

RINNOVARE IL PARCO AUTO, TRA ELETTRICO E CARBURANTI ALTERNATIVI

Public decision makers use to consider electric vehicles as the main lever to reduce emissions in the cars sector, along a route that, however, promises to be neither easy nor quick. Thus, the need to quickly phase-out older vehicles remains high, with strict prioritization starting with the most polluting ones, which are still present in significant percentages in the circulating fleet. An eco-rational strategy aimed at achieving environmental targets must consider solutions that accompany the future shift to electrification of vehicles by structurally incentivizing replacement even with Euro 6, considering that the latest generation of internal combustion vehicles seems to be able to use, without modification, the new green fuels.

L'auto elettrica è considerata dai decisori pubblici la principale leva per ridurre le emissioni dei trasporti privati, in un cammino che tuttavia non si preannuncia né semplice, né veloce. Resta quindi elevata l'esigenza di eliminare in tempi rapidi i veicoli più vecchi, con una priorità rigorosa che parta dai più inquinanti, ancora presenti in percentuali significative nel parco circolante. Una strategia eco-razionale tesa al raggiungimento dei target ambientali deve considerare soluzioni che accompagnino il futuro passaggio all'elettrificazione dei veicoli incentivando in maniera strutturale la sostituzione anche con Euro 6, tenendo conto che i veicoli a combustione interna di ultima generazione sembrano poter utilizzare, senza modifiche, i nuovi carburanti green.

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.

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* (PNIEC), recentemente aggiornato e inviato dal Governo alla Commissione europea nel mese di giugno 2023. 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 fonti energetiche rinnovabili (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 PNIEC evidenzia come l'utilizzo di più vettori energetici consentirà di traguardare gli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione e come, oltre all'elettrificazione di-

retta dei trasporti, un importante ruolo sarà svolto dai biocarburanti, soluzione chiave per la decarbonizzazione del parco circolante esistente.

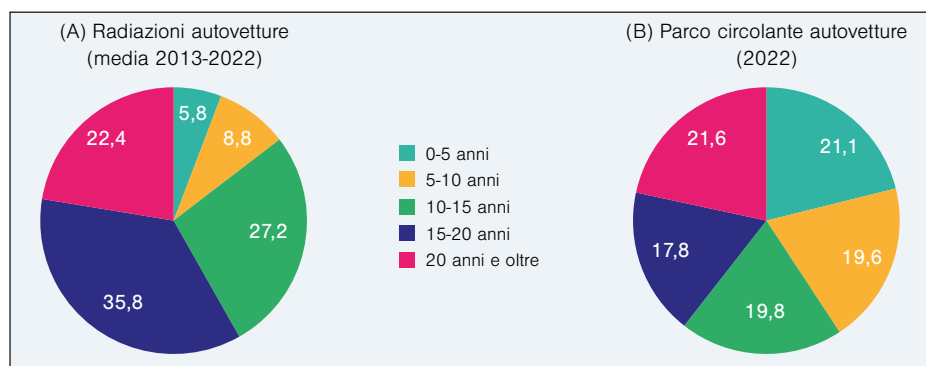
Negli anni recenti, la Fondazione Caracciolo ha analizzato molte delle criticità che ancora limitano la diffusione dei veicoli elettrici, come, ad esempio, la disponibilità delle materie prime, la mancanza di una rete capillare di ricarica sul territorio, la generazione e il consumo di energia e i tempi di rinnovo del parco circolante (1).

Questo articolo riprende i principali contenuti della parte «sostenibilità» dell'ultimo studio della Fondazione Caracciolo: *L'auto di domani. Sicura, sostenibile e accessibile*. Vengono analizzati in particolare il parco veicolare in Italia e le relative difficoltà di rinnovamento, le prospettive dell'auto elettrica e il contributo che possono fornire i combustibili a basso impatto al raggiungimento degli obiettivi al 2030. Come nei precedenti studi, la Fondazione Caracciolo evidenzia 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.

