazione su rete cellulare siano: (i) quasi un terzo di quelli con RSU (ITS-G5), (ii) gli

⁵⁴ Nell'ETSI sono in corso attività di studio e sperimentazione per gestire metodi di coesistenza tra ITS G5 e LTE-V2X sui canali disponibili [92]. Tuttavia, poiché DSRC e C-V2X non sono pensati per essere interoperabili, sono necessari hardware sofisticati e sviluppi specifici per la doppia compatibilità. Pertanto, sebbene questo approccio ibrido possa aiutare il settore a superare i suoi problemi immediati di interoperabilità, non è considerata una soluzione ottimale a lungo termine. Per questa ragione, USA e Cina si sono già orientate verso lo standard C-V2X [93].

incrementi di livello dovuti agli equipaggiamenti tecnologici a supporto della guida autonoma siano economicamente più contenuti ed (iii) i costi di cablaggio meno elevati.

3.1.2 Esperienze di servizi basati sulla comunicazione veicolare

Un'iniziativa di rilievo in ambito europeo per testare ed implementare, con standard comuni di tipo ITS-G5, i servizi di tipo cooperativo C-ITS è la piattaforma C-Roads⁵⁵. Con lo scopo di avere una diffusione dei servizi rapida ed omogenea nell'UE, l'approccio è basato sull'inclusione di vari progetti pilota a livello nazionale per creare una base per la successiva implementazione a livello europeo. L'Italia rappresenta un *core member* di C-Roads ed è territorio di sperimentazione di due progetti: C-Roads Italy per l'ambito extraurbano e C-Roads Italy 2 a livello urbano (dettagli in Appendice E). Il focus del primo progetto è stata la comunicazione V2I per l'Highway Chauffeur, ovvero una funzionalità di livello SAE 3 che permette al veicolo di regolare la velocità, mantenere la traiettoria ed effettuare il cambio corsia in modo automatico. La comunicazione V2I, ma anche V2V, permette al sistema di sfruttare le informazioni provenienti dall'esterno per migliorare la conoscenza dello scenario in cui si muove. Il veicolo, sia in guida manuale che in guida automatica, riceve notifiche di eventi come lavori in corso, veicolo fermo, traffico intenso, meteo avverso, segnaletiche dinamiche (velocità), presenza dei caselli; inoltre, grazie agli altri veicoli cooperativi, l'auto riceve la presenza, i dati di manovra (velocità, accelerazione, etc.) ed eventi critici, come veicolo fermo, di tutti i veicoli vicini equipaggiati [96].

Diversi sono i progetti europei di digitalizzazione delle infrastrutture stradali con tecnologia 5G tra cui il progetto 5G Carmen che testa prototipi di veicoli connessi e automatizzati, in particolare di livello SAE 3, sfruttando la connettività garantita dalla tecnologia cellulare 5G. Uno dei servizi sperimentati è il "*Cooperative Lane Merging*" in cui vengono condivise le informazioni sulle traiettorie tra i veicoli vicini al fine di permettere manovre coordinate garantendo una distanza sufficiente per permettere l'inserimento, in sicurezza, nella corsia di un terzo veicolo. Un ulteriore servizio interessante testato nel progetto si basa sulle indicazioni di *velocità ottimale* ai veicoli per contenerne le emissioni. In questa applicazione è prevista l'installazione di sensori per il monitoraggio ambientale i cui dati possono essere forniti direttamente dai veicoli. Le informazioni vengono gestite da cloud che tramite rete cellulare sono connessi ai sensori stessi e ai sistemi di bordo in modo da segnalare ai veicoli le informazioni contenenti le raccomandazioni comportamentali. Complementare al progetto 5G Carmen, il progetto 5GCroCo⁵⁶ è stato dedicato a condurre prove su larga scala delle tecnologie 5G per la mobilità connessa e automatizzata (CAM) nel corridoio transfrontaliero che collega Francia, Germania e Lussemburgo e in altri diversi siti pilota locali europei. Il progetto mira a testare tre casi d'uso per convalidare le funzionalità 5G per l'implementazione dei servizi CAM: Tele-Operated Driving (ToD), HD Mapping e Anticipated Cooperative Collision Avoidance (ACCA). Come nel pilota 5G Carmen l'obiettivo generale del progetto era di convalidare la fattibilità tecnica di servizi CAM 5G senza interruzioni transfrontaliere. Un altro progetto europeo analogo è 5G-MOBIX⁵⁷ che ha come obiettivo quello di dimostrare il valore aggiunto della connettività 5G per servizi e funzionalità di mobilità connessa e automatizzata in ambito transfrontaliero. Il progetto include due corridoi transfrontalieri (Spagna - Portogallo, Grecia - Turchia) e 6 siti pilota locali (4 in Europa e 2 in Asia). In questi siti sono stati sperimentati 5 casi d'uso (Advanced Driving, Vehicles Platooning, Extended Sensors, Remote Driving, Vehicle QoS Support) implementati mediante la connettività 5G.

Le applicazioni sono basate sulla connettività del veicolo e hanno l'obiettivo di conciliare sicurezza ed efficienza del traffico [97]. Nel progetto INFRAMIX⁵⁸, ad esempio sono stati utilizzati veicoli con sistema ACC (Adaptive Cruise Control) supportati dalle informazioni ricevute a bordo mediante il sistema V2X per aumentare l'efficienza del traffico. Infatti, per i veicoli connessi, l'intervallo di tempo rispetto al veicolo leader (time gap)

⁵⁵ <https://www.c-roads.eu/platform.html>

⁵⁶ <https://5gcroco.eu>

⁵⁷ <https://www.5g-mobix.com>

⁵⁸ <https://www.inframix.eu/scenarios/>

poteva essere adattato in base alle condizioni del traffico con valori ridotti, rispetto a quelli adottati comunemente fino a raggiungere 1s.

3.1.3 Impatti e prospettive

Riepilogando gli elementi emersi dalle funzioni presentate e dalle esperienze dei servizi abilitati dalla connettività del veicolo, si evidenzia l'importanza delle funzioni di connessione non solo con riferimento alla sicurezza, mediante segnalazioni tempestive a bordo del veicolo e dirette al conducente, ma anche alle nuove potenzialità di **regolazione del traffico**. Infatti, i veicoli connessi possono generare informazioni basate sulla posizione e lo stato del moto del veicolo, estendendo la conoscenza delle condizioni di circolazione lungo le strade, in particolare con un alto tasso di veicoli equipaggiati.

Inoltre, l'accesso diretto al veicolo abilita una gestione del traffico più personalizzata, potendo fornire indicazioni differenziate ai singoli veicoli, ad esempio nell'uso delle corsie o con riferimento alla velocità, in particolare se si pensa alla formazione di plotoni di veicoli connessi, che andranno coordinati in modo dinamico con gli altri veicoli viaggianti lungo la stessa infrastruttura.

Infine, in uno scenario futuro di traffico in cui tutti i veicoli potranno essere connessi, sarebbe possibile attuare regolazioni di coordinamento delle manovre dei veicoli nelle intersezioni stradali per evitare i conflitti fra gli stessi e migliorare l'efficienza del traffico, con funzioni che potrebbero essere considerate come una virtualizzazione dei semafori con segnali direttamente a bordo veicolo. Questa logica di coordinamento, seppure in versione semplificata, è già applicata per la gestione ottimizzata delle velocità per i veicoli che devono attraversare intersezioni semaforizzate ed è nota come "GLOSA" (Green Light Optimized Speed Advisory). In questo caso, i vantaggi sono sia nella maggiore regolarità del traffico con una riduzione di ritardi e consumi di energia evitando inutili decelerazioni e accelerazioni [98] che nella percezione di comfort dell'utente [14].

Secondo i risultati di diversi studi, riassunti in [14], gli impatti dei servizi C-ITS, oltre che sull'efficienza del traffico, che permette di utilizzare meglio la capacità delle strade esistenti, e su una migliore esperienza di viaggio dell'utente, seppur lievi, sono sull'ambiente. Il servizio GLOSA, ad esempio, può ridurre le emissioni di CO₂ in ambito urbano, così come le informazioni condivise di traffico. Impatti positivi si prevedono anche per la sicurezza stradale con riduzione del numero di incidenti stradali e della loro gravità a seconda del servizio C-ITS considerato; si stima ad esempio che le sole informazioni sulle condizioni meteo portino ad una riduzione del 3.4%.

3.2 Gestione del traffico e delle infrastrutture stradali

Il veicolo connesso anche con funzioni di guida assistita ed automatizzata può dialogare con l'infrastruttura, ad esempio per acquisire a bordo i messaggi della segnaletica e dei limiti di velocità garantendone continuità durante il percorso. La comunicazione con altri veicoli può abilitare inoltre funzioni di condivisione delle informazioni dello scenario di traffico in cui si viaggia o anche di cooperazione per coordinare manovre di inserimento da rampe e cambi corsia finalizzati a migliorare sicurezza ed efficienza del traffico.

Fra le funzioni *smart* dell'infrastruttura stradale orientate alla sicurezza, si ricordano quelle già disponibili per il rilievo automatico delle infrazioni, che attualmente riguardano il superamento dei limiti di velocità e l'attraversamento delle intersezioni stradali con il segnale rosso, ma in futuro queste potranno estese includendo ad esempio, l'uso dei dispositivi mobili durante la guida, l'uso irregolare delle corsie di marcia o manovre irregolari.

A queste applicazioni si aggiungono soluzioni di *smart pricing* utili per guidare le scelte di mobilità degli utenti. Come il *road pricing*, con un pedaggio per l'uso delle strade in relazione ai livelli di congestione e le fasce orarie (es. Londra), tipo del veicolo Euro (es. Milano) e *trip pricing*, il pedaggiamento dell'intero viaggio in relazione alla congestione (es. Singapore), alle alternative di percorso e di modo disponibili. Il *pricing* mediante l'utilizzo delle nuove tecnologie ICT, IoT e RFID può essere di supporto alla gestione degli accessi dei veicoli in specifiche aree in funzione della congestione o fascia oraria della giornata, per promuovere comportamenti *safe e green* attraverso bonus o incentivi assicurativi.

3.2.1 Smart pricing e smart control

Il sistema di tariffazione può influenzare il come, quanto e quando le diverse opzioni di veicolo disponibili saranno utilizzate. Seppur la tariffazione dell'utilizzo delle strade sia una scelta nazionale in Europa, i Paesi devono comunque attenersi alle norme comuni stabilite dalla direttiva Eurobollo (1999/62/CE) che permette una tariffazione basata o sulla durata (vignette) o sulla distanza (pedaggio) per i veicoli pesanti. Nel 2017 vi è stata una proposta di modifica (COM (2017) 275) che promuoveva l'inclusione di autobus, le autovetture e i furgoni poiché utenti delle infrastrutture stradali e produttori di esternalità, nonché una tariffazione differenziata in funzione delle emissioni di CO₂ generate e alle distanze percorse.

Si legge che le modifiche hanno lo scopo di applicare due principi già suggeriti nel Libro Bianco dei Trasporti del 2011 [99]:

- **“chi inquina paga” (*polluter-pays*)**, ossia che chi inquina si fa carico anche dei costi derivati, comprese le misure adottate per prevenire, controllare e rimediare all'inquinamento e i costi che esso impone alla società. Applicando il principio, i *polluters* sono responsabilizzati ed incentivati ad evitarne le conseguenze [100].
- **“chi utilizza paga” (*user-pays*)**, ossia viene chiesto all'utilizzatore di sostenere i costi di utilizzo della risorsa, nel nostro caso l'infrastruttura stradale.

Le proposte sono state adottate dal Consiglio dell'Unione Europea il 9 novembre 2021 (10542/1/21) e pubblicate nella Direttiva (UE) 2022/362. Gli Stati membri dovranno eliminare i diritti di utenza basati sulla durata per i veicoli pesanti dal 2030 e potranno applicare solo i diritti basati sulla distanza (pedaggi). Una tariffazione basata sulla distanza percorsa riuscirebbe a far “pagare” l'infrastruttura a chi realmente la utilizza (*user-pays*) così come le esternalità generate (*polluter-pays*) [101]. Le norme saranno estese a autobus, furgoni, minibus e autovetture, (sia su base della distanza che della durata). Inoltre, per favorire un maggiore ricorso a veicoli più puliti, le tariffe dovrebbero essere progressivamente differenziate sulla base delle emissioni di CO₂ generate, con riduzioni per i veicoli a basse o a zero emissioni [102]. Per i mezzi pesanti la variazione delle tariffe in base alle performance ambientali non dovrà più basarsi sulla classificazione EURO bensì far riferimento al Regulation (EU) 2019/1242 che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni di CO₂.

La direttiva (UE) 2022/362 continua a non rendere la tariffazione stradale obbligatoria, semplicemente ne stabilisce le regole per quegli Stati Membri che vogliono applicarla. Inoltre, come precedentemente evidenziato, continua a riguardare principalmente il trasporto di merci con veicoli pesanti poiché per i mezzi leggeri le scelte sono ancora in capo alle nazioni.

La situazione oggi in alcuni Stati Membri è la seguente [103]:

- **Germania** → tariffazione solo per i mezzi pesanti basata su distanza percorsa, sulla categoria di emissioni del veicolo e sul suo numero di assi. Nel 2016 hanno provato ad introdurre un pedaggio

per le autovetture ma soltanto se non tedesche, ma la proposta nel 2019 è stata condannata come discriminatoria dalla Corte di giustizia EU.

- *Francia* → ha un sistema di pedaggio molto diffuso e consolidato sulla rete autostradale per tutti gli utenti. I pagamenti sono calcolati in base alla categoria di veicoli e alla distanza fra le stazioni di pedaggio...e gestiti in gran parte in maniera automatica se i veicoli sono dotati di dispositivi di bordo.
- *Regno Unito* → dal 2003 hanno la “London Congestion Charge” e dal 2019 la Ultra-Low-Emission Zone per i veicoli a motore più inquinanti. Il Regno Unito ha solo una strada a pedaggio (M6 Toll) ma tariffe per l’attraversamento di ponti e tunnel.
- *Spagna* → ha un sistema di pedaggio autostradale ma abbastanza contenuto e senza vera omogeneità tra le strade nazionali e regionali; di recente molte autostrade tradizionalmente a pedaggio sono state rese ad accesso libero, rimuovendo le piste di pagamento.
- *Italia* → c’è un sistema di pedaggio diffuso sulla rete autostradale per tutti gli utenti. In diverse città c’è un sistema ZTL (zone a traffico limitato) che non rientrano pienamente nel concetto di “road pricing” perché vietano il traffico in generale, applicando tasse specifiche per consentire l’accesso a richiesta (ad esempio, per accompagnare i figli a scuola). A Milano ci sono due aree “congestion charge” per ridurre la congestione ed inquinamento (sostitutive dell’Ecopass).

I sistemi di tariffazione stradale basati sulla distanza potrebbero essere migliorati tenendo conto di altri elementi, quali l’ora del giorno applicando tariffe più alte nelle ore di punta, ad esempio, del livello di congestione e della disponibilità di trasporti alternativi, fino a superare l’attuale impostazione del bollo auto [104].

Un sistema che introduce tariffe mirate alla situazione è definibile come “Smart pricing” ovvero un sistema che, utilizzando la tecnologia (es. scatole nere o piattaforme APP), addebita i costi sulla base di diversi fattori per applicare al meglio i principi *user-pays* e *polluter-pays* e più in generale per ottimizzare il funzionamento della rete rispetto ad uno o più obiettivi come il tempo totale di viaggio, le emissioni inquinanti o l’equità [105].

Se da un lato si possono sviluppare nuove strategie di pedaggio e tariffazione, dall’altro canto si diffondono anche strategie di premialità tramite iniziative gestite con piattaforme specifiche. Queste applicazioni come, ad esempio, Muvgame⁵⁹ o Wecity⁶⁰, sono utilizzate dai promotori dell’iniziativa (solitamente con pagamento) come strumento di monitoraggio (ad esempio delle distanze percorse o del mezzo di trasporto usato). L’iniziativa solitamente aziendale o legata a progettualità tramite l’assegnazione di premi incentiva i partecipanti ad una mobilità più sostenibile (es. Biketowork⁶¹ o Giretto d’Italia⁶²).

3.2.2 Smart Road

In accordo con il decreto del 28 febbraio 2018 n. 70, una “Smart Road” è definita come un’infrastruttura stradale che ha subito un processo di digitalizzazione finalizzato all’introduzione di piattaforme di osservazione e monitoraggio del traffico, modelli di elaborazione dei dati e delle informazioni, servizi avanzati agli utenti della strada, e alla creazione di un ecosistema tecnologico favorevole all’interoperabilità tra infrastrutture e veicoli di nuova generazione. Tra gli obiettivi del processo di trasformazione digitale vi è sia la sicurezza stradale che la messa in esercizio dei servizi C-ITS di tipo “Day 1” già descritti. Il decreto definisce inoltre le modalità di sperimentazione su strada delle Smart Road e della guida connessa ed automatica. Il processo di adeguamento delle infrastrutture stradali programmato vede una prima fase (entro il 2025) in cui si interviene sulle infrastrutture appartenenti alla rete europea TEN-T (Trans European Network – Trasporto) e alla rete

⁵⁹ <https://www.muvgame.com/>

⁶⁰ <https://www.wecity.it/news/>

⁶¹ <https://www.biketowork.ch/it>

⁶² <https://www.legambiente.it/campagna/giretto-ditalia/>

autostradale italiana, definite di tipo I, per arrivare poi alle infrastrutture appartenenti al SNIT (Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti) definite di tipo II. Il decreto infatti prevede la classificazione delle Smart Road in due tipologie (tipo I e tipo II) sulla base del possesso di 12 specifiche funzionali⁶³, tra cui i servizi di comunicazione dati con i veicoli e i sistemi di monitoraggio e modellazione del traffico stradale. Le infrastrutture di nuova costruzione di tipo I dovranno possedere tutte le specifiche funzionali a differenza di quelle di tipo II che potranno non avere ad esempio la presenza di sistemi RSU per la comunicazione V2I, la presenza road-side di una rete di comunicazione dei dati ad elevato bit-rate o la copertura continuativa dell'asse stradale con servizi di connessione. Queste ultime inoltre dovranno garantire servizi di monitoraggio con strumenti intelligenti ma non servizi di tipo cooperativo (C-ITS). L'obbligatorietà di applicazione delle specifiche funzionali è ancora differente per ciò che concerne l'adeguamento delle infrastrutture esistenti che, in base alla funzionalità specifica, può essere richiesto entro il 2025 o il 2030 con priorità sulla rete di comunicazione rispetto all'abilitazione di servizi ITS e C-ITS.

Per favorire il processo di trasformazione digitale delle infrastrutture nazionali verso le Smart Road e la sperimentazione dei veicoli connessi e a guida automatica, l'art 20 del decreto prevede l'istituzione dell'Osservatorio tecnico di supporto per le Smart Road e per il veicolo connesso e a guida automatica⁶⁴. A settembre 2020 il MIT ha già predisposto un aggiornamento del decreto Smart Road, che mira a estendere la sperimentazione su strada pubblica anche ai mezzi di trasporto innovativi, che non hanno le dotazioni classiche dei veicoli oggi in circolazione (ad esempio non dispongono di un volante, di una pedaliera, etc.).

ERTRAC⁶⁵, seguendo il lavoro del progetto INFRAMIX, al fine di classificare ed armonizzare le capacità di un'infrastruttura stradale di supportare e guidare i veicoli automatizzati aumentandone la percezione dell'ambiente circostante, ovvero estendendo le condizioni operative (ODD) con un *digital twin* in tempo reale dell'infrastruttura fisica e digitale ha introdotto il concetto di *Infrastructure Support for Automated Driving* (ISAD). Si tratta di una classificazione basata su 5 livelli per indicare il tipo di supporto che l'infrastruttura è in grado di fornire ai veicoli [91], [106]. Le strade convenzionali rappresentano i primi due livelli ISAD: livello E ovvero le infrastrutture convenzionali in cui il veicolo percepisce l'ambiente solo grazie ai propri sensori, per poi passare al livello D in cui sono presenti informazioni digitali statiche, che permettono una mappatura dell'infrastruttura stradale utile ai veicoli. Dal livello C l'infrastruttura condivide anche informazioni digitali dinamiche dell'infrastruttura, che possono riguardare ad esempio eventi anomali osservati. Quando sono disponibili inoltre informazioni di dettaglio sul traffico veicolare e sono fornite in tempo reale ai veicoli, l'infrastruttura è classificata di tipo B, con una percezione cooperativa dell'ambiente, per arrivare alla guida cooperativa con infrastrutture di livello ISAD A.

Una classificazione basata su più livelli, denominata Smart Roads Classification (SRC), è proposta anche da PIARC per supportare gli utenti della strada e i veicoli autonomi e connessi (CAV) nel riconoscimento delle proprietà dell'infrastruttura stradale che stanno percorrendo [95], riprendendo il concetto di ISAD proposto da ERTRAC. La classificazione, si basa principalmente sulla disponibilità di una infrastruttura digitale, combinata ad un livello di qualità dell'infrastruttura fisica idoneo ad accogliere veicoli con guida automatica dei vari livelli SAE in condizioni compatibili con gli ODD per i quali gli stessi veicoli sono stati progettati. Sono proposti in questa classificazione due indicatori per misurare sia l'adeguatezza degli elementi fisici dell'infrastruttura nel supportare l'automazione della guida (LOSAD, Level of Service for Automated Driving) che la connettività (ISAD).

Il LOSAD è correlato al concetto di ODD e descrive la continuità con la quale può essere assicurata la guida automatica lungo il tronco stradale, che viene misurata con la frequenza degli eventi nei quali si rende necessaria la richiesta di guida manuale (*disengagement*), mentre l'ISAD descrive i servizi abilitati dalla connessione V2I nella logica proposta da ERTRAC.

⁶³ Allegato A "DL Smart Road"

⁶⁴ <https://www.mit.gov.it/node/8274>

⁶⁵ <https://www.ertrac.org/>

Per supportare la classificazione vengono definiti altri fattori aggiuntivi più dettagliati (SRC factors), oltre ai due indicatori più generalizzati, per meglio identificare il livello del segmento stradale⁶⁶:

- Infrastruttura **fisica** (geometria, tipo di pavimentazione, velocità, aspetti fisici, segnaletica);
- Infrastruttura **digitale** (disponibilità di informazioni per utenti e veicoli, mappe, RSU, dati meteorologici);
- Connettività (protocolli V2X, copertura 5G, latenza, tecnologie adottate C-V2X, ITS-G5).

Considerando le principali combinazioni degli indicatori fisici (LOSAD) e digitale (ISAD) dell'infrastruttura, sono individuabili **5 classi di tronchi stradali** [95] (Figura 26):

- I. a modalità di guida umana (HU) che non supportano le funzioni di automazione della guida ed è quindi sconsigliato ai conducenti di abilitarle, in quanto vi sarebbero numerose richieste da parte del veicolo di disattivarle; in questa modalità potrebbero essere attivate solo funzioni di livello SAE 0, che intervengono se necessario in situazioni di emergenza;
- II. a modalità assistita (AS) che presentano un supporto parziale per l'automazione, con un numero notevolmente inferiore di richieste di controllo del veicolo per il conducente rispetto ai segmenti di strada HU; in questa modalità potrebbero essere attivate funzioni anche di livello SAE 1 e 2, che intervengono comunque sotto la responsabilità di guida del conducente;
- III. a modalità automatica (AT) che presentano caratteristiche fisiche simili a quelle dei tronchi stradali AS, ma presentano anche capacità di connettività per aiutare i veicoli connessi a prevenire ed evitare le richieste di controllo del veicolo per il conducente; in questo caso la strada potrebbe supportare le funzioni di automazione di livello SAE 3, che richiede comunque al conducente un pronto intervento qualora necessario;
- IV. a modalità completamente automatica (FA) con un supporto continuo per i veicoli di livello SAE 4 e buone capacità di connettività.
- V. a modalità autonoma (AU) con un supporto completo per i veicoli di livello SAE 4 e capacità di connettività evolute con funzioni di cooperazione fra veicoli.

⁶⁶ Si rimanda all'appendice A3 del documento redatto da PIARC [95] per il dettaglio dei parametri dei fattori per ogni livello di Smart Road.

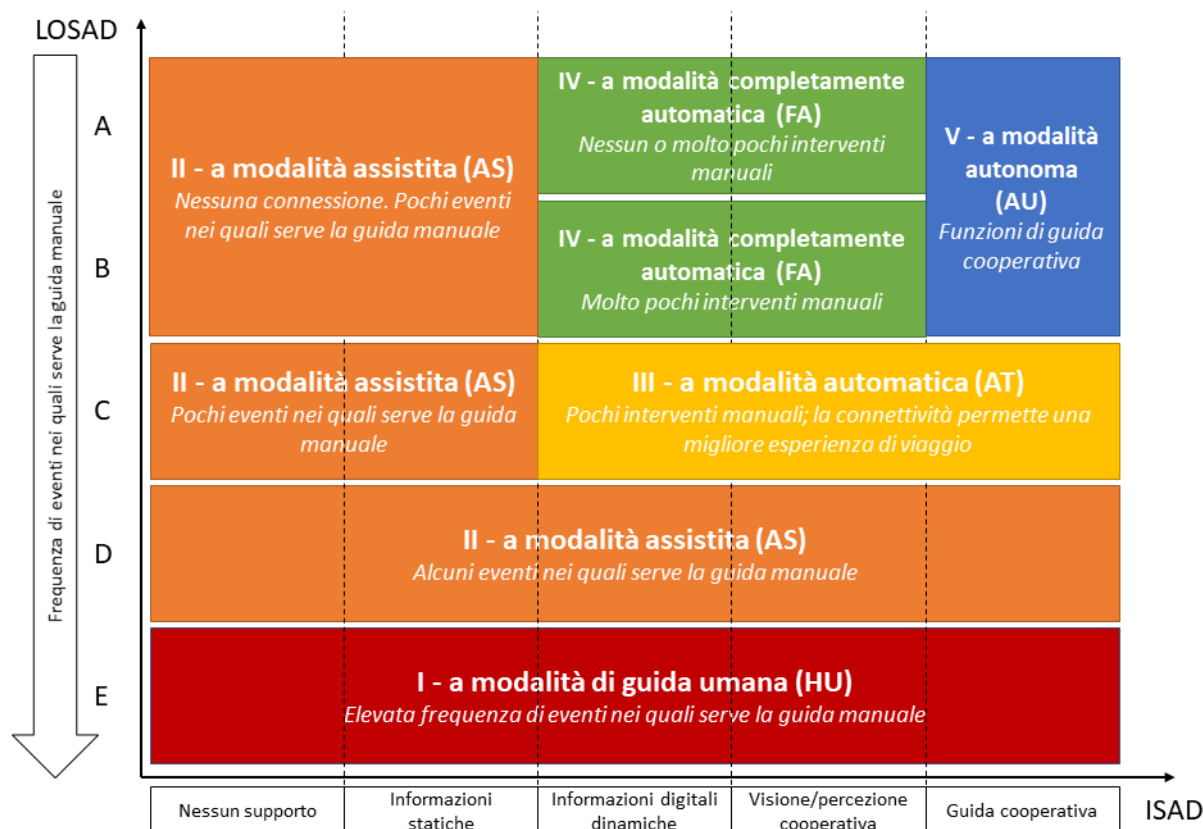


Figura 26 Implementazione della classificazione Smart Road (SRC) rielaborazione da [95]

Per garantire anche le sole funzionalità di modalità assistita e automatica, con un servizio continuo durante il viaggio, sarebbe necessaria un'adeguata gestione e manutenzione dell'infrastruttura fisica (es. della segnaletica orizzontale e verticale) per garantirne la leggibilità dai sistemi di bordo e dell'infrastruttura digitale per offrire i servizi di supporto ai veicolo di tipo V2I [107].

3.2.3 Benefici attesi

Lo sviluppo dei servizi C-ITS e delle *Smart Roads* può portare, a tutti gli attori coinvolti, benefici tali da giustificare investimenti importanti. La valutazione di impatto dei servizi cooperativi ITS (SWD(2019) 95 final) include tra i principali vantaggi la riduzione degli incidenti ed il risparmio dei tempi di percorrenza con relativa riduzione dei costi dei carburanti. In Europa i vantaggi totali per il periodo 2020-2035 vengono stimati di circa 79 miliardi di euro a fronte di circa 19 miliardi di costi [108]. Si deve ricordare che solo in Italia i costi stimati per l'incidentalità stradale ammontano a circa 17 miliardi di euro, secondo studi Aci-Istat, e quindi anche una riduzione degli incidenti avrebbe benefici notevoli. I costi per l'attivazione dei servizi, che si riferiscono principalmente all'equipaggiamento dei veicoli e delle infrastrutture, per lo stesso periodo ammontano a circa 19 miliardi di euro. Secondo la Commissione Europea i servizi C-ITS, se interoperabili e diffusi in tutta Europa, possono produrre un rapporto costi-benefici di 1:3 tra il 2018 e il 2030 [109]. In questa fase, se si esclude l'ambito autostradale per il quale sono già previsti pedaggi per l'uso, che possono essere adeguati in funzione della qualità del servizio offerto, sembra difficile pensare a servizi che si possano sostenere economicamente su ricavi provenienti direttamente dal pagamento dei servizi stessi da parte degli utenti. Probabilmente si può intuire un beneficio per gli operatori di telefonia mobile dovuto all'incremento dei volumi di traffico dati, qualora i servizi fossero offerti tramite dispositivi mobili o comunque attraverso la rete 4G o 5G. A rafforzare la sinergia fra il settore auto e quello delle telecomunicazioni contribuisce anche lo

sviluppo di interfacce software (Android Auto e iOS CarPlay) che consentono di fruire sugli schermi dell'auto le applicazioni degli smartphone.

