



## DOSSIERSE

DOSSIER

### **11/2019 Auto elettrica e de-carbonizzazione: facciamo chiarezza.**

È opinione comune che la diffusione dei veicoli elettrici contribuirà a migliorare la qualità dell'aria nelle nostre città. Tale convinzione si basa sull'assenza di emissioni allo scarico delle auto elettriche. Inoltre, l'auto elettrica, o meglio la sua progressiva penetrazione nel mercato automobilistico, viene anche considerata uno strumento efficace per la de-carbonizzazione dei trasporti. Le automobili, da sole, sono infatti responsabili di circa il 12% delle emissioni di gas serra dell'Unione Europea<sup>1</sup>. Le stesse case automobilistiche, per ridurre le emissioni medie di CO<sub>2</sub> della loro gamma, puntano su una elettrificazione dell'offerta. Come ulteriore evidenza, la maggior parte dei modelli che ad oggi possono usufruire dell'ecobonus ministeriale ha una motorizzazione esclusivamente elettrica. La quasi totalità delle rimanenti sono ibride plug-in, ovvero auto dotate di motore endotermico e motore elettrico, con una batteria elettrica ricaricabile dalla rete che permette un'autonomia solitamente intorno ai 50 km. Quindi, ragionando solo in termini di inquinamento locale, non servono analisi quantitative per concludere che i veicoli elettrici sono una soluzione indubbiamente superiore rispetto ai veicoli dotati di motore a combustione interna.

È lecito chiedersi tuttavia, ed in molti se lo sono chiesti, se le emissioni legate alla produzione di energia elettrica per caricare le batterie non siano superiori a quelle causate dalla combustione di diesel o benzina nei motori endotermici tradizionali. Per caricare la batteria, infatti, occorre dell'energia elettrica che, nel suo ciclo produttivo, comporta delle emissioni di gas clima-alteranti (principalmente anidride carbonica). È chiaro che anche nella produzione e distribuzione di carburanti di origine fossile si generano emissioni di gas a effetto serra. Quindi, per una corretta valutazione degli effetti delle auto elettriche sulla riduzione delle emissioni clima-alteranti, bisogna considerare anche le emissioni che avvengono prima dell'utilizzo del veicolo, come quelle che derivano dalla produzione del diesel, della benzina o dell'elettricità. In altri termini, quando si confrontano le emissioni clima-alteranti di veicoli elettrici e di veicoli tradizionali, serve adottare un approccio **well-to-wheel** (dal pozzo alla ruota). Per completare un simile approccio, occorre

---

<sup>1</sup> [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles_en)



valutare le emissioni di tutti i gas che contribuiscono al cambiamento climatico, anidride carbonica in primis, ma anche metano ed N<sub>2</sub>O tra i principali, pesati come anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub>eq).

Infine, poiché i veicoli elettrici sono profondamente diversi dai veicoli tradizionali, si pensi solo alla batteria di circa 300 kg di cui è dotato un veicolo elettrico medio, occorre anche considerare gli effetti legati alla produzione e alla dismissione di veicoli e batterie. È opportuno quindi adottare un approccio di analisi del ciclo di vita o Life Cycle Assessment (LCA) così come standardizzato dalla norma ISO 14040. E' questa la scelta fatta da RSE (Ricerca Sistema Energetico), che applica da diversi anni questo approccio rigoroso, impiegando i parametri propri del contesto energetico italiano.

In particolare, per quanto riguarda il primo tipo di analisi, le cosiddette analisi well-to-wheel, i risultati di letteratura sono abbastanza uniformi nel confermare che i veicoli elettrici, in ragione anche di una maggiore efficienza, emettono meno CO<sub>2</sub>eq dei corrispondenti veicoli a combustione interna. Questo è tanto più vero quanto più alta è la penetrazione delle fonti rinnovabili e quanto minore è la presenza di carbone nel mix energetico utilizzato per ricaricare la batteria. Nel caso Italiano, come recentemente pubblicato negli "Elementi per una Roadmap della mobilità sostenibile" questo vantaggio è piuttosto evidente (Figura 1).