1. IL PARCO VEICOLARE IN ITALIA

I dati sulla composizione del parco circolante costituiscono il punto di partenza per la 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

FIG. 1 - RADIAZIONI E PARCO CIRCOLANTE AUTOVETTURE PER FASCIA D'ETÀ (%)



Fonte: ACI.

re – costituito ancora, escludendo le autoveicoli ibride elettriche, per il 96% da veicoli a combustione interna (ICEVs) – 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 socioeconomico del Paese e delle contingenti criticità a livello locale, nazionale ed extranazionale, per muovere misure efficaci in termini di sostenibilità.

Calcolare i tempi di rinnovo del parco circolante è estremamente complesso. Una valutazione attenta dei dati storici delle radiazioni (la pratica tramite la quale si cancella una vettura dal Pubblico Registro Automobilistico) per fascia d'età (Fig. 1) 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).

Quasi un terzo delle autoveicoli in circolazione è di classe Euro 3 o di classi precedenti (Tab. 1). Un valore che desta preoccupazioni notevoli in termini di sicurezza stradale e inquinamento. Le motorizzazioni più vecchie presentano evidenti limiti ambientali e di sicurezza, con performance emissive anche 30 volte peggiori rispetto a quelle moderne (ad esempio nel confronto sul PM10 fra Euro 6 e Euro 0) e 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).

Ciononostante, il processo di rinnovo del parco si realizza molto lentamente, in particolare la sostituzione. Le percentuali del radiato per standard Euro sul totale radiato nel 2022 evidenziano valori di sostituzione più elevati tra i veicoli con classi emissive più performanti (Euro 4, in particolare, ma anche Euro 5 e 6) (Tab. 2). Si può quindi 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.

Tab. 1 - PARCO CIRCOLANTE AUTOVETTURE PER STANDARD EURO, 2019-2022 (%)

	Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	Elettriche	n.d.	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

Fonte: ACI.

Tab. 2 - **AUTOVETTURE RADIATE PER STANDARD EMISSIVO NEL 2022** (% sul totale radiato)

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	n.c./n.d.	Totale
1,33	2,40	17,73	25,87	34,67	8,12	7,44	2,44	100,00

Fonte: ACI.

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. Ciò tenendo conto anche, come si vedrà più avanti e come confermato nel PNIEC, che i veicoli a combustione interna di ultima generazione sembra possano utilizzare, senza modifiche, i nuovi carburanti green.

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. 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.

2. AUTO ELETTRICA: 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. Se-

condo 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% (Fig. 2A), hanno superato per la prima volta le vendite di auto diesel, raggiungendo valori importanti per una tecnologia assolutamente emergente e promettente grazie a un incremento registrato soprattutto nei Paesi Bassi, in Germania e in Francia.

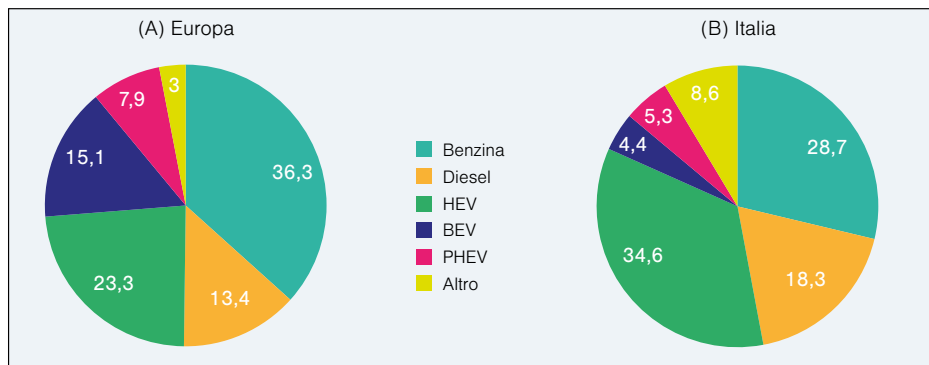
In Italia (Fig. 2B), la quota di vendite di BEV si attesta ancora al 4,4% (quindi molto lontana dalle vendite delle auto diesel), mantenendo una presenza ancora embrionale all'interno del parco circolante (0,4%).