L'obiettivo generale è quello di ottimizzare le prestazioni e il controllo delle infrastrutture e aumentare la sicurezza e il comfort dell'utente, ma possiamo distinguere vari livelli di benefici per i vari portatori di interesse.

- Benefici per gli **utenti**:
 - I servizi C-ITS garantiscono un notevole aumento della **sicurezza** sia in contesto urbano che extraurbano. I servizi che segnalano pericoli diretti, come il rischio di collisione, o potenziali, come condizioni di meteo particolari o veicoli fermi in carreggiata, permettono all'utente di minimizzare i rischi. Sono fondamentali anche i servizi che si attivano in caso di incidente, come l'eCall (paragrafo 3.3.1), che permettono soccorsi tempestivi.
 - La **percezione** del guidatore e dei sensori di bordo è estesa dai servizi C-ITS erogati con diverse fasi evolutive. I servizi "Day 1" permettono al veicolo di ricevere segnalazioni di incidenti, veicoli fermi o altri pericoli, che contribuiscono a migliorare il comfort di guida oltre che la sicurezza stradale. I servizi più avanzati permettono inoltre lo scambio di informazioni diretto tra veicoli e la guida cooperativa estendendo notevolmente la percezione dell'utente.
 - La **gestione del traffico** è ottimizzata dai servizi disponibili. I servizi di *smart routing* e informazioni sul traffico permettono all'utente di scegliere un percorso più adeguato alla situazione specifica di traffico, mentre altri servizi concentrati sulla guida (ad esempio l'*extended speed control* o il GLOSA) offrono suggerimenti che aiutano il conducente ad avere una condotta di guida efficiente.
- Benefici per gli operatori economici (**gestori** delle infrastrutture, fornitori di tecnologie e servizi avanzati)
 - Gli investimenti sulle *Smart Roads*, che in futuro ospiteranno nuovi veicoli connessi e automatizzati, avranno un ritorno importante; lo sviluppo di una rete infrastrutturale adeguata può essere un abilitatore del business di altri operatori, principalmente nell'ambito delle tecnologie e dei servizi a valore aggiunto, con ritorno di valore per i gestori in termini di qualità del servizio offerto.
 - Attraverso i servizi C-ITS i gestori possono avere sistemi di **controllo del traffico** di tipo evoluto sulla rete e garantire un servizio di qualità all'utente. È inoltre fondamentale la possibilità di raccogliere **dati** sui flussi stradali sfruttando la connettività del sistema veicoli-infrastruttura.
 - Il gestore può sfruttare la comunicazione V2I al fine di **monitorare** in modo continuo l'infrastruttura stradale, in particolare in tratti che richiedono particolare attenzione come tunnel, ponti o viadotti.
- Benefici per i **non-utenti**:
 - I benefici della tecnologia *Smart Road* toccano anche i non-utenti, ovvero la collettività. L'interesse di tutti gli attori concentrati sulle nuove infrastrutture è quello di garantire l'**ecosostenibilità** del sistema e favorire la riduzione delle emissioni di gas nocivi e climalteranti e il risparmio di energia migliorando le condizioni dei flussi stradali e riducendo la congestione sull'infrastruttura. I sistemi C-ITS permettono il costante monitoraggio dell'inquinamento atmosferico e acustico attribuibile all'infrastruttura.
 - Inoltre se i servizi sono orientati alla sicurezza stradale, inclusi i sistemi di rilievo automatico delle infrazioni, fra i benefici per la collettività sono da considerarsi anche i minori costi sociali sostenuti dal sistema sanitario.

3.2.4 Criticità e prospettive di sviluppo

Un punto saliente delle applicazioni Smart Road sembra essere la scelta delle **tecnologie di comunicazione** e connessione da installare lungo le infrastrutture stradali. Una collaborazione più efficiente tra i gestori delle infrastrutture e i gestori della rete cellulare sarebbe importante per riuscire a sfruttare al meglio la rete cellulare 4G/5G già esistente per fornire i servizi descritti. Molte aree hanno ottima copertura cellulare su cui le infrastrutture potrebbero basarsi senza ricorrere al servizio di Wi-Fi veicolare che invece potrebbe essere garantito in quelle zone laddove la copertura della rete cellulare sia non adeguata, come zone poco urbanizzate o geograficamente più complesse. La connettività assicurata dalla rete cellulare tradizionale è sufficiente a fornire servizi di base, ma che non richiedono uno scambio tempestivo di messaggi, quali informazioni sul traffico, limiti e segnali stradali o monitoraggio meteorologico. Per le funzioni che richiedono bassa latenza, lo standard che usa la tecnologia basata su rete cellulare è il C-V2X.

Scelta tecnologica differente, rispetto ai progetti descritti nel paragrafo 3.1.2 che hanno optato per la comunicazione cellulare, è quella testata in due progetti italiani che hanno optato per la tecnologia Wi-Fi. Il progetto di Anas, che punta sulla copertura Wi-Fi dell'infrastruttura per garantire la continuità del servizio, testa i servizi di informazione al veicolo relativi alla sicurezza (segnali, limiti, possibili pericoli), alle condizioni di traffico e alle condizioni meteorologiche, attivando ad esempio un servizio di *"SOS on board"* per la gestione delle emergenze. Il progetto di Autostrade per l'Italia si è focalizzato sulla comunicazione V2I per scambio in tempo reale di informazioni tra utenti e infrastruttura (incidenti, code, veicoli fermi o contromano, strada sdruciolevole, presenza di persone o ostacoli su strada, presenza di cantieri, eventi meteo) propedeutico alle future applicazioni di guida automatizzata. Nel progetto ha partecipato la casa automobilistica Volkswagen testando la comunicazione con i propri veicoli dotati di Car2X integrato. Questa tecnologia, prima in Europa, basata su comunicazione Wi-Fi, permette la funzione *Traffic Hazard*, ovvero un sistema di bordo che avvisa il guidatore della presenza di un pericolo, in un raggio di 800 metri, con segnali acustici e visivi [110].

Con la messa in opera delle funzionalità Smart Road si prevede una graduale diffusione della guida automatizzata. Nel periodo transitorio, come indicato anche nel capitolo 1, il traffico stradale includerà contemporaneamente veicoli a guida tradizionale e nuovi veicoli automatizzati con il rischio di penalizzare efficienza e sicurezza delle infrastrutture, nel caso non siano adeguate a supportare un traffico misto. Il progetto europeo INFRAMIX [97] si è occupato di ricercare soluzioni per l'ottimizzazione delle situazioni di traffico misto intervenendo su nuovi elementi fisici e digitali dell'infrastruttura stradale per garantire un flusso di traffico sicuro ed efficiente. La sperimentazione si è concentrata su tre scenari di traffico principale:

- l'assegnazione dinamica di corsie dedicate esclusivamente al traffico automatizzato regolato anche con sistemi di controllo dinamico della velocità tramite segnali variabili dei limiti di velocità (VSL);
- le zone di lavori stradali gestite con segnaletica dinamica per favorirne la sicurezza;
- le tecniche di regolazione dei punti critici delle infrastrutture stradali che possono diventare "bottleneck" per la circolazione (zone con rampe di ingresso e uscita, restringimenti della carreggiata con riduzione del numero di corsie) con sistemi di controllo in tempo reale del traffico misto.

In Appendice E sono riportati ulteriori dettagli dei progetti in ambito Smart Road.

Nonostante l'impegno degli enti governativi e la consapevolezza da parte di tutti i portatori d'interesse dei notevoli benefici comportati dai servizi C-ITS, la digitalizzazione delle infrastrutture stradali è ancora in stato iniziale, infatti le Smart Roads attive sono in numero limitato mentre la maggior parte dei progetti è ancora in fase di attivazione o sperimentazione. In Italia, nonostante le implementazioni di sistemi di telecomunicazione in specifiche infrastrutture, non esistono ancora Smart Roads estese in grado di erogare servizi all'utenza. Diversi progetti sono in stato di attuazione, ma uno dei principali ostacoli alla realizzazione efficace e coerente di centri di servizio C-ITS si trova nella frammentazione del sistema italiano dei gestori delle infrastrutture viarie. Questa situazione rende necessario un rafforzamento della *governance* che, oltre a fornire direttive e regolamentazioni condivise, deve avere un ruolo principale nel garantire una gestione virtuosa dei rapporti tra i vari attori coinvolti. Ciò può essere possibile favorendo una politica d'investimento comune tra i vari portatori

di interesse (gestori dell'infrastruttura, sviluppatori, fornitori) e un modello di business condiviso che metta in evidenza i vantaggi di specifici attori nella catena del valore e i costi a carico di altri, non compensati dagli introiti prevedibili in base alla struttura di tariffazione delle strade e al traffico veicolare atteso. È tuttavia chiaro che per riuscire a comprendere e far convergere le strategie di tutti gli attori è necessario un approccio comune anche per quanto riguarda gli aspetti puramente tecnici. Un ostacolo di notevole importanza per i gestori delle infrastrutture si trova nei costi di adeguamento delle infrastrutture. ERTRAC evidenzia come la vita utile degli investimenti sulle infrastrutture fisiche e digitale sia differente, con stime di circa 30- 50 anni sulle prime e 8-15 sulle seconde [91]. L'implementazione di tutte le specifiche tecniche indicate dalla regolamentazione vigente richiede investimenti importanti che in alcuni casi potrebbero non essere compatibili con le durate delle concessioni per i gestori. Per andare incontro alle esigenze di sostenibilità economica degli investimenti, si potrebbe ipotizzare una garanzia con contratti sufficientemente lunghi al fine di programmare un piano di investimento e rientro specifico. Un ulteriore elemento da considerare, osservando il panorama europeo, consiste nella natura statale delle attuali normative che regolano le Smart Road che, nonostante si faccia riferimento alla comune direttiva europea (Direttiva 2010/40/UE), presentano, in alcuni casi, difformità tra i diversi paesi UE. Una strada auspicabile potrebbe essere un adeguamento normativo a livello europeo che permetterebbe di avere un regolamento comune UE per garantire sviluppo omogeneo e continuità infrastrutturale sulle principali reti stradali europee.

Un elemento fondamentale nello sviluppo delle Smart Road in Italia è costituito dal decreto "Smart Road" come detto precedentemente. Nonostante il dettaglio previsto dalla norma, alcuni elementi sembrano essere superati dalla situazione odierna e possono rappresentare un ostacolo allo sviluppo. Un esempio si trova nelle prime 4 specifiche, da soddisfare necessariamente per la categoria più alta Smart Road definite, che richiedono la presenza di un sistema di connessione continuo e a elevato bit-rate con la possibilità di offrire hot-spot Wi-Fi per la connettività dei device personali, dislocati almeno nelle aree di servizio e di parcheggio. Tali requisiti e la competitività del sistema ITS-G5 rispetto alla rete cellulare in quel periodo disponibile, hanno indotto gli operatori ad orientare i primi investimenti su installazioni di dorsali di fibra ottica e di alimentazione per collegare i dispositivi di connessione a bordo strada. La connettività mobile negli ultimi anni, che si appoggia in modo prevalente sulla rete cellulare, considerando la crescita qualitativa del servizio (Figura 27) e i nuovi sistemi tariffari potrebbe garantire i requisiti di continuità e prestazione.

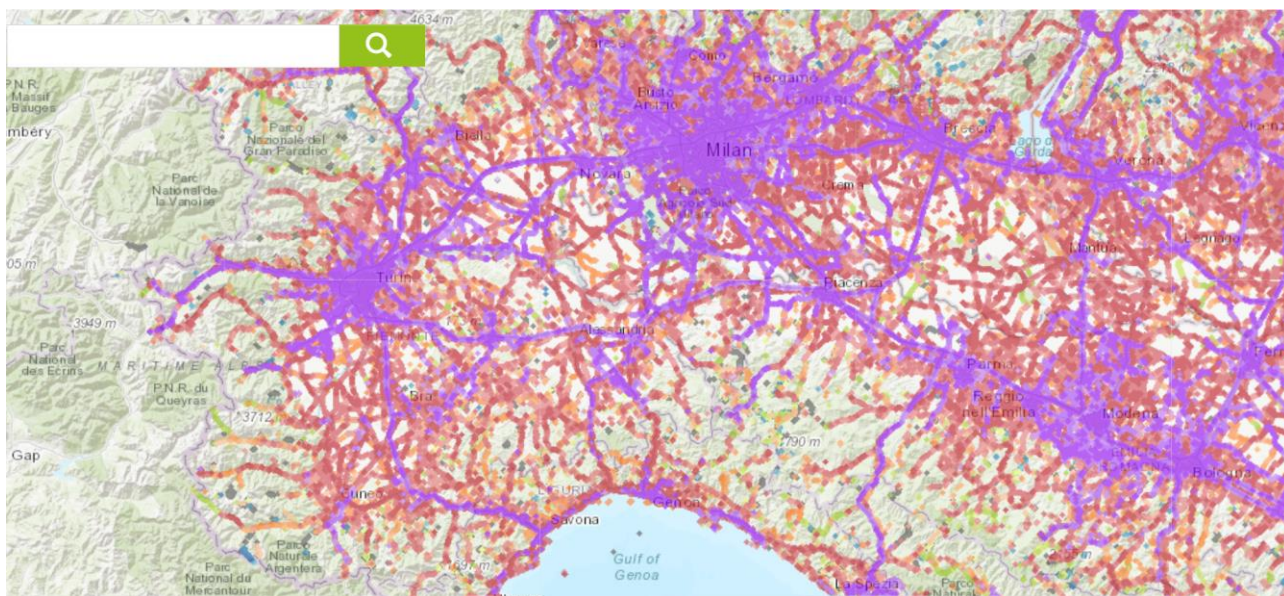


Figura 27 Copertura rete cellulare (5G in viola) di un operatore in Italia nel Nord-Ovest (giugno 2022, <https://www.nperf.com/it/map>)

Questa situazione è chiaramente dovuta allo sviluppo tecnologico avvenuto negli ultimi anni che rende differente il contesto attuale da quello in cui il decreto è stato redatto (2018). In quest'ottica potrebbe essere

utile rivedere e rendere più generali le specifiche o aggiornarle periodicamente tenendo conto delle esigenze contestuali.

Un elemento che potrebbe essere aggiunto ai requisiti delle Smart Roads è la funzione di pesatura dinamica dei veicoli, nota come WIM (weight-in-motion). Questa applicazione permette di rilevare il peso dei mezzi in transito su un tratto stradale o su un ponte senza che i veicoli si fermino, sfruttando un sistema di sensori installati sulla pavimentazione stradale. La pesatura dinamica è particolarmente utile negli snodi viari in cui circola un gran quantitativo di mezzi pesanti, che per le loro caratteristiche, in particolare quando viaggiano oltre il carico massimo ammesso, possono causare criticità alla sicurezza stradale. Questo tipo di servizio, oltre a garantire maggiore sicurezza, permette una gestione più efficiente del traffico, in particolare di mezzi pesanti, e la raccolta di dati relativi ai transiti, fondamentali nella pianificazione di manutenzioni infrastrutturali e nuovi progetti.

Come detto in precedenza, i costi delle installazioni rappresentano un ostacolo importante all'adeguamento infrastrutturale delle Smart Road. Per questo motivo sarebbe opportuno cercare di rendere i requisiti meno restrittivi, qualora possibile, e orientati alla rapida fattibilità dei servizi da implementare. Un esempio riguarda la ridondanza richiesta in alcune applicazioni riguardanti il monitoraggio del traffico e delle condizioni di deflusso. Per tutte le Smart Road, sia di tipo I sia di tipo II, sono richieste almeno due sezioni di rilievo del traffico agli estremi di ogni arco omogeneo per raccogliere diverse informazioni quali velocità di transito, istante di rilevamento, lunghezza dei veicoli, *headway* temporale e classificazione dei veicoli in 9 differenti categorie. Per limitare i costi, in quei casi dove tali dettagli non sembrano giustificati, potrebbe essere sufficiente considerare una sola sezione di osservazione per arco o diminuire il livello di dettaglio dei dati (ad esempio con una classificazione più snella dei veicoli in transito).

Un'ulteriore modifica potrebbe riguardare la classificazione delle Smart Road, che attualmente sono suddivise in sole due categorie. Sarebbe auspicabile una classificazione articolata su più livelli, ad esempio sullo stile di quella descritta nel paragrafo 3.2.1 e mostrata in Figura 26, al fine di adeguare in modo più flessibile il livello di servizi offerti al tipo di infrastruttura in questione. Si potrebbe proporre inoltre una classificazione più legata agli obiettivi e funzionalità in termini di connessione ed automazione piuttosto che una stretta correlazione con le tecnologie come quella attuale. Alcune strade (autostrade principali) necessitano di un'offerta più ampia, in altri contesti potrebbe essere utile erogare solo alcuni servizi perché richiesti o apprezzati dagli utenti. In altri casi potrebbe essere utile concentrarsi sui sistemi di rilievo automatico delle infrazioni per migliorare situazioni di rischio locali. In questo modo, si favorirebbe la digitalizzazione stradale permettendo ai gestori di intervenire gradualmente anche su reti secondarie con investimenti mirati ed economicamente adeguati.

3.3 Assistenza e supporto durante gli spostamenti

Un supporto sia per gli utenti che si muovono nel traffico in modalità privata, sia per gli utilizzatori del trasporto pubblico e condiviso che per gli operatori legati al trasporto merci e logistica, è garantito dai servizi informativi per gli utenti durante gli spostamenti, noti anche con il termine "infomobility". I servizi per la mobilità a supporto degli utenti possono avere scopi anche orientati alla sicurezza stradale che include l'assistenza agli utilizzatori del veicolo e al veicolo stesso (es. diagnostica di bordo). Quest'ultima può essere migliorata con il supporto di una transizione digitale abilitata dalla connessione di veicoli e da piattaforme informatiche dei costruttori o delle officine specializzate. I servizi ormai obbligatori come l'eCall o quelli basati sui registratori di eventi hanno il fine di rendere gli spostamenti più sicuri, agendo rispettivamente sul miglioramento dei soccorsi in caso di incidente o sulla migliore conoscenza del sinistro.

3.3.1 Infomobilità

I servizi di informazione alla navigazione multimodale, nel traffico o per l'utilizzo di veicoli in *sharing* si basano su dati in tempo reale (e storici), che, in accordo con la Direttiva 2010/40 per la diffusione degli ITS aggiornata a giugno 2022, possiamo classificare come:

- «dati **stradali**», dati sulle caratteristiche **dell'infrastruttura** stradale, inclusi i segnali stradali fissi o le loro caratteristiche di sicurezza regolamentari;
- «dati sul **traffico**», dati storici e in tempo reale sulle caratteristiche del traffico stradale;
- «dati di **viaggio**», dati fondamentali, come **orari** del trasporto pubblico e tariffe, necessari a fornire informazioni per i viaggi multimodali prima e durante il viaggio onde facilitare la pianificazione, la prenotazione e gli adeguamenti del viaggio.

Oggi sono diversi i canali utilizzati per l'infomobilità, tra cui i pannelli a messaggio variabile sia quelle infrastrutture stradali che per gli accessi ai parcheggi o gli arrivi dei mezzi di TPL, le informazioni in broadcasting via radio, i siti internet dei provider di servizi di trasporto e le relative applicazioni mobile-friendly. Probabilmente oggi il mondo delle applicazioni per i dispositivi mobili è la soluzione più scelta dall'utente per avere supporto ed informazione durante i suoi spostamenti o nella pianificazione degli stessi. Nel settore delle app per i servizi informativi per la mobilità si possono distinguere quelle che possiamo definire "**monomodali**" legate ad una sola modalità di trasporto e spesso anche ad un solo provider, come ad esempio le applicazioni proprietarie dei servizi di sharing (es. RideMovi, BicInCittà, ShareNow..), quelle di navigazione su strada o quelle per i parcheggi di una città (es. Parkopedia, Phonzie, Easypark..), nonché quelle degli operatori del trasporto pubblico, o quelle "**aggregatrici**" di servizi in un'ottica multimodale o multi-operatore (es. app che aggregano tutti i servizi di car sharing disponibili in un'area, es Urbi). Le applicazioni solitamente non offrono solo servizi di infomobilità, ma anche di pianificazione e programmazione del viaggio comprensive dell'acquisto del titolo di viaggio ad esempio. Tra queste vi è sicuramente Moovit, ad oggi la più diffusa, permette di pianificare lo spostamento ma soprattutto fornisce un supporto in tempo reale durante tutto il tragitto con informazioni, alert, immagini e segnalazioni condivise da altri utenti. Esistono app di navigazione a supporto del viaggio che sono utilizzabili offline (es. Mapfactor) ed altre che si basano sulle informazioni condivise dagli utenti stessi che possono riguardare non solo eventi anomali, quali code o incidenti, ma anche i servizi correlati quali ad esempio i prezzi aggiornati dei carburanti (es. Waze) o i percorsi a minore impatto emissivo (es. Google maps, EcoMoB). Utilizzabili senza connessione internet sono disponibili anche alcune app per il trasporto pubblico che possono essere usate in molte capitali europee (es. Citymapper).

La disponibilità e diffusione dei dati sono abilitate anche grazie alla presenza di **NAP (National Access Points)**⁶⁷ efficienti che siano in grado di ricevere, elaborare e rendere disponibili le informazioni statiche e dinamiche legate alla mobilità [111], [112]. Enti locali, gestori delle infrastrutture e fornitori di servizi di mobilità sono i principali attori che devono fornire le informazioni e i dati. La catena di condivisione del dato dovrebbe essere trasparente e regolamentata affinché non vi siano possibili punti di criticità ed è inoltre auspicabile un'armonizzazione tra i NAP nazionali. Si rimanda all'Appendice F per ulteriori dettagli sull'organizzazione e lo stato di diffusione dei NAP in Europa.

⁶⁷ I NAP sono stati definiti nel regolamento delegato UE 962/2015, che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio.

3.3.2 Comunicazione con il veicolo per manutenzione e supporto

Un altro modo possibile per comunicare con il veicolo è attraverso lo standard ISO 20077⁶⁸ noto come “*Extended vehicle*” che permette ai costruttori di veicoli di raccogliere dal veicolo non solo dati utili per la manutenzione, quali le percorrenze e i consumi, ma anche dati che riguardano il moto del veicolo, come ad esempio, la velocità e l’angolo di sterzo⁶⁹. L’accesso ai dati avviene quindi non solo a bordo veicolo, tramite interfacce standard usate per la diagnosi (OBD/FMS), ma anche attraverso servizi web gestiti dai produttori di veicoli, per motivi di sicurezza, eventualmente condivisi con terze parti, o interfacce specifiche sviluppate direttamente dal produttore per applicazioni C-ITS quando sono richieste basse latenze e tempi di risposta rapidi (Figura 28). Lo standard prevede inoltre l’accesso alle risorse del veicolo con diversi livelli, ad esempio utilizzando il display per mostrare messaggi verso l’utente nell’ottica di fornire servizi C-ITS, in particolare quelli previsti in Day 1, o nei casi più avanzati, per riconfigurare i parametri di bordo che regolano il funzionamento del veicolo.

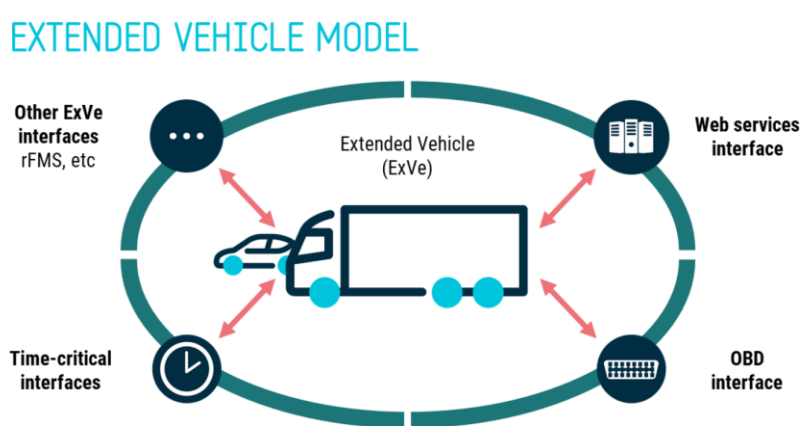


Figura 28 Il modello di “extended vehicle” per la condivisione dei dati del veicolo [113]

La manutenzione e la calibrazione dei sistemi ADAS sono cruciali e richiedono personale qualificato. Infatti, le telecamere e i sensori sono distribuiti in diverse parti del veicolo, e la sostituzione di componenti come il paraurti o il parabrezza può richiedere una nuova calibrazione dei sensori per garantire il corretto funzionamento. La precisione nella calibrazione è fondamentale, poiché questi sistemi si basano sull'analisi di dati provenienti da telecamere, sensori e radar, e anche una piccola discrepanza può compromettere la loro efficienza. Ad esempio, una telecamera non ritardata correttamente può segnalare un ostacolo ad una distanza non reale e quindi indurre il veicolo ad una fermata di emergenza nel momento sbagliato [114].

In questo contesto, le soluzioni digitali per la manutenzione delle auto connesse permetteranno una comunicazione diretta tra autoriparatori e veicoli e avranno presumibilmente un ruolo chiave nell’ambito dell’aftermarket, sia per le officine indipendenti che per le reti ufficiali dei costruttori. La connessione tra veicolo ed officina permetterà una rapida diagnosi e risoluzione dei problemi legati ai sistemi avanzati presenti nei veicoli stessi [115]. La manutenzione delle auto connesse avrà verosimilmente un effetto notevole sul mercato, spingendo gli operatori anche verso una transizione digitale con lo sviluppo di piattaforme informatiche per consentire agli operatori autoriparatori di accedere alle auto connesse attraverso la condivisione di dati e informazioni. Su questo aspetto, si auspica una maggiore trasparenza sulle modalità di accesso alle informazioni e controllo dei dati, che rendano consapevoli gli utenti di quanto venga trasmesso dalle proprie auto.

⁶⁸ ISO 20077-1: Road Vehicles – Extended Vehicle (ExVe) methodology – Part 1: General information; ISO 20077-2: Road Vehicles – Extended Vehicle (ExVe) methodology – Part 2: Methodology for designing the Extended Vehicle

⁶⁹ <https://www.cardatafacts.eu/extended-vehicle-concept/>

3.3.3 Sistema per la chiamata di emergenza eCall

Il sistema *eCall* è proposto dall'Unione Europea, dal 2003 circa con diverse iniziative (es. “*eCall*: è ora di diffonderlo” nel 2009), con lo scopo di ridurre il numero di vittime e la gravità delle lesioni dovute agli incidenti stradali grazie alla precoce allerta dei servizi di emergenza. Infatti spesso le conseguenze di un incidente stradale possono dipendere dal tempo di arrivo dei soccorsi, nonché dalle corrette informazioni che i mezzi di soccorso ricevono, ad esempio sulla posizione del veicolo coinvolto.

Secondo il **Regolamento Europeo 758 del 2015** un «*sistema eCall di bordo basato sul 112*» è un sistema di emergenza, composto di un equipaggiamento di bordo e dei mezzi per attivare, gestire e attuare la trasmissione *eCall*, attivato automaticamente attraverso sensori di bordo oppure manualmente, che invia, per mezzo delle reti di comunicazione mobile senza fili, una serie minima di dati e apre un canale audio basato sul 112 tra gli occupanti del veicolo e uno PSAP (Public Safety Answering Points) per il servizio *eCall*.

Mentre un «*sistema eCall supportato da servizi di terzi*» o «*TPS (Third Party Services) eCall*⁷⁰» prevede una chiamata di emergenza effettuata dal veicolo a un terzo prestatore di servizi sia automatica, mediante l'attivazione di sensori montati sul veicolo, sia manuale, che trasmette un MSD⁷¹ (Minimum Set of Data) e apre un canale audio tra il veicolo e il terzo prestatore di servizi tramite le reti pubbliche di comunicazione mobile senza fili. Il MSD che la centrale operativa 112 deve ricevere contiene: l'esatta collocazione temporale della chiamata, l'esatta localizzazione del veicolo (posizione GPS), la direzione di marcia del veicolo, il tipo e le caratteristiche del veicolo, indicazione di quali sensori sono stati attivati, Service Provider (nel caso l'utente abbia sottoscritto un apposito contratto aggiuntivo), l'indicazione del paese di immatricolazione del veicolo per conoscere la lingua del conducente, se si tratta di veicoli speciali/user code e il tipo di chiamata (se manuale o automatica).

