



# **Le emissioni di CO<sub>2</sub> delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l'Italia tramite l'analisi del ciclo di vita**

Romeo Danielis

Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche, Università degli Studi di Trieste  
Via dell'Università, 1 - 34100 Trieste, Italia, e-mail: [danielis@units.it](mailto:danielis@units.it)

---

## *Riassunto*

Il tema se le auto elettriche emettano più o meno CO<sub>2</sub> delle automobili con motori a combustione interna, considerando l'intero ciclo di vita, è largamente dibattuto nella letteratura scientifica e in diversi articoli giornalistici, spesso con riferimento alla realtà statunitense o a quella europea. Almeno a nostra conoscenza, non sono ancora state presentate stime riguardanti l'Italia. Questo contributo propone una stima comparativa: a) basata sul database VCA che ha catalogato le informazioni tecniche relative ai consumi energetici ed alle emissioni di CO<sub>2</sub> per più di 45 mila automobili in vendita nel Regno Unito (e molte di queste anche in Italia), aggiornato all'agosto 2016; b) si concentra sulle principali automobili vendute in Italia nel 2016 per tipologia di alimentazione (a benzina, diesel, ibrida ed elettrica); c) tiene conto delle emissioni di CO<sub>2</sub> durante la produzione di energia elettrica; d) incorpora le stime sulle emissioni di CO<sub>2</sub> nella fase di produzione delle automobili e delle batterie proposte nella letteratura internazionale. Il risultato principale è che le auto elettriche emettono complessivamente meno CO<sub>2</sub> delle automobili con motori a combustione interna: il 19% in meno delle auto a benzina, il 18% in meno delle auto diesel ed il 9% in meno delle ibride.

*Parole chiave: automobili elettriche, automobili a combustione interna, emissioni di CO<sub>2</sub>, analisi del ciclo di vita*

---

## 1 Introduzione

Il progresso scientifico ed industriale nella produzione di batterie, congiuntamente alla sforzo industriale di alcune grandi aziende asiatiche (in primis, la nipponica Panasonic e le coreane LG e Samsung), ha permesso lo sviluppo e la produzione di batterie elettriche sempre migliori in termini di prestazioni (kWh per unità di peso, di massa, di volume, numero di cicli di ricarica, tempi di ricarica) e di costi, non solo per l'industria elettronica ma anche per l'industria automobilistica. Ciò ha consentito ad alcune case automobilistiche nuove (Tesla Motors) o già affermate (Nissan e Renault inizialmente, BMW, Chevrolet ed altre successivamente) di sviluppare auto puramente elettriche, ovvero dotate di solo motore elettrico (d'ora in poi indicate con l'acronimo internazionale BEV, *Battery Electric Vehicle*), invece delle tradizionali auto con

motore a combustione interna (d'ora in poi indicate con l'acronimo ICEV, *Internal Combustion Engine Vehicle*).

Il confronto tra le BEV e le ICEV può riguardare diversi aspetti: le prestazioni (accelerazione, velocità, tenuta di strada, confort di guida), l'autonomia, i tempi di ricarica delle batterie, l'efficienza energetica, i consumi e, naturalmente il costo d'acquisto, di utilizzo e di manutenzione. In questo saggio, ci concentreremo sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, mentre tralascieremo le emissioni di inquinanti locali (PM, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, VOC) e l'inquinamento acustico. Non si discuterà nemmeno di consumo di materiali rari, di acidificazione (Messagie *et al.* (2014) o di aspetti di strategia geopolitica legati all'indipendenza dai paesi produttori di petrolio.

L'interesse per il tema delle emissioni di CO<sub>2</sub> deriva dal fatto che i trasporti sono responsabili di buona parte della CO<sub>2</sub> emessa in Italia. Nel 2014 il contributo dei trasporti terrestri (merci e passeggeri) è stato del 29,4%, contro il 28,2% dell'industria energetica, il 14,4% dell'industria manifatturiera ed il 12% del settore residenziale. La potenziale riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> connesse trasporto delle persone derivanti dalla sostituzione delle ICEV con le BEV è un tema quindi di notevole importanza per la politica ambientale.