---

Per quanto riguarda invece le analisi di **LCA** la situazione è più complessa. In questo caso, infatti, occorre considerare anche le emissioni che avvengono per la produzione dei veicoli, per la loro manutenzione, per la dismissione e, nel caso delle auto elettriche, per la produzione e dismissione delle batterie. In ragione del maggior numero di parametri da tenere in considerazione, i risultati presentano una maggiore variabilità. Tuttavia, la maggior parte della letteratura scientifica (lavori pubblicati su riviste internazionali con processo di double blind review ed impact factor) dimostra che l'auto elettrica, considerando l'intero ciclo di vita, emette meno CO<sub>2</sub>eq di auto a combustione interna simili per prestazioni e dimensioni. Queste conclusioni sono comuni sia ad un'analisi di letteratura su 51 studi effettuata nel 2012<sup>2</sup>, sia ad una successiva del 2014 che ne contava 79<sup>3</sup>, sia ad una recentissima analisi dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) del 2018<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Hawkins, Troy R., Ola Moa Gausen, and Anders Hammer Strømman. "Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17.8 (2012): 997-1014

<sup>3</sup> Nordelöf, Anders, et al. "Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19.11 (2014): 1866-1890.

<sup>4</sup> EEA Report No 13/2018 Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report. ISSN 1977-8449

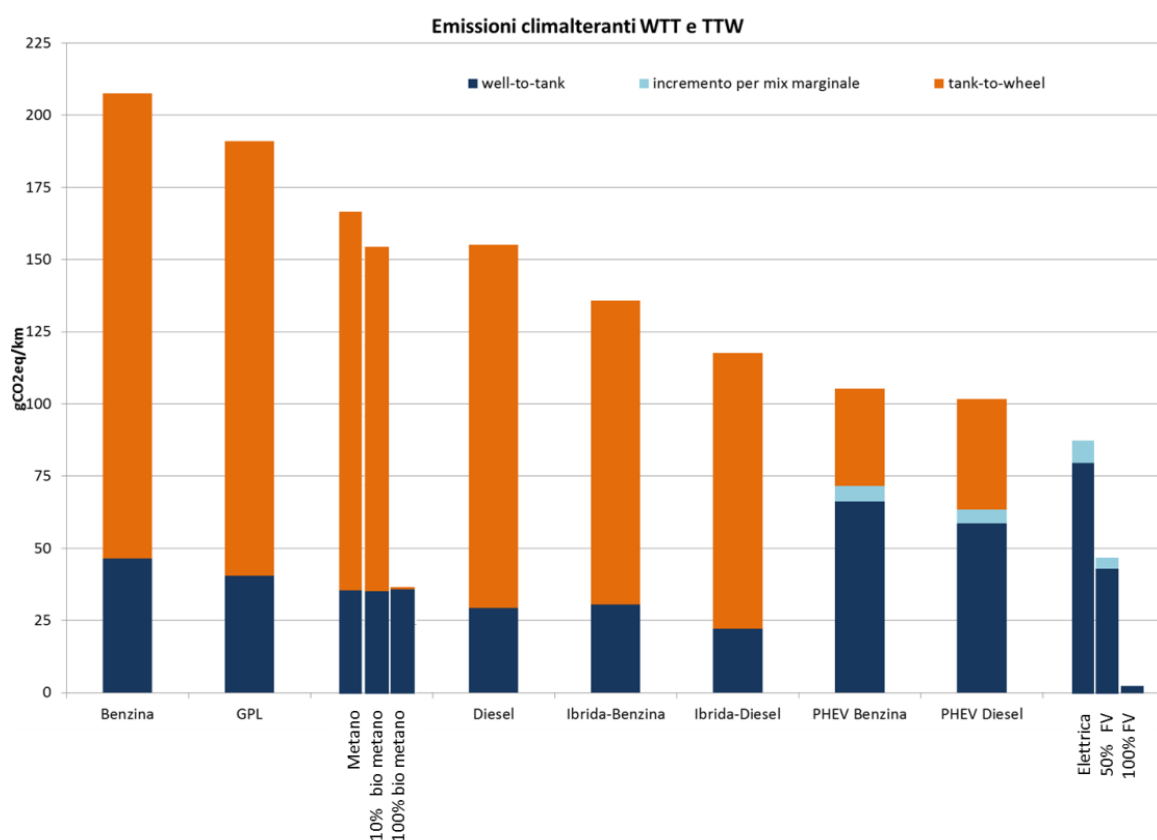


Figura 1 Emissioni clima-alteranti well to wheel, suddivise per tecnologia . Auto Euro 5.

Fonte "Elementi per una roadmap della mobilità sostenibile".