Il regolamento prevede che il servizio **eCall pubblico** su scala europea basato sul numero unico europeo di emergenza 112 possa coesistere con sistemi *eCall* supportati da servizi di terzi (TPS *eCall*) purché sia garantita la continuità del servizio per il consumatore finale. È suggerito inoltre ai costruttori di fornire sia la documentazione tecnica circa l'*eCall* pubblico basato sul 112 che indicare la possibilità di scegliere un sistema TPS *eCall*, nonché la normativa di riferimento per il trattamento dei dati personali.

Il sistema è obbligatorio per tutti i nuovi modelli di auto e furgoni leggeri omologati dal **31 marzo 2018** e si attiva solo in caso di incidente grave o chiamata manuale, inviando i dati base tra cui la posizione e tipologia di veicolo soltanto in seguito ad un evento rilevato.

Un filone di sperimentazione parallelo all'*eCall* privato riguarda l'**eCall aftermarket**, che ha l'obiettivo di permettere a qualsiasi veicolo (come camion, veicoli commerciali, moto, bici, veicoli leggeri) che non sia già dotato di *eCall* pubblico, di installare un dispositivo ed effettuare, in caso di emergenza, una chiamata *eCall* al 112, senza essere però vincolato necessariamente ad alcun contratto assicurativo o di noleggio, come invece per l'*eCall* privato. Il progetto europeo sAFE After-Market *eCall* for Europe⁷² si è occupato della sperimentazione di questa tipologia di *eCall*, in particolare della definizione di standard e delle specifiche per permetterne la corretta diffusione. Tra gli scopi vi è l'identificazione dei requisiti minimi di prestazione e conformità per i dispositivi 112-*eCall aftermarket* per evitare di sovraccaricare di chiamate superflue i PSAP. Il progetto prevede anche la realizzazione di una rete europea di PSAP che rispondano alle chiamate di emergenza a livello nazionale piuttosto che una centrale unica europea [116]. Ogni centrale riceverà nel MSD anche la nazionalità del veicolo in modo da selezionare la lingua da utilizzare per l'interfaccia con l'utente.

⁷⁰ Conformi allo standard EN 16102:2011

⁷¹ Definite nella norma EN 15722:2011.

⁷² <https://safe112.eu/>

Esistono altre sperimentazioni di *eCall* come quella italiana che si è conclusa nel 2020 con esito positivo ovvero l'**eCall Privato** (tipologia TPS *eCall*) che a differenza di quello pubblico, sfrutta gli apparati già installati sui veicoli circolanti [116]. Ulteriori dettagli sull'*eCall* ed altre sperimentazioni sono riportate in Appendice E.

3.3.3.1 Principali benefici e criticità

Secondo l'Unione Europea il sistema *eCall* pubblico può accelerare i tempi di risposta alle emergenze del 40% nelle aree urbane e del 50% in aree rurali. A regime, può salvare fino a 2.500 vite all'anno e alleviare la gravità dei traumi stradali [117].

Secondo i dati riportati in [118] il mercato dell'*eCall* in Europa nel 2020 è stato di 3.65 miliardi di dollari con proiezioni di crescita al 2028 a 7.44 miliardi. La diffusione è di circa 2 milioni e mezzo di veicoli dotati nel 2019, circa 14,5 milioni nel 2021 con previsione di 90 milioni nel 2026 (ovvero la totalità dei veicoli immatricolati) [119].

Il numero di chiamate effettuate in Europa tramite *eCall* nel 2019 è molto differente tra i diversi Paesi, come emerge dalla Figura 29, con un primato per l'Italia con più di 19.000 chiamate effettuate, ovvero il 0.09% delle chiamate al numero unico di emergenza 112 (numero di chiamate totali al 112 nel 2019 in Italia 22.856.631) [120].

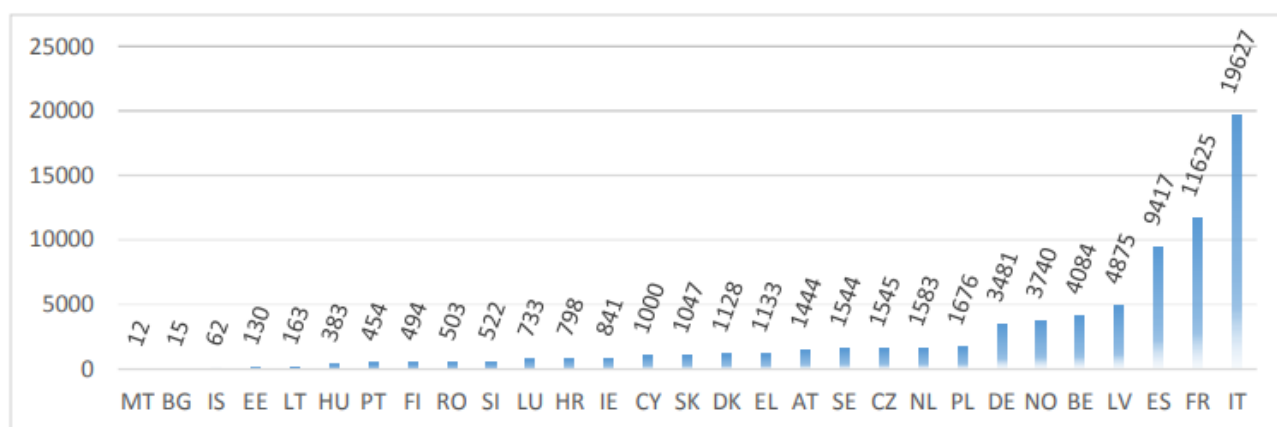


Figura 29 Numero di eCall effettuate in EU (2019) [120]

Una delle principali criticità dell'*eCall* sembra essere legata al numero elevato di **segnalazioni false o di lieve entità** che rischiano di sovraccaricare i PSAP. Per esempio, nel biennio della sperimentazione 2018-2019 del progetto italiano per l'*eCall* privato sono state gestite e filtrate oltre 800 mila segnalazioni e, di queste, soltanto l'1 per mille, pari a 80 segnalazioni, è stato inviato, dopo la validazione, all'AREU per l'avvio delle procedure di soccorso [121]. Questo perché l'apparato rileva anche micro-incidenti, che con soluzioni come l'*eCall* privato possono essere successivamente filtrate tramite software e operatore. Nel 2021 le chiamate ricevute tramite *eCall* in Italia sono state 3.900 contro le 500 del 2019, ma di queste il 95% è causato da attivazioni involontarie o di piccola gravità [122].

“I veicoli durano più a lungo dei telefoni” si legge spesso ed è un utile campanello d'allarme anche nel caso del sistema *eCall*. Infatti la normativa sull'*eCall* risale al 2015, ma l'Unione Europea già dal 2003 propone e incentiva questa iniziativa. Le attuali applicazioni si basano su standard ETSI e CEN di qualche decennio fa che prevedeva la comunicazione con un canale GSM a CS o UMTS. Gli operatori di telefonia hanno però annunciato il graduale spegnimento di queste reti (2G/3G) il che avrà un grande impatto quindi anche sui dispositivi *eCall*

[123]. Gli NG *eCall* invece, come detto, sono basati su tecnologie LTE e 5G che oltretutto sono in grado di assicurare un trasferimento del pacchetto dati MSD più affidabile e veloce. Difficilmente gli operatori di rete possono essere obbligati a mantenere la rete GSM solo per garantire questo servizio ed è perciò più probabile che i vecchi *eCall* vengano affiancati e coesistano con le versioni più aggiornate [124]. È necessario che gli standard vengano prontamente aggiornati come indicato anche da ACEA [111]. La soluzione proposta prevede che i sistemi *eCall* riescano a garantire la compatibilità con le generazioni precedenti di reti cellulari, ma anche la retrocompatibilità con le precedenti generazioni di reti cellulari [125]. L'associazione GSMA, che rappresenta gli operatori di rete mobile, ha affermato che poiché le vendite di *eCall* crescono esponenzialmente in questi anni è necessario che il problema della tecnologia di connessione non venga più trascurato [119]. Tra le proposte di GSMA [119] si citano le seguenti:

- Necessario un nuovo regolamento per l'*eCall* che sia **neutrale rispetto alla tecnologia** (entro 2022)
- I produttori di veicoli devono iniziare ad installare i dispositivi NG *eCall*, auspicando che dal 2024 sia l'unica opzione.
- Entro il 2022 dovranno essere definite ed implementate soluzioni per il periodo di transizione che possono variare per Paese a seconda delle necessità.
- Dovrà essere riconosciuto e formalizzato il retrofit dei sistemi con standard definiti tra il 2022 e 2024.
- Le soluzioni di *eCall* aftermarket dovrebbero essere standardizzate entro il 2024
- La Commissione Europea dovrebbe fornire dei finanziamenti pubblici per questa transizione.
- Le reti cellulari attuali dovrebbero essere garantite per l'*eCall* fino al 2030.

La soluzione dell'*eCall* aftermarket è ben vista anche da PFA - Filiera automobile & mobilités [126] come compromesso per i costruttori di veicoli tra la continuità del servizio *eCall* e le risorse già investite (Appendice F).

3.3.4 Event Data Recorder (EDR)

Il regolamento UE 2019/2144, come ampiamente descritto nel paragrafo 1.3, stabilisce l'obbligo di installazione degli *Event Data Recorder* (EDR), anche note come scatola nera, su tutte le nuove vetture omologate dal 6 luglio 2022 e quelle immatricolate dal 7 luglio 2024; obbligo che si estenderà nel 2029 anche ai mezzi pesanti. Il riferimento omologativo di questi dispositivi è il **regolamento ONU n.160 del 2021** su cui si basa il regolamento **delegato C (2022) 395** della Commissione Europea che serve a integrare il 2019/2144. Il regolamento mira a stabilire i requisiti tecnici sia per l'omologazione di veicoli dotati di EDR che degli stessi come entità tecniche.

Il registratore di dati di evento è un sistema progettato per registrare e memorizzare i parametri relativi agli incidenti e le informazioni immediatamente **prima, durante e immediatamente dopo una collisione**. Il regolamento UE 2019/2144 richiede che i registratori di dati di evento memorizzino la velocità del veicolo, la frenata, la posizione e l'inclinazione del veicolo sulla strada, lo stato e la frequenza di attivazione di tutti i suoi sistemi di sicurezza, il sistema *eCall* di bordo basato sul servizio 112, l'attivazione del freno e qualsiasi altro parametro di input pertinente dei sistemi di bordo di sicurezza attiva e di prevenzione degli incidenti (es. cinture sicurezza, ABS)⁷³.

I dati registrati sono anonimizzati rispetto al singolo veicolo/proprietario ma saranno in grado di fornire informazioni circa le prestazioni di diversi dispositivi di sicurezza. "Fino a quando, mediante atto delegato della Commissione, non saranno posti in essere protocolli di comunicazione standardizzati per l'accesso ai dati

⁷³ Si può far riferimento alla tabella 1 dell'allegato 4 del regolamento ONU n. 160 per le specificità dei dati richiesti dall'EDR e il loro formato. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:42021X0993&from=EN>)

di evento e il loro recupero, i costruttori di veicoli dovrebbero fornire informazioni alle parti interessate su come accedere ai dati nell'EDR, come recuperarli e come interpretarli" è quanto riportato dal regolamento C(2022) 395. L'EDR non è un dispositivo disattivabile e come detto i dati sono anonimi. Tuttavia le forze di polizia possono accedervi per attribuire la responsabilità in caso di incidente stradale combinando i dati dell'EDR con i dati di identificazione personale acquisiti durante l'analisi di un incidente [127], [128]. La ricostruzione dell'incidente con i dati registrati dall'EDR ha sicuramente il vantaggio di ridurre i tempi ed i costi di questa attività aumentandone l'efficacia [129].

L'EDR registra un evento nel momento in cui si verifica una delle seguenti condizioni:

- una variazione della velocità longitudinale del veicolo superiore a 8 km/h in un intervallo uguale o inferiore a 150 ms;
- una variazione della velocità laterale del veicolo superiore a 8 km/h in un intervallo uguale o inferiore a 150 ms;
- l'attivazione/apertura di un dispositivo non reversibile di ritenuta dell'occupante;
- l'attivazione di un sistema secondario di sicurezza per gli utenti vulnerabili della strada. Per i veicoli non dotati di sistemi secondari di sicurezza per gli utenti vulnerabili della strada, il regolamento citato non prescrive la registrazione dei dati né l'installazione di un tale sistema. Tuttavia, se il veicolo è dotato di un tale sistema, è obbligatorio registrare i dati di evento una volta che il sistema è stato attivato.

Il regolamento C (2022) 395 specifica inoltre che *"Il corretto stato operativo dell'EDR, nonché la sua corretta funzionalità e l'integrità del software, dovrebbero essere verificati mediante controlli tecnici periodici dei veicoli."*

3.3.4.1 I benefici attesi e le criticità emerse: iniziative di gestione e condivisione dei dati

Il regolamento C(2022) 395, per ciò che concerne i benefici attesi delle EDR, riporta *"Le informazioni sullo stato del veicolo e dei suoi sistemi al momento della collisione, nonché subito prima e subito dopo, dovrebbero consentire una migliore comprensione delle cause e delle circostanze degli incidenti e del funzionamento dei sistemi di sicurezza del veicolo. Tale analisi contribuirà a migliorare la sicurezza del veicolo e a ridurre il numero di incidenti."*

Negli USA questi dati vengono aggregati in un database **National Automotive Sampling System (NASS)**. Il sistema è gestito dall'amministrazione nazionale per la sicurezza stradale (NHTSA) ed è stato fondato nel 1979 nell'ambito di una iniziativa a livello nazionale per monitorare il fenomeno degli incidenti, dei feriti e decessi sulle strade. Il NASS ha dati dettagliati su un campione casuale rappresentativo di incidenti di varia natura: minori, gravi e mortali che coinvolgono veicoli di diverse categorie, inclusi quelli pesanti, motociclette e pedoni.

Si studiano circa 5.000 incidenti all'anno e i dati registrati ammontano a oltre 160.000 incidenti, documentati da dati e fotografie sul campo per raccogliere dettagli dalla scena dell'incidente, quali le tracce lasciate dai veicoli sulla pavimentazione stradale, la fuoriuscita di liquidi, eventuali parti staccate o rotte dei veicoli, danni causati alla strada. Sono inoltre documentate le condizioni delle persone coinvolte nell'incidente⁷⁴. Laddove

⁷⁴ <https://crashviewer.nhtsa.dot.gov/CIREN/SearchIndex>

possibile, per tali incidenti sono riportati i dati registrati dall'EDR: nell'esempio in Figura 30 si possono vedere ad esempio le velocità, accelerazioni, le attività dell'ABS o del volante.

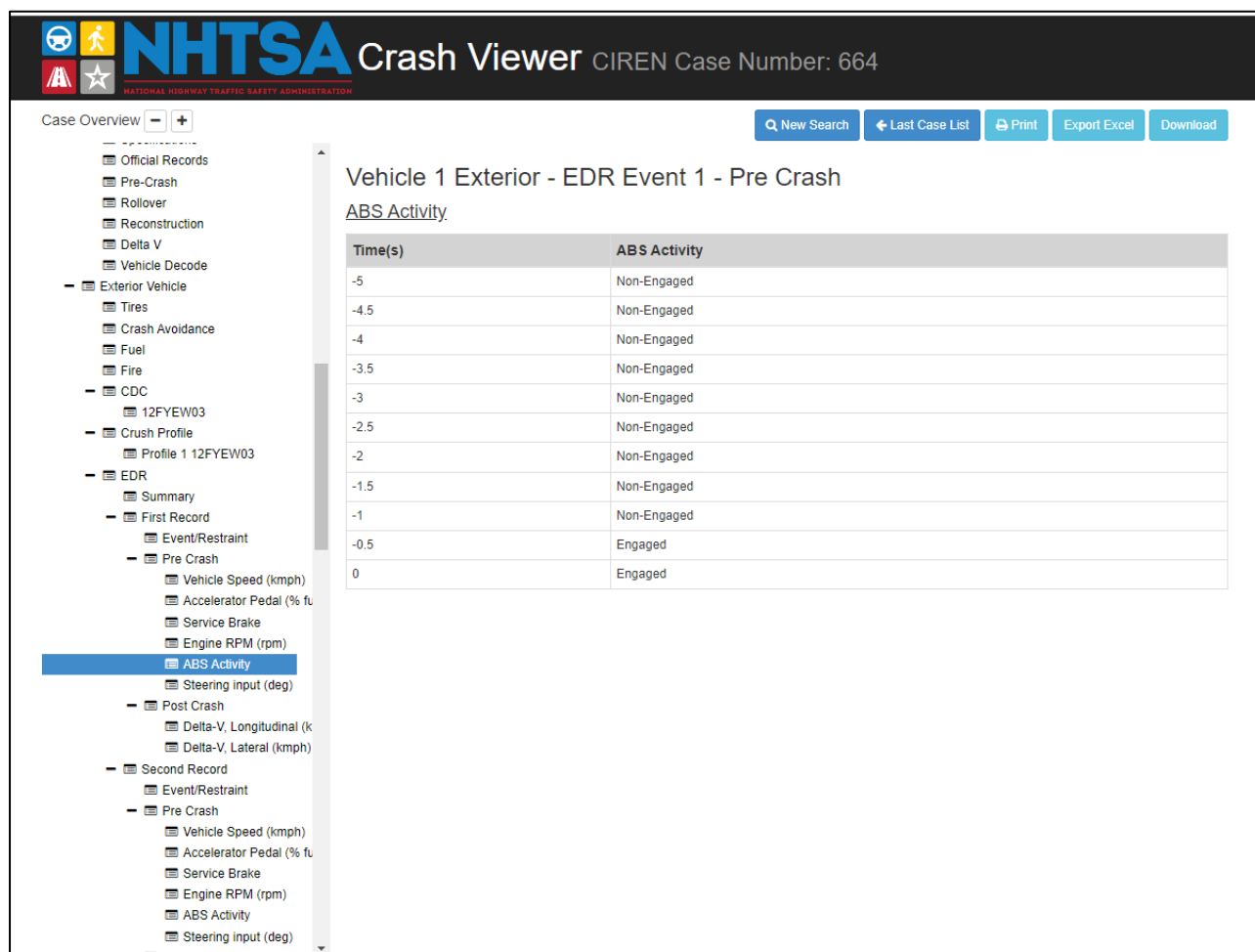


Figura 30 Esempio di dati registrati nel NASS per un incidente
(<https://crashviewer.nhtsa.dot.gov/CIREN/Details?Study=CIREN&CaseId=664#>).

In Italia le scatole nere, per motivi assicurativi, sono state introdotte dal 2014 ed oggi sono effettivamente molto diffuse poiché le compagnie assicurative applicano sconti sulle tariffe e sono particolarmente diffuse dove i premi assicurativi sono più elevati (Caserta (65,5%), Napoli (52,5%) e Reggio Calabria (38,6%)). Nel quarto trimestre del 2021 il **21.5%** delle **polizze** stipulate prevede la clausola della **scatola nera**, in lieve ribasso rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente (-1.6%) [130].

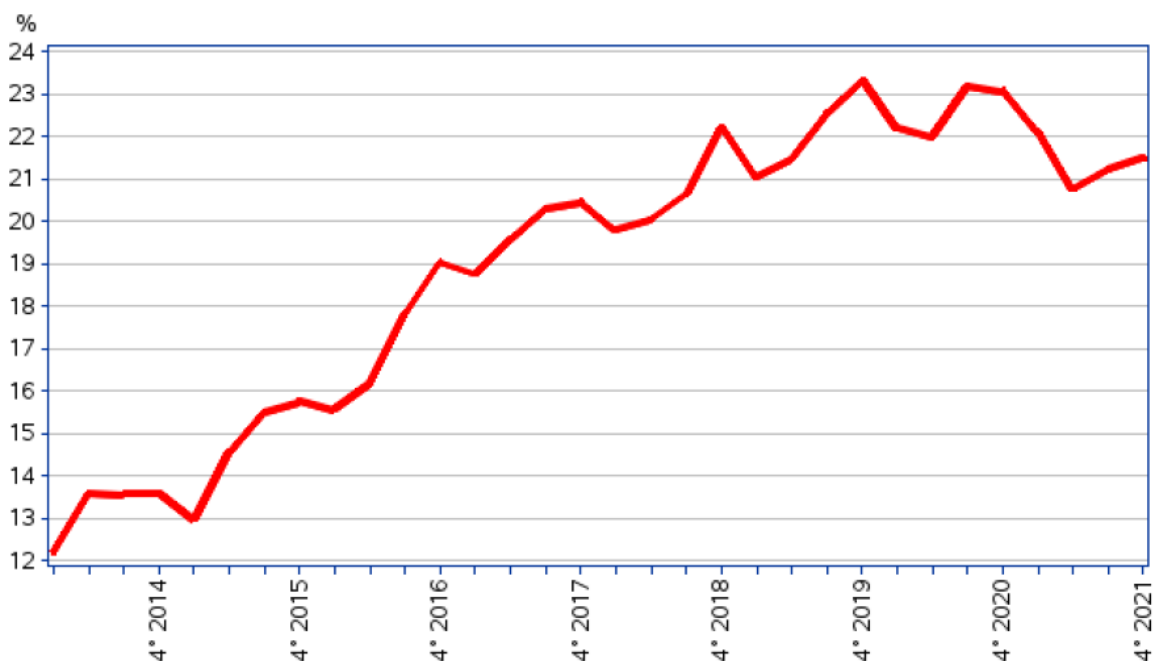


Figura 31 Tasso penetrazione della scatola nera in Italia per scopi assicurativi [130]

La convivenza tra le scatole nere utilizzate fin oggi per scopi assicurativi e i dispositivi EDR così come sono definiti dal regolamento delegato C (2022) 395 non sembra ad oggi essere ancora stata regolamentata. Infatti, in questo secondo caso le compagnie assicuratrici non potrebbero avere accesso ai dati personali che ora invece sono di loro accesso tramite le black box. Probabilmente le automobili saranno dotate dei due dispositivi indipendenti.

La gestione dei dati e la privacy sono aspetti fondamentali, e il regolamento ONU n.160 sembra essere molto rigido su questo affermando che l'EDR dovrà fornire le informazioni sull'accaduto ma non potrà fornirne la posizione ad esempio: *"Sono esclusi dall'ambito di applicazione i seguenti elementi di dati: numero di identificazione del veicolo, dati associati al veicolo, dati di localizzazione/posizionamento, informazioni sul conducente, data e ora di un evento"*.

L'European Transport Safety Council (ETSC), in accordo con altre istituzioni, sta sensibilizzando i decisori pubblici sottolineando che informazioni quali la posizione e l'orario permettono l'analisi dei dati ai ricercatori e quindi una maggiore conoscenza del fenomeno della sicurezza stradale, il cui miglioramento è lo scopo ultimo per cui l'obbligo EDR è stato introdotto [131]. Con la diffusione dei sistemi di guida assistita e automatica, identificare i fattori che hanno contribuito al verificarsi della collisione può essere ancora più complesso, quindi avere la possibilità di accedere ai dati registrati dalle EDR potrebbe essere di grande aiuto nella ricostruzione dell'evento [132].

CONCLUSIONI

Negli anni più recenti, l'innovazione tecnologica ha messo in moto un processo evolutivo che influenzerà profondamente il settore della mobilità, con ricadute sul sistema industriale, sul sistema dei servizi e sull'intera economia. Un processo che, se diffuso su larga scala ai veicoli di ogni classe, potrebbe dare un importante contributo al conseguimento degli auspicati obiettivi di: riduzione, fino all'azzeramento, del tasso di mortalità e lesività dovuto agli incidenti stradali; riduzione delle emissioni inquinanti e di quelle climalteranti; riduzione della congestione da traffico; e, in un più lungo arco temporale, maggiore accessibilità alla mobilità, anche per le categorie più fragili.

Un processo di cambiamento che può tradursi nel tempo in una vera e propria trasformazione dei modelli culturali e sociali della mobilità. Secondo alcuni studiosi sarà una rivoluzione dei trasporti, la settima nella storia dell'uomo, che modificherà significativamente non solo il funzionamento del sistema della mobilità ma che avrà ricadute molto significative sulla società e l'economia nel loro complesso⁷⁵. La storia insegna che i tempi necessari per il dispiegamento degli effetti delle innovazioni rivoluzionarie non sono prevedibili, né lo sono i loro effetti più ampi. Molto dipende da come le innovazioni sono introdotte e dalla regolazione delle fasi di transizione.

L'auto di domani, probabilmente elettrica e con funzioni sempre più avanzate di guida autonoma, sarà più sicura e sostenibile, ma con che tempi? Come affrontare il cambiamento in maniera razionale per poter usufruire dei tanti benefici e limitare gli impatti negativi?

Lo studio ha analizzato lo stato dell'arte e gli sviluppi attesi da questo processo, che nello sviluppo tecnologico trova la chiave d'accesso per raggiungere gli obiettivi, sempre più sfidanti, di riduzione dell'incidentalità stradale e di contenimento delle emissioni climalteranti; obiettivi che ci arrivano dall'agenda comunitaria, ma che ancor prima originano dal buon senso civico e morale. Ma, se lo sviluppo tecnologico è la chiave d'accesso, il resto deve farlo l'uomo, per consentire una diffusione ed uso in sicurezza di questi strumenti, prevenire le criticità e raggiungere i benefici attesi.

L'auto di domani e la sicurezza stradale

Il 90% degli incidenti stradali in Europa è dovuto all'errore umano, una evidenza confermata dai dati di incidentalità italiani (nel 2022, circa il 90% delle cause di incidentalità è dovuta a comportamenti scorretti del conducente)⁷⁶. Pur non essendo semplice analizzare il beneficio del singolo sistema di assistenza alla guida, studi recenti, realizzati sulla base di dati provenienti da scatole nere a fini assicurativi [14] [43], hanno evidenziato una significativa variazione dell'indice di sinistrosità dei veicoli dotati di alcuni ADAS, tenuto conto dell'esposizione al rischio data dai chilometri percorsi. Secondo questi studi, ad esempio, i veicoli di nuova generazione dotati di **AEB** (frenata automatica di emergenza) hanno **il 38% in meno di probabilità di incorrere in incidenti stradali**.

In Italia, considerando i dati di incidentalità classificati per natura di incidente⁷⁷, le percentuali ottenute come media degli ultimi 10 anni indicano che **i sistemi di sicurezza sarebbero potuti intervenire nel 28% di incidenti frontali, il 21% di quelli laterali e l'11% di incidenti che coinvolgono i pedoni**.

⁷⁵The seventh transport revolution and the new challenges for sustainable mobility, Cascetta E., Henke I., in JOURNAL OF URBAN MOBILITY, ISSN 2667-0917. - (2023).

⁷⁶ Cause accertate o presunte, corrispondenti ai conducenti dei primi due veicoli coinvolti nell'incidente. Report Incidenti stradali, Istat-ACI, 2023.

⁷⁷ Istat-ACI.

Secondo la Commissione Europea i sistemi di assistenza alla guida (ADAS), sempre più evoluti e abilitanti funzioni avanzate di guida autonoma, **nei prossimi 15 anni potranno salvare oltre 25.000 vite ed evitare almeno 140.000 lesioni gravi**, ma perché questo avvenga serve un immediato cambio di passo nel percorso di rinnovo del parco circolante, costituito prevalentemente da veicoli sprovvisti di tali strumenti tecnologicamente maturi e in grado di contenere in modo significativo il rischio di incidentalità.

Per questo motivo la Commissione ha imposto agli Stati membri la presenza obbligatoria nei veicoli di nuova immatricolazione di molti sistemi di assistenza alla guida. Tra questi ultimi l'**EDR** (Event Data Recorder), che svolgerà un ruolo fondamentale nella valutazione della reale efficacia dei sistemi di assistenza in caso di incidente stradale, se presenti e attivi. È, infatti, vero che, se è riconosciuto l'obbligo di installazione degli ADAS nei veicoli nuovi, è altrettanto **riconosciuto il diritto del conducente di escluderli e disattivarli**, rendendo vano l'impatto sulla sicurezza. Una possibilità non remota, soprattutto nella prima fase di utilizzo, per **manca di adeguata informazione e formazione all'uso corretto** di questi strumenti nella circolazione promiscua con veicoli tradizionali in infrastrutture non ancora adeguate e mantenute.

Ulteriori benefici in termini di sicurezza, secondo alcuni studi [39], sono prevedibili in un futuro con un'elevata presenza di veicoli con sistemi di livello 3 e 4 di automazione nel traffico, grazie alla **riduzione dei tempi di reazione nella guida**, dove si prevede una riduzione degli incidenti, della loro gravità e un minore coinvolgimento per gli utenti stradali più vulnerabili [46].

Dal 2021, in virtù di un regolamento UNECE, è possibile l'omologazione di funzioni di guida automatizzata di Livello 3, come l'ALKS (Automated Lane Keeping Systems), che consente cambi di corsia automatizzati (senza intervento del conducente), per velocità fino a 130 km/h in ambito autostradale. Il sistema ALKS è associato ad un "sistema di riconoscimento della disponibilità del conducente" che rileva se il conducente stesso è presente in posizione di guida con la cintura di sicurezza allacciata ed è pronto ad assumere il compito di guida, se necessario.