Il vantaggio della BEV rispetto alla ICEV in termini di rumore è evidente: non avendo un motore termico, la rumorosità esterna ed interna è più contenuta. Il vantaggio in termini di inquinanti locali è altrettanto ovvio: le BEV sono ad emissioni zero durante il funzionamento, rendendole pertanto particolarmente attraenti per l'uso urbano, dati i problemi di concentrazione, particolarmente di PM ed NO<sub>x</sub>, di cui soffrono le aree urbane durante alcuni periodi dell'anno. La produzione di energia elettrica, però, richiede in molti casi la combustione di combustibili fossili (carbone, olio, gas naturale o biomasse), per cui è corretto dire che le auto elettriche comportano una "traslazione" geografica delle emissioni di inquinanti locali: dalle città ai luoghi in cui sono localizzate le centrali di produzione dell'energia elettrica. Nel caso in cui queste ultime siano localizzate in zone meno densamente abitate, senza che il vento disperda gli inquinanti nelle aree residenziali, il danno derivante dagli inquinanti locali è probabilmente ridotto. Diverso è invece il caso delle emissioni di CO<sub>2</sub>. In questo caso, il luogo di emissione non è rilevante; rileva invece se le emissioni complessive derivanti dall'utilizzo delle BEV siano maggiori o meno di quelle derivanti dall'utilizzo delle ICEV. L'oggetto di questo saggio sarà limitato a questo aspetto, concentrandoci sul caso dell'Italia.

Il tema è trattato - con riferimento alla realtà statunitense e meno frequentemente con riferimento all'Europa - in molti contributi sia scientifici che non, senza che sia nettamente prevalsa una conclusione rispetto all'altra. Un riassunto di alcuni contributi recenti è presente in Danielis (2015). In questo contributo, ci concentriamo esclusivamente sull'Italia, facendo uso dei migliori dati disponibili e delle più recenti evidenze scientifiche.

Prima di addentrarci nella trattazione, è utile evidenziare che il confronto tra BEV e ICEV avviene normalmente tra automobili elettriche pure ed automobili con motori a benzina o diesel. Ma il panorama dei veicoli e delle alimentazioni è più complesso, esistendo anche automobili a metano, a GPL, ibride (indicate con l'acronimo internazionale HEV, *Hybrid Electric Vehicle*) (quali la Toyota Prius o la Toyota Auris) e, più recentemente, automobili ibride plug-in, note anche come PHEV, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (in Europa, il più modello diffuso è la Mitsubishi Outlander ed è in arrivo il Toyota Prime; negli Stati Uniti è invece diffusa la Chevrolet Volt). Le HEV, che hanno raggiunto nel 2006 in Italia una quota di mercato pari al 2,1%, saranno analizzate distintamente dalle ICEV diesel o a benzina, mentre le PHEV non saranno considerate in quanto la loro diffusione è ancora assai limitata.