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 tale 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 (Tab. 3), è verosimile che gli effetti di questa transizione su larga scala non riguardino il breve periodo.

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 tecno-

FIG. 2 - VENDITE DI AUTOVETTURE PER ALIMENTAZIONE A GIUGNO 2023, IN EUROPA E IN ITALIA (%)



Fonte: ACEA.

Tab. 3 - **PROGRAMMI INDUSTRIALI LANCIATI DALLE CASE AUTOMOBILISTICHE NELLE DICHIARAZIONI STAMPA**

Gruppo industriale	Programmi dichiarati
Gruppo Stellantis	Nel 2030 venderà in Europa il 100% di auto elettriche e 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	Intende elettrificare con modelli ibridi l'intera gamma di sportive entro fine 2024
Mercedes	Solo architetture 100% elettriche dal 2025
Jaguar	Solo auto elettriche a batteria entro il 2025
Bmw	Intende vendere 10 milioni di auto elettriche nei prossimi dieci anni
Mini	Solo auto elettriche a batteria entro il 2030

Fonte: Fondazione Caracciolo su raccolta articoli stampa web (2022).

Tab. 4 - IMMATRICOLATO E PARCO VEICOLARE AUTOVETTURE PER ALIMENTAZIONE, 2019, 2021, 2022 (%)

	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 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Totale (valore assoluto)	1.949.554	39.545.232	1.519.936	39.822.723	1.335.690	40.213.061

Fonte: ACI.

logica, promuovendo soluzioni già oggi molto efficienti e a basso costo. Ne sono 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 Italia) ⁽²⁾. O ancora 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, l'aumento considerevole (in parte indotto dalla generosa politica di incentivi pubblici) dei veicoli elettrificati di questi ultimi anni non si riflette in valori assoluti sul parco circolante (Tab. 4). Questo elemento 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.

Sulla base degli scenari di evoluzione del parco circolante recentemente presentati dal Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili (Mims), nel *Documento di indirizzo strategico per la mobili-*

tà e la logistica ⁽³⁾ si stima, secondo uno scenario «prudenziale», un parco circolante autoveicoli al 2030 costituito per il 3% da BEV e il 23% da HEV. Uno scenario «ottimistico», che vede la sostituzione del 48% delle auto da qui al 2030, stima invece 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 ⁽⁴⁾ si passa da un 11% di auto elettriche (BEV+ PHEV) – in una ipotesi *Business as Usual*, che prevede «uno sviluppo “inerziale” rispetto agli attuali trend in atto, senza l'introduzione di provvedimenti di policy» – a 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 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) a 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 dei motori termici dal nuovo immatricolato nel 2035.

2.1. L'accessibilità economica

Nel percorso verso l'elettrificazione del parco circolante deve rimanere centrale il tema dell'accessibilità alla mobilità individuale, che in termini di parco significa offrire sostegno economico all'acquisto per quanti ambiscono a modelli ecologici di bassa gamma.

Oggi il prezzo di ingresso sul mercato di un veicolo BEV è più che doppio rispetto a quello di un veicolo termico. 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 giocano un ruolo cruciale sulla determinazione del prezzo finale sui veicoli elettrici molto più che su quelli termici.

Tra i cinque 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 (Tab. 5).

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 (Fig. 3).