Le modifiche della "Convenzione di Vienna sulla circolazione stradale", entrate in vigore nel luglio 2023 (art. 34-bis), introducono il concetto di "sistema di guida automatica" e prevedono la possibilità, **se recepite dalle leggi nazionali**, di usare le funzioni di guida automatiche (a partire dal livello 3), che consentono al conducente di lasciare il volante, in certe condizioni. Un passo importante verso il superamento della fase sperimentale dei livelli di automazione più spinti.

Oggi in Italia possono circolare auto con sistemi di automazione di livello 1 e 2, ma la normativa italiana attuale non consente ancora l'ingresso sul mercato di mezzi con guida autonoma di livello superiore e le infrastrutture stradali non sono ancora adeguate ai requisiti dei sistemi parzialmente autonomi.

Di fatto si parla di un cambiamento epocale che, nella teoria, potrebbe sembrare all'orizzonte, ma che nella pratica risulta lontano dal realizzarsi su larga scala, per una serie di fattori e incertezze legate a cause molteplici che vanno dall'adeguamento delle infrastrutture per la viabilità e la manutenzione della segnaletica orizzontale e verticale, alla stabilità delle reti di connessione, all'aggiornamento della normativa nazionale, alla formazione dei conducenti. Un traguardo che in Italia ancor prima appare lontano per il lungo e fisiologico percorso di rinnovo del parco, nel quale **oltre il 39% delle autovetture in circolazione ha più di 15 anni d'età**.

Al fine di abilitare anche in Italia il processo evolutivo in atto, sarà necessario:

Incentivare la dotazione dei sistemi di assistenza alla guida, oggi obbligatori per i veicoli di nuova omologazione e dal 2024 in quelle di nuova immatricolazione, anche nei veicoli già in circolazione, in *aftermarket*. In particolare, si evidenzia l'importanza di una larga diffusione dell'EDR su tutti i veicoli anche non di ultima generazione.

Accelerare il processo di adeguamento normativo abilitante l'uso in sicurezza di veicoli con sistemi avanzati di guida autonoma (Livello 3 SAE), come ad esempio l'ALKS (Automated Lane Keeping Systems).

Promuovere il processo di adeguamento e digitalizzazione delle infrastrutture e la manutenzione del manto stradale e della segnaletica orizzontale e verticale, che consenta l'uso in sicurezza di veicoli con sistemi avanzati di assistenza alla guida e favorire l'introduzione di veicoli a guida automatica.

Accelerare il processo di rinnovo del parco circolante, oggi costituito per la maggior parte da veicoli sprovvisti di dispositivi di sicurezza attiva.

Integrare la formazione per la patente e la guida sicura con moduli relativi all'uso in sicurezza dei sistemi di assistenza alla guida.

Promuovere campagne informative sui benefici dei sistemi di assistenza alla guida fino al livello 2 SAE, oggi consentito.

Promuovere analisi specialistiche in profondità di un campione di incidenti al fine di evidenziare l'impatto delle (eventuali) dotazioni di assistenza alla guida e guida automatica sugli esiti.

L'auto di domani e la sostenibilità ambientale

Se la diffusione di auto dotate di sistemi di assistenza alla guida sempre più avanzati migliorerà gli standard di sicurezza e il comfort di viaggio, l'elettrificazione sembra essere considerata dai decisori pubblici, in particolare a livello europeo, la principale leva di azione dei processi di riduzione delle emissioni, in un cammino che tuttavia non si preannuncia né semplice, né veloce.

Sebbene molti passi siano stati compiuti, in particolare dal punto di vista dello sviluppo tecnologico delle batterie, la strada per l'elettrificazione di massa del parco circolante autoveicoli è lastricata ancora da molte criticità, che devono essere analizzate e affrontate con attenzione, per non subire contraccolpi economici e sociali, ma anche energetici e di incremento delle emissioni. Si tratta di un tema, quest'ultimo, al quale la Fondazione ha dedicato diversi approfondimenti negli anni, non mancando in più occasioni, di sottolineare l'importanza di analizzare le criticità legate al delicato rapporto fra aumento delle auto elettriche, incremento della domanda energetica e possibili effetti sulle emissioni climalteranti.

Un processo, quello dell'elettrificazione di massa della mobilità stradale, in cui i nuovi modelli su larga scala potrebbero offrire un contributo strategico al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, ma anche un processo nel quale l'energia pulita, necessaria perché l'auto elettrica possa dirsi veramente a zero emissioni in tutto il ciclo di vita, non riuscirà per moltissimi anni a soddisfare la domanda crescente, richiedendo l'impiego combinato di fonti pulite e fonti fossili tradizionali. In altri termini, un cortocircuito nel quale i benefici legati all'uso di alcune soluzioni zero emissive, ma altamente energivore, come quella a idrogeno (specie se verde), o gli e-fuel, rischiano di peggiorare il mix energetico di altri settori.

Negli anni recenti, la Fondazione ha analizzato molte delle criticità che ancora limitano la diffusione dei veicoli elettrici, come, ad esempio, la disponibilità delle materie prime, la mancanza di una rete capillare di ricarica sul territorio, la generazione e il consumo di energia e i tempi di rinnovo del parco circolante.

Una valutazione attenta dei dati storici delle radiazioni per fascia d'età mette in evidenza come una percentuale significativa di veicoli radiati (oltre un quarto) abbia un'età compresa tra i 10 e i 15 anni di età e che la quota più elevata di radiazioni sul totale radiato riguarda i veicoli della fascia 15-20 anni (nel 2022 il radiato autoveicoli Euro 4 rappresentava quasi il 35% del totale).

L'analisi dei dati degli ultimi 10 anni porta a presupporre che il processo di sostituzione dei veicoli più vecchi sarà molto più lento di quanto si possa pensare. Tale analisi fa supporre che anche dopo il 2035, anno del previsto bando delle auto termiche dal mercato, il parco circolante sarà costituito ancora per più del 50% da veicoli con motore termico.

Il processo di rinnovo del parco avviene lungo l'arco di più decenni e, in questa prospettiva, anche l'aumento significativo nelle vendite di veicoli elettrici e ibridi (in parte indotto dalla generosa politica di incentivi pubblici degli ultimi anni) è oggi quasi impercettibile negli effetti sul parco; questi veicoli rappresentano rispettivamente **solo lo 0,4% e il 4% del totale**.

Le prospettive di un rapido ricambio del parco, in particolare verso una elettrificazione di massa delle autoveicoli, appaiono non scontate, anche in virtù delle risposte fornite da un campione di 9.000 intervistati in una indagine svolta dalla Fondazione nel 2023 sulla percezione pubblica dell'evoluzione dell'auto. In particolare, **la stragrande maggioranza del campione, l'85%**, ritiene che oggi e per i prossimi 10 anni continuerà ad acquistare auto termiche o ibride e **solo il 14% pensa all'acquisto di un'auto elettrica**.

Oggi, il **prezzo di un veicolo elettrico a batteria è più che doppio rispetto a quello di un veicolo termico**, cosa che - secondo il campione intervistato - rappresenta un freno alle politiche complessive di rinnovo del parco. Per ridurre, entro il 2050, le emissioni inquinanti si rendono opportuni incentivi economici all'acquisto di modelli ecologici di bassa gamma (termici, ibridi o elettrici), indirizzati soprattutto alle categorie meno

abbienti. Seguendo l'esempio francese, potrebbe essere attivato un **leasing "sociale" da parte dello Stato**, con facoltà per le famiglie a minor reddito di usufruire da subito di un'auto più sostenibile, tramite il pagamento di un modesto canone mensile e la possibilità di riscattare il mezzo con una rata finale.

Una strategia eco-razionale, tesa al raggiungimento dei target ambientali, deve considerare soluzioni, che accompagnino il futuro passaggio all'elettificazione dei veicoli, e che consentano di ridurre le emissioni dei veicoli circolanti da qui al 2050.

Le riflessioni sullo sviluppo del parco circolante e sull'uso delle fonti rinnovabili nei trasporti portano con sé due riflessioni consequenziali. Da un lato, per molti anni a venire, sicuramente non meno di un trentennio, dovremo confrontarci con una percentuale significativa di veicoli termici circolanti sulle nostre strade, dall'altro, ancora, probabilmente, per un ventennio, dovremo confrontarci a livello globale, ma anche locale, con una produzione di fonti rinnovabili incapace di soddisfare la domanda crescente di energia.

Nel tentativo di offrire una prospettiva razionale alle diverse opzioni al vaglio, in una fase in cui il dibattito pubblico europeo e italiano, in vista del prossimo bando della produzione delle auto termiche in Europa al 2035, si è concentrato sul confronto tra e-fuel e biocarburanti, la Fondazione ha voluto fare una comparazione tra veicoli con sistemi alternativi di alimentazione, e in particolare auto BEV, ad Idrogeno verde (FCEV), Diesel, HVO (da UCOs), HVO (da colture) e e-diesel (con idrogeno verde), dal punto di vista del consumo energetico, secondo due approcci "dal serbatoio alla ruota" (Tank To Wheel, TTW), e dal "pozzo alla ruota" (Well To Wheel, WTW), tenendo conto del differente consumo energetico richiesto nelle fasi di produzione dei carburanti (processi e materie prime necessarie).

Se l'energia elettrica è elemento comune a tutti i processi, risulta fondamentale comprendere il dispendio energetico. Secondo le elaborazioni contenute nello studio, l'auto elettrica risulta essere una tecnologia energeticamente molto conveniente, con un consumo di 14,5 kWh ogni 100 km, ma **l'HVO da UCOs** appare altrettanto efficiente, con un consumo inferiore, pari a **10,09 kWh ogni 100 km**.

Drammaticamente energivori risultano, invece gli **e-fuel**, che presentano un consumo di **156,8 kWh ogni 100 km**, un **valore 15 volte più elevato rispetto al precedente**.

Appare evidente come l'utilizzo dell'energia elettrica vada gestita in modo razionale, proprio in funzione della disponibilità ancora esigua e della natura intermittente delle fonti energetiche rinnovabili. **Esiguità e intermittenza** che mettono in luce il potenziale ruolo strategico della batteria del veicolo a supporto del sistema energetico.

L'auto in media è sfruttata come mezzo di trasporto soltanto il 5% della giornata, per il restante 95% potrebbe essere semplicemente una batteria con le ruote utilizzabile per assorbire energia nelle fasi di sovrapproduzione e restituirla durante la notte o nelle ore di bassa generazione rinnovabile. Un passaggio cruciale che implica tuttavia il superamento di alcune barriere normative e tecnologiche legate all'usura delle batterie, alla presenza di colonnine bidirezionali e soprattutto all'esistenza di una rete smart in grado di favorire l'incontro di domanda e offerta di energia. Di fatto un approccio sinergico che rende evidente l'esigenza di guidare la transizione in modo integrato, con interventi combinati sulle fonti, le infrastrutture, i servizi, sia rispetto ai processi di elettrificazione che di automazione del veicolo.

Al fine di raggiungere gli obiettivi europei di riduzione delle emissioni climalteranti derivanti dalla mobilità automobilistica, la Fondazione Caracciolo, già nel 2019, aveva messo in evidenza l'importanza di politiche integrate di promozione e incentivo per una significativa contrazione del parco veicolare e delle percorrenze su gomma, sia in ambito urbano che extra-urbano, a cui corrisponde una maggiore offerta di servizio di trasporto pubblico nonché l'implementazione di misure volte ad incentivare forme di mobilità attiva.

Nel dettaglio, lo studio evidenziava come politiche di mobilità sostenibile indirizzate a ridurre in modo significativo le percorrenze con auto privata (andando ad influire sulle scelte di trasporto individuali, con un decremento dei veicolo/km pari a -11% in ambito urbano e un -5% in ambito extraurbano) concorrerebbero in modo sensibile al raggiungimento dei target ambientali previsti al 2030. Queste politiche dovrebbero essere indirizzate ad agevolare la redistribuzione della domanda di mobilità (veicolo/km), prima soddisfatta dall'auto privata e ridotta anche grazie a strumenti come il telelavoro, tra spostamenti con modalità più sostenibili come lo *sharing*, la mobilità attiva (a piedi, in bicicletta) e il TPL in città. In ambito extraurbano, il 20% degli spostamenti sarebbe attratto da servizi di *ride-sharing* e il restante 80% sarebbe suddiviso tra autolinee e treni, con un incremento totale di offerta di servizi di trasporto collettivo pari al 24% per il TPL urbano, e del 12% per autolinee e treni rispetto ai dati 2017 del CNIT⁷⁸.

Recenti studi⁷⁹ confermano come un approccio integrato che contempli misure ASI (*Avoid, Shift, Improve*) per il contenimento della domanda (attuazione di politiche volte alla riduzione dei veicoli*km e un maggiore riempimento dei mezzi utilizzati), la diversione modale (attuazione di politiche che incentivino un cambiamento nelle modalità di trasporto utilizzate intervenendo direttamente sulle abitudini di spostamento degli utenti) e il miglioramento tecnologico (politiche di incentivo dello sviluppo tecnologico e del rinnovo del parco veicolare) sia l'unica soluzione in grado di avvicinarsi agli sfidanti obiettivi europei del Fit for 55, in particolare al 2030.

Va ancora menzionato il tema della riduzione, a parità di percorrenze e veicoli, del consumo energetico e delle emissioni derivanti da comportamenti di guida più sostenibili. Questi ultimi vanno dalla riduzione del rapporto peso/potenza delle auto acquistate (come illustrato in Fondazione Caracciolo 2021, sul ciclo di vita, un'auto BEV di segmento medio-alto presenta emissioni di CO₂ totali paragonabili a quelle di una utilitaria termica e addirittura più alte di una ibrida non Plug-in)⁸⁰, dalla corretta manutenzione dell'autovettura, agli stili di guida di *eco-driving*. Secondo alcuni studi preliminari⁸¹, i comportamenti sopra elencati possono condurre a riduzioni dei consumi dell'ordine del 10/15%, migliorando anche la sicurezza stradale. La guida sostenibile può essere incentivata sia dalla diffusione di autovetture con diversi livelli di guida autonoma, sia da politiche di *nudging* messe in atto dalle case automobilistiche, dalle compagnie assicurative e dai gestori del pedaggio.

Nel panorama delle strategie integrate per il conseguimento degli obiettivi europei di sostenibilità ambientale, un ruolo strategico è attribuito alle piattaforme di servizi strutturati secondo il paradigma "MaaS" (*Mobility as a Service*). Un approccio innovativo alla mobilità che consiste in una visione integrata dei molteplici servizi di trasporto, pubblici e privati, presenti su un dato territorio, che consenta una più efficiente gestione, programmazione e fruizione degli spostamenti.

Nel Policy brief sul MaaS proposto da UITP [82] si mette in evidenza che un ecosistema progettato efficientemente indurrà comportamenti di mobilità più sostenibili razionalizzando il rapporto tra l'utilizzo dell'auto privata e delle ulteriori opzioni di spostamento disponibili sul territorio.

La realizzazione dell'ecosistema MaaS transita per lo sviluppo di adeguate infrastrutture di carattere materiale e immateriale, la cui realizzazione e gestione può essere affidata ad un soggetto che svolgerà un ruolo di abilitatore e regolatore del sistema nel suo complesso. Tra le infrastrutture materiali di fondamentale importanza è la realizzazione di nodi di scambio accessibili, che, oltre a rappresentare un'occasione di

⁷⁸ Cfr. *Per una transizione energetica eco-razionale della mobilità automobilistica*, Fondazione Caracciolo, Enea, Cnr-DIITET, 2019.

⁷⁹ Cascetta *et al.*, *Alcune traiettorie di decarbonizzazione del trasporto stradale in Italia al 2030: verso il Fit for 55*, Le Strade, n. 1588, Giugno 2023.

⁸⁰ Per maggiori dettagli Cfr. *Il rinnovo del parco italiano per una mobilità più sicura, equa e sostenibile*, Fondazione Caracciolo, 2021.

⁸¹ *Guida sul risparmio di carburante e sulle emissioni di CO₂ delle autovetture*, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero della Transizione ecologica e Ministero delle Infrastrutture e mobilità sostenibile, 2021, pag.9.

trasformazione e riqualificazione urbana, costituiscono il presupposto per lo sviluppo di una mobilità intermodale che possa integrare nel sistema anche gli spostamenti eseguiti con mezzi individuali, migliorando l'accessibilità al territorio e razionalizzando l'impiego di risorse.

Al fine di affrontare in modo ecorazionale il percorso verso l'auspicato azzeramento delle emissioni di gas serra, tenendo conto che al 2035 l'incidenza dei modelli termici in circolazione sarà ancora importante, con percentuali di diffusione non inferiori al 50%, sarà necessario:

Coprire la crescente domanda di energia elettrica con fonti rinnovabili, riducendo la dipendenza dalle fonti fossili.

Affrontare in modo tecnologicamente neutro il tema dei carburanti "alternativi", valutando congiuntamente il coefficiente emissivo e quello di efficienza.

Cogliere i progressi sulla chimica delle batterie delle auto e valorizzarne il potenziale di accumulo per le fasi di sovrapproduzione rinnovabile.

Valutare, nelle politiche di sostegno al rinnovo, tutte le opzioni disponibili, che consentano di traguardare gli obiettivi di riduzione dell'impatto carbonico in modo razionale.

Prevedere incentivi economici all'acquisto di modelli ecologici di bassa gamma (termici, ibridi o elettrici), indirizzati soprattutto alle categorie meno abbienti, anche con forme di leasing "sociale" da parte dello Stato.

Incentivare i comportamenti di acquisto e guida sostenibile delle auto, utilizzando le possibilità delle tecnologie disponibili.

Supportare la realizzazione di ecosistemi MaaS attraverso investimenti per lo sviluppo di adeguate infrastrutture di carattere materiale (incremento la qualità dell'offerta di TPL, infrastrutture per la mobilità attiva e nodi di scambio accessibili) e immateriali (ad esempio, piattaforme abilitanti e infrastrutture per la raccolta e condivisione dei dati).

Aumentare la consapevolezza degli automobilisti sugli impatti ambientali ed energetici dei diversi vettori energetici, aggiornandoli con il progredire delle innovazioni tecnologiche.

Introdurre nei corsi per l'acquisizione della patente di guida gli elementi essenziali sui diversi sistemi di alimentazione ed i relativi motori.

In un mondo sempre più automatizzato nel quale le tecnologie cercheranno di rendere le auto indipendenti dal controllo dell'uomo, all'uomo sarà comunque affidato il compito di indirizzare, promuovere, controllare, validare e abilitare. Ma un pieno indirizzo e controllo passa per la consapevolezza diffusa del potenziale e dei rischi della frontiera tecnologica.

Un elemento comune alle diverse proposte fatte riguarda in questo contesto la informazione e la formazione. Gli automobilisti non appaiono, per loro stessa ammissione, sufficientemente informati della rivoluzione in atto. Questo assunto è confermato dal questionario citato. In particolare, la lettura incrociata delle informazioni fornite dagli oltre 9.000 rispondenti al questionario mette in evidenza, come queste tecnologie,

secondo diverse nomenclature, siano note a una parte importante degli automobilisti che tuttavia avvertono l'esigenza di sottoporsi a percorsi formativi per conseguire un livello di conoscenza e utilizzo più consapevole.

La formazione potrebbe aiutare anche a superare il pregiudizio di coloro che considerano le tecnologie di guida assistita o autonoma ancora come degli optional che rendono l'auto più "moderna", piuttosto che come sistemi che possono salvare la vita degli occupanti dell'auto e di pedoni e ciclisti.

In questa prospettiva, se l'auto di domani sarà guidata dagli automobilisti di domani, un tema centrale riguarda la formazione dei giovani che oggi si abilitano alla guida con gli esami per il conseguimento della patente. I programmi di questi esami andrebbero ampliati per includere gli elementi di innovazione già presenti oggi sia nel campo della guida assistita ed autonoma che in quello dei nuovi vettori energetici. Tale valutazione che condensa le conclusioni dello studio, appare condivisa anche dagli utenti che hanno partecipato all'indagine della Fondazione. Per il **77% del campione i corsi per la patente di guida dovrebbero essere integrati con informazioni sull'uso degli ADAS.**

Maggiore informazione dovrebbe riguardare anche i processi di evoluzione dei sistemi di alimentazione delle auto elettriche. Molti rispondenti, rispetto al quesito sui fattori che ostacolano la diffusione dell'auto elettrica, non hanno voluto prendere una posizione decisa; questo dato può essere letto anche come una difficoltà a rispondere in maniera consapevole per una mancanza di informazioni.

Riferimenti

- [1] SAE On-road automated driving committee e ISO TC204 working group 14, «Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016_2021)», 2021.
- [2] «Road safety in the EU: fatalities below pre-pandemic levels but progress remains too slow». Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/road-safety-eu-fatalities-below-pre-pandemic-levels-progress-remains-too-slow-2023-02-21_en
- [3] *Reference document with definitions of Automated Driving under WP.29 and the General Principles for developing a UN Regulation on automated vehicles*. 2018. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP29-1140e.pdf>
- [4] Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles, *Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Driver Control Assistance Systems*. Consultato: 19 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://unece.org/sites/default/files/2023-07/ECE-TRANS-WP.29-GRVA-2023-20e.pdf>
- [5] UNECE, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems*. 2020.
- [6] F. Deflorio, B. Dalla Chiara, A. Carboni, A. Gallizia, C. Ronzoni, e A. Ricci, *La frontiera tecnologica nella lotta agli incidenti stradali. Il ruolo degli ADAS*. 2019.
- [7] «Euro NCAP | Sistemi di mantenimento della corsia». Consultato: 12 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.euroncap.com/it/sicurezza-dei-veicoli/la-valutazione-in-dettaglio/safety-assist/sistemi-di-mantenimento-della-corsia/>
- [8] Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles, *Proposal for the 01 series of amendments to UN Regulation No. 157 (Automated Lane Keeping Systems)*. 2022. doi: 10.1093/oxfordhb/9780199560103.003.0007.
- [9] «UN Regulation extends automated driving up to 130 km/h in certain conditions | UNECE». Consultato: 12 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulation-extends-automated-driving-130-kmh-certain-conditions>
- [10] Center for connected and automated vehicles, «Safe Use of Automated Lane Keeping System (ALKS) Call for Evidence», London, 2020.
- [11] «Clean Transportation with Autonomous Shuttles - ZF». Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.zf.com/mobile/en/technologies/autonomous_driving/stories/autonomous_shuttle.html
- [12] Steve, «Cars with Autopilot in 2023», AutoPilot Review. Consultato: 10 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.autopilotreview.com/cars-with-autopilot-self-driving/>
- [13] Auto2x, «21% of new cars in Europe to be highly-automated in 2025», 2 febbraio 2021.
- [14] A. Schrotten *et al.*, «Research for TRAN Committee – The impact of emerging technologies on the transport system», Brussels, 2020.
- [15] Auto2x, «Is Mercedes-Benz's Level 3-Autonomy worth the 5.000 euro premium? », 17 maggio 2022.
- [16] «The State of Level 3 Autonomous Driving in 2023», AUTOCRYPT. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://autocrypt.io/the-state-of-level-3-autonomous-driving-in-2023/>
- [17] F. Polimeni, «Honda per prima al Livello 3, in Giappone con Legend | Auto.it», *Auto.it*, 12 novembre 2020.
- [18] Colin Beresford, «Honda Legend Sedan with Level 3 Autonomy Available for Lease in Japan», *Car and Driver*, 4 marzo 2021. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.caranddriver.com/news/a35729591/honda-legend-level-3-autonomy-leases-japan/>
- [19] «The front runner in automated driving and safety technologies», Mercedes-Benz. Consultato: 8 giugno 2022. [Online]. Disponibile su: <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot-2.html?r=dai>
- [20] F. Marino, «Guida autonoma livello 3: Mercedes e Honda battono Tesla», *RED Live*, 28 febbraio 2022.

- [21] Angus MacKenzie, «Mercedes-Benz Drive Pilot Autonomous First “Drive”: We Try a World’s First Driverless System», *MotorTrend*, 6 maggio 2022. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.motortrend.com/news/mercedes-benz-drive-pilot-eqs-autonomous-driverless-first-drive-review/>
- [22] Lorenzo Corsani, «Polestar 4 - Con Mobileye per la guida assistita di livello 3», *Quattroruote.it*, 25 agosto 2023. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.quattroruote.it/news/tecnologia/2023/08/25/polestar_4_guida_assistita_mobileye_.html
- [23] «Guida autonoma | Stellantis». Consultato: 26 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: https://www.stellantis.com/it/tecnologie/guida-autonoma?adobe_mc_ref=
- [24] «Elon Musk says Tesla will have self-driving cars without the need for human drivers this time next year | Electrek». Consultato: 28 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: <https://electrek.co/2022/05/22/elon-musk-tesla-self-driving-cars-without-human-driver-next-year/>
- [25] S. Donato, «Guida autonoma di livello 4, niente maniglie e ci sono i comandi vocali: la “robocar” di Jidu arriva nel 2023», *DMove.it*, 8 giugno 2022.
- [26] Alessandra Caraffa, «Guida autonoma: la prima auto al mondo al Livello 4», *Virgilio Motori*, 1 novembre 2023. Consultato: 2 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.virgilio.it/motori/smart-mobility/prima-auto-mondo-guida-autonoma-livello-4/206740/>
- [27] B. Schoettle, «Sensor Fusion: A Comparison of Sensing Capabilities of Human Drivers and Highly Automated Vehicles», 2017.
- [28] C. Metz, «How Driverless Cars See the World Around Them », *The New York Times*, mar. 2018.
- [29] T. Ranzetta, «Question of the Day: How much cheaper are autonomous robo-taxis to operate compared to private cars (in dollars saved annually)? - Blog». Consultato: 22 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.ngpf.org/blog/budgeting/question-of-the-day-how-much-cheaper-are-autonomous-robo-taxis-to-operate-when-compared-to-private-car-ownership-in-dollars-saved-annually/>
- [30] Z. Jiang, M. Zheng, e A. Mondschein, «Acceptance of driverless shuttles in pilot and non-pilot cities», *Journal of Public Transportation*, vol. 24, p. 100018, gen. 2022, doi: 10.1016/J.JPUBTR.2022.100018.
- [31] A. Schmidt, G. Seiberth, P. Dorn, e L. Milan, «Rebooting Autonomous Driving», 2021.
- [32] Statista, «Global Level 2-4 autonomous vehicle sales: share of total vehicle sales». Consultato: 23 giugno 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.statista.com/statistics/1230101/level-2-autonomous-vehicle-sales-worldwide-as-a-share-of-total-vehicle-shares-by-autonomous-vehicle-level/>
- [33] Konstantin Shirokinskiy, Wolfgang Bernhart, e Stephan Keese, «Advanced Driver-Assistance Systems: A ubiquitous technology for the future of vehicles », *Roland Berger*, 31 marzo 2021.
- [34] «Road safety: Commission welcomes agreement on new EU rules to help save lives». Consultato: 1 agosto 2022. [Online]. Disponibile su: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_1793
- [35] «Automated Vehicle Safety | NHTSA». Consultato: 1 agosto 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- [36] IIA e EY, «Move to the future : la mobilità del 2031», 2021.
- [37] F. Deflorio, G. Brancaccio, e C. Tortora, *Gli effetti dell’AEB nella riduzione dei sinistri Il sostegno della tecnologia nella lotta agli incidenti*. 2020.
- [38] F. Deflorio e A. Carboni, «Safety systems and vehicle generations: Analysis of accident and travel data collected using event data recorders», <https://doi.org/10.1080/19439962.2021.1919262>, 2021, doi: 10.1080/19439962.2021.1919262.
- [39] L. Ye e T. Yamamoto, «Evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on traffic safety», *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 526, p. 121009, lug. 2019, doi: 10.1016/J.PHYSA.2019.04.245.
- [40] M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far, e H. Jahankhani, *Internet of Things Digital Twin Technologies and Smart Cities*.