## 2 Metodologia di stima e risultati

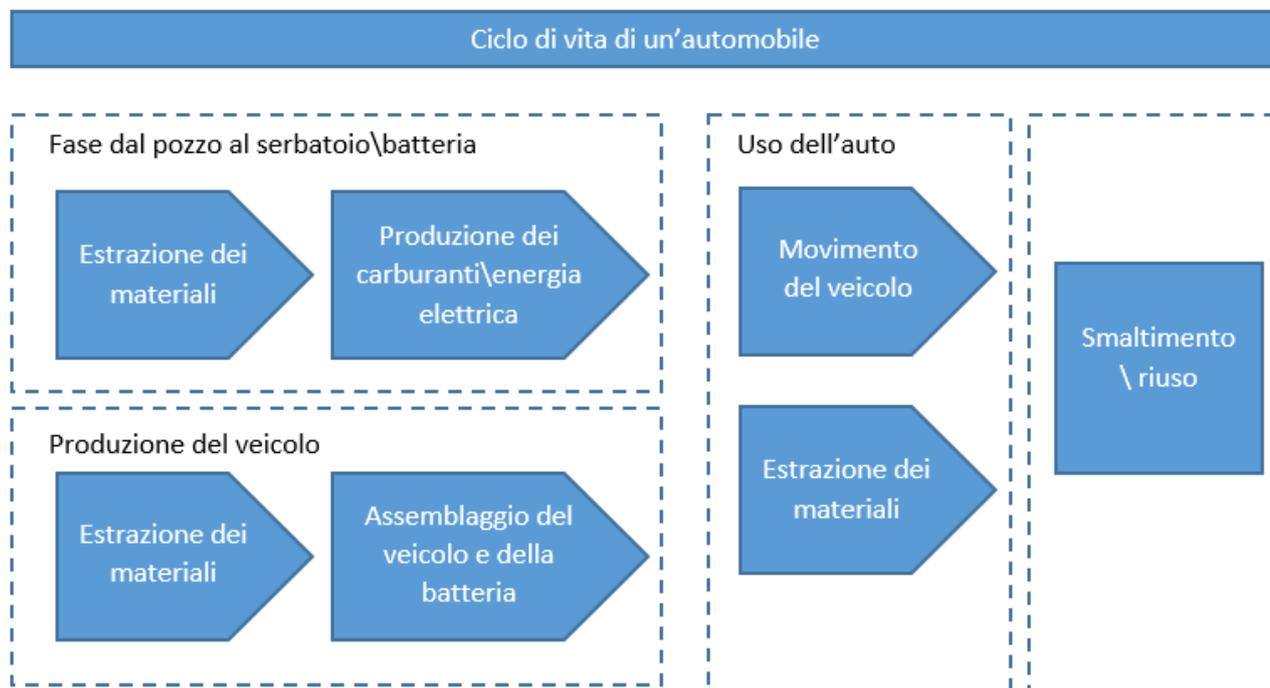
Come la letteratura esistente ha mostrato (cfr. Danielis, 2015, per un riassunto in italiano), le emissioni di CO<sub>2</sub> delle BEV e delle ICEV dipendono da numerosi fattori. Un'analisi che punti ad essere il più possibile completa deve considerare l'intero ciclo di vita dell'automobile e del carburante, realizzando quella che nella letteratura internazionale va sotto il nome di *life-cycle analysis*. Si tratta di procedura tutt'altro che semplice da realizzare, che richiede una approfondita conoscenza dei materiali e delle tecnologie impiegate nei processi produttivi e la disponibilità di dati non facili da reperire in quanto riservati o coperti dal segreto industriale. Inoltre, alcuni dei parametri da utilizzare non sono stabili, cambiano nel tempo in relazione ai progressi della tecnologia, alle scelte industriali, all'andamento del mercato ed all'assetto regolamentare pubblico.

C'è comunque un sufficiente consenso che un'analisi dell'intero ciclo di vita dell'automobile deve considerare la CO<sub>2</sub> emessa:

- nelle fasi di estrazione, raffinazione e distribuzione dei combustibili necessari per alimentare le ICEV o per produrre l'energia elettrica;
- per la produzione e trasmissione dell'energia elettrica;
- per la produzione delle componenti dei veicoli, compresi la batteria, il loro assemblaggio e smaltimento o riuso;
- per muovere il veicolo.

Graficamente, le fasi dell'analisi del ciclo di vita dell'automobile possono essere rappresentate come in Figura 1.

Figura 1- Rappresentazione schematica dei diversi stadi del ciclo di vita di un'automobili



Il modello di stima da noi utilizzato prevede:

- la selezione del campione delle auto da confrontare;
- il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> medie per km percorso per le ICEV (benzina, diesel, ibride) per le auto maggiormente vendute in Italia;
- il calcolo del consumo di energia medio in kWh per km percorso per le BEV in vendita in Italia;

- l'identificazione delle emissioni medie per produrre e distribuire l'energia in Italia;
- il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> per fabbricare e smaltire il veicolo;
- il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> per fabbricare e smaltire le batterie;
- il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> per estrarre e raffinare le materie prime necessarie per produrre combustibili, energia, automobili e batterie.

## 2.1 Le automobili oggetto di confronto e le emissioni medie delle automobili ICEV ed HEV

Le automobili vendute sul mercato europeo si differenziano per marca, modello e tipologia di allestimento (configurazione, trazione, potenza del motore, ecc.). Uno dei database più noti, contenente le principali informazioni sulle automobili, è quello gestito dall' Environmental Protection Agency statunitense (EPA, 2016), che riporta anche i dati sui consumi di carburante e sulle emissioni di CO<sub>2</sub>. Non essendo però rinvenibili in questo database, alcune delle automobili presenti sul mercato italiano, abbiamo optato per l'utilizzo del database mantenuto per conto del governo inglese dalla Vehicle Certification Agency (VCA), un'agenzia del ministero dei trasporti del Regno Unito (<http://www.dft.gov.uk/vca/>). Il database, aggiornato all'agosto 2016, contiene informazioni relative a 4.511 modelli di automobili, in vendita nel Regno Unito, relative a dati tecnici (potenza del motore, tipo di trasmissione, tipo di alimentazione) e ai consumi di carburante nel ciclo urbano, extra-urbano e combinato ed alle emissioni di CO<sub>2</sub> per km. L'Agenzia non effettua test propri, ma assicura di aver tratto i dati dai documenti ufficiali, avvertendo comunque gli utenti del sito che sono possibili differenze tra il dato sui consumi riportato nel database e quello che si può osservare in condizioni di traffico reali. Il dato è, con tutta probabilità, corrispondente al Nuovo ciclo di guida europeo, in inglese NEDC (New European Driving Cycle), definito dalle direttive comunitarie, che, come è stato evidenziato nel dibattito recente, è probabilmente più "generoso" nei confronti delle case automobilistiche di quello ottenuto con il test EPA dal governo federale americano.