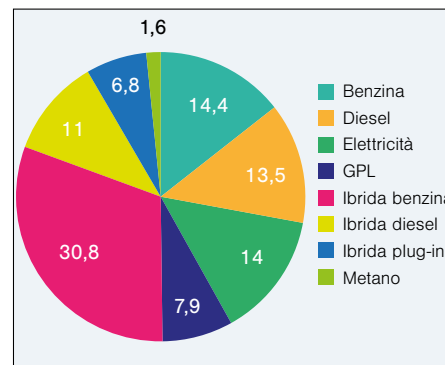
Il paradosso risiede nel fatto che gli incentivi rischiano di indirizzarsi a favore delle categorie più abbienti, mentre è nelle regioni più povere che si riscontrano i problemi più evidenti di vetustà del parco. L'incremento del nuovo immatricolato elettrico (BEV e PHEV) rischia di non avere l'effetto desiderato di totale sostituzione dei veicoli termici, poiché questi ultimi troveranno maggiore spazio e diffusione nel mercato dell'usato soprattutto nelle regioni più povere.

Ciò è in parte confermato dall'indagine condotta dalla Fondazione Caracciolo su 9.000 utenti intervistati (5), dalla quale emerge che la stragrande maggioranza del campione (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 (Fig. 4). Verosimilmente l'auto ibrida viene vista come la transizione più accettabile verso la mobilità decarbonizzata.

2.2. Crescita della domanda energetica e impatto sulle emissioni

Le considerazioni sullo sviluppo del parco circolante e dell'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'al-

FIG. 4 - TIPO DI ALIMENTAZIONE DEL VEICOLO AL PROSSIMO ACQUISTO (%) (1)



(1) Indagine su un campione di 9.000 intervistati. Fonte: Fondazione Caracciolo (2023).

tro, probabilmente per ancora un ventennio dovremo confrontarci a livello globale, ma anche locale, con una produzione di fonti rinnovabili incapace di soddisfare la domanda crescente di energia.

Tra le criticità da affrontare per una transizione ecologica della mobilità sostenibile non si deve quindi 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.).

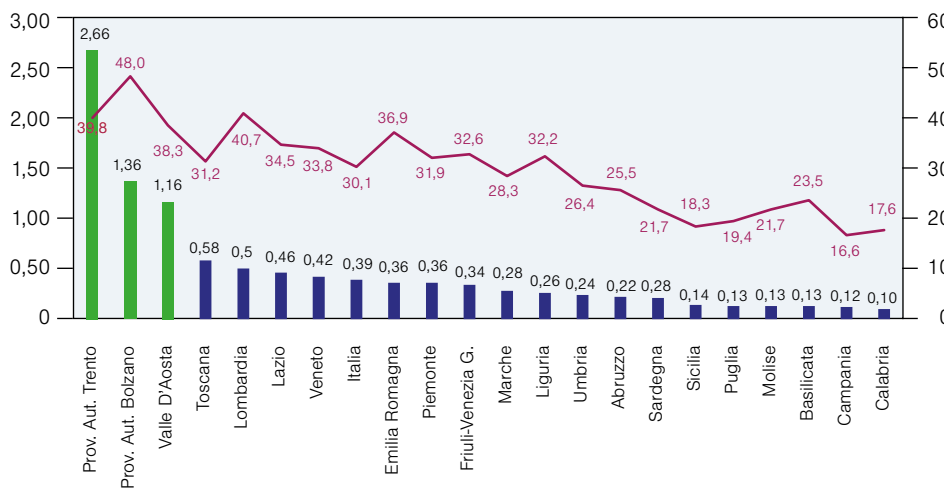
Secondo quanto previsto dal PNIEC (6) entro il 2030 sulle nostre strade ci saranno 6,6 milioni di veicoli ad alimentazione elettrica, di cui 4,3 milioni BEV e i restanti PHEV. Ne conseguiranno consumi di energia elettrica per 326,6 TWh (in diminuzione rispetto al valore di 329,8 TWh dei consumi interni lordi di energia elettrica registrato

Tab. 5 - PREZZO DI LISTINO DELLE PRIME CINQUE AUTOVETTURE PIÙ VENDUTE (1 sem. 2023)

Tipologia di modelli per fascia di incentivo	BEV (CO ₂ 0-20)	Ibride plug-in (CO ₂ 21-60)	Ibride HEV (CO ₂ 61-120)	ICEV (CO ₂ >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

Fonte: Fondazione Caracciolo su dati UNRAE e listini case automobilistiche.