- [41] E. Cascetta, A. Carteni, e L. Di Francesco, «Do autonomous vehicles drive like humans? A Turing approach and an application to SAE automation Level 2 cars», *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 134, p. 103499, gen. 2022, doi: 10.1016/J.TRC.2021.103499.
- [42] Chiara Ascia, «Incidentologia stradale: analisi in-depth», Politecnico di Torino, 2018. Consultato: 10 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/8222/1/tesi.pdf>
- [43] IGLAD Technical Working Group (TWG), «IGLAD Codebook», 2021. Consultato: 10 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <http://iglad.net/web/page.aspx?refid=10>
- [44] Jing-Shiarn Wang, «Target crash population for crash avoidance technologies in passenger vehicles (Report No. DOT HS 812 653)», National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, mar. 2019. Consultato: 10 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812653>
- [45] Trent Victor, Kristofer Kusano, Tilia Gode, Matthew Schwall, e Ruoshu Chen, «Safety Performance of the Waymo Rider-Only Automated Driving System at One Million Miles», *Waypoint – The official Waymo blog*. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://waymo.com/blog/2023/02/first-million-rider-only-miles-how.html>
- [46] S. C. Calvert, W. J. Schakel, e J. W. C. van Lint, «Will automated vehicles negatively impact traffic flow?», *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/3082781.
- [47] D. Li e P. Wagner, «Impacts of gradual automated vehicle penetration on motorway operation: a comprehensive evaluation», *European Transport Research Review*, vol. 11, fasc. 1, pp. 1–10, dic. 2019, doi: 10.1186/S12544-019-0375-3/TABLES/4.
- [48] Department for Transport, «Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) on Traffic Flow», 2016.
- [49] «The Biggest Challenge for Autonomous Vehicles | IDTechEx Research Article». Consultato: 29 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.idtechex.com/en/research-article/the-biggest-challenge-for-autonomous-vehicles/25011>
- [50] H. S. Mahmassani, «Autonomous Vehicles and Connected Vehicle Systems: Flow and Operations Considerations», *Transportation Science Publication*, fasc. October, 2016.
- [51] V. Mauro, B. Dalla Chiara, F. Deflorio, A. Carboni, e F. Cossu, «AUTO-MATICA Il futuro prossimo dell'auto: connettività e automazione», 2017.
- [52] E. Cascetta e I. Henke, «The seventh transport revolution and the new challenges for sustainable mobility», *Journal of Urban Mobility*, vol. 4, p. 100059, dic. 2023, doi: 10.1016/j.urbmob.2023.100059.
- [53] G. M. Stein, «The Impact of Autonomous Vehicles on Urban Land Use Patterns», set. 2020, doi: 10.2172/4312067.
- [54] Z. Wadud e G. Mattioli, «Fully automated vehicles: A cost-based analysis of the share of ownership and mobility services, and its socio-economic determinants », *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 151, 2021, doi: 10.1016/j.tra.2021.06.024.
- [55] *An act to add Section 24011.5 to the Vehicle Code, relating to vehicles*. Consultato: 9 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://leginfo.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=202120220SB1398
- [56] AUTO2X, «New opportunities in Autonomous Driving, e-mobility and EV Charging & New Mobility Services», 2021. doi: 10.1126/science.208.4450.1321-a.
- [57] «Cyber-attacks on connected cars double in the past year alone - Data Centre Review». Consultato: 1 agosto 2022. [Online]. Disponibile su: <https://datacentrereview.com/2020/08/cyber-attacks-on-connected-cars-double-in-the-past-year-alone/>
- [58] F. Forni, «Dalla guida autonoma alla cybersecurity, 5 concetti per viaggiare in sicurezza con le auto del futuro », *QN Motori*, 22 febbraio 2022.
- [59] R. Siviero, «Veicoli a guida autonoma: profili di responsabilità RCA e data protection », *Internet4Things*, 3 luglio 2020.
- [60] M. Hazan e G. P. Travaglino, «Guida autonoma, responsabilità anche per produttore e assicurazione », *Il Sole 24 ORE*, 8 marzo 2022.

- [61] M. Martorana e Z. Sichi, «Auto a guida autonoma: implicazioni tecniche e profili giuridici », *AI4Business*, 20 dicembre 2021.
- [62] «Legal reforms to allow safe introduction of automated vehicles announced | Law Commission». Consultato: 2 agosto 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.lawcom.gov.uk/legal-reforms-to-allow-safe-introduction-of-automated-vehicles-announced/>
- [63] Valerio Boni, «Guida autonoma, i robotaxi di San Francisco dividono», *Gazzetta Motori*, 14 agosto 2023. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.gazzetta.it/motori/la-mia-auto/14-08-2023/guida-autonoma-i-robotaxi-di-san-francisco-dividono.shtml>
- [64] Walter Ferri, «San Francisco sta testando i robotaxi, ma non sta andando benissimo», *L'INDIPENDENTE*, 23 agosto 2023. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.lindipendente.online/2023/08/23/san-francisco-sta-testando-i-robotaxi-ma-non-sta-andando-benissimo/>
- [65] B. Cohen, «Uber, Lyft & taxi drivers unite against Waymo, Cruise expansion», *Mission Local*, 30 giugno 2023. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <http://missionlocal.org/2023/06/uber-lyft-taxi-drivers-unite-against-waymo-cruise-expansion/>
- [66] G. Perlasca, «San Francisco approva i veicoli a guida autonoma, il giorno dopo queste causano ingorghi», *Scenari Economici*, 15 agosto 2023. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://scenarieconomici.it/san-francisco-approva-i-veicoli-a-guida-autonoma-il-giorno-dopo-queste-causano-ingorghi/>
- [67] MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI (Mims), «MOBILITÀ E LOGISTICA SOSTENIBILI Analisi e indirizzi strategici per il futuro», MIMS, ott. 2022. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-10/Mims_Mobilit%C3%A0%20e%20logistica%20sostenibili_pag%20singola%20r3_0.pdf
- [68] Politecnico di Milano, «Smart Mobility Report 2022», set. 2022. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.energystrategy.it/prossimi-eventi/smart-mobility-report-2022/>
- [69] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, «PIANO NAZIONALE INTEGRATO PER L'ENERGIA E IL CLIMA», giu. 2023. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf
- [70] Fondazione Filippo Caracciolo- Centro Studi ACI, «Per una transizione ecorazionale della mobilità automobilistica italiana», 2021.
- [71] «Infrastructure | European Alternative Fuels Observatory». Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/italy/infrastructure>
- [72] Ministero delle infrastrutture e delle mobilità sostenibili, «Decarbonizzare i trasporti Evidenze scientifiche e proposte di policy», pp. 1–100, 2022.
- [73] Joint Research Centre (European Commission), M. Prussi, M. Yugo, L. De Prada, M. Padella, e R. Edwards, *JEC well-to-tank report V5: JEC well to wheels analysis : well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. LU: Publications Office of the European Union, 2020. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/100379>
- [74] *Proposta di DIRETTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO che modifica la direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, il regolamento (UE) 2018/1999 del Parlamento europeo e del Consiglio e la direttiva n. 98/70/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la promozione dell'energia da fonti rinnovabili e che abroga la direttiva (UE) 2015/652 del Consiglio*. 2021. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:dbb7eb9c-e575-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0015.02/DOC_1&format=PDF
- [75] Directorate-General for Climate Action (European Commission) *et al.*, *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA: final report*. LU: Publications Office of the European Union, 2020. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://data.europa.eu/doi/10.2834/91418>

- [76] Z. C. Samaras *et al.*, «A European Regulatory Perspective towards a Euro 7 Proposal», *SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility*, vol. 5, fasc. 3, Art. fasc. 2022-37-0032, giu. 2022, doi: 10.4271/2022-37-0032.
- [77] «The Zero Impact Combustion Engine – a Vision?», in *Graz University of Technology*, Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://graz.elsevierpure.com/en/activities/the-zero-impact-combustion-engine-a-vision>
- [78] E. D. Lebel, Colin J. Finnegan, Zutao Ouyang, e Robert B. Jackson, «Methane and NO_x Emissions from Natural Gas Stoves, Cooktops, and Ovens in Residential Homes», *Environmental Science & Technology*, vol. 56, p. 2529–2539, 2022, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04707>.
- [79] «New ‘Euro’ pollutant emission proposal risks slowing down transition to zero-emission transport», ACEA - European Automobile Manufacturers’ Association. Consultato: 2 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.acea.auto/press-release/new-euro-pollutant-emission-proposal-risks-slowing-down-transition-to-zero-emission-transport/>
- [80] MIMS, «Verso un nuovo modello di mobilità sostenibile», mag. 2022. Consultato: 2 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-05/Rapporto%20%27Verso%20un%20nuovo%20modello%20di%20mobilit%C3%A0%20sostenibile%27_0.pdf
- [81] Mims, «MOBILITÀ E LOGISTICA SOSTENIBILI Analisi e indirizzi strategici per il futuro», ott. 2022.
- [82] UITP Combined Mobility Committee, «Policy Brief - Ready for Maas?EASIER MOBILITY FOR CITIZENS AND BETTER DATA FOR CITIES», Brussels, 2019.
- [83] TTS Italia, «Linee Guida per lo sviluppo dei servizi MaaS in Italia», Roma, 2021.
- [84] UITP – International Association of Public Transport, «Mobility as a service», 2019.
- [85] G. Fanesi, «LA PIATTAFORMA MAAS: IL SISTEMA OPERATIVO DELLA COMMUNITY DI IMPRESE, CITTADINI ED ENTI», in *MaaS4Italy: il futuro in Italia è Mobility as a Service*, Roma, 2022.
- [86] «Whim, l’app che sostituisce l’auto. - L’Automobile». Consultato: 26 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.lautomobile.aci.it/articoli/2021/05/31/whim-lapp-che-sostituisce-lauto.html>
- [87] D. Hensher, C. Ho, e D. Reck, «Mobility as a service and private car use: Evidence from the Sydney MaaS trial», *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 145, pp. 17–33, mar. 2021, doi: 10.1016/j.tra.2020.12.015.
- [88] «Investimento PNRR 1.4.6 “Mobility as a Service for Italy” Discussion paper “Data Sharing and Service Repository Facilities” (DS&SRF)», 2022.
- [89] CAR 2 CAR, «C-ITS: Europe’s Path to Connected, Cooperative & Automated Mobility», mar. 2022.
- [90] «About C-ITS | CAR 2 CAR Communication Consortium». Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.car-2-car.org/about-c-its/>
- [91] ERTRAC, «Connected, Cooperative and Automated Mobility Roadmap», 2022.
- [92] ETSI, «ETSI TR 103 766 - V1.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Pre-standardization study on co-channel co-existence between IEEE- and 3GPP- based ITS technologies in the 5 855 MHz - 5 925 MHz frequency band», 2021.
- [93] «The V2X Deployment Roadmap in Europe: What to Expect by 2024». Consultato: 2 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://autocrypt.io/v2x-deployment-roadmap-europe-2024/>
- [94] RADIO SPECTRUM POLICY GROUP, *RSPG Report on the role of radio spectrum policy to help combat climate change*. 2021.
- [95] PIARC, *SMART Roads Classification : A PIARC Special Project*, vol. 2021SP01. PIARC, 2021.
- [96] «Il progetto C-Roads Italy: strade digitali che supportano la guida connessa e autonoma di Livello 3 | Corporate Communications | Stellantis». Consultato: 27 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.media.stellantis.com/it-it/corporate-communications/press/il-progetto-c-roads-italy-strade-digitali-che-supportano-la-guida-connessa-e-autonoma-di-livello-3>
- [97] INFRAMIX, «D.5.3 Evaluation, impact analysis and new safety performance criteria», 2020.
- [98] M. R. Cantas, G. Surnilla, e M. Sommer, «Green Light Optimized Speed Advisory (GLOSA) with Traffic Preview», *SAE Technical Papers*, fasc. 2022, mar. 2022, doi: 10.4271/2022-01-0152.
- [99] European Commission, *WHITE PAPER: Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system*. Bruxelles, 2011.

- [100] European Court of Auditors, «The Polluter Pays Principle: Inconsistent application across EU environmental policies and actions», 2021.
- [101] Transport & Environment, «Road charging for cars», 2017.
- [102] M. Pape, «Revision of the Eurovignette Directive», 2022.
- [103] F. Jacobs, «EU-wide road pricing is not for tomorrow », *Fleet Europe*, 13 luglio 2022.
- [104] P. Henshaw, «‘ Smart ’ Road Pricing On The Way , Say MPs», *BMF News*, fasc. February, 2022.
- [105] E. Cascetta e M. Montanino, «Unleashing the potential of price-based congestion management schemes: a unifying approach to compare alternative models under multiple objectives».
- [106] ERTRAC, «Connected Automated Driving Roadmap», 2019.
- [107] P. Lertworawanich, «Connected and Automated Vehicles “CAV”», in *Bureau of road research and development department of highways*, apr. 2022.
- [108] *SINTESI DELLA VALUTAZIONE D’IMPATTO che accompagna il documento Regolamento delegato della Commissione che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la diffusione e l’utilizzo operativo di sistemi di trasporto intelligenti cooperativi*. 2019.
- [109] A.-K. ITKONEN e A. PERIER, «An EU strategy on cooperative, connected and automated mobility». Consultato: 30 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_16_3933
- [110] «Connettività e sicurezza stradale: la tecnologia Car2X Volkswagen - MoDo VGI». Consultato: 27 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: <https://modo.volkswagengroup.it/it/mobotica/connettivita-e-sicurezza-stradale-la-tecnologia-car2x-volkswagen>
- [111] ACEA, «ACEA Position Paper Proposal for the revision of the ITS Directive», 2022.
- [112] TTS Italia, «Nota TTS Italia sulla proposta di nuova direttiva 2010/40/UE», 2022.
- [113] «ACEA Position Paper Access to in-vehicle data», 2021.
- [114] D. Scalera, «Sistemi alla guida assistita ADAS, ecco come ricalibrarli?» Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.automania.it/7922/sistemi-alla-guida-assistita-adas-ecco-come-ricaribrarli>
- [115] «Manutenzione auto connesse in aftermarket: cosa esiste oggi davvero? - SicurAUTO.it». Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.sicurauto.it/b2b-auto-flotte/manutenzione-auto-connesse-in-aftermarket-cosa-esiste-oggi-davvero/>
- [116] Donato D’Ambrosi, «L’eCall privato supera la sperimentazione in Italia», *sicurauto.it*, 10 aprile 2020.
- [117] «112 eCall – Frequently Asked Questions», European Commission MEMO. Consultato: 14 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_13_547
- [118] Fortune Business Insights, «Automotive eCall Market Size», 2021.
- [119] Rooney Shane, «Future Proofing eCall Connected Vehicles in the 5G era A Mobile Network Operators perspective», in *NG eCall webinar and Plugtests results*, ETSI, A c. di, mar. 2021.
- [120] Commissione Europea, *RELAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO E AL CONSIGLIO sull’efficacia dell’attuazione del numero unico di emergenza europeo «112»*. 2020.
- [121] «eCall Privato, il servizio di estende a tutta Italia - Sicurezza - ANSA.it». Consultato: 30 giugno 2022. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/canale_motori/notizie/sicurezza/2020/02/12/ecall-privato-il-servizio-di-estende-a-tutta-italia_6c439827-3e98-4ea8-9334-0ca03afc74b7.html
- [122] R. Gullì, «Sicurezza del veicolo: i protocolli di intervento dei Vigili del fuoco sui veicoli ibridi ed elettrici incidentati», in *Evoluzione dei veicoli e infrastrutture stradali*, AIIT, A c. di, Imola, 2022.
- [123] «Verifica della funzionalità eCall di ultima generazione in un IVS | Rohde & Schwarz». Consultato: 1 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: https://www.rohde-schwarz.com/it/applicazioni/verifica-della-funzionalit-ecall-di-ultima-generazione-in-un-ivs-scheda-dellapplicazione_56279-559301.html
- [124] C. Hof, «NG eCall: the automotive emergency call system of the future», *Electronic Product Design & Test*, marzo 2020.
- [125] R. Öörni e A. Goulart, «In-Vehicle Emergency Call Services: ECall and beyond», *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, fasc. 1, pp. 159–165, gen. 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600289CM.
- [126] PFA - Filie automobile & mobilités, «Ecall and 2G et 3G network obsolescence», 3, 2022.

- [127] «Scatola nera obbligatoria da luglio. Cosa cambia per gli automobilisti». Consultato: 21 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://quifinanza.it/info-utili/scatola-nera-obbligatoria-da-luglio-cosa-cambia-per-gli-automobilisti/602651/>
- [128] «Clausole di esclusione della responsabilità». Consultato: 21 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: https://www.tesla.com/ownersmanual/modely/it_us/GUID-2E8E5E0B-DAA8-40B8-9804-45F5960538DF.html
- [129] R. Nguyen, «How Crucial is Vehicle “Black Box” Event Data Recorder (EDR) Information in Vehicle Accident Claims? », *Knott Laboratory, LLC*. 2018.
- [130] V. Medori, M. D’Aria, M. Cosconati, D. Serafini, e G. L. Scialanga, «Bollettino Statistico - IPER: L’andamento dei prezzi effettivi per la garanzia r.c.auto nel quarto trimestre 2021», mar. 2022.
- [131] ETCS, «Member States warned on need for access to in-vehicle crash data», 2021.
- [132] D. D’Ambrosi, «EDR di serie dal 2022 ma senza GPS: la privacy limita le scatole nere», *sicurauto.it*, 20 aprile 2021.
- [133] Canalys, «Level 2 autonomous driving Q4 2020 and full year 2020». Consultato: 8 giugno 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.canalys.com/newsroom/canalys-autonomous-driving-starts-to-hit-mainstream-as-35-million-new-cars-had-level-2-features-in-q4-2020>
- [134] J. Hyunjo, «Waymo offers driverless rides to San Francisco employees, expands in Phoenix | Reuters», Reuters. Consultato: 22 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/waymo-offers-driverless-rides-employees-san-francisco-expands-phoenix-2022-03-30/>
- [135] F. Vendrame, «Cruise, ora può far pagare le corse del servizio robotaxi a San Francisco », *HDmotori.it*, 3 giugno 2022.
- [136] «Motional e Hyundai Motor Group presentano il robotaxi IONIQ 5: Il robotaxi di prossima generazione di Motional - attualità». Consultato: 29 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://attualita.hyundai.ch/motional-e-hyundai-motor-group-presentano-il-robotaxi-ioniq-5-il-robotaxi-di-prossima-generazione-di-motional/>
- [137] Pony.ai, «Our approach to safety. Pony.ai Safety Report», dicembre 2020. [Online]. Disponibile su: <https://static.cdn.xiaomazhixing.com/file/1638239593906/ceae44cc-5c98-4630-a644-596524cf0c40/Pony.ai%20safety%20report.pdf>
- [138] S. Donato, «In Cina si potrà prendere il robotaxi con guida autonoma», *DMove.it*, 2 maggio 2022.
- [139] P. ALBERICI, «A Reggio Emilia il progetto “Ride 2 Autonomy” sperimenta una navetta a guida autonoma – FocusUnimore». Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.focus.unimore.it/a-reggio-emilia-il-progetto-ride-2-autonomy-sperimenta-una-navetta-a-guida-autonoma/>
- [140] «Phoenix Suburb Pilots AV Shuttle in Medical District», GovTech. Consultato: 6 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.govtech.com/fs/phoenix-suburb-pilots-av-shuttle-in-medical-district>
- [141] Damaris-Anna Gruber, «Annual pilot overview report 2020», giu. 2021.
- [142] Direzione Operation e Coordinamento Territoriale e Infrastruttura Tecnologica e Impianti, «“La strada all’avanguardia che corre con il progresso” A cura della Direzione Operation e Coordinamento Territoriale Infrastruttura Tecnologica e Impianti», 2018.
- [143] «PROGRAMMA MERCURY, INTELLIGENT ROADS: ASPI E VOLKSWAGEN PER NUOVI SERVIZI AI VIAGGIATORI», autostrade per l’Italia. Consultato: 26 settembre 2022. [Online]. Disponibile su: https://www.autostrade.it/it/comunicazione-e-media/news?p_p_id=it_aspi_news_list_portlet_NewsListPortlet&_it_aspi_news_list_portlet_NewsListPortlet_mvcPath=%2Fdetail.jsp&_it_aspi_news_list_portlet_NewsListPortlet_newsId=49703524&_it_aspi_news_list_portlet_NewsListPortlet_redirect=%2F
- [144] F. Visintainer Author *et al.*, «Deliverable D2.1 5G CARMEN Use Cases and Requirements 2 Deliverable Title: 5G CARMEN Use Cases and Requirements Editor(s)», 2019.
- [145] A2 - Working Group NAP Monitoring, «EU EIP Annual NAP Report 2020», 2020.
- [146] S. Sørensen e P. Karjalainen, «MaaS Monitor: Everything you always wanted to know about NAPs and MMTIS but haven’t dared to ask », MAAS-Alliance. Consultato: 5 luglio 2022. [Online]. Disponibile su:

<https://maas-alliance.eu/2020/02/18/maas-monitor-everything-you-always-wanted-to-know-about-naps-and-mmtis-but-havent-dared-to-ask/>

- [147] Redazione ANSA, «eCall Privato, il servizio di estende a tutta Italia», Milano, 13 febbraio 2020.
- [148] T. Campisi *et al.*, «ITS e MaaS: modelli ed esperienze per la gestione degli spostamenti programmati - “Come orientarsi”», 2021.
- [149] MIDT; DTD; MIMS, «MaaS Mobility as a Service. Indirizzi per l’attuazione del progetto “MaaS for Italy”», 2022. doi: 10.3726/978-3-0353-0099-4/1.
- [150] «Mobility as a Service for Italy». Consultato: 26 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://innovazione.gov.it/progetti/mobility-as-a-service-for-italy/>
- [151] «MaaS4Italy: il futuro in Italia è Mobility as a Service – TTS Italia – Telematica Trasporti e Sicurezza». Consultato: 28 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://www.ttsitalia.it/maas4italy-il-futuro-in-italia-e-mobility-as-a-service/>
- [152] «Whim Review - App For Public Transport - Finnoy Travel». Consultato: 26 luglio 2022. [Online]. Disponibile su: <https://finnoytravel.com/en/reviews/whim-review/>

Appendice A

Sistemi ISA

I sistemi per l'adattamento intelligente della velocità hanno come riferimento il **regolamento delegato (UE) 2021/1958** della commissione del 23 giugno 2021 che ne costituisce il primo standard normativo al mondo. In particolare, stabilisce le *norme dettagliate in merito alle procedure di prova e ai requisiti tecnici specifici per l'omologazione dei veicoli a motore per quanto riguarda i sistemi di adattamento intelligente della velocità e per l'omologazione di tali sistemi come entità tecniche indipendenti*. Come sottolineato già in [6] i sistemi di ausilio alla guida oggi sempre più diffusi sul mercato, possono essere presentati con terminologia non unica, che cambia a seconda del car-marker, ma anche con principi di funzionamento differenti. Il regolamento di omologazione dell'ISA, per esempio ammette diverse strategie di funzionamento in particolare quelle relative alla raccolta delle informazioni: osservazione mediante telecamere, dati dalle mappe e apprendimento automatico, ma indica una preferenza *per i segnali espliciti con valore numerico di indicazione del limite di velocità in condizioni reali*. In questo contesto occorrerebbe chiedersi se le infrastrutture stradali attuali abbiano una segnaletica adeguata, aggiornata e non contraddittoria (es. vecchi segnali non rimossi) affinché questi sistemi possano funzionare in maniera efficiente.

I requisiti minimi per i sistemi ISA, indicati nel regolamento 2021/1958, sono i seguenti:

- deve essere possibile informare il conducente attraverso il comando **dell'acceleratore**, o tramite altro segnale specifico, adeguato ed efficace, che il limite di velocità applicabile è stato superato;
- deve essere possibile **spegnere** il sistema; le informazioni sul limite di velocità possono ancora essere fornite e l'adattamento intelligente della velocità è in modalità di funzionamento normale a ogni attivazione dell'interruttore generale del veicolo;
- il segnale dedicato e adeguato si basa su informazioni relative al **limite di velocità**, ottenute mediante l'osservazione della segnaletica stradale e mediante segnali provenienti dall'infrastruttura stradale o da dati di cartografia digitale, o da entrambi, disponibili a bordo del veicolo;
- non pregiudicano la possibilità per i conducenti di **superare la velocità** del veicolo suggerita dal sistema;
- i suoi obiettivi in termini di prestazione devono essere stabiliti in modo da evitare o minimizzare il **tasso d'errore** conformemente a condizioni di guida reali.

Appendice B

Progetti di standardizzazione ODD

L'Istituto di Standardizzazione Britannico (BSI PAS 1883) ha definito una classificazione degli attributi degli ODD basata su un primo livello composto da tre attributi principali (Figura 32):

- Scenario: include tutti gli elementi **invariabili** dell'ambiente operativo (caratteristiche della strada, ma anche la presenza di cantieri).
- Condizioni **ambientali**: include le condizioni metereologiche, atmosferiche e caratteristiche dell'ambiente operativo.
- Elementi dinamici: include tutte le componenti **variabili** dello scenario di guida come il traffico sull'infrastruttura stradale.

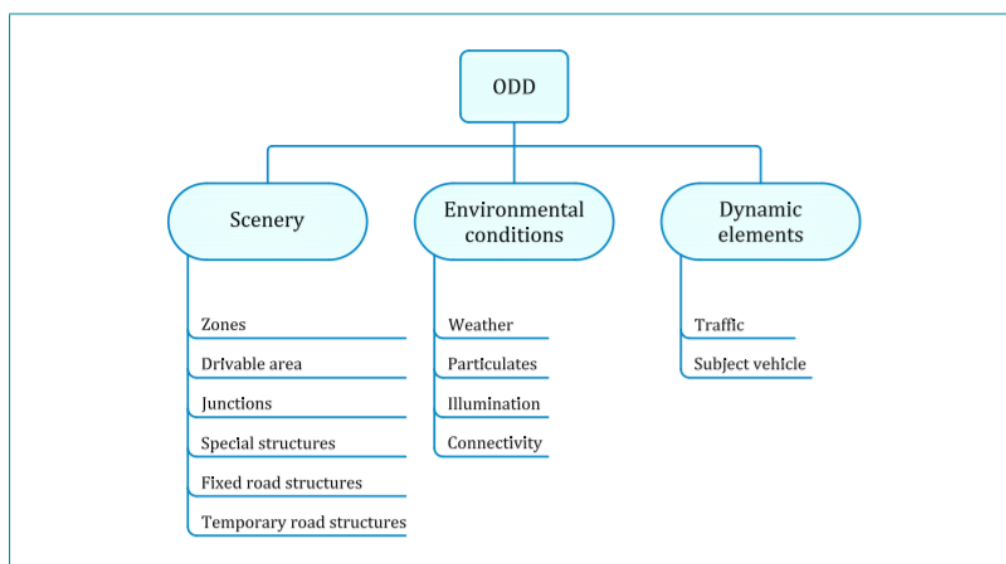


Figura 32 Classificazione attributi ODD (BSI PAS 1883)

La tassonomia proposta è basata su più livelli, infatti ogni attributo principale contiene attributi secondari, che a loro volta sono composti da elementi di terzo livello. Per chiarire la classificazione gerarchica è utile introdurre un esempio: considerando l'attributo "junctions" (intersezioni) della categoria "scenario" è possibile operare una classificazione divisa in rotonde o intersezioni. A loro volta le due nuove sottocategorie presentano una classificazione interna, infatti sia l'attributo rotonda che l'attributo intersezione si classificano in diversi sottoattributi. L'esempio è schematizzato in Figura 33.

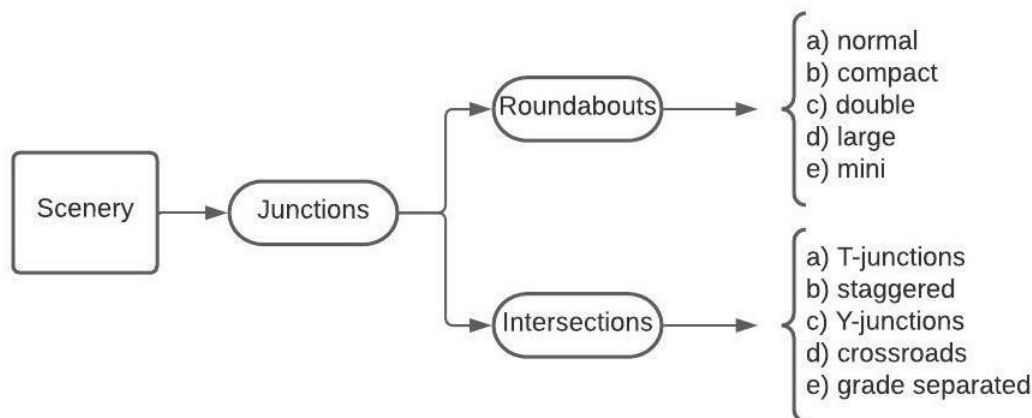


Figura 33 Esempio classificazione BSI (attributo Junctions)

Il progetto ASAM OpenODD mira a creare un format comune che specifica un definito Operational Design Domain per diversi veicoli automatizzati e permette la comparazione e lo scambio dei dati. Questa applicazione permette ai vari portatori di interesse di avere delle specifiche comuni e poter omologare veicoli e infrastrutture in modo coerente con le indicazioni fornite dal format e rendere gli ODD definiti facilmente usabili nell'ambito della simulazione. Infatti OpenODD propone un approccio modellistico che sfrutta un linguaggio specifico nella definizione del domain implementabile nell'ambito della simulazione.

```

default is permissive
global definitions
  for GenericTrafficDensity we allow [LowTrafficDensity, MediumTrafficDensity]

  for ActiveRoadState attribute PertinentSceneElements we do not allow [LearnerOrNewDriverCar,
    WideLoadLorry,
    ArticulatedBus,
    EmergencyVehicle,
    Cyclist,
    HorseRider,
    NonRoadRespectingObjects]
  for AirParticulateMatter we allow [ClearAir]
  for WeatherCondition we allow [ClearCalm, LightRain]
  for TimeOfDay we allow [DayLight]
  for WindLevel we do not allow [StrongWinds]
  for GroundCondition we allow [DryGround, WetGround]
  for AlteredCondition we do not allow anything
  
```

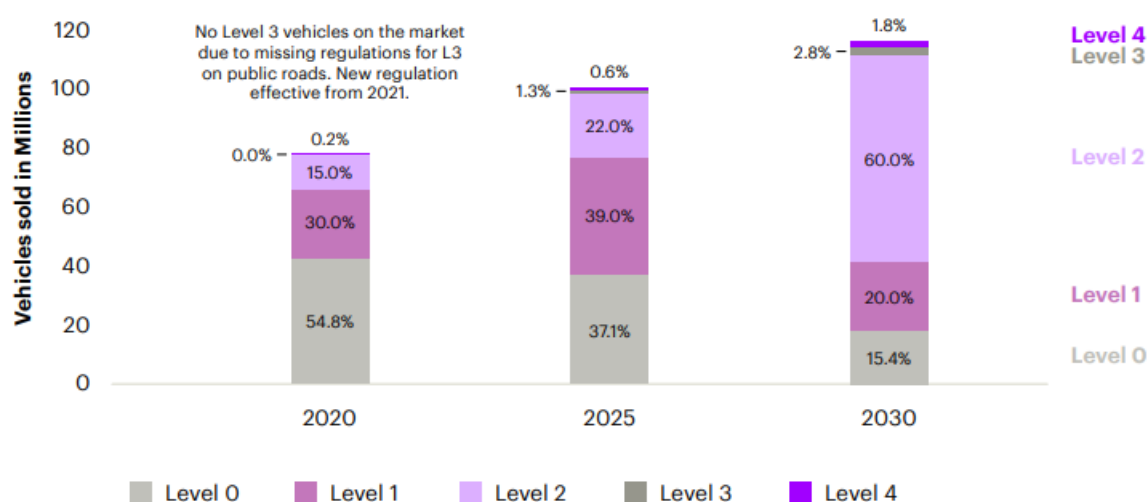
Figura 34 Esempio di definizione ODD (OpenODD)

In Figura 34 si osserva un esempio di definizione di un ODD secondo la sintassi proposta da OpenODD. Il dominio è definito indicando per ogni categoria i relativi attributi permessi, quindi interni al dominio, o esclusi. Nell'esempio si nota come per la categoria riferita alle condizioni di traffico si considerano interne all'ODD solo condizioni basse o medie di densità di traffico. Sono definiti anche requisiti ambientali come le condizioni meteorologiche, di cui interne al dominio le situazioni di meteo sereno o di lievi precipitazioni, le condizioni di vento, tra cui è esclusa quella di vento forte, e le condizioni del manto stradale, in questo caso interne al dominio sia la condizione asciutta che quella bagnata. Dall'esempio si evidenzia che il vantaggio di questo approccio si trova nella leggibilità (sia umana che della macchina) e nell'estensibilità del linguaggio e in una semantica non rigida che permette diverse applicazioni nell'ambito della simulazione basate sulle definizioni degli ODD interne al format proposto.