I valori medi alle emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte nella fase di utilizzo dell'automobile, desumibili dal database VCA, sono riportati in Tabella 1. Sono suddivisi per tipo di alimentazione utilizzando la classificazione proposta dal VCA. I valori sono da riferirsi al ciclo combinato, media dei valori ottenuti nel ciclo urbano ed extraurbano<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> I cicli sono spiegati in questo modo: "The urban test cycle is carried out in a laboratory at an ambient temperature of 20°C to 30°C on a rolling road from a cold start where the engine has not run for several hours. The cycle consists of a series of accelerations, steady speeds, decelerations and idling. The maximum speed is 31 mph (50 km/h). The average speed 12 mph (19 km/h) and the distance covered is 2.5 miles (4 km). The extra-urban cycle is a cycle that is intended to represent the use of the vehicle on roads that are external to the urban environment. The cycle is conducted immediately following the urban cycle and consists of roughly half steady-speed driving with the remainder being accelerations, decelerations, and some idling. The maximum speed is 75 mph (120 km/h). The average speed is 39 mph (63 km/h) and the distance covered is 4.3 miles (7 km). The combined figure presented is for the urban and the extra-urban cycle together. It is therefore an average of the two parts of the test, weighted by the distances covered in each part." (VCA, 2016).

Tabella 1 – Valori medi delle emissioni di CO<sub>2</sub> delle automobili del database per tipologia di alimentazione

Tipologia	N° di auto per presenti nel database	Emissioni di CO <sub>2</sub> medie (g/km)	Emissioni di CO <sub>2</sub> minime (g/km)	Emissioni di CO <sub>2</sub> massime (g/km)
Petrol Electric	8	158	139	199
Petrol	2095	151	84	380
Diesel	2275	124	79	261
Diesel Electric	11	110	94	164
Petrol Hybrid	71	107	70	168
Electricity/Diesel	4	48	48	48
Electricity/Petrol	27	51	13	84
Electricity	19	0	0	0
Totale	4510			

Fonte: Elaborazione propria su dati VCA (2016)

Le automobili censite sono prevalentemente diesel o a benzina, di diversa dimensione e potenza. In media le emissioni maggiori si hanno nelle auto classificate “petrol electric” ovvero a ibride benzina\elettrica (158 g\km) che comprende alcune auto di gamma elevata prodotte dalla BMW e della Lexus<sup>2</sup>. In tale categoria si raggiungono valori minimi di 139 g/km e valori massimi di 199 g\km. Seguono le auto a benzina (“petrol”) con emissioni medie pari a 151 g\km. Tale categoria appare però molto differenziata con valori minimi di 84 g/km e valori massimi di 380 g\km. Un valore medio inferiore si ha nella categoria diesel pari a 124 g\km (min 79 e max 261). Minori sono le emissioni medie delle ibride “Petrol hybrid” e delle elettriche plug-in o con range extender. Le auto elettriche pure hanno ovviamente emissioni zero al momento dell’utilizzo.

Volendo concentrarci sul mercato italiano, abbiamo però selezionato, sulla base dei dati UNRAE, per i principali tipi di alimentazione (benzina, diesel, ibride ed elettriche) una decina dei modelli più venduti in Italia nel periodo gennaio-settembre 2016.

<sup>2</sup> Le 8 auto del campione sono la BMW 3 Series Saloon F30, From February 2012, BMW 3 Series Saloon F30, From February 2012, BMW 5 Series F10/F11, From March 2010, BMW 5 Series F10/F11, From March 2010, BMW 5 Series F10/F11, From March 2010, LEXUS LS, MERCEDES-BENZ S-Class Limousine, Model Year 2016, MERCEDES-BENZ S-Class Limousine, Model Year 2016.