FIG. 3 - AUTOVETTURE CON ALIMENTAZIONE ELETTRICA PER REGIONE (%), asse sinistro, 2022) E DISTRIBUZIONE PIL PRO-CAPITE A VALORI CORRENTI (migl. euro, asse destro, 2021) (1)



(1) 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.

Fonte: Fondazione Caracciolo su dati ACI e ISTAT.

nel 2021), per il 48,9% prodotta da energia verde (160 TWh annui).

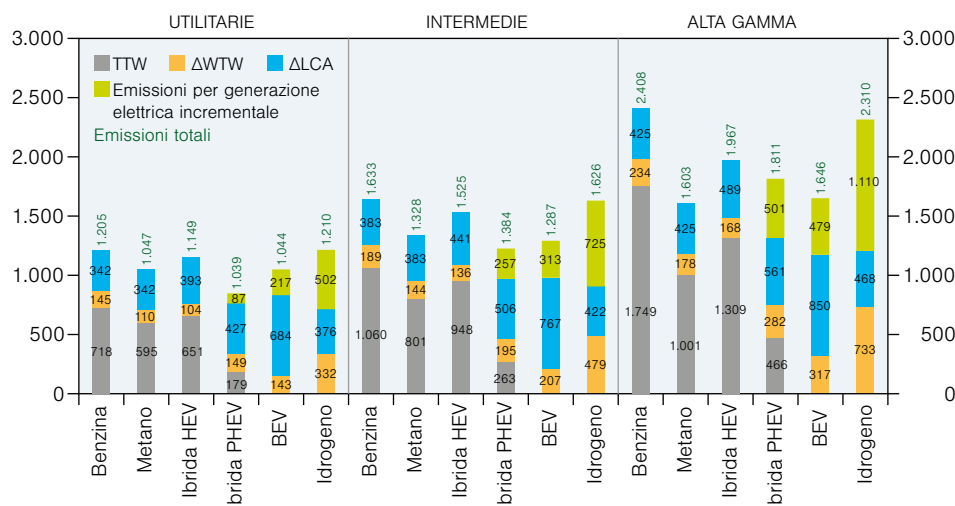
Stimando una percorrenza media di 11.200 km annui e un consumo medio di 1,5 MWh per auto, l'aumento previsto dei veicoli elettrici al 2030 comporterebbe un dispendio energetico di circa 9,9 TWh annui, che, secondo gli scenari previsionali sui consumi di energia elettrica descritti nel PNIEC, equivarrebbero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

Quote di consumo sul totale non elevatissime, che tuttavia non vanno trascurate nei loro impatti emissivi. Come emerso nelle conclusioni dello studio della Fondazione Caracciolo del 2021 (7), il confronto tra le emissioni complessive annue previste per il 2030 per tipologia di vetture mostra 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 (Fig. 5).

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.

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 (Tab. 6) – e in particolare auto BEV, ad idrogeno verde (FCEV), Diesel, HVO (da UCOs - *Used cooking oils*), HVO (da colture) ed e-diesel (con idrogeno verde) – dal punto di vista del consumo energetico, secondo i due approcci «dal serbatoio alla ruota» (*Tank To Wheel*, TTW) e dal «pozzo alla ruota» (*Well To Wheel*, WTW), tenendo conto del differen-

FIG. 5 - EMISSIONI ANNUE PER ALIMENTAZIONE E GAMMA (kg CO₂/anno) (1)



(1) km medio 8.500, vita del veicolo 12 anni.

Fonte: Fondazione Caracciolo (2023).

te consumo energetico richiesto nelle fasi di produzione dei carburanti (processi e materie prime necessarie) (8).

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 (di cui si parlerà più avanti) 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.