Appendice C

Studi sulla diffusione delle funzioni di guida autonoma SAE

In Figura 35 è mostrato l'andamento del mercato automobilistico mondiale, secondo uno studio proposto da Accenture [31], suddiviso in base ai livelli di automazione proposti da SAE: ad oggi solo il 15% dei veicoli è equipaggiato con funzioni avanzate DCAS (livello 2), percentuale probabilmente destinata ad aumentare notevolmente nei prossimi anni fino ad una stima del 60% nel 2030. Le previsioni proposte prevedono che i livelli di automazione superiori (3 e 4), anche nei prossimi anni, non avranno quote di mercato complessivamente oltre al 5% poiché si suppone che tali funzionalità restino destinate a una gamma di veicoli di fascia alta, quindi meno diffusi [31].



Canalys (2021; LMC Automotive (2021); Gartner (2020); IDC Data (2020); UNECE (2020)

Figura 35 Vendite delle autovetture e veicoli commerciali leggeri (<6ton) nel mondo, suddivisi in base ai livelli SAE (2020) [31]

Con particolare focus sul livello 2, una ricerca presentata da Canalys [133] illustra che nel quarto trimestre del 2020 sono state vendute **3.5 milioni di autovetture** nel mondo con funzioni di guida di **livello 2 SAE (+91% rispetto all'anno precedente)**. In tutto il 2020 le vendite sono state del 78% in più del 2019 (11.2 milioni di autovetture). Considerando i dati di vendita per Paese, la penetrazione sul mercato maggiore si ha negli Stati Uniti con il 30% di veicoli con funzioni classificabili come livello 2 sul totale delle vendite, seguiti dal Giappone con il 20%, **l'Europa al terzo posto con il 19%** e la Cina con il 12%.

Più ottimista rispetto alla diffusione delle tecnologie di guida è lo studio pubblicato da Statista con fonte McKinsey [32] che prevede per il 2025 più del 60% di veicoli con tecnologie superiori o uguali al livello 2 SAE, di cui il 4% per il livello SAE 3 (Figura 36)⁸². Questa percentuale ha previsioni di crescita dell'1% nei successivi 5 anni in cui si intravede l'arrivo anche delle funzioni di livello 4 per un 3%. Occorre sottolineare che le previsioni riportate in Figura 35 includono le vendite di autovetture e veicoli commerciali leggeri, a differenza del grafico in Figura 36 che considera solo le vetture.

⁸² Con il termine "Level 2 Advanced", lo studio riportato considera le funzionalità di guida che permettono al conducente di togliere temporaneamente le mani dal volante ove consentito.

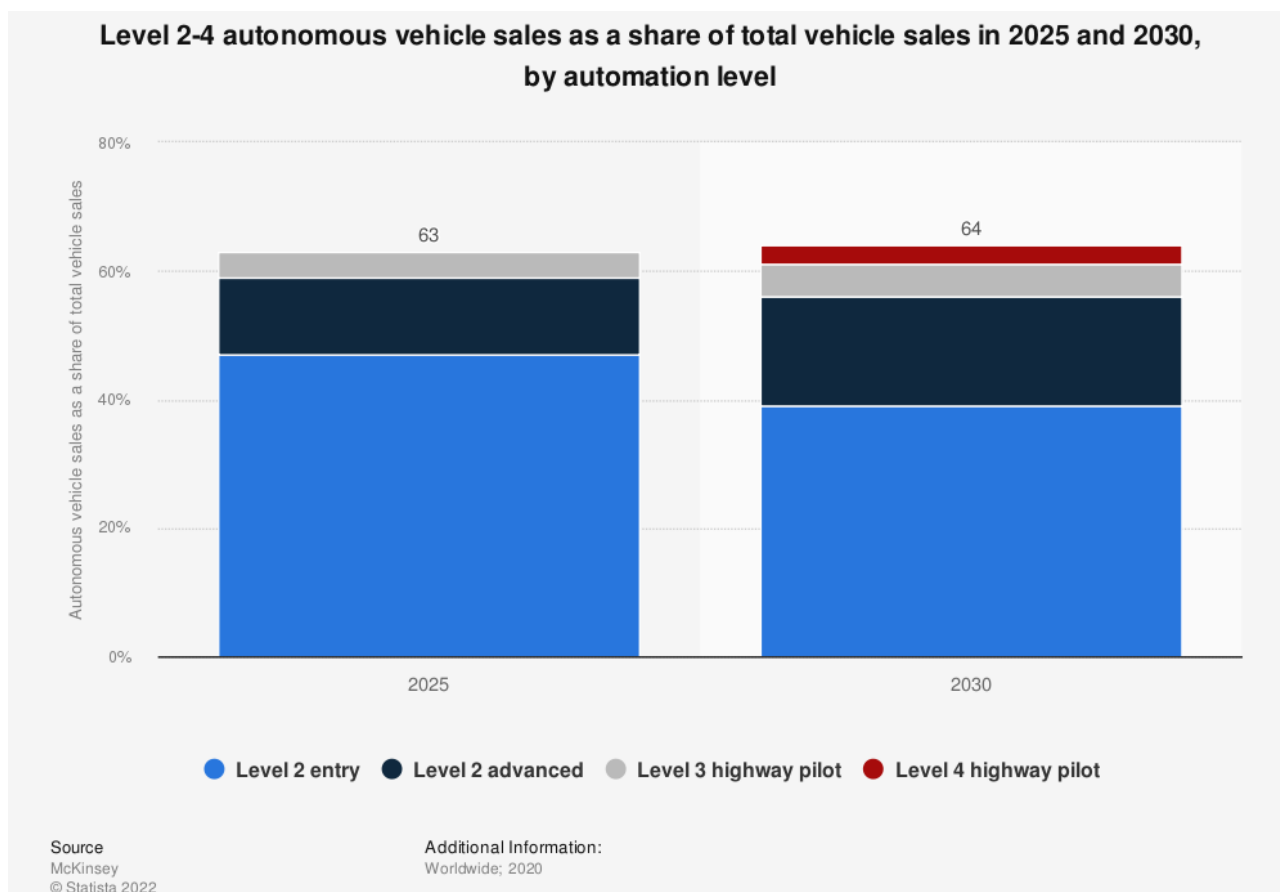


Figura 36 Vendite di veicoli con funzioni di guida di livello 2,3 e 4 SAE (Statista 2020, [32])

Le previsioni proposte invece dalla società di consulenza Roland Berger [33], dopo aver intervistato 80 esperti del settore automobilistico, effettuato un sondaggio a 3000 potenziali acquirenti di autovetture ed incrociato i risultati con ricerche di terze parti, si aspettano che nel 2025, nei principali Paesi del mondo, l'8% dei veicoli venduti avrà funzioni di livello SAE 3. Percentuale più ottimistica per l'Europa (14%) e gli Stati Uniti (9%) il cui dettaglio è riportato in Figura 37.

RB Forecast – Autonomy levels [% installed on new vehicle sales]

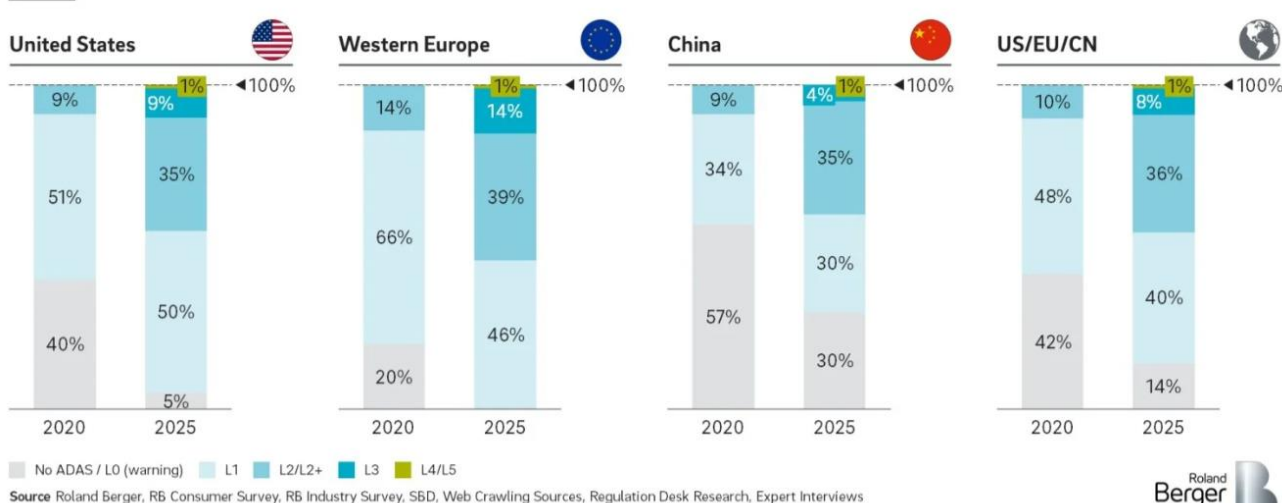


Figura 37 Percentuale di veicoli venduti in base al loro livello di automazione (per il mondo e i principali Paesi) [33]

Più nel dettaglio lo stesso studio [33] mostra la diffusione di alcune delle principali funzionalità di guida assistita ed autonoma nel 2020 e la proiezione al 2025. Principalmente per merito della normativa europea che renderà obbligatorie alcune tecnologie dal 2024, come già sottolineato, i sistemi come ISA, LKA, e AEB passeranno rispettivamente dal 48%, 47% e 80% al 100%. Per quanto riguarda il livello 2 invece le previsioni vedono una maggior diffusione delle funzionalità di automazione delle fasi di parcheggio.

RB Forecast – Take rates by region [% installed on new vehicle sales]



Figura 38 Diffusione dei dispositivi ADAS sul mercato mondiale e nei principali Paesi [33]

La società di consulenza inglese AUTO2X [13], a differenza di [31], prevede che le funzionalità di livello 3, oggi in diffusione per i veicoli “premium”, nel 2025 riguarderanno ampiamente il mercato dei “volume brands” (Figura 39). Questa proiezione viene supportata dall’esempio del processo di diffusione delle funzioni di guida di L2. Infatti in Europa, nel 2019, il mercato si è aperto a questa evoluzione tecnologica alla quasi totalità delle classi di autovetture, dai SUV alle più compatte, merito delle normative che man mano sono entrate, e stanno entrando, in vigore e della naturale concorrenza sul mercato. In Figura 39 sono mostrati i risultati di queste proiezioni che a differenza dei precedenti riguardano solo il territorio Europeo. Le loro stime prevedono un 21,2% dei veicoli venduti in Europa nel 2025 con funzionalità di guida di livello 3.

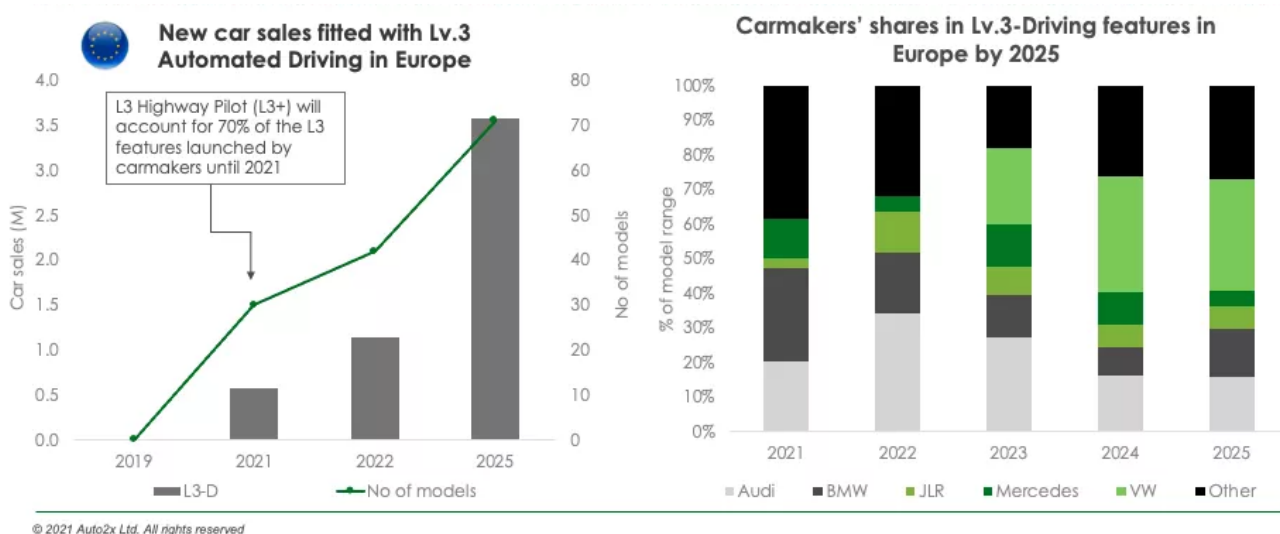


Figura 39 Percentuale di autovetture con funzioni di livello 3 vendute in Europa e percentuale differenziata per car marker sul mercato [13].

Appendice D

Esperienze nei servizi di robo-taxi e di trasporto pubblico (L4 SAE)

Esistono ad oggi diversi operatori nel settore dei veicoli automatizzati che hanno attivato i loro servizi di robo-taxi. Uno dei progetti principali è quello di Waymo⁸³ che nel 2017 ha iniziato a testare la tecnologia nella periferia di **Phoenix**. In collaborazione con FCA, che ha fornito la flotta di Chrysler Pacifica, è diventato poi un servizio effettivo, fornito inizialmente in un'area delimitata della città con la presenza di un conducente di sicurezza, per includere successivamente anche le aree del centro della città e della zona aeroportuale. Inoltre dal 2020 Waymo ha iniziato a testare i suoi servizi anche a **San Francisco** con una flotta di SUV elettrici Jaguar I-Pace opportunamente equipaggiata. L'azienda ha ottenuto nel 2022 il permesso di testare i suoi veicoli senza conducente di sicurezza trasportando i suoi dipendenti e mira ad ampliare la sua area di servizio nella città. Attualmente, ha già ottenuto l'autorizzazione per fornire servizi a pagamento ma ancora garantendo la presenza del conducente di sicurezza [134].

Nella città di San Francisco opera anche Cruise con la sua flotta di robo-taxi elettrici Chevrolet. I primi test nell'area sono iniziati nel 2016 e ci sono stati costanti sviluppi che hanno portato recentemente la California Public Utilities Commission a concedere all'azienda l'autorizzazione per offrire al pubblico corse a pagamento anche senza conducente di sicurezza in fascia oraria notturna [135]. Da Luglio 2022 Cruise ha quindi attivato il primo (e ad ora unico) servizio di trasporto a pagamento, ma ambisce a espandere il servizio a tutte le fasce orarie e ad un'area urbana più estesa.

Il 10 agosto 2023 la California Public Utilities Commission (CPUC) ha concesso l'autorizzazione operativa a Waymo e Cruise per svolgere **un servizio commerciale di trasporto passeggeri** con veicoli senza conducente nella città di San Francisco con la possibilità di applicare tariffe per le corse in qualsiasi momento della giornata.

Uno dei sistemi più diffusi in termini di sperimentazioni su strada è Zoox⁸⁴, che ha l'obiettivo di erogare un servizio di trasporto a chiamata utilizzando un veicolo concepito e realizzato per questo uso specifico. Non ha l'organizzazione tipica di un'automobile tradizionale, con cruscotto, sedili anteriori e posteriori ma è in grado di ospitare, su due sedili posti uno di fronte all'altro, quattro passeggeri. Il veicolo non possiede né una parte anteriore né una parte posteriore e, grazie al posizionamento dei sensori e alla tecnologia di trazione elettrica, può spostarsi indifferentemente in entrambe le direzioni.

⁸³ <https://waymo.com/intl/es/waymo-one/>

⁸⁴ <https://zoox.com/>



Figura 40 Veicolo della flotta Zoox (<https://zoox.com/>)

Il punto di forza su cui hanno puntato i progettisti è il comfort offerto ai passeggeri che possono salire e scendere senza effettuare scomode posture, sedersi e disporre a bordo di servizi e tecnologie utili a rendere il viaggio maggiormente gradevole. Il veicolo è a trazione elettrica e dotato di 4 ruote sterzanti per gestire meglio le manovre in città, ma può viaggiare fino a circa 100 km/h per servizi extraurbani. Le funzioni di guida autonoma si avvalgono di un'architettura che combina sensori Lidar, radar e videocamere che assicurano una distanza di visibilità fino a 150m, gestiti da processori installati a bordo. A supporto della guida ci sono inoltre mappe ad alta definizione dell'ambiente stradale e attualmente (agosto 2023) il servizio è in sperimentazione nelle città di San Francisco e Los Angeles. Il produttore afferma che il mezzo è in grado di gestire situazioni complesse, comprese anche quelle con veicoli parcheggiati in doppia fila, probabilmente perché il veicolo può essere guidato da remoto per gestire i casi critici. Il veicolo è stato ideato nel 2014 da una startup che nel 2020 è stata acquisita da Amazon.

Un altro progetto di grande interesse è quello di Motional in sinergia con Lyft che differisce dagli altri per lo sviluppo di un robo-taxi costruito da zero con le funzionalità automatizzate integrate piuttosto che applicate a posteriori su veicoli esistenti. Il veicolo in questione è lo Ioniq 5 elettrico prodotto in collaborazione con la casa automobilistica sudcoreana Hyundai [136]. Motional negli ultimi anni ha condotto diversi test in più città tra cui Pittsburgh, Santa Monica, San Diego, Singapore e Las Vegas. Hyundai e Motional prevedono di iniziare a trasportare passeggeri pubblici nel robo-taxi Ioniq 5 nel 2023, a partire da Las Vegas per poi espandersi nelle principali città degli Stati Uniti e a livello globale.

Il settore dei taxi a guida automatica è in fase di espansione anche sul mercato cinese dove sono attivi importanti progetti come Apollo Go di Baidu o quello dell'azienda Pony.ai. La tecnologia sviluppata da Pony.ai non è legata al mezzo, ma si basa su integrazioni di sensori ed intelligenza, che rendono i veicoli tradizionali a guida autonoma. Infatti il sistema è stato sviluppato per veicoli ad uso "robotaxi" e per il trasporto merci, nonché ad uso privato.

Sensors

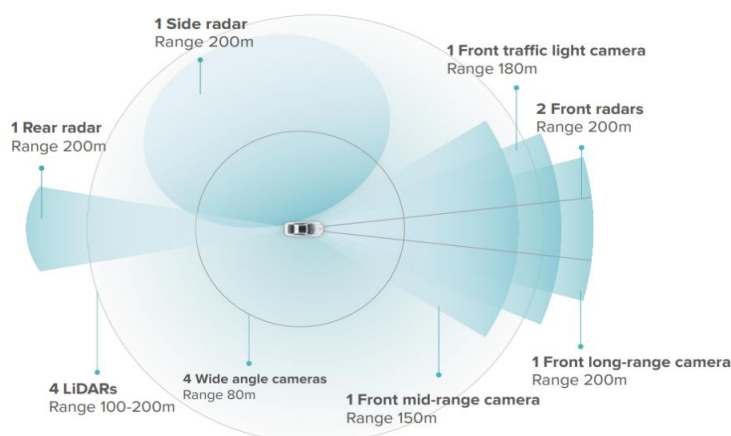


Figura 41 Esempio di configurazione dei sensori e integrazione nel veicolo per robo-taxi di Pony.ai [137]

Il sistema è un esempio per cui sono proposti aggiornamenti tecnologici di veicoli esistenti verso la guida autonoma. Quindi, particolare importanza è dedicata alla configurazione di sensori e all'integrazione sui veicoli (Figura 41). Il sistema è implementato nel servizio di robo-taxi PonyPilot disponibile e in sperimentazione in con veicoli Toyota e Lexus.

Entrambi i progetti hanno ottenuto importanti risultati ricevendo da alcune municipalità, in particolare quella di **Pechino**, l'autorizzazione per offrire servizi di robo-taxi a pagamento con conducente di sicurezza in aree specifiche delle città [138]. L'autorizzazione è valida per tutte le fasce orarie con la conseguente possibilità di raccogliere dati sul comportamento dei veicoli in condizioni di traffico elevato, particolarmente interessanti in ambito di sviluppo e testing. Di notevole portata è anche il progetto AutoX di Alibaba che sta testando i suoi veicoli automatizzati nella città di **Shenzen** con un'area operativa di circa 1000 chilometri quadrati, ma ha già ottenuto permessi per effettuare test in alcune città della California.

Per ciò che concerne le esperienze di navette con automazione di livello 4 si rimanda anche alla pubblicazione [51]. Più recentemente a Torino è in corso il progetto pilota realizzato attraverso fondi europei del progetto SHOW. Questo pilota mira a testare la circolazione nel traffico su un normale percorso di linea cittadino di due navette equipaggiate con tecnologia abilitante alla guida senza conducente. Dopo una prima fase di sperimentazione con i soli operatori a bordo delle navette, il servizio sarà aperto a passeggeri volontari che aderiranno alla sperimentazione (fino a 14 passeggeri) previa prenotazione via app (auTONomo GTT) con operatore di bordo.

Un altro pilota che trova applicazione in Italia è progetto europeo **Ride-to-Autonomy (R2A)**, che prevede la sperimentazione di una navetta a guida autonoma nella città di Reggio Emilia [139]. Il progetto è partito nel 2021 con una fase preparatoria per poi passare alla sperimentazione effettiva nel 2022. L'obiettivo è testare le funzionalità e l'impatto sul pubblico di una navetta a guida autonoma (9 posti) il cui servizio è orientato al pendolarismo urbano. Infatti il percorso scelto include la stazione ferroviaria AV Mediopadana.

Nell'ambito de utilizzo di veicoli con automazione di livello 4 si citano i piloti francesi condotti da Transdev⁸⁵. In particolare il Rouen Normandy Autonomous Lab e il Paris-Saclay Autonomous Lab sono due piloti avviati nei siti di Rouen e del campus Saclay di Parigi volti a testare modalità di mobilità automatizzata per il trasporto pubblico. In entrambe le aree di prova si testano navette automatizzate come soluzione da integrare al trasporto pubblico locale e in particolare come servizio mirato e su prenotazione. Più recentemente (fine 2021)

⁸⁵ <https://www.transdev.com/en/our-solutions-and-innovations/autonomous-transport/>

è stato avviato anche il pilota Navetty, focalizzato sul testare la sicurezza e l'affidabilità delle navette a guida autonoma nel contesto urbano di Les Mureaux.

Anche nel contesto statunitense si rilevano diverse esperienze di automazione del trasporto pubblico. Un esempio rilevante è quello della municipalità di Peoria (Arizona), nell'area urbana di Phoenix, dove è stato attivato il servizio "RoboRide" [140]. Il progetto utilizza delle navette elettriche a guida autonoma, prodotte dalla collaborazione tra NAVYA, Local Motors e Beep, che trasportano fino a 8 passeggeri e viaggiano a circa 25 chilometri orari. Il servizio è stato lanciato nel distretto ospedaliero della città, su un percorso di circa 4 chilometri, e si pone come obiettivo quello di analizzare l'impatto sul pubblico e il livello di comfort e sicurezza dei veicoli impiegati.

Appendice E

Progetti di cooperazione V2I e V2V

C-Roads Italy

In Italia sono principalmente due i progetti che si occupano di testare i servizi C-ITS nell'ambito della piattaforma C-Roads.

C-Roads Italy si occupa di implementare e testare, in condizioni di traffico reali, diversi sistemi cooperativi basati sulla comunicazione V2X per diverse applicazioni di guida automatizzata quali il “trucks platooning” per il trasporto merci e la tecnologia “Highway chauffeur” per le autovetture [141]. Quest'ultima, testata con tre autovetture opportunamente equipaggiate per la comunicazione V2X tramite ITS-G5 e rete 4G, permette di regolare la velocità, mantenere la traiettoria ed effettuare il cambio corsia in modo automatico. Le infrastrutture coinvolte in questa sperimentazione, equipaggiate con 82 strutture RSU (Road Site Unit) al fine di testare i servizi di comunicazione, sono situate nel nord-est italiano: Autostrada del Brennero (A22 - 313km), Autostrade Venete (A4 - 19km e A28 - 5km) e Autostrada CAV (A57 - 7km).

Nel progetto attivo in Italia **C-Roads Italy 2** l'obiettivo è quello di studiare e sperimentare, in condizioni di traffico urbano reale, un insieme di servizi C-ITS tra cui [141]:

- Avviso di velocità ottimale per il passaggio con luce verde (GLOSA);
- Richiesta di priorità del segnale stradale da parte dei veicoli designati;
- Violazione del segnale/Sicurezza degli incroci;
- Gestione e informazioni sui parcheggi su strada;
- Informazioni sul traffico e Smart Routing;

I siti pilota selezionati per questi test sono le aree urbane di Torino, Verona e Trento e un tratto dell'autostrada Brescia-Padova, per questi siti è richiesto l'adeguamento delle infrastrutture stradali locali per permettere il test dei servizi in questione e il flusso di dati e la gestione dei dati con i Centri di Traffico situati nelle città. La comunicazione V2I è basata sulle tecnologie ITS-G5 e la rete cellulare 4G. L'ambizione del progetto è verificare l'impatto positivo dei servizi C-ITS in contesto urbano sulla mobilità, sull'ambiente e sull'economia locale.

Il progetto “Anas Smart Road”

“ANAS Smart Road”⁸⁶, programma di ANAS (Azienda Nazionale Autonoma delle Strade Statali) in collaborazione con il MIT, mira all'evoluzione *smart* delle principali infrastrutture stradali italiane fondamentale per lo sviluppo dei servizi di smart mobility e propedeutica ai futuri scenari di guida autonoma. Il progetto prevede un investimento complessivo di circa 1 miliardo di euro ed è già in corso una prima fase (250 milioni investiti) che riguarda l'adeguamento di diverse infrastrutture strategiche italiane:

- E45-E55 “Orte-Mestre”;
- la statale 51 “di Alemagna” in Veneto;
- la Tangenziale di Catania e la A19 “Autostrada Palermo-Catania” in Sicilia;
- le autostrade A90 “Grande Raccordo Anulare di Roma” e A91 “Autostrada Roma-Aeroporto di Fiumicino” nel Lazio;
- la strada statale 4 “Salaria”;
- la A2 “Autostrada del Mediterraneo”;

⁸⁶ <https://www.stradeanas.it/it/smartroad>

È in programma l'avvio delle operazioni in molte altre infrastrutture stradali al fine di dotare in modo omogeneo il Paese di una rete stradale di circa 3000 chilometri che offra servizi ITS e avvii l'Italia verso una nuova concezione di mobilità. ANAS si pone come obiettivo quello di aumentare il livello qualitativo dei servizi attraverso il controllo del traffico e delle infrastrutture, la gestione della mobilità e l'innalzamento della sicurezza stradale. Dal punto di vista tecnico il progetto si focalizza sull'installazione nelle infrastrutture di sistemi di connessione e comunicazione quali [142]:

- Tecnologie Wi-Fi in motion (2,4/5 GHz) che permettono continuità di segnale ai veicoli in movimento al fine di garantire uno scambio dati in continuo per mantenere sempre attiva la comunicazione lungo il tratto stradale nel passaggio da un "access point" ad un altro.
- Il sistema Dedicated Short Range Communications (DSRC, 5,9 GHz) che consente lo sviluppo dei servizi incentrati sulla comunicazione V2I (Vehicle-to-Infrastructure) e V2V (Vehicle-to-Vehicle).
- Il sistema di comunicazione dati basato sull'installazione della rete in fibra ottica per garantire un livello ottimale di copertura di rete per l'implementazione di servizi intelligenti.