Il vantaggio dei veicoli elettrici in termini di ridotte emissioni di CO<sub>2</sub>eq nell'intero ciclo di vita, ovviamente, è variabile. La stessa analisi della EEA riporta come nel caso in cui l'energia elettrica venisse prodotta solo da fotovoltaico la riduzione supererebbe il 90%<sup>5</sup>; solo nell'ipotesi, del tutto inverosimile, in cui venisse prodotta esclusivamente da carbone, il veicolo elettrico potrebbe emettere più gas climalteranti dei veicoli a combustione interna<sup>6</sup>. Se ci si sposta dalla letteratura scientifica alla cosiddetta letteratura grigia (rapporti di agenzie di consulenza, riviste divulgative, conferenze stampa, convegni), la variabilità dei risultati aumenta e capita ogni anno che vengano pubblicati studi secondo i quali i veicoli elettrici produrrebbero più emissioni di CO<sub>2</sub>eq dei corrispondenti veicoli a combustione interna, e in particolare di veicoli diesel. Tali risultati, nel loro essere sorprendenti, trovano una grande eco nella stampa generalista e nei portali web. Ma a cosa è dovuta la variabilità dei risultati? Perché alcuni studi suggeriscono che i veicoli diesel possano emettere meno anidride carbonica equivalente delle auto elettriche? Vediamo quali sono,

<sup>5</sup> IEA, 2017a, 'Task 31: Fuels and Energy Carriers for Transport. Hybrid and Electric Vehicle Technology Collaboration Programme', International Energy Agency - <http://www.ieahev.org/tasks/task-31-fuels-and-energycarriers-fortransport/> accessed 24 September 2018.

<sup>6</sup> Hawkins, Troy R., et al. "Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles." *Journal of Industrial Ecology* 17.1 (2013): 53-64.

in ordine di importanza, i parametri che maggiormente influenzano il confronto delle emissioni clima-alteranti di veicoli elettrici e a combustione interna nel ciclo di vita:

1. **Mix energetico usato per ricaricare la batteria.** Questo è il fattore che maggiormente influenza le prestazioni ambientali dei veicoli elettrici. Tuttavia, anche nel caso di mix elettrici caratterizzati da una scarsa penetrazione di rinnovabili, i veicoli elettrici risultano emettere meno anidride carbonica equivalente dei corrispondenti veicoli a combustione interna. Uno studio del 2018 dimostra che persino nel caso polacco, dove oltre il 70% dell'energia proviene da carbone e lignite, l'auto elettrica emette meno delle auto a combustione interna<sup>7</sup>. È chiaro che, nel caso Italiano, con circa il 37% da rinnovabili e una forte penetrazione del Gas Naturale nella produzione elettrica, i veicoli elettrici risultano generare meno emissioni di CO<sub>2eq</sub><sup>8</sup>. Inoltre, le emissioni del mix energetico Italiano tenderanno a diminuire nel tempo grazie alla maggiore penetrazione delle rinnovabili e dalla chiusura degli impianti a carbone dettata dall'attuale Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC). Si noti che alcuni articoli non scientifici, che riportano presunte minori emissioni di CO<sub>2</sub> delle auto diesel rispetto alle elettriche, si riferiscono alla realtà tedesca, il cui mix elettrico gode di una penetrazione di energie rinnovabili simile alla nostra, ma per la restante parte vede una netta prevalenza dell'uso di carbone e lignite. A questo si aggiunga il fatto che spesso tali articoli confrontano auto dalle prestazioni molto diverse e si basano su ipotesi non corrette per quanto riguarda consumi, emissioni, vita dei veicoli.
2. **Confrontabilità dei veicoli.** Nell'effettuare LCA comparativi risulta cruciale individuare alternative di prodotti che offrano lo stesso servizio. Molti studi confrontano generiche auto elettriche e diesel/benzina senza curarsi che queste abbiano prestazioni simili o potenza simile. Nella figura che segue, tratta da un lavoro del Massachusetts Institute of Technology, si nota come, a parità di potenza, le emissioni di CO<sub>2eq</sub> delle auto elettriche - lungo l'intero ciclo di vita - risultino indubbiamente inferiori a quelle delle auto diesel e benzina.

---

<sup>7</sup> Burchart-Korol, D., Jursova, S., Folęga, P., Korol, J., Pustejovska, P., & Blaut, A. (2018). Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *Journal of cleaner production*, 202, 476-487.

<sup>8</sup> Girardi, P., Gargiulo, A., & Brambilla, P. C. (2015). A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the appropriate power mix: the Italian case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(8), 1127-1142.