2.3. La rete e le infrastrutture di ricarica per i veicoli elettrici

I dati relativi a un potenziale massiccio impiego di energia elettrica riportano la riflessione sul più generale tema della generazione elettrica rinnovabile. L'esigua disponibilità di produzione rinnovabile e la natura intermittente delle fonti energetiche pulite rendono

evidente come l'utilizzo dell'energia elettrica vada gestita in modo razionale. È importante, sotto questo profilo, ricordare il potenziale ruolo strategico della batteria del veicolo a supporto del sistema energetico. Come emerso in un precedente studio della Fondazione Caracciolo (9), 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. Un approccio sinergico che rende evidente l'esigenza di guidare la transizione in modo integrato, con interventi combinati sulle fon-

Tab. 6 - **DISPENDIO ENERGETICO WTW DI VEICOLI CON DIVERSE ALIMENTAZIONI** (kWh/100 km)

	Consumi veicoli	Dispendio energetico WTW
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

Fonte: Fondazione Caracciolo (2023).

ti, le infrastrutture, i servizi, sia rispetto ai processi di elettrificazione che di automazione del veicolo.

Tale questione va di pari passo con un altro tema centrale nella diffusione del veicolo elettrico: la rete infrastrutturale di ricarica distribuita nel territorio. L'attuale offerta di punti di ricarica non è 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 (Tab. 7).

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.

Secondo il rapporto a cura del Mims ⁽¹⁰⁾ 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. I punti di ricarica a bassa potenza richiedono un tempo maggiore per le operazioni di ricarica e 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.

3. I CARBURANTI A BASSO IMPATTO: NEMICI O ALLEATI?

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. Come 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, *indirect land-use change*), 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.

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 principali tipologie:

- 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 blu), 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. 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

Tab. 7 - PUNTI DI RICARICA PER POTENZA EROGATA IN ITALIA (II sem. 2023)

Tipologia	Potenza	Numero di punti	Percentuale (%)
Slow	P < 7,4 kW (AC)	779	2,14
Slow Quick	P < 50 kW (DC)	196	0,54
	7,4 kW ≤ P < 22 kW (AC)	25.137	69,08
Fast	P ≥ 22 kW (AC)	5.702	15,67
	50 kW ≤ P < 150 kW (DC)	2.525	6,94
Ultra-fast - level 1	150 kW ≤ P < 350 kW (DC)	1.818	5,00
Ultra-fast - level 2	P ≥ 350 kW (DC)	232	0,64
Totale		36.389	100,00

Fonte: European Alternative Fuels Observatory – EAFO, database online (<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/italy/infrastructure>), consultato il 6 ottobre 2023.

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 Commissione 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 ⁽¹¹⁾.

La soluzione dei biocarburanti potrebbe dunque contribuire a una più rapida decarbonizzazione del settore. Si veda il caso dell'autotrazione (Fig. 6) nel quale, come esempi di biocarburanti, sono stati selezionati l'HVO e il biometano, la cui filiera, come noto, ha già raggiunto una scala industriale importante in Italia. Si 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 a idrogeno.

Mentre la rete elettrica di ricarica e l'infrastruttura dell'idrogeno rappresentano i principali colli di bottiglia per la diffusione dei veicoli a batteria e celle a combustibile, i biocarburanti possono sfruttare la rete di distribuzione esistente (sia per i liquidi che per i gassosi) ed essere immediatamente utilizzati dal parco di autovetture termiche e ibride. La diffusione dei biocarburanti, tuttavia, è limitata dall'attuale capacità produttiva della filiera, sia per l'approvvigionamento della materia prima, sia per gli impianti di produzione.

Relativamente a ciò, è però 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.

In Italia, il nuovo PNIEC, che tiene conto delle modifiche proposte

con la RED III ⁽¹²⁾, indica un obiettivo generale pari al 31% di FER sui consumi finali lordi di energia nei trasporti e definisce differenti sotto-obiettivi orientativi che prevedono l'impiego di un mix ottimale delle diverse fonti rinnovabili.