Il progetto Anas Smart Road prevede l'erogazione di vari servizi sia per gli utenti che per i gestori stradali. In particolare l'utente potrà contare su servizi di informazione relativi alla sicurezza (segnali, limiti, possibili pericoli), alle condizioni di traffico e alle condizioni meteorologiche, inoltre sarà attivo un servizio di "SOS on board" per la gestione delle emergenze. Ai gestori stradali è invece permesso il completo monitoraggio delle infrastrutture, inclusi viadotti o gallerie, e l'attivazione di soluzioni di trasporto sostenibile. Fra le dotazioni tecnologiche scelte per attrezzare la rete strade vi è la connettività mediante Wi-Fi per assicurare la continuità ed evitare cadute di segnale, questo servizio è erogato mediante l'installazione di RSU lungo le infrastrutture. Questo tipo di tecnologia è fondamentale per garantire servizi ITS avanzati e propedeutico alla futura guida autonoma, ma al fine di fornire i servizi Smart Road base potrebbe essere sufficiente una strategia meno dispendiosa.

Il programma Mercury

Il gruppo Autostrade per l'Italia, attraverso il programma Mercury Smart Sustainable Mobility⁸⁷, sta lavorando nell'ambito dell'innovazione tecnologica infrastrutturale su diversi aspetti tra cui:

- Digitalizzazione delle infrastrutture e abilitazione dei sistemi di comunicazione V2X
- Sviluppo di Smart Roads
- Digitalizzazione e automazione dei sistemi di esazione
- Sostenibilità ambientale
- Sviluppo di servizi per la mobilità nei centri urbani

Il progetto, realizzato in collaborazione con diverse società tra cui Movyon, si pone come obiettivo quello di migliorare l'offerta infrastrutturale nell'ambito della sicurezza e della qualità dei servizi erogati con particolare attenzione all'aspetto relativo alla sostenibilità del progetto. Autostrade per l'Italia prevede un investimento di oltre 20 miliardi di euro sul programma.

Il settore del programma relativo alle Intelligent Roads mira a migliorare la sicurezza e il monitoraggio delle infrastrutture, la gestione del traffico e l'assistenza agli utenti attraverso la realizzazione di strade che supportano sistemi in grado di rilevare, trasmettere e elaborare informazioni. Recentemente sull'autostrada A1 sono entrati in servizio i primi tratti che danno la possibilità ai veicoli di comunicare con l'infrastruttura [143]. L'attivazione interessa 26 chilometri del tratto autostradale tra Firenze Sud e Firenze Nord in entrambe le direzioni e, altrettanti chilometri, sul nodo urbano di Bologna per un totale di 52km abilitati. Nei tratti in questione è stato realizzato il sistema di comunicazione V2I che permette lo scambio in tempo reale di informazioni tra utenti e infrastruttura (incidenti, code, veicoli fermi o contromano, strada sdruciolevole,

⁸⁷ <https://www.autostrade.it/it/chi-siamo/mercury>

presenza di persone o ostacoli su strada, presenza di cantieri, eventi meteo) ed è propedeutico alle future applicazioni di guida automatizzata. I primi veicoli che potranno interagire con questa tecnologia saranno quelli del gruppo Volkswagen dotati di Car2X integrato. Volkswagen Group Italia ha infatti collaborato nel progetto sviluppando e testando veicoli con equipaggiamento Car2X, che permette la comunicazione fino a un raggio di 800 metri senza l'ausilio di una on-board unit aggiuntiva basandosi sullo standard wireless Wi-Fi p. Autostrade per l'Italia prevede di attivare a breve il servizio nel tratto di A1 che congiunge Bologna e Firenze (Variante di Valico) e di proseguire nell'ammodernamento della rete infrastrutturale italiana.

Il progetto 5G-CARMEN

Un progetto di grande rilevanza nell'ambito dell'utilizzo della rete 5G per le Smart Road è il progetto europeo (H2020) **5G-CARMEN**⁸⁸, coordinato dalla Fondazione Bruno Kessler (FBK) con diversi partner italiani. Il progetto mira ad avere un impatto importante sulla mobilità cooperativa, connessa e automatizzata e si basa sulla sperimentazione in un corridoio autostradale abilitato con la **tecnologia 5G** che connette Italia, Austria e Germania. I siti pilota di 5G-Carmen comprendono diversi tratti del corridoio autostradale che collega le città di Bologna, Trento, Innsbruck e Monaco di Baviera e si estende per circa 600 chilometri [144].

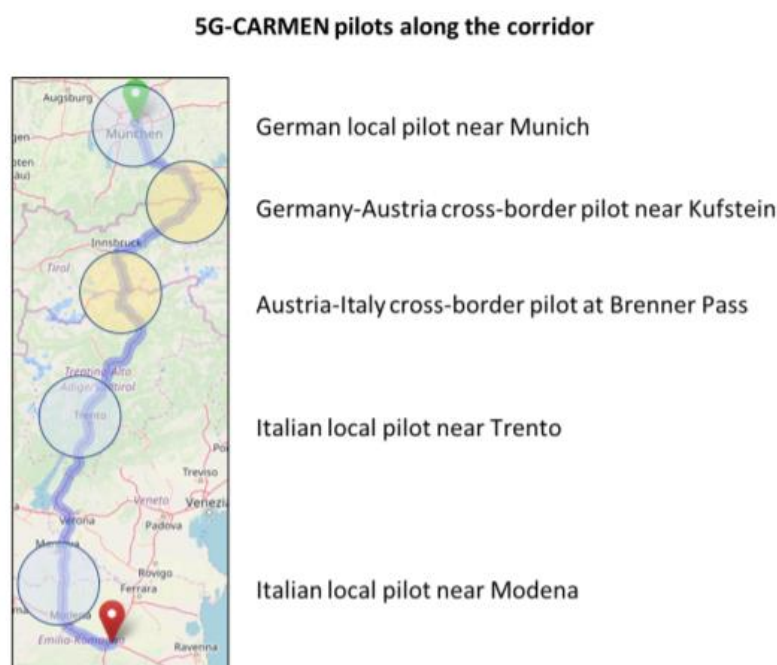


Figura 42 Siti pilota del progetto 5G-CARMEN

Il progetto si propone di coinvolgere e testare prototipi di veicoli connessi e automatizzati, in particolare di livello SAE 3, sfruttando la connettività garantita dalla tecnologia 5G. Inoltre si valuta il livello qualitativo dei servizi ITS coperti dalla comunicazione offerta e l'efficienza in ambito transfrontaliero. Un interesse particolare si trova nel dimostrare la continuità del servizio offerta dalla rete 5G e la conseguente possibilità di creare un corridoio europeo smart basato su questa tecnologia di comunicazione.

Il pilota 5G-CARMEN ha quindi come principali obiettivi:

- Valutare le prestazioni delle **tecnologie abilitanti** la comunicazione 5G e i servizi C-V2X.
- Testare **l'ampliamento dell'offerta** di servizi dovuta alla connettività 5G.

⁸⁸ <https://5g-ppp.eu/5g-carmen/>

- Testare diversi **scenari di guida connessa**, in particolare in contesto transfrontaliero.
- Valutare il **contributo della connettività 5G** nel soddisfare i requisiti della guida autonoma.

Le principali applicazioni che il progetto vuole testare sono:

- **Cooperative Manoeuvrings**, che gestisce il coordinamento delle traiettorie di guida di un gruppo di veicoli vicini attraverso la condivisione di informazioni prodotte localmente dai veicoli stessi tramite camere, sensori e radar che vengono combinate per fornire ad ogni veicolo una visione completa dell'ambiente di guida circostante. In particolare, il progetto vuole testare la tecnologia del "Cooperative Lane Merging" che permette le manovre coordinate di due veicoli consecutivi con l'obiettivo di garantire una distanza sufficiente a permettere l'inserimento nella corsia di un terzo veicolo in modo sicuro.

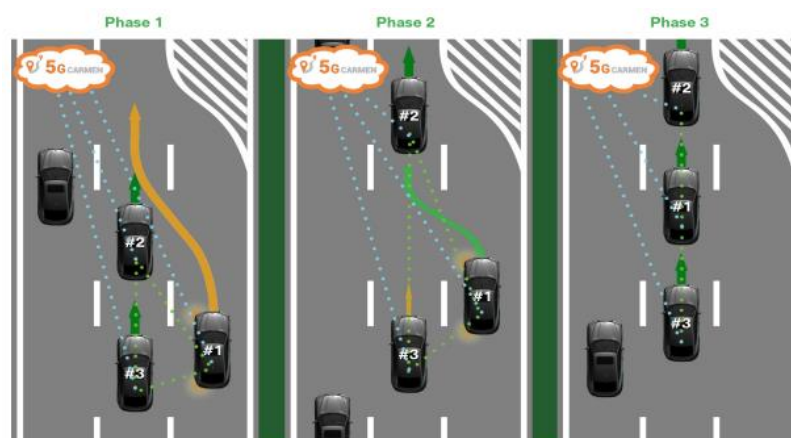


Figura 43 Funzionamento Cooperative Lane Merging

Questa applicazione può avvenire sia in modo localizzato attraverso lo scambio diretto di informazioni tra i veicoli coinvolti che in modo centralizzato mediante un server (MEC) che incrocia i dati e fornisce ai veicoli le informazioni necessarie. I test relativi all'approccio localizzato sono condotti mediante l'equipaggiamento di un'unità di bordo QCGER C-V2X per la comunicazione a corto raggio fra veicoli. Nelle applicazioni sono stati usati veicoli resi disponibili da BMW e CRF. Questa interfaccia permette uno scambio diretto di informazioni tra i veicoli, quali velocità, posizione e condizioni della corsia, al fine di ottimizzare la manovra di inserimento. L'approccio centralizzato si basa sull'inserimento di una piattaforma MEC sulle reti di comunicazione mobile (nel tratto italiano fornite da TIM) che include un'applicazione di gestione delle manovre (prodotta da BMW). Questo sistema permette una gestione delle informazioni fornite dai veicoli alla piattaforma finalizzata al calcolo delle condizioni ottimali di manovra con comunicazioni ai veicoli stessi mediante avviso delle prescrizioni ottimali per l'esecuzione.

- **Situation Awareness**, che prevede due principali tecnologie: "Back Situation Awareness", che fornisce avvisi istantanei di arrivo dei veicoli di emergenza ai veicoli sulla strada interessata, e "Vehicle Sensors and State Sharing" che permette ai veicoli di ricevere informazioni sull'ambiente di guida (meteo o traffico) dagli altri veicoli o da cloud che combinano informazioni da diverse fonti.
- **Video Streaming**, che mira a esplorare diverse architetture e configurazioni di rete al fine di aumentare la qualità del servizio offerto e di evitare interruzioni del servizio stesso quando possibile attraverso un adattamento proattivo delle applicazioni di streaming rete, in particolare in contesti transfrontalieri o presenza di più operatori di rete.

- **Green Driving** – che si basa sul controllo della velocità (Dynamic Speed Limit), segnalando ai veicoli la velocità ottimale per contenere le emissioni. L'obiettivo è quello di monitorare e migliorare la qualità dell'aria in determinate zone di guida. In questa applicazione è prevista l'installazione di sensori per il monitoraggio ambientale i cui dati possono essere forniti direttamente dai veicoli. Le informazioni vengono gestite da cloud che tramite rete cellulare sono connessi ai sensori stessi e ai sistemi C-ITS in modo da segnalare ai veicoli le informazioni contenenti le raccomandazioni comportamentali. Oltre alla velocità ottimale, è stata sperimentata l'attivazione automatica in modalità elettrica (Electric Vehicle Zones), che fornisce un avviso ai veicoli ibridi di passare in modalità di guida elettrica in alcune zone che si vogliono proteggere dalle emissioni inquinanti.

Appendice F

Standard disponibili per lo scambio dati

Questa ampia diffusione e sviluppo è legato sia agli sviluppi tecnologici che all'introduzione del concetto di *open data* e condivisione dei dati da parte delle amministrazioni e dei fornitori dei servizi di trasporto. Lo scambio di dati deve però avere attraverso un formato di riferimento efficiente e ampiamente riconosciuto dagli stessi operatori. Per quel che riguarda gli standard più diffusi si citano i seguenti [145].

- Lo standard **DATEx II**⁸⁹ è un linguaggio elettronico per lo scambio di dati ed informazioni sul traffico avviato negli anni novanta per scambiare informazioni tra gli operatori autostradali. Le informazioni vengono distribuite in modo indipendente dalla lingua e dal formato e lo standard viene mantenuto dal CEN Technical Committee 278, Road Transport and Traffic Telematics.
- **NeTEx**⁹⁰ (Network Timetable Exchange) è uno standard CEN basato su Transmodel (EN 12896-1 a 9) nato per standardizzare le modalità di scambio dati tra sistemi informativi di trasporto pubblico. Si basa su tecnologie open che permettono ad operatori ed autorità di rappresentare i dati relativi al trasporto pubblico (topologia della rete, informazioni degli orari e descrizione delle tariffe) in Europa con un formato comune e regole standard.
- **SIRI** (Service Interface for Real-time Information) definisce uno standard per scambiare informazioni dinamiche per il trasporto pubblico in XML.
- **TAP-TSI** (telematics applications for passenger services - technical specification for interoperability) definiti dal regolamento 454/2011 descrive il protocollo per lo scambio di dati in ambito ferroviario.
- **GTFS** (General Transit Feed Specification⁹¹), una specifica di dati che consente alle agenzie di trasporto pubblico di pubblicare i propri dati di transito in un formato che può essere poi utilizzato da altre applicazioni software.

National Access Point: tipologia dati e diffusione

I NAP sono stati definiti nel regolamento delegato **UE 962/2015**, che integra la direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio relativamente alla predisposizione, in tutto il territorio dell'Unione europea, di servizi di informazione sul traffico in tempo reale. L'articolo 3.1 invita ogni Stato dell'Unione a istituire «*un punto d'accesso nazionale [...] un unico punto di accesso per gli utenti ai dati sulle strade e sul traffico, compresi gli aggiornamenti dei dati, forniti dalle autorità stradali, dagli operatori stradali e dai fornitori di servizi e relativi al territorio di un determinato Stato membro*». Sono oggi sempre più le scelte di policy europee che favoriscono e supportano l'implementazione dei NAP nazionali, tra cui si citano la direttiva sugli Open Data (Directive EU 2019/1024) e l'iniziativa "Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente" all'interno del European Green Deal.

ACEA [111] suggerisce, in accordo con l'European ITS Platform, un NAP nazionale per le diverse tipologie di informazioni, per cui ogni Paese europeo dovrebbe definire un organismo nazionale responsabile per valutarne la conformità con i relativi regolamenti:

⁸⁹ <https://www.datex2.eu/datex2/about>

⁹⁰ https://netex-cen.eu/wp-content/uploads/2015/12/01.NeTEx-Introduction-WhitePaper_1.03.pdf

⁹¹ Inizialmente denominati *Google Transit Feed Specification*

- Informazioni sul traffico legate alla **sicurezza** (*traffic safety-related traffic information (SRTI)*) – *Regolamento 886/2013*, che includono informazioni sulle condizioni della strada (sdrucevole, lavori a breve termine), sulla visibilità anche a causa di avverse condizioni meteorologiche o sulla presenza di ostacoli o conducenti contromano.
- Informazioni sul **traffico in tempo reale** (*real-time traffic information (RTTI)*) – *Regolamento 2015/962*, che includono dati di traffico e dinamici dello stato dell'infrastruttura.
- Dati relative alle aree di **parcheggio** per i camion (*safe and secure parking areas (SSTPAs)*) – *Regolamento 885/2013*
- servizi di informazione di viaggio **multimodali** (*multimodal travel information services (MMTIS)*) – *Regolamento 2017/1926*

L'European ITS Platform dal 2016 pubblica annualmente lo stato di sviluppo dei NAP in Europa [145]. Per quel che riguarda la prima categoria di dati relativi alla sicurezza del traffico (SRTI), la situazione osservata nel 2020 è abbastanza positiva, perché ben 23 Stati avevano un NAP di riferimento attivo e 4 lo stavano realizzando. La situazione è migliorata rispetto al 2016 in cui solo 7 Paesi ne erano dotati anche se il Regolamento Delegato di riferimento (886/2013) era già stato adottato tre anni prima [145]. Nel regolamento vengono indicati 8 tipi di informazioni classificabili come SRTI, ma non tutti i NAP li forniscono nella loro completezza:

- strada temporaneamente sdrucevole;
- animali, persone, ostacoli, detriti sulla strada;
- area di incidente non protetta;
- lavori stradali a breve termine;
- visibilità ridotta;
- conducente contromano;
- blocco non gestito di una strada;
- condizioni meteorologiche eccezionali.

Le informazioni sono fornite sia da autorità pubbliche (per 17 NAP) che da enti privati (per altri 6 NAP). In particolare per l'Italia, ci sono 144 fornitori di dati, 14 partner hanno un accordo bilaterale per utilizzare i dati mentre altri li utilizzano autonomamente, senza accordi stabiliti. In Francia invece ci sono 38 operatori che forniscono i dati e alcuni soggetti privati tra cui TomTom, Coyote e Michelin; non è noto il numero di utilizzatori. In Germania solo 4 organizzazioni forniscono dati e circa 20 li utilizzano, ma quest'ultimi sono grandi fornitori di informazioni sul traffico. Ciò che emerge dal rapporto dell'ITS Platform [145] che ad oggi i NAP Europei sembrano non monitorare adeguatamente l'utilizzo dei propri dati.

Il regolamento di riferimento dei dati di traffico in tempo reale (RTTI), adottato nel 2015 e applicato nel 2017, è il regolamento delegato EU 2015/962. Dal 2020 in Europa 23 Paesi hanno un NAP di riferimento. Il regolamento indica come informazioni di tipo RTTI:

- dati statici dell'infrastruttura stradale
- dati dinamici dello stato dell'infrastruttura stradale
- dati di traffico.

Il NAP italiano copre tutte le categorie di informazioni che sono disponibili nel centro stesso, a differenza di circa 8 Paesi che invece forniscono solo collegamenti a link esterni. La situazione tra fornitori di dati e utilizzatori di dati è simile al pacchetto dati SRTI.

Le informazioni relative alla sicurezza delle aree di parcheggio (SSTPA) sono regolate dal regolamento delegato europeo 885/2013; nel 2016 solo 4 Paesi avevano un NAP di riferimento, mentre nel 2020 sono diventati 19. Le informazioni registrate sono principalmente di tipo statico in tutti i Paesi tranne i NAP della Germania,

Danimarca, Lussemburgo e Olanda che offrono dati di tipo dinamico. Esiste in Europa anche un Access Point per questi dati ma solo pochi NAP forniscono i dati.

Più recente è invece il regolamento per i dati relativi ai viaggi multimodali (MMTIS), ovvero il 2017/1926 adottato alla fine del 2017. Per le categorie di dati previste si rimanda all'allegato del regolamento che divide le informazioni in statiche e dinamiche con diversi livelli di servizio (da 1 - livello base a 3 - più dettagliato). Nella prima categoria vi sono per esempio il calcolo itinerari, le informazioni sulle tariffe (in base alla modalità), mentre quelli dinamici hanno ad esempio gli orari di passaggio o la disponibilità dei mezzi in sharing o dei parcheggi (Figura 44). I NAP attivi per i viaggi multimodali sono solo 16 nel 2020 ma altri 8 Paesi hanno in programma di implementarli, tra cui l'Italia (Figura 45).

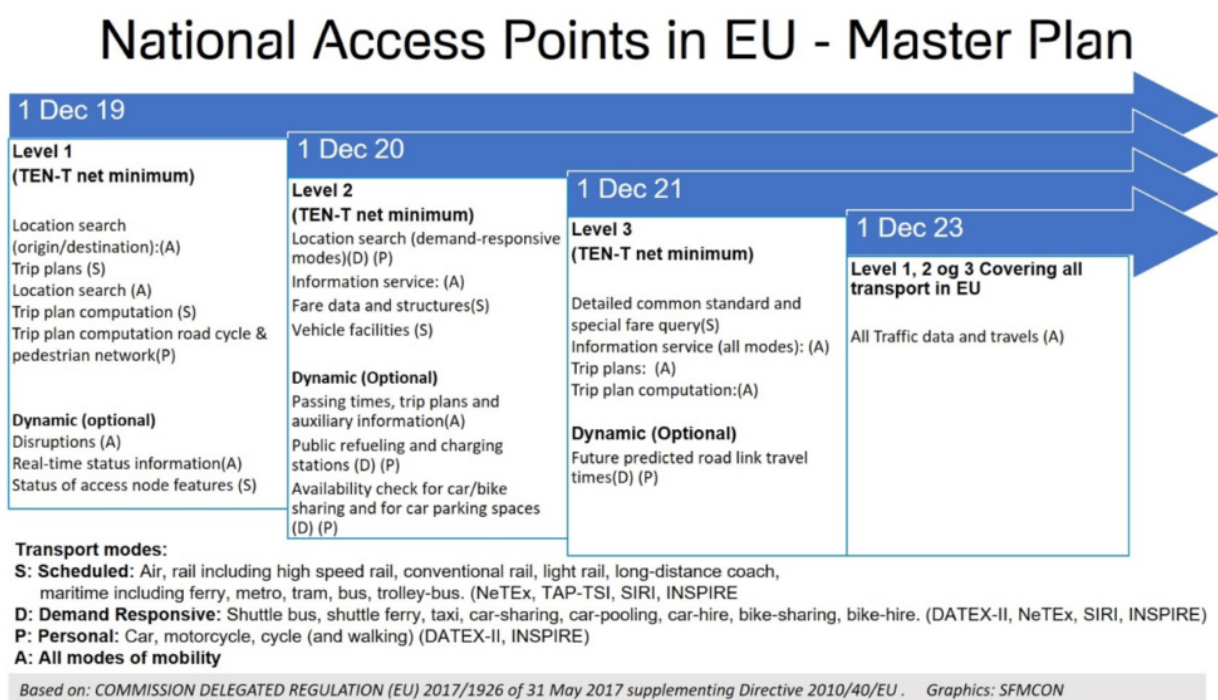


Figura 44 Categorie di dati previsti nel regolamento delegato 2017/1926 [146]

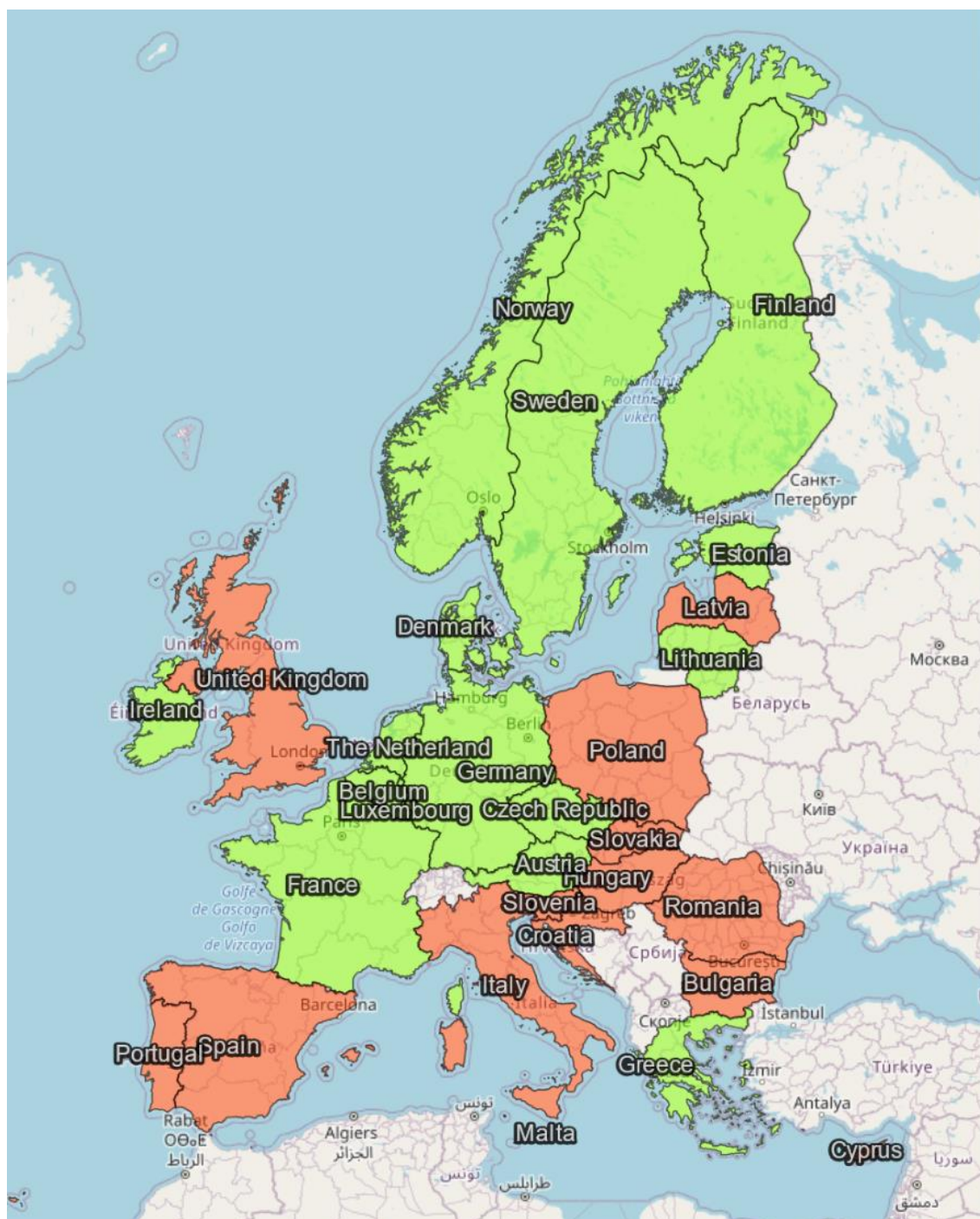


Figura 45 Diffusione in UE dei NAP per viaggi multimodali (in verde sono rappresentati gli stati con i servizi già attivati)
<https://nap.cnadnr.ro/>

Il contenuto dei dati è principalmente relativo al trasporto pubblico, in alcuni casi ai servizi di taxi e alla modalità ciclabile. In 6 Stati in cui è attivo il NAP per i MMTIS l'organizzazione di riferimento è diversa rispetto agli altri servizi, perché richiede informazioni non solo relative all'infrastrutture stradali ma anche ad altre modalità di trasporto e ai servizi di mobilità disponibili. 8 NAP hanno (o avranno) solo collegamenti web ai dati mentre gli altri hanno (o avranno) sia i link che dati di proprietà. In generale i primi vengono utilizzati per i dati dinamici in tempo reale, i secondi per quelli statici. La complessità del pacchetto delle informazioni MMTIS è maggiore rispetto alle altre tipologie di dati e in Figura 46 è riportato l'esempio di dataset del NAP tedesco al 2020: le categorie di dati sono multimodali, la tipologia di dato può essere in tempo reale e/o statica e l'informazione può essere resa disponibile previa registrazione o accordo. La copertura multimodale è ben

garantita dal NAP inglese, che con il protocollo API è in grado di fornire in modalità gratuita molte informazioni sia statiche che in tempo reale (Figura 47).