Tabella 2 – Automobili diesel

Produttore	Modello	Descrizione	CO <sub>2</sub> g/km
CHRYSLER JEEP	Jeep Renegade, MY2015	1.6 120bhp 4x2	115
DACIA	Duster Euro6, 2015	dCi 110 4X2	115
FIAT	500 X, 2015 onwards	1.3 MultiJet 95 bhp	107
FIAT	500L MPW, August 2013 onwards	1.3 16v MultiJet 95 bhp - Dualogic - Euro 6	104
FIAT	Panda, From February 2012 onwards	1.3 16v MultiJet 95 bhp - Cross	119
HYUNDAI	Tucson	1.7l CRDi Blue Drive 2WD, 104kW	129
NISSAN	Qashqai Euro6, 2015	dCi 110 16/17 inch wheel	99
RENAULT	Captur Euro6, 2015	dCi 90 EDC	99
RENAULT	Clio Euro6, 2015	dCi 90 EDC	92
VOLKSWAGEN	Golf	1.6 TDI 110PS 7speed DSG GT Edition	104

Fonte: VCA (2016)

Tabella 3 – Automobili a benzina

Produttore	Modello	Descrizione	CO <sub>2</sub> g/km
CITROEN	C3	PureTech 68 VT	102
FIAT	500 & 500C, September 2015 onwards	0.9 TwinAir Turbo 105 bhp	99
FIAT	Panda, From February 2012 onwards	0.9 Twin Air Turbo 90 bhp - Cross	114
FIAT	Punto, 2012 onwards	1.2 8v 69 bhp	124
MERCEDES-BENZ	A-Class, Model Year 2016	A180 with 16" rear wheels	119
PEUGEOT	208	1.6 THP 208 S&S (GTi 30th)	125
TOYOTA	Aygo, MY2015	1.0 VVT-i 5-speed Manual	95
TOYOTA	Yaris, 2016	1.33 VVT-i 6-speed M-drive S - 15" alloys	114
VOLKSWAGEN	Polo	1.0 60PS Stop-Start Match	106

Fonte: VCA (2016)

Tabella 4 – Automobili ibride

Produttore	Modello	Descrizione	CO <sub>2</sub> g/km
LEXUS	CT, MY2015	Advance Plus	94
LEXUS	NX, MY2015	300h SE	121
LEXUS	RX, MY2015	RX450h SE	120
TOYOTA	Auris, MY2015	Hybrid Active 1.8 VVT-i E-CVT	79
TOYOTA	Prius, 2016	Active 1.8 15" wheels	70
TOYOTA	RAV4, MY2016	Hybrid AWD 2.5 VVT-i Auto	118
TOYOTA	Yaris, 2016	1.5 VVT-i Auto - 16 " alloys	82
VOLVO	V60 MY17	D5 AWD Plug in Hybrid	48

Fonte: VCA (2016)

Il numero di auto selezionate per le diverse alimentazioni non è lo stesso sia per la mancata presenza di alcuni modelli nel database (es. la Lancia Ypsilon), sia per la minore diffusione di modelli tecnologia ibrida. I valori

medi di emissioni di CO<sub>2</sub> delle auto da noi selezionate sulla base della loro diffusione in Italia sono riportati nella Tabella 5.

*Tabella 5 – Emissioni medie di CO<sub>2</sub> per tipologia di alimentazione nel campione selezionato per l'Italia*

Tipo di alimentazione	Emissioni di CO <sub>2</sub> medie (g/km)	Emissioni di CO <sub>2</sub> minime (g/km)	Emissioni di CO <sub>2</sub> massime (g/km)
ICEV - benzina	111	95	125
ICEV - diesel	108	92	129
HEV - ibride	92	48	121
elettriche	0	0	0

Come si può vedere il campione da noi selezionato, tenendo conto delle quote di mercato in Italia, ha valori mediamente più bassi dell'universo delle automobili presenti nel database VCA illustrato Tabella 1. Le ICEV – benzina hanno emissioni medie pari a 111 g CO<sub>2</sub>/km contro un valore medio delle auto a benzina presenti nel database di 151, le ICEV – diesel 108 contro 124 e le HEV – ibride 92 contro 107. Anche i valori massimi sono decisamente minori. Ciò riflette il fatto che gli italiani comprano in genere automobili di cilindrata medio-piccola. Ciò è in linea con i valori riportati nel sito UNRAE che propone per il 2016 una stima del livello di emissioni medio di CO<sub>2</sub> per le vetture vendute in Italia pari a 112,7 (g/km).