Le linee di sviluppo più interessanti nell'impiego dei carburanti a basso impatto riguardano principalmente l'utilizzo dei biocarburanti avanzati ⁽¹³⁾, che hanno come vantaggio principale la non concorrenza con gli impieghi tradizionali. Altra frontiera tecnologica di estremo interesse riguarda i biocarburanti «drop in», che sono adatti, a differenza dei biocarburanti tradizionali, all'uso per il trasporto aereo e maggiormente compatibili in caso di miscelazione con i combustibili per autotrazione ⁽¹⁴⁾. Quelli attualmente presenti sul mercato in quantità significative sono gli HVO e altri derivati dall'idrogenazione di materie oleaginose (HEFA, tallolio).

In Italia, nel 2021, gli HVO immessi al consumo come carburanti per autotrazione ammontavano a circa 150.000 tonnellate, corrispondenti a poco meno dell'11% del totale di biocarburanti utilizzati in miscela con il gasolio. 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

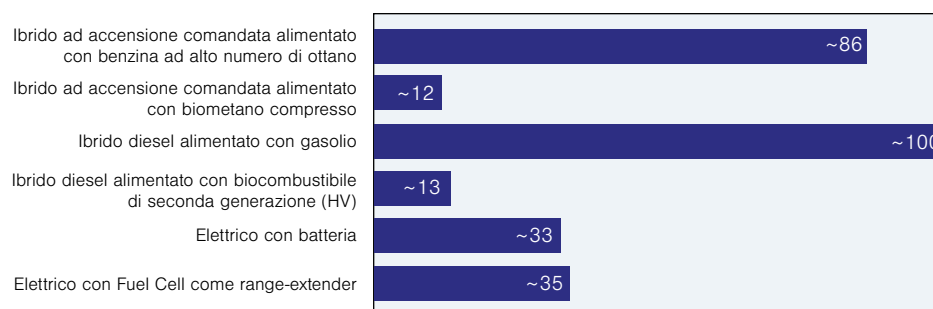
del preesistente e consolidato mercato degli oli vegetali esausti che sono ampiamente impiegati nelle industrie cosmetiche e chimiche (lubrificanti, vernici, etc.).

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.

4. CONCLUSIONI: UN APPROCCIO INTEGRATO PER UNA TRANSIZIONE ECO-RAZIONALE

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 la progettazione di misure, diversificate ma integrate, da adottare in

FIG. 6 - EMISSIONI CO₂ EQUIVALENTE SU BASE WTW (2025)



Fonte: Joint Research Centre (2020), JEC Well-to-Tank report v5.

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.

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 siano integrati 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.

Nello studio del 2019 ⁽¹⁵⁾ la Fondazione Caracciolo ha offerto una panoramica degli effetti di alcune possibili strategie per il raggiungimento degli obiettivi europei di riduzione delle emissioni inquinanti valutando i potenziali impatti della transizione ecologica sul sistema industriale ed economico-sociale del Paese. A distanza di cinque anni e alla luce delle risultanze degli studi prodotti nel mentre, la Fondazione Caracciolo giunge ad affermare che, tenendo conto che al 2035 l'incidenza dei modelli termici in circolazione sarà ancora importante (con percentuali di diffusione non inferiori al 50%), al fine di affrontare in modo eco-razionale il percorso verso l'auspicato azzeramento delle emissioni di gas serra, 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 guardare gli obiettivi di riduzione dell'impatto carbonico in modo razionale;

- incentivare i comportamenti di acquisto e guida sostenibile delle auto, utilizzando le possibilità offerte dalle tecnologie attualmente disponibili;

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

Quest'ultimo punto in particolare concerne la centralità del ruolo della persona, sia nell'adozione di scelte consapevoli, ma anche sul fronte delle scelte di guida quotidiane, in grado di garantire una riduzione, a parità di percorrenze e veicoli, del consumo energetico e delle emissioni derivanti da comportamenti più sostenibili.