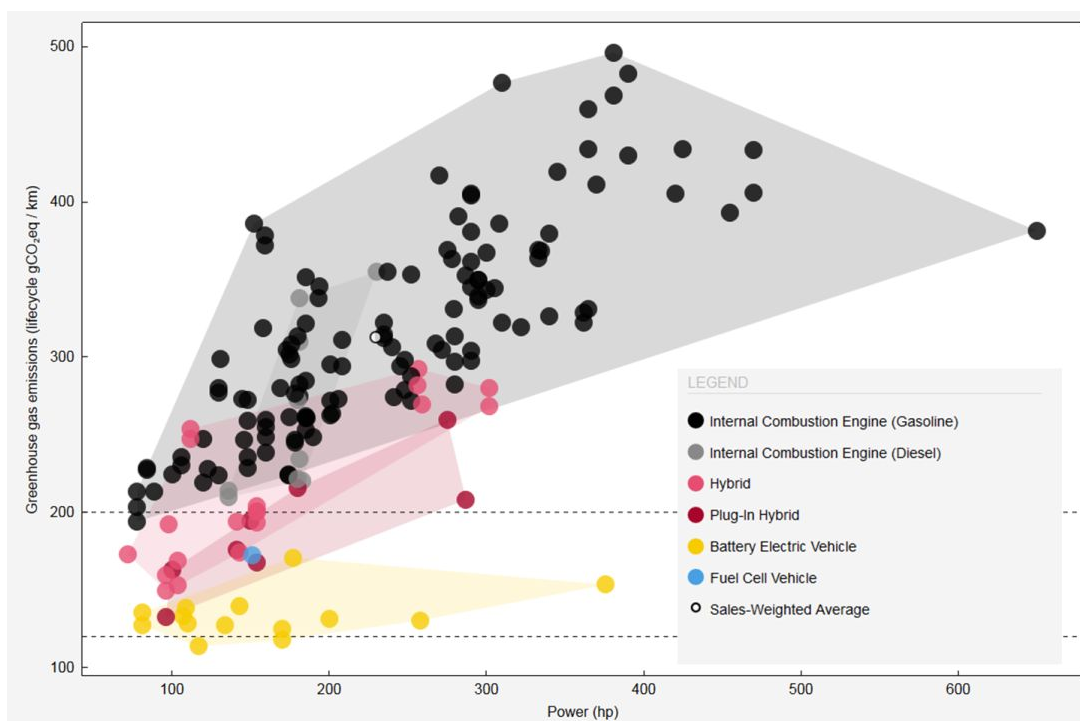


Figura 2 CO<sub>2</sub>eq/Km lungo l'intero ciclo di vita per alcune auto in vendita negli USA.

Fonte <http://carboncounter.com/>

3. **Stima dei consumi.** La maggior parte degli studi considera i consumi di energia stimati nei vecchi cicli di omologazione NEDC. Si tratta di un ciclo di omologazione non più attuale, pensato per finalità diverse dalla stima dei consumi e delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Va poi sottolineato (come ben noto agli operatori del settore) che tali cicli sottostimano i consumi reali per una percentuale compresa tra il 30% ed il 50%<sup>9</sup>. I consumi delle auto elettriche invece risultano più simili a quelli dichiarati dalle case automobilistiche. Per esempio, in due anni di utilizzo e oltre 100000 km di utilizzo, la BMWi3 oggetto di una sperimentazione in RSE ha avuto un consumo medio inferiore ai 14kWh/100 km, valore dichiarato dalla casa costruttrice.
4. **Vita dell'auto e della batteria.** Molti studi, anche quelli scientifici, considerano, per le auto a confronto, la stessa vita utile, indipendentemente dalla taglia e dalla motorizzazione. Il valore più comune è di 150000 Km, sebbene il valore raccomandabile per un'auto del segmento C (come una VW Golf) sia tra i 210000 ed i 240000 km<sup>10</sup>. Utilizzare una vita dell'auto troppo corta in un LCA comparativo vuol dire svantaggiare implicitamente le auto elettriche, i cui impatti si concentrano nella fase di costruzione. Considerare una vita di 150000 vuol dire portare gli impatti di costruzione di auto elettrica e batteria da circa 45 g CO<sub>2eq</sub>/km ad oltre 70 g CO<sub>2eq</sub>/km. Poiché gli impatti di costruzione delle auto non sono trascurabili in

<sup>9</sup> From Laboratory To Road a 2015 update of official and "real-world" fuel consumption and CO<sub>2</sub> values for passenger cars in Europe- ICCT 2015

<sup>10</sup> E. Weymar, M. Finkbeiner: Statistical analysis on empirical lifetime mileage data for automotive LCA. Int J Life Cycle Assess, 21(2):215-223, 2016.