MMTIS	DE	Datasets Provided	S(tatic) &/ R(eal)-T(ime) Data (update frequency)	N(ational) / R(egional) Coverage	Data format							Use of data				Registered Users with an agreement	
	Data category				Syntax						Model	Protocol	Cost	Type			Depends on the Data Supplier
					Link	CSV	JSON	XML	ZIP	other			Free	ND	License		
https://service.mdm-portal.de/	General Information on Route/trip Planning	2	S (yearly) & RT(1min)	N & R	X		X	X	X	DATEX II & other		X		X		X	
	Pedestrian Networks																
	Bike sharing																
	Bike Parking																
	Cycling networks	2	RT (1-5min)	R				X		DATEX II	other	X		X		X	
	Public information: operational information	2	S (weekly) & RT(1min)	N & R	X	X				NeTeX & GTFS	HTTP/HTTPS						
	Public transport: location information	1	S (weekly)	N	X	X				other	HTTP/HTTPS						
	Public transport: fare and purchase information																
	Railway Data	2	S (weekly)	N & R	X					NeTeX & GTFS	HTTP/HTTPS	X		X		X	
	Road networks	48	S & RT	R				X		DATEX II	HTTP/HTTPS	X		X	X	X	
	Road Works	14	S & RT	R				X		DATEX II	HTTP/HTTPS	X		X	X	X	
	Car sharing																
	Road Parking Information	33	S & RT	R	X		X	X		DATEX II & other	HTTP/HTTPS	X	X	X	X	X	
	Electric Vehicle Charging Stations																
	Aerial Data																
Maritime and river transport																	
Free-floating Vehicles (scooters)																	

Figura 46 Esempio dataset MMTIS del NAP tedesco nel 2020 [145]

MMTIS	UK	Datasets provided (without filter)	S(tatic) &/ R(eal)- T(ime) Data	N(ational) / R(egional) Coverage	Data format																		Use of data						
																			Model	Protocol	Cost		Type						
	Link				CSV	JSON	XML	KML	ZIP	XLSX	XSD	HTML	Syntax ESRI SHP	Geo JSON	MapInfo TAB	Map	CIF	WMS			ODS	PDF	DOC	N/A	Free	ND	License		
https://data.gov.uk/	General Information on Route/trip Planning	2	S	R					X																				
	Pedestrian Networks	2	S	R			X		X						X										X	X	X		
	Bike sharing	1		R	X	X				X					X		X												
	Bike Parking	4		R																									
	Cycling networks	2	S	R	X	X							X					X											
	Public information: operational information	13	S & RT	R		X					X	X		X				X		X	X	X			API	X	X*		
	Public transport: location information	11	S	R	X	X			X			X		X				X							X		X		
	Public transport: fare and purchase information	3	S	R										X						X					X	X	X		
	Railway Data	37	S & RT	R	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X		X		API	X	X	X	
	Road networks & Travel times	2	S & RT	R	X									X	X		X		X		X		X		API	X		X	
	Road Works & Incidents	1	S & RT	R					X																API	X		X	
	Car sharing	2		R						X		X		X												X	X	X	
	Road Parking Information	13	S & RT	R	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X	X	X				API	X		X	
	Electric Vehicle Charging Stations	2	RT	R		X				X					X												X		X
	Aerial Data	4	S	N	X	X								X						X		X				X	X	X	
	Maritime and river transport	1	S	N																	X					X	X	X	
	Free-floating Vehicles (scooters)	1	S	N										X													X		X

Figura 47 Esempio dataset MMTIS del NAP del Regno Unito nel 2020 [145]

In generale, dal 2016 al 2020 c'è stato un aumento dei NAP per tutte le tipologie di dati, crescita più recente per i MMTIS poiché più recente il relativo regolamento [145]. A livello italiano il CCISS è stato identificato come NAP, ma soltanto per le prime tre categorie di dati, quindi non vi è un punto di contatto nazionale per i viaggi multimodali. Il dettaglio dei NAP europei è disponibile in una mappa interattiva sviluppata da ITS Platform e consultabile (https://andnet.ro/nap_eueip/): ad oggi 9 Paesi EU hanno un NAP di riferimento per ogni categoria di informazione, 2 Paesi non hanno definito ancora nessun NAP e i restanti, tra cui l'Italia hanno attivato i NAP ma non coprono tutte le tipologie di informazione.

Per quel che riguarda gli standard utilizzati dai NAP descritti in Europa al 2020, per i dati di traffico il DATEX II è quello più diffuso con alcune eccezioni [145], per esempio con 9 su 14 Paesi che lo usano per i dati statici e

più del 70% per i dati dinamici RTTI⁹². Per gli standard legati ai viaggi multimodali non vi sono molte informazioni disponibili poiché sono effettivamente pochi i NAP attivi, ma gli standard NeTex e SIRI sono quelli di riferimento. Come già sottolineato, la complessità delle informazioni MMTIS si ripercuote anche sui differenti formati di dati usati che spesso variano per modalità di trasporto, ad esempio come riportato in [145]:

- trasporto pubblico → NeTex profile, JSON and XML
- bikesharing e modalità ciclabile → GeoJSON, JSON, GBFS, GTFS
- Car-sharing → GeoJSON, JSON
- Localizzazione fermate → CSV
- Tempo di percorrenza archi → CSV, XML, DATEX II
- Infrastrutture di ricarica EV → GeoJSON, CSV
- Informazioni in tempo reale → GTFS-RT, SIRI, APIs.

Sistema di chiamata di emergenza eCall

In Italia, si è conclusa la fase sperimentale nel 2020 con esito positivo dell'**eCall Privato** (tipologia TPS eCall) che a differenza di quello pubblico, sfrutta gli apparati già installati sui veicoli circolanti [116]. L'obiettivo dell'eCall privato è convertire una richiesta di soccorso sanitario di emergenza "privata" in un alert pubblico al 112, evitando però di rallentare il 112 con emergenze non critiche. Infatti la chiamata viene filtrata dal TSP (Telematics Service Providers) più vicino al luogo dell'incidente che in base ad una serie di criteri definisce, automaticamente con apposito software, il livello di gravità della situazione. I servizi TPS eCall spesso offrono inoltre servizi aggiuntivi, magari a pagamento, come il soccorso stradale. Lo sviluppo di questo progetto, iniziato nel 2017, è frutto dell'accordo tra AREU (Agenzia Regionale Emergenza Urgenza) e Tsp Association⁹³, organizzazione aderente a Confindustria Digitale, che riunisce i principali Telematics Service Providers. In Italia, grazie a quest'accordo, inizialmente sperimentale ma operativo dal 2019, il servizio di eCall potrà essere erogato a tutti i veicoli in circolazione, purché dotati di una blackbox in grado di trasmettere un allarme automatico in caso di incidente [147]. Il ruolo delle agenzie locali coordinate da AREU in questo progetto è risultato fondamentale per ovviare al problema della territorialità del 112, infatti la centrale TSP potrebbe chiamare solo la centrale operativa afferente al proprio territorio che potrebbe non coincidere con quella dell'incidente. AREU può convertire infatti l'alert privato in pubblico facendo da tramite tra TSP e il 112 locale [116].

Fuori dalla comunità europea esistono altre iniziative per la gestione di chiamate di emergenza direttamente dai veicoli (IVS In-Vehicle system) come l'ERA-GLONASS e HELPNET. Il primo, implementato in Russia e obbligatorio dal 2015, è simile all'eCall pubblico, ma con un'architettura differente per cui la chiamata è gestita da un nodo di commutazione regionale, che poi invia a un centro di informazione di navigazione. Quest'ultimo riformatta il messaggio per il centro di contatto di filtraggio che contatterà il veicolo e in base al tipo di emergenza gestisce i soccorsi. HELPNET invece è operativo in Giappone ed è fornito da una compagnia privata che utilizza la rete cellulare 3G ed è molto simile ai TPS eCall. Il sistema giapponese è in grado di utilizzare sia la rete circuit-switched (CS) che packet-switched (PS). Quest'ultima soluzione viene preferita poiché la comunicazione CS richiede un canale dedicato ed è legata alla connessione, invece la soluzione PS è un metodo di commutazione di rete senza connessioni. Su questo si orientano gli eCall chiamati di Nuova Generazione (**NG eCall**) che utilizzando reti cellulari LTE ed operano nel dominio PS (Figura 48). NG eCall utilizza il protocollo

⁹² <https://datex2.eu/naps> mappa interattiva per i dettagli di diffusione dello standard DATEX II nei NAP europei.

⁹³ <http://www.tsp-association.eu/>

SIP (Session Initiation Protocol), invece del modem come i tradizionali eCall, per impostare la chiamata e dopo aver stabilito la connessione può inviare e ricevere pacchetti voce, video e altri media. Lo standard tecnico di riferimento è CEN/TS 17184⁹⁴.

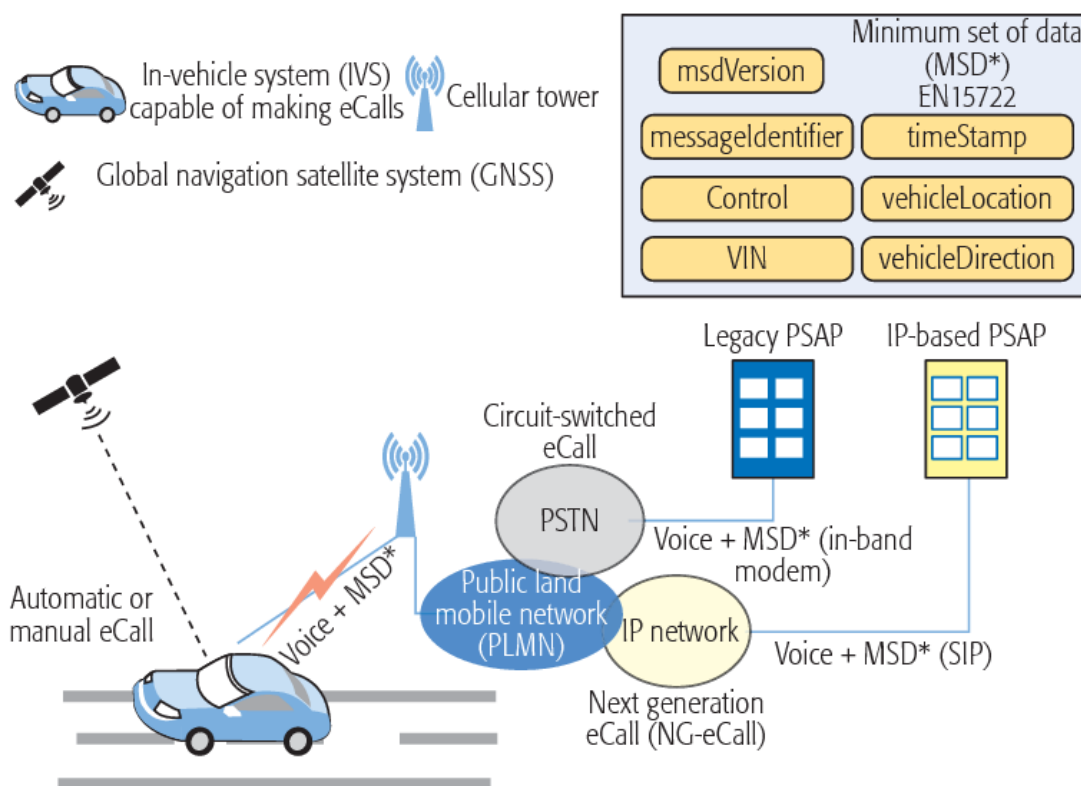


Figura 48 CS eCall e NG eCall a confronto [125]

In Figura 49 si riporta uno schema riepilogativo in cui si dividono i sistemi in base all'architettura di comunicazione, ovvero se la chiamata è diretta tra il veicolo e il centro PSAP oppure se è presente un intermediario. Si vede inoltre la tipologia di rete di comunicazione se CS o PS o entrambi.

⁹⁴ Definisce i protocolli applicativi di alto livello, le procedure e i processi necessari per fornire il servizio eCall attraverso una rete di comunicazione wireless a commutazione di pacchetto che utilizza il sistema IMS (Internet protocol Multimedia System) e l'accesso wireless LTE/ 4G/E-UTRAN.

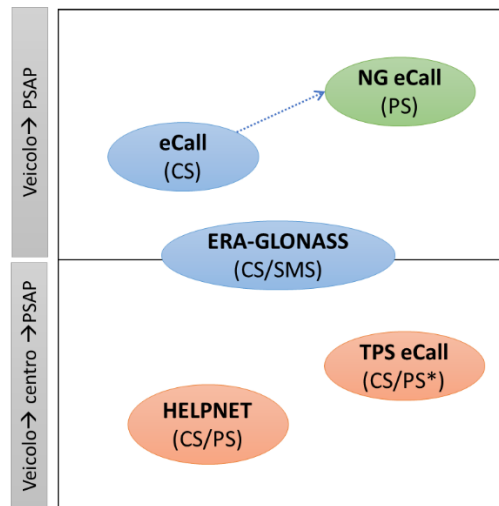


Figura 49 Sistemi per le chiamate di emergenza nei veicoli – CS=Circuit-switched; PS = Packet-switched [125]

La soluzione dell'eCall aftermarket sembra essere uno scenario alternativo a quello di mantenere le reti 2G e 3G per altri anni (Figura 50).

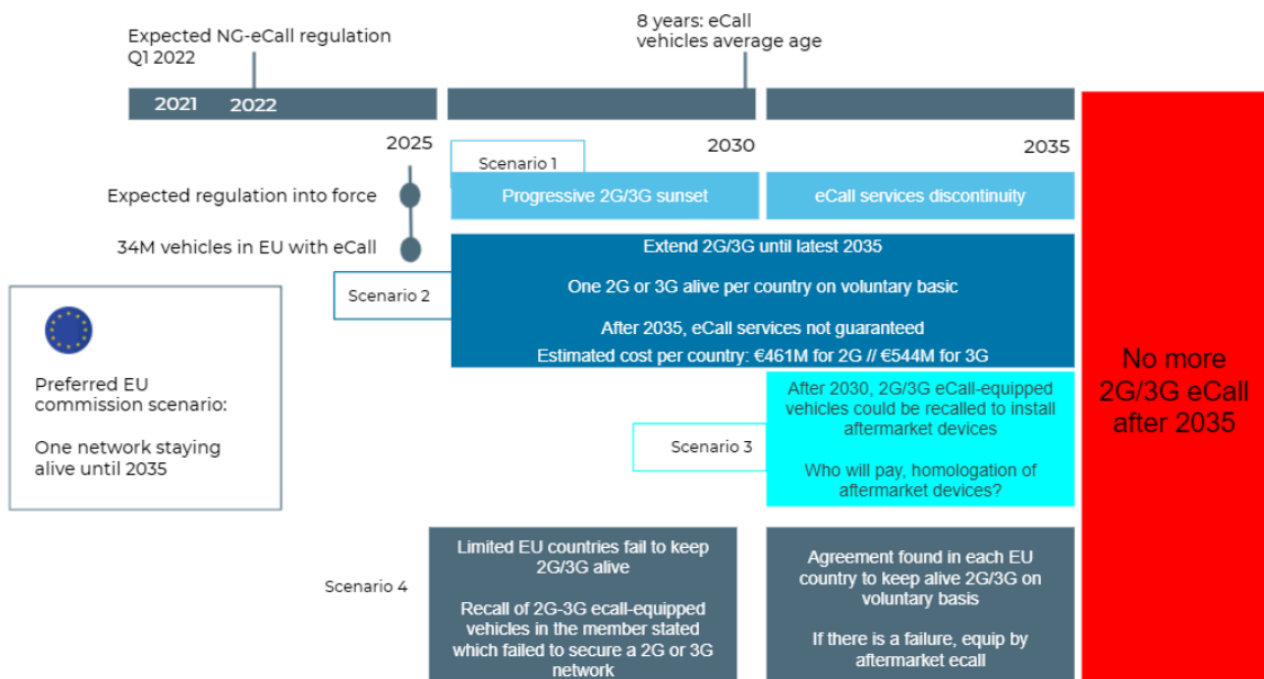


Figura 50 Possibili scenari di transizione verso NG eCall [126]

Soggetti coinvolti e modelli di MaaS

L'utente finale viaggiatore seppure al centro del sistema di mobilità, non è l'unico attore. Inoltre nell'ecosistema MaaS oltre agli **operatori di trasporto tradizionali** intervengono [82]:

- **il MaaS Integrator** (back end) che si occupa di integrare i dati proveniente dagli operatori

- **il MaaS Provider** (front end) che si occupa di fornire la soluzione integrata⁹⁵.

La combinazione dei ruoli degli attori crea diversi livelli di MaaS [82], [148] :.

- Modello 1 – Commercial Integrator

In questo modello sono presenti diversi MaaS Operators (riferiti a una o più modalità di trasporto) in concorrenza tra di loro in un quadro di mercato libero. Il rischio di questo modello è la disponibilità di dati alle autorità pubbliche e la polarizzazione delle opzioni di trasporto. È la situazione molto diffusa oggi con diverse applicazioni per soluzioni di mobilità intermodali e integrate senza una governance o una strategia definita dalle autorità pubbliche.

- Modello 2 – Open back-end platform

Questo modello prevede una piattaforma aperta a cui possono accedere tutti i MaaS Operators. In questo caso è un soggetto pubblico (MaaS Integrator) che costituisce la piattaforma e ne definisce le regole. Gli operatori di mobilità sono facilmente integrabili e per accedere alla piattaforma devono aprire le loro API⁹⁶. Il rischio è la sostenibilità economica della piattaforma aperta.

- Modello 3 – Public Transport as the integrator

L'operatore del trasporto pubblico è il protagonista ed ha la funzione di MaaS Integrator per gli altri servizi di mobilità che aprono le loro API per interfacciarsi. Il rischio è di monopolio del servizio di trasporto pubblico che per poter effettuare questo servizio deve avere competenze tecnico-finanziarie molto elevate.

- Modello 4 - Decentralised ledger Technology for MaaS

È il modello più innovativo per cui gli studi sono ancora in corso. È un modello che utilizza le tecniche di blockchain per la gestione dei dati che quindi è su diversi siti ed attori in modo non centralizzato. Quindi quella che era la piattaforma centralizzata diventa un ecosistema coordinato.

L'accesso al paradigma MaaS dovrebbe essere non discriminatorio di tutti gli operatori della mobilità in un mercato competitivo ma regolato [149]. La disponibilità dei dati relativi all'offerta di trasporto è fondamentale, ma gli interessi degli operatori devono essere tutelati **con ambienti di interscambio aperti e regolati**. Aderire ad una piattaforma MaaS per gli operatori di trasporto deve essere compatibile con il proprio business aziendale e i dati industrialmente sensibili devono essere protetti [88].

Il ruolo del sistema pubblico, valorizzato nel modello MaaS di tipo 2 poiché responsabile della piattaforma di condivisione dei dati, deve essere centrale nel definire il sistema di regole tecniche e di business per evitare distorsioni di mercato e pratiche scorrette [149].

Principali sperimentazioni in atto MaaS

In Italia, il Ministro per l'innovazione tecnologica e la transizione digitale (MITD) con il supporto del Dipartimento per la trasformazione digitale (DTD) della Presidenza del Consiglio dei Ministri e il Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili (MIMS), nel corso del 2021 ha avviato l'attuazione del sub-Investimento 1.4.6 del PNRR "**Mobility as a Service for Italy**" finanziato dall'Unione europea nel contesto dell'iniziativa Next Generation EU [149].

Il progetto promuove un MaaS di tipo 2 (Open back-end platform) in cui è fondamentale il ruolo del settore pubblico che *regola* l'ecosistema e *abilita* i MaaS Operator con la realizzazione della piattaforma aperta.

⁹⁵ MaaS Provider e MaaS Integrator possono essere funzioni svolte dallo stesso attore.

⁹⁶ application programming interface.

Ad oggi non esiste una normativa specifica per le piattaforme MaaS poiché si aspettano i risultati della sperimentazione del MaaS for Italy per raccogliere ad esempio le criticità principali e capire i modelli e le architetture migliori. I requisiti dei progetti sperimentali sono:

- Incentivazione del trasporto pubblico e dei mezzi a minor impatto ambientale
- Integrazione dei fornitori di mobilità locali
- Armonizzazione MaaS a livello territoriale
- Essere orientati all'utente e alle sue esigenze
- Garantire l'inclusione sociale
- Promozione della digitalizzazione del trasporto pubblico
- Ottimizzazione delle risorse pubbliche
- Garanzia di neutralità e imparzialità del diritto di accesso al servizio
- Equa accessibilità agli operatori concorrenti nello stesso ambito territoriale
- Sperimentazione di diversi modelli di business.

Milano, Napoli e Roma sono le prime 3 città che hanno vinto la partecipazione alla sperimentazione nel marzo 2022 con il fondo PNRR a cui si sono aggiunte **Torino, Firenze e Bari** vincitrici del secondo bando con fondo complementare. Le prime 3 città pilota dovranno realizzare i progetti entro il 2023, le altre entro il 2024; esiste poi una terza fase del progetto che prevede la selezione di 7 territori con approccio multi-territoriale, in grado di assicurare la continuità dell'esperienza di viaggio tra città, territori e regioni diverse [150]. Per ulteriori dettagli delle iniziative si rimanda a [151].

In Europa sono diverse le applicazioni del paradigma MaaS con relative caratteristiche, se ne riportano alcune a titolo esemplificativo:

- *Yumuv*⁹⁷ in Svizzera vanta di essere la prima rete MaaS regionale poiché connette tre città principali (Basilea, Berna e Zurigo) in una unica app centralizzata.
- *Jelbi*⁹⁸ a Berlino è una piattaforma MaaS che integra più di 40000 veicoli (trasporto pubblico, sharing mobility (monopattini, bici, scooter e auto) e i taxi) e permette sia la prenotazione che il pagamento di tutti i servizi di mobilità. È gestita dall'autorità di trasporto di BVG e funziona con la tecnologia di Trafi, usata anche da yumuv). È bene sottolineare che non sono incluse opzioni di viaggio che prevedono l'uso anche parziale dell'automobile privata.
- *Whim*⁹⁹, la prima applicazione MaaS, avvenuta a Helsinki con la startup MaaS Global, ora diffusa in altri 5 Paesi, tra cui Tokyo¹⁰⁰ in collaborazione con Sharetomorrow. La soluzione Whim propone anche altri vantaggi ai propri clienti come un giro gratuito in bicicletta o un uso gratuito una-tantum di un posto in una struttura di co-working [152].
- *UbiGo*¹⁰¹, è la soluzione MaaS svedese, la prima di livello di integrazione 3. Il servizio è basato su un abbonamento mensile flessibile con un account condiviso da tutti i membri di una famiglia.
- *Renfe as a Service*¹⁰², è una piattaforma MaaS sul territorio spagnolo con 29 città gestita dalla la compagnia ferroviaria spagnola (Renfe) in cui Siemens fornisce la tecnologia e NTT Data per l'integrazione. La piattaforma digitale integra il trasporto pubblico e quello in condivisione.

⁹⁷ <https://www.trafi.com/yumuv/>

⁹⁸ <https://www.jelbi.de/en/jelbi-app-2/>

⁹⁹ <https://whimapp.com/about-us/>

¹⁰⁰ <https://whimapp.com/jp/jp-en/package/whim-japan/#>

¹⁰¹ <https://www.fluidtime.com/en/ubigo/>

¹⁰² <https://www.urban-transport-magazine.com/en/maas-mobility-as-a-service-platform-for-renfe-in-spain-by-siemens-mobility-and-everis/>

- *Zipster*, a Singapore riunisce trasporto pubblico, noleggio, e soluzioni in sharing in un'unica app con un dedicato portafoglio per i pagamenti. Tra i partner vi è AXA che fornisce anche la copertura assicurativa durante lo spostamento [84].
- *Citymapper*, *Moovit*, *Freenow*, *Uber*, *Meep*, *City Trips* sono solo alcune delle applicazioni per la mobilità che offrono servizi di tipo MaaS in diverse città più o meno completi a seconda delle informazioni a disposizione e delle collaborazioni attivate.
- *BIPforMaaS*¹⁰³ è il progetto strategico di Regione Piemonte, coordinato da 5T, che intende creare le condizioni per la diffusione di servizi MaaS nell'area urbana e metropolitana di Torino e in tutto il territorio della Regione Piemonte. La sperimentazione del pilot, limitato a 6 servizi di mobilità (monopattini sharing, taxi, treni e sosta direttamente mentre car e scooter sharing tramite app esterne), prevista tra giugno e settembre 2022 coinvolgendo 250 utenti.
- *GoGoGe*¹⁰⁴, sperimentazione nella città di Genova tra maggio e dicembre 2022 coinvolgendo 1000 volontari. Il progetto nasce da un'iniziativa di Hitachi, che ricopre il ruolo di MaaS Integrator, con il coinvolgimento di AMT nella duplice veste di Operatore di servizi di mobilità e di Operatore MaaS. I servizi aderenti sono 4 (AMT, sosta, car sharing e scooter sharing).

¹⁰³ <https://www.bipformaas.it/pilot/>

¹⁰⁴ <https://www.amt.genova.it/amt/mobility-as-a-service-parte-a-genova-la-mobilita-del-futuro/>

Riferimenti normativi

CODICE	DESCRIZIONE	DATA	NOTE	TEMA
C(2021) 2563 FINAL	Norme dettagliate in merito all'interfaccia di installazione di dispositivi di tipo alcolock nei veicoli a motore	19/04/2021	integra il regolamento (UE) 2019/2144	Alcolock
C(2022) 395 FINAL	Procedure di prova e i requisiti tecnici specifici per l'omologazione dei veicoli a motore relativamente ai registratori di dati di evento e per l'omologazione di tali sistemi come entità tecniche	26/01/2022	integra il regolamento (UE) 2019/2144	EDR
COM(2017) 275 FINAL	Proposta di modifica alla direttiva 1999/62/CE, relativa alla tassazione a carico di autoveicoli pesanti adibiti al trasporto di merci su strada per l'uso di alcune infrastrutture	31/05/2017		Pricing
COM(2021) 813 FINAL	Proposta di modifica della direttiva 2010/40/UE sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto	14/12/2021		ITS
DECRETO MINISTERIALE 70/2018	Modalità attuative e strumenti operativi della sperimentazione su strada delle soluzioni di Smart Road e di guida connessa e automatica	28/02/2018		Smart Road
DIRETTIVA (UE) 2022/362	Tassazione a carico di veicoli per l'uso di alcune infrastrutture	24/02/2022	Attua le modifiche proposte con COM(2017) 275	Pricing
DIRETTIVA 2010/40/UE	Quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto	07/07/2010		ITS
UN REGULATION NO. 156	Software update and software update management system	04/03/2021		cybersecurity
UN REGULATION NO. 155	Cyber security and cyber security management system	05/03/2021		cybersecurity

ECE/TRANS/WP.29/2022/59/REV.1	Proposal for the 01 series of amendments to UN Regulation No. 157 (Automated Lane Keeping Systems)	21/06/2022	modifiche UNECE n157	ALKS
REGOLAMENTO (UE) 2015/758	Relativo ai requisiti di omologazione per lo sviluppo del sistema eCall di bordo basato sul servizio 112	29/04/2015		eCall
REGOLAMENTO (UE) 2019/1242	Definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni di CO 2 dei veicoli pesanti nuovi	20/06/2019		Pricing
REGOLAMENTO (UE) 2019/2144	Relativo ai requisiti di omologazione dei veicoli a motore e dei loro rimorchi, nonché di sistemi, componenti ed entità tecniche destinati a tali veicoli, per quanto riguarda la loro sicurezza generale e la protezione degli occupanti dei veicoli e degli altri utenti vulnerabili della strada	27/11/2019		omologazione veicoli
REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2015/962	Predisposizione in tutto il territorio dell'Unione europea di servizi di informazione sul traffico in tempo reale	18/12/2014	integra la direttiva 2010/40/UE	RTTI
REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2017/1926	Predisposizione in tutto il territorio dell'Unione europea di servizi di informazione sulla mobilità multimodale	31/05/2017	integra la direttiva 2010/40/UE	MMTIS
REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2021/1341	Procedure di prova e i requisiti tecnici specifici per l'omologazione dei veicoli a motore per quanto riguarda i sistemi di avviso di disattenzione e stanchezza del conducente	23/04/2021	integra il regolamento (UE) 2019/2144	DDAW
REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2021/1958	Sistemi di adattamento intelligente della velocità e per l'omologazione di tali sistemi come entità tecniche indipendenti	23/06/2021	integra il regolamento (UE) 2019/2144	ISA
REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 885/2013	Predisposizione dei servizi d'informazione sulle aree di parcheggio sicure destinate agli automezzi pesanti e ai veicoli commerciali	16/05/2013	integra la direttiva 2010/40/UE	SSTPA
REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 886/2013	I dati e le procedure per la comunicazione gratuita agli utenti, ove possibile, di informazioni minime universali sulla viabilità connesse alla sicurezza stradale	15/05/2013	integra la direttiva 2010/40/UE	SRTI

REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2021/646	Procedure e specifiche tecniche uniformi per l'omologazione di veicoli a motore relativamente ai loro sistemi di emergenza di mantenimento della corsia (ELKS)	19/04/2021	integra il regolamento (UE) 2019/2144	ELKS
	Modalità di applicazione del regolamento (UE) 2019/2144 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda procedure e specifiche tecniche uniformi per l' omologazione del sistema di guida automatizzata di veicoli completamente automatizzati	5/08/2022		Omologazione veicoli
REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2022/1426 REGOLAMENTO ONU N. 160	Disposizioni uniformi relative all'omologazione dei veicoli a motore per quanto riguarda il registratore di dati di evento	21/06/2021		EDR
UN REGULATION NO. 157	Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems	04/03/2021		ALKS
UNECE N. 131	Disposizioni uniformi concernenti l'omologazione dei veicoli a motore in relazione ai dispositivi avanzati di frenata d'emergenza (AEBS)	19/07/2014		AEB

Fondazione **Filippo Caracciolo**
Centro Studi



ISBN 9788832245165