Come già ricordato, sia le nostre stime basate sul database VCA che quelle fornite dall'UNRAE sono presumibilmente basate sui documenti dalle case automobilistiche e risultanti dall'applicazione del test NEDC, che, come largamente dibattuto in questi mesi, fornisce stime di emissioni inferiori a quelle che si hanno in condizioni di traffico reali. Abbiamo pertanto proceduto a confrontare - per le auto vendute anche negli USA e quindi sottoposte al test EPA (15 vetture su 30, alimentate a benzina, diesel o ibride) - le stime proposte dal database EPA con quello proposte dal database VCA: i valori indicati dall'EPA per le emissioni di CO<sub>2</sub> nel ciclo combinato sono superiori del 76% a quelli indicati dal database VCA. Nel prosieguo dell'analisi manteniamo comunque i valori desunti dal database VCA in quanto il database EPA non dispone di tutti i modelli in vendita in Italia.

## 2.2 La stima delle emissioni per le automobili elettriche

Per la stima delle emissioni delle automobili elettriche sono necessarie due informazioni: 1) il loro consumo medio di elettricità per km percorso e 2) le emissioni di CO<sub>2</sub> necessarie per produrre e distribuire una unità di energia elettrica.

Tabella 6 – Automobili elettriche pure

Produttore	Modello	Descrizione	Wh/km
BMW	i Series, From November 2013	i3	129
CITROEN	C-Zero	C-Zero	126
KIA	Soul	EV	147
MERCEDES-BENZ	B-Class, Model Year 2016	B250 e with 16" rear wheels	176
MITSUBISHI	i-MiEV	i-MiEV	135
NISSAN	Leaf	Leaf	173
NISSAN	Leaf, 2016	Leaf 30kWh	150
PEUGEOT	iOn	iOn	126
RENAULT	Zoe	Zoe	146
TESLA	Model S	70	185
VOLKSWAGEN	Golf	eGolf	127
VOLKSWAGEN	UP	e-UP	117
Valore medio			145

Fonte: VCA (2016)

Desumiamo il primo dato dal database VCA (Tabella 6). Risulta che in media le auto elettriche al momento in vendita in Italia consumano 145 wattora per percorrere un km. Si noti come l'efficienza energetica sia abbastanza differenziata, risentendo in particolare (ma non solo) della dimensione del veicolo. Le autoelettriche selezionate sono in vendita in Italia, a parte la Tesla Model S, hanno dimensioni sufficientemente comparabili con le ICEV ed HEV precedentemente esaminate. Anche per le auto elettriche abbiamo confrontato i dati sull'efficienza energetica proposti dal database VCA con quelli pubblicati dal EPA per le 7 auto aventi una valutazione in entrambi i database. L'EPA stima valori di consumo in media superiori del 32%, spiegabili con la diversità tra il test NEDC e quello EPA.

Il secondo dato è derivato dall'ENEA (<http://kilowattene.enea.it/KiloWattene-CO2-energia-primaria.html#>) che presenta una stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla produzione di energia elettrica in termini del quantitativo di CO<sub>2</sub> per kilowattora, riferito all'unità di consumo effettuato al punto di prelievo domestico, ossia "al contatore". Il dato incorpora quindi le perdite di energia derivante dalla trasmissione delle stesse lungo le linee elettriche.

Tabella 7 – Fattore di emissione di CO<sub>2</sub> per kilowattora di energia elettrica al contatore [g CO<sub>2</sub>/kWh]\*

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
508,4	525,9	517,9	503,7	489,7	488,2	478,6	464,8	422,0	409,7	399,3	393,4	352,4

\* con correzione per CO<sub>2</sub> derivante dall'import e per maggiori perdite rete bassa tensione

Risulta che per ogni kilowattora consumato al contatore domestico, vengano emessi nel 2013 352,4 grammi di CO<sub>2</sub>. Moltiplicando tale valore per 0,145 kWh necessari in media per percorrere 1 km con un'auto elettrica, il risultato è che le BEV comportano in Italia in media una emissione di 51 grammi di CO<sub>2</sub>. La stima completa delle emissioni relative alle fasi di uso dei veicoli è quindi riportata in Tabella 8.