termini di CO<sub>2</sub>eq emessa, anche il luogo di produzione e il mix energetico utilizzato per la produzione dell'auto sono rilevanti. Per quanto riguarda la batteria, poi, diversi studi ipotizzano una sostituzione della batteria durante la vita dell'auto. Questo nonostante molte case automobilistiche garantiscano che la batteria mantenga il 70-80% della capacità iniziale per una percorrenza compresa tra i 160000 km ed i 200000 km. A tale proposito vale la pena notare che, dai dati relativi a modelli Tesla X ed S per gli USA, sembrerebbe che la batteria possa durare ben oltre i limiti della garanzia, come mostra la Figura 3. Infine, un recente studio ha dimostrato che, da un punto di vista statistico, la maggior parte degli spostamenti giornalieri sarebbe fattibile anche quando l'autonomia, a causa dell'invecchiamento della batteria, si sia ridotta all' 80% o 70% di quella iniziale<sup>11</sup>, rendendo un'ipotesi del tutto remota la sostituzione della batteria.

Tesla Model S/X Mileage vs Remaining Battery Capacity

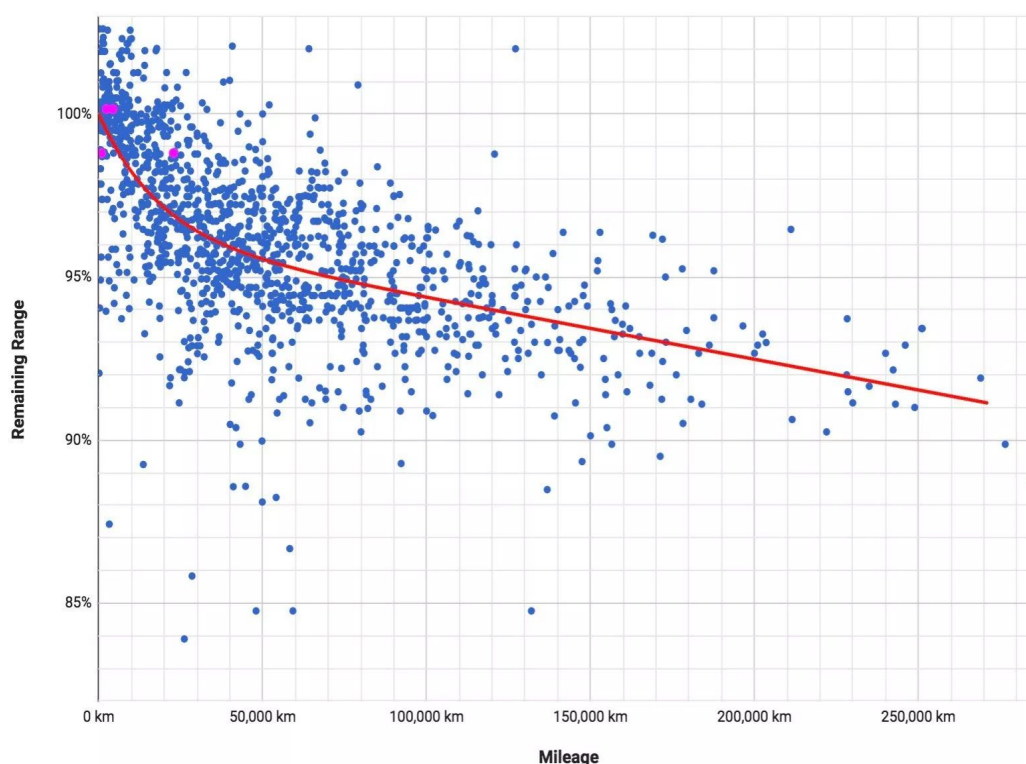


Figura 3 Percentuale di capacità residua nelle TESLA model S ed X in funzione della percorrenza. Anche dopo 250 000 km la capacità residua è oltre 90 % di quella originale.

Fonte <https://electrek.co/2018/04/14/tesla-battery-degradation-data/>

- Emissioni di CO<sub>2</sub>eq legate alla produzione delle batterie.** La produzione delle batterie comporta ovviamente delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq, legate principalmente ai consumi energetici per la produzione di anodo e catodo e, in seconda misura, per

<sup>11</sup> S. Saxena, C. Le Floch, J. MacDonald, S. Moura: Quantifying EV battery end-of-life through analysis of travel needs with vehicle powertrain models. J. Power Sources, 282, 265:276, 2015.



l'assemblaggio finale della batteria. I risultati degli studi di LCA delle batterie sono molto variabili in ragione della rapida evoluzione tecnologica e della riservatezza dei dati inerenti a un settore così competitivo (si veda Figura 4). Va inoltre detto che la maggior parte degli studi analizzati suppone che le batterie siano prodotte in Cina, con il mix energetico locale. Sia Tesla che la maggior parte delle case Europee, invece, producono le batterie in proprio o attraverso società controllate. È evidente che utilizzare un mix energetico, migliore di quello cinese per la produzione delle batterie abbasserebbe di molto la stima delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq legate alla loro produzione.