Questi vanno dalla riduzione del rapporto peso/potenza delle auto acquistate, agli stili di guida di *eco-driving*. Secondo alcuni studi preliminari questi possono condurre a riduzioni dei consumi dell'ordine del 10-15%. 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.

Questo articolo, a cura della Redazione, riprende i contenuti del Capitolo «La sostenibilità nell'auto di domani» dello studio della Fondazione Caracciolo (2023), *L'auto di domani. Sicura, sostenibile e accessibile*, a cui si rimanda per un approfondimento dei temi trattati.

Lo 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.

Vi hanno collaborato in qualità di autori: Federica Cossu, responsabile scientifico per la Fondazione Filippo Caracciolo; Francesco Deflorio, responsabile scientifico, DIATI; Carlo Beatrice, CNR – STEMS; Angela Carboni, DIATI; Luca Cerimele, Fondazione Filippo Caracciolo; Chiara Ronzoni, Fondazione Filippo Caracciolo; Cecilia Tortora, Fondazione Filippo Caracciolo.

NOTE

(¹) Si rimanda alla sezione «studi e ricerche» del sito della Fondazione Filippo Caracciolo (fondazionecaracciolo.aci.it) per maggiori dettagli sugli studi pubblicati, diversi dei quali ripresi anche su queste pagine: Cerimele L., Tortora C. (2023), *Auto elettrica: veicolo che consuma energia o che la conserva?*, in *ENERGIA*, n. 1, pp. 56-61; Fusco G. (2022), *Le sfide della mobilità verso la neutralità carbonica*, in *ENERGIA*, n. 1, pp. 70-75; Fusco G. (2021), *Per una mobilità più sicura, equa e sostenibile in Italia*, in *ENERGIA*, n. 1, pp. 34-45; Fusco G. (2020), *Alcune riflessioni sulle prospettive della mobilità*, in *ENERGIA*, n. 2, pp. 32-36; Fusco G. (2020), *Per una transizione eco-razionale della mobilità in Italia*, in *ENERGIA*, n. 1, pp. 36-45; Marinuzzi G., Tortorella W. (2019), *I fabbisogni e le risorse del trasporto pubblico locale*, in *ENERGIA*, n. 4, pp. 56-53.

(²) Dati European Automobile Manufacturers' Association – ACEA.

(³) Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili – Mims (2022), *Mobilità e logistica sostenibili. Analisi e indirizzi strategici per il futuro*, ottobre.

(⁴) Politecnico di Milano (2022), *Smart Mobility Report 2022*, settembre.

(⁵) Per una più approfondita disamina sull'indagine e le sue risultanze si rimanda allo studio completo.

(⁶) Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica – Mase (2023), *Piano nazionale integrato per l'energia e il clima*, giugno.

(⁷) Fusco G. (2022), *Op. cit.* in nota 1.

(⁸) Per una più approfondita disamina si rimanda allo studio completo.

(⁹) Cfr. Cerimele L. e C. Tortora (2023), *Op. cit.* in nota 1.

(¹⁰) Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili – Mims (2022), *Decarbonizzare i trasporti. Evidenze scientifiche e proposte di policy*, maggio.

(¹¹) Joint Research Centre (2020), *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*, Publications Office (<https://data.europa.eu/doi/10.2760/100379>).

(¹²) 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 europeo a Strasburgo il 12 settembre 2023. Secondo la revisione proposta, e già approvata dal Consiglio europeo nel mese di giugno 2023, 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 una più approfondita disamina si rimanda allo studio completo.

(¹³) «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.

(¹⁴) Per una più approfondita disamina dei biocarburanti «drop in» si rimanda allo studio completo.

(¹⁵) Fondazione Caracciolo (2019), *Per una transizione eco-razionale della mobilità automobilistica*, ripreso in versione sintetica in Fusco G. (2020), *Op. cit.* in nota 1.