Tabella 8 – Emissioni medie di CO<sub>2</sub> per tipologia di alimentazione nel campione selezionato per l'Italia

	Emissioni di CO <sub>2</sub> medie (g/km)	BEV=100
ICEV – Benzina*	111	218
ICEV – Diesel*	108	212
HEV – Ibride*	92	180
BEV**	51	100

\* Emesse nella fase di uso dell'auto durante la combustione

\*\* Emesse nelle centrali di produzione dell'energia elettrica

Le ICEV emettono più del doppio delle BEV e le HEV l'80% in più. Dalla Tabella 7 si nota anche che il fattore di emissione di CO<sub>2</sub> per kilowattora di energia elettrica al contatore è calato costantemente nel tempo, grazie alle sempre maggiore quota di fonti rinnovabili usate nella produzione di energia elettrica, che nel 2014 ha raggiunto la quota del 43% (16% carbone, 5% petrolio, 39% gas naturale). Il vantaggio relativo delle BEV sulle ICEV è fortemente dipendente quindi dal mix energetico, che potrebbe ulteriormente rafforzarsi nei prossimi anni vista la continua caduta dei costi di produzione delle fonti eoliche e solari e del costante aumento della loro capacità installate. Questo risultato non vale in modo univoco per tutti i paesi europei, come Cavallaro et al. (2016) hanno mostrato.

### 2.3 Le emissioni legate alla produzione delle automobili

A questo punto, per completare l'analisi del ciclo di vita, è necessario aggiungere alle emissioni legate ai combustibili, quelle legate alla produzione delle automobili. È necessario innanzitutto premettere che la quantificazione delle emissioni legate alla produzione dei veicoli e delle batterie e del loro smaltimento è ancora soggetta a dibattito nella letteratura internazionale, comprensibilmente dato che le BEV hanno pochi anni di vita e si stanno modificando rapidamente. Sul tema sono intervenuti contributi di Daimler AG (2012), Hawkins et al. (2012, 2013), Automotive Science Group (2014).

Tabella 9 – Emissioni di gas serra in grammi di g CO<sub>2</sub> equivalente.

	BEV - mix europeo, batteria Li-NCM*	ICEV - diesel	ICEV - benzina	BEV - mix europeo, batteria Li-NCM	ICEV - diesel	ICEV - benzina
Veicolo di base	34,0	34,0	34,0	19%	15%	13%
Motore	2,7	4,0	4,0	1%	2%	2%
Altre componenti	4,8	5,5	5,5	3%	2%	2%
Batteria	31,0	0,6	0,6	17%	0%	0%
Fase di uso, non legate al carburante	7,2	8,9	8,9	4%	4%	3%
Carburante\elettricità	97,0	170,0	200,0	53%	75%	78%
Smaltimento\riuso	4,7	3,4	3,4	3%	2%	1%
Totale	181,4	226,4	256,4	100%	100%	100%

\*Li-NCM: ioni di litio nickel-cobalto

Fonte: Tratta da Hawkins et al. (2013)

La Tabella 9 riporta una parte del più ampio studio pubblicato da Hawkins et al. (2013), in uno degli studi più dettagliati e citati, pubblicati su una rivista scientifica referata. Lo studio è condotto con la metodologia di

analisi del ciclo di vita e riguarda 9 tipi di impatto<sup>3</sup>, oltre a quello serra, in cui la BEV presa a riferimento è la Nissan Leaf con batteria a 24 kWh e la ICEV la Mercedes Classe A. I risultati sono presentati in termini di grammi CO<sub>2</sub> equivalente, un'unità di misura che permette di pesare insieme emissioni di gas serra diversi con differenti effetti climalteranti<sup>4</sup>. Si nota come:

- le BEV con mix energetico europeo producono complessivamente meno emissioni delle ICEV: il 29% in meno delle ICEV a benzina ed il 20% in meno delle ICEV diesel<sup>5</sup>.
- a parte la sostanziale differenza legate al carburante\elettricità (con le ICEV che emettono il doppio delle BEV, similmente a quanto da noi stimato per l'Italia), la principale differenza tra le ICEV e le BEV riguarda la batteria: alle BEV vengono attribuite circa 30 di g CO<sub>2</sub> equivalenti in più rispetto alle ICEV.
- Pertanto, il consumo di elettricità è responsabile nelle BEV del 53% delle emissioni complessive e la produzione e smaltimento emissioni della batteria del 17%. Nelle ICEV, invece, la fase di combustione del carburante è responsabile del 75-78% delle emissioni totali.