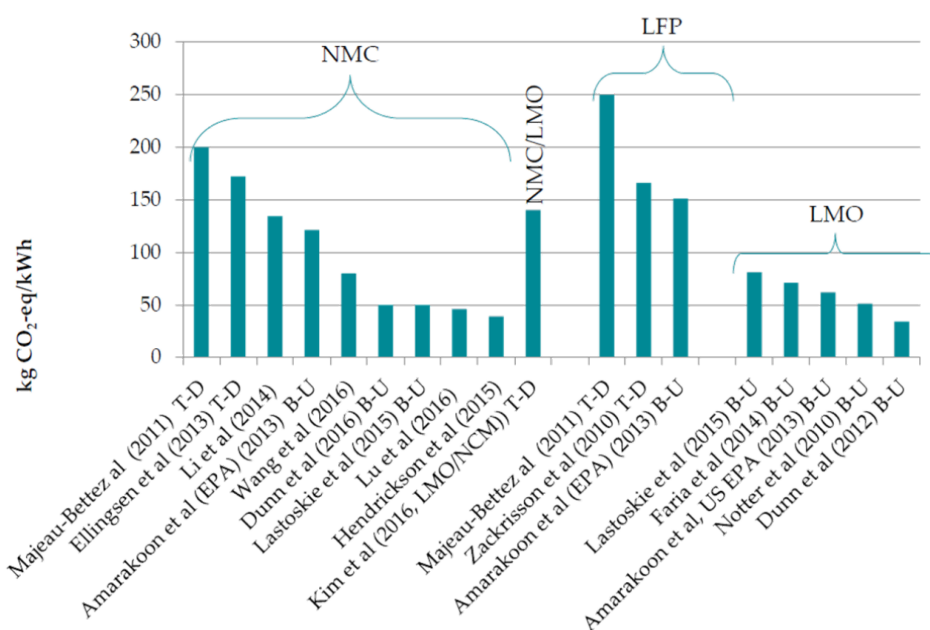


Figura 4 Variabilità delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq/kWh negli studi di LCA delle batterie.

Fonte: Romare, Mia, and Lisbeth Dahllöf. "The life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions from lithium-Ion batteries." *Stockholm. Zugriff am 23* (2017): 2017.

Tutti questi fattori sono stati considerati da RSE che da oltre 10 anni affronta l'analisi del ciclo di vita delle auto elettriche nell'ambito degli studi finanziati dal fondo per la Ricerca di Sistema. Come accennato, il fattore che più influenza il confronto tra veicoli elettrici e tradizionali è la modalità con cui l'energia elettrica viene prodotta. In Italia la produzione di energia elettrica avviene per oltre il 37% a partire da fonti rinnovabili. La quota parte di produzione da fonti fossili è prodotta per oltre il 70% da gas naturale, per lo più in cogenerazione e in impianti in ciclo combinato ad alta efficienza. Volendo essere più conservativi, è possibile considerare il solo mix di tecnologie marginali, ovvero il mix di tecnologie che interverrebbero a produrre l'energia elettrica aggiuntiva richiesta dai veicoli elettrici durante gli orari di ricarica<sup>6</sup>. In questo caso l'energia elettrica proverrebbe per

oltre il 70% da fonti fossili. Anche sotto queste ipotesi restrittive, i veicoli elettrici hanno emissioni di CO<sub>2</sub>eq sempre sostanzialmente inferiori a quelli degli omologhi veicoli a combustione interna (quindi a parità di modello e di potenza). Il grafico di Figura 5 mostra, ad esempio in cicli di guida urbani, come il risparmio di CO<sub>2</sub>eq lungo il ciclo di vita vari tra il 55% ed il 40% rispetto alle versioni benzina e tra il 40% e il 22% rispetto alle versioni diesel. Si nota anche che il contributo del ciclo di vita della batteria è inferiore al 10% e che, anche qualora tale contributo dovesse risultare il doppio di quello stimato, rimarrebbe inalterato il fatto che il veicolo elettrico produca meno emissioni climalteranti degli omologhi a combustione interna.

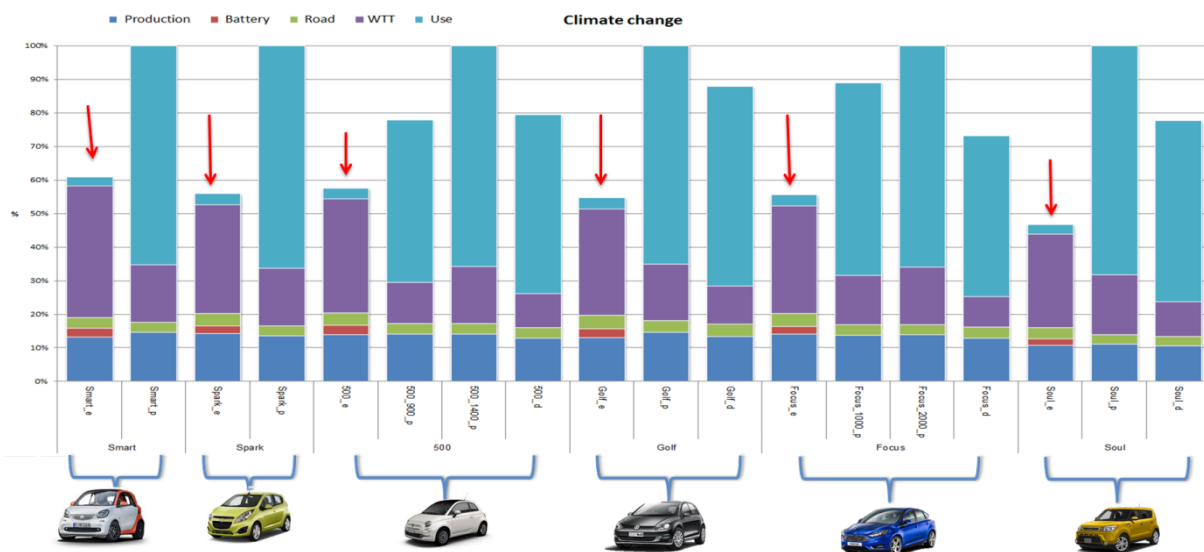


Figura 5 - Confronto tra le emissioni di CO<sub>2</sub>eq di motorizzazioni elettriche benzina e diesel di diversi modelli di auto. Per ogni modello la versione elettrica è stata confrontata con la versione benzina e diesel di potenza più vicina. Per la 500 e la Focus sono state considerate anche auto a benzina particolarmente performanti (la 500 9cc e la Focus 1000cc). Per ogni modello le emissioni di CO<sub>2</sub>eq sono rappresentate come percentuale delle emissioni della motorizzazione più inquinante. Fonte: Pierpaolo Girardi, Cristina Brambilla: "Auto elettriche e auto tradizionali: un confronto basato sul ciclo di vita dalla city-car due posti al SUV". L'Energia Elettrica n 47 luglio-settembre 2018.

In un recente studio di RSE<sup>12</sup> inoltre, prendendo a riferimento un'auto media come la Volkswagen Golf, sono state quantificate le esternalità ambientali legate alle emissioni atmosferiche delle tre motorizzazioni sia in cicli di guida urbani sia in cicli di guida extraurbani. Quantificare le esternalità ambientali vuol dire valutare in termini monetari i danni derivanti da un'azione che ha provocato degli impatti ambientali. Oltre a monetizzare l'impatto delle emissioni climalteranti, si sono considerate anche le emissioni

<sup>12</sup> Girardi, Pierpaolo, Cristina Brambilla, and Giulio Mela. "Life Cycle Air Emissions External Costs Assessment for comparing Electric and traditional passenger cars." Integrated environmental assessment and management (2019).



che contribuiscono all'inquinamento urbano e che provocano, come impatto ambientale, danni sulla salute dei cittadini.

Il risultato è che, in entrambi i casi, nella situazione attuale italiana, le esternalità del veicolo elettrico nell'intero ciclo di vita sono inferiori rispetto agli omologhi a combustione interna. In altri termini, il veicolo elettrico, rispetto ad un veicolo a combustione interna di pari dimensioni, comfort e prestazioni, è in grado di ridurre sia le emissioni inquinanti che le emissioni climalteranti, anche considerando l'intero ciclo di vita dei veicoli.

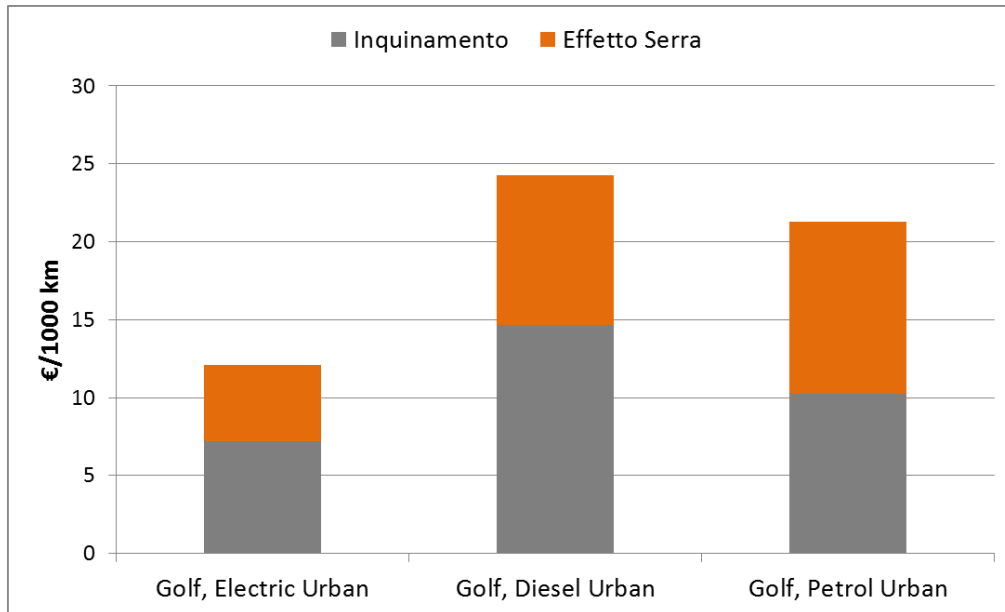


Figura 6 - Confronto tra le esternalità delle emissioni atmosferiche di una Golf elettrica (versione 2017) Diesel (2.0 l) e Benzina (1.8 l).

Fonte: tratto da Girardi, Pierpaolo, Cristina Brambilla, and Giulio Mela. "Life Cycle Air Emissions External Costs Assessment for comparing Electric and traditional passenger cars." Integrated environmental assessment and management (2019).

Opportune analisi di sensibilità sui consumi e sulla vita media di auto e batterie non hanno portato in nessun caso ad un'alterazione dell'ordine di merito. In definitiva, il veicolo elettrico risulta sempre quello con meno "costi esterni ambientali" degli altri due in esame.

Per quanto riguarda poi gli scenari immaginabili nei prossimi dieci anni, è lecito pensare che gli sviluppi tecnologici porteranno le auto a benzina, e soprattutto Diesel, ad avere efficienze sempre maggiori ed emissioni sempre minori. Questo probabilmente non influirà sul confronto con l'opzione elettrica perché anche l'efficienza delle auto elettriche crescerà. Soprattutto, diminuiranno drasticamente le emissioni legate alla produzione dell'energia elettrica. In base alla penetrazione delle rinnovabili previste dal PNIEC, è possibile stimare che le emissioni clima-alteranti (in tutto il ciclo di vita) dell'energia elettrica saranno quasi dimezzate, arrivando a circa 255 gCO<sub>2eq</sub>/kWh. Anche le emissioni legate alla produzione della batteria diminuiranno sensibilmente grazie al miglioramento dei processi produttivi ed



all'aumento della densità energetica<sup>13</sup>. Tuttavia, l'esperienza del recente passato lascia pensare che i costruttori di auto tenderanno a sfruttare la maggiore densità energetica (ed il calo dei costi) per aumentare l'autonomia delle auto elettriche. L'aumento di densità energetica delle batterie (cui corrisponde una minore emissione di CO<sub>2eq</sub> per kWh di capacità) potrebbe accompagnarsi una maggiore capacità installata sulle auto, lasciando di fatto inalterato contributo della costruzione delle batterie alle emissioni di CO<sub>2eq</sub> nel ciclo di vita dei veicoli elettrici.

Fonte: [www.dossierse.it](http://www.dossierse.it)

© 2019 RSE

---

<sup>13</sup> Almeida, Arminda, Nuno Sousa, and João Coutinho-Rodrigues. "Quest for Sustainability: Life-Cycle Emissions Assessment of Electric Vehicles Considering Newer Li-Ion Batteries." *Sustainability* 11.8 (2019): 2366.