Sostituendo semplicemente nella tabella di Hawkins et al. (2013), i valori da noi ottenuti per la riga carburante/elettricità (in grassetto) – ovvero adottando i valori di Hawkins et al. (2013) per tutti gli altri aspetti relativi alla produzione dei veicoli ad eccezione dei consumi energetici - si ottiene la stima delle emissioni complessive di CO<sub>2</sub> per l'Italia<sup>6</sup> riportata in Tabella 10.

Tabella 10 – Una prima stima per l'Italia

	BEV	ICEV - diesel	ICEV - benzina	HEV
Veicolo di base	34,0	34,0	34,0	34,0
Motore	2,7	4,0	4,0	4,0
Altre componenti	4,8	5,5	5,5	5,5
Batteria	31,0	0,6	0,6	0,6
Fase di uso, non legate al carburante	7,2	8,9	8,9	8,9
<b>Carburante\elettricità</b>	<b>51,0</b>	<b>108</b>	<b>111</b>	<b>92</b>
Smaltimento\riuso	4,7	3,4	3,4	3,4
Totale	135,4	164,4	167,4	148,4

Il risultato principale è che le BEV emettono complessivamente meno CO<sub>2</sub> delle ICEV: il 19% in meno delle ICEV a benzina ed il 18% in meno delle ICEV diesel ed il 9% in meno delle ibride. Tutto ciò tenuto conto del parco attualmente circolante ed usando il mix energetico del 2013.

Nel panorama della letteratura internazionale, questo risultato non è sorprendente. Danielis (2015) riprende alcuni studi recenti che mostrano un vantaggio delle BEV rispetto alle ICEV in termini di CO<sub>2</sub> emesse in tutti gli Stati americani in cui il mix energetico è a basso contenuto di carbone, come quello italiano. Allo stesso risultato giungono studi europei, compreso il recente studio di Cavallaro et al. (2016), usando come database di riferimento quello compilato dall'EPA.

<sup>3</sup> Global warming (GWP100), terrestrial acidification (TAP100), particulate matter formation (PMFP), photochemical oxidation formation (POFP), human toxicity (HTPinf), freshwater eco-toxicity (FETPinf), terrestrial eco-toxicity (TETPinf), freshwater eutrophication (FEP), mineral resource depletion (MDP), and fossil resource depletion (FDP).

<sup>4</sup> Ad esempio una tonnellata di metano che ha un potenziale climalterante 21 volte superiore rispetto alla CO<sub>2</sub>, viene contabilizzata come 21 tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente. In questo modo è possibile paragonare tra di loro gas diversi, quando si considera il loro contributo all'effetto serra. Maggiore è il GWP, maggiore il contributo all'effetto serra.

<sup>5</sup> Hawkins et al. (2013) nel loro articolo di revisione del contributo precedente affermano: "We find that EVs powered by the European electricity mix reduce GWP by 26% to 30% relative to gasoline (originally 20% to 24%) and 17% to 21% relative to diesel (originally 10% to 14%)."

<sup>6</sup> Per le HEV, non considerate da Hawkins et al. (2013), si sono utilizzati gli stessi parametri delle ICEV a benzina, dato che molte HEV sono alimentate a benzina.

## 2.4 La CO<sub>2</sub> emessa per produrre le batterie agli ioni di litio: un approfondimento

Essendo la batteria la principale differenza tra le BEV e gli ICEV in termini di CO<sub>2</sub> emessi per la produzione e smaltimento del veicolo e delle sue componenti, ed essendo il tema ancora nuovo, ci sembra utile approfondire il tema. Hawkins et al. (2013) basano la loro stima di 31 g CO<sub>2</sub> equivalente per la batteria delle BEV sull'assunzione che la batteria agli ioni di litio nickel-cobalto (LiNCM) da 24 kWh duri 150.000 km, riconoscendo che tale ipotesi è cruciale per la stima e che non è condivisa da tutti. La durata è sostanzialmente legata al degrado della batteria stessa e dipende dai cicli di ricarica, dal tipo di ricarica e dalle condizioni ambientali. Lo stato delle conoscenze su questi aspetti è però ancora a livello iniziale. Da un lato, la durata effettiva delle batterie ha sorpreso molti commentatori, dall'altra si stanno affermando sul mercato BEV con batterie di dimensioni molto superiori, fino a 100 kWh (per migliorare l'autonomia delle auto) e modalità di ricarica fino a 400 kW (per ridurre i tempi di ricarica).

Un recente contributo di Dunn et al. (2015) sostiene, ad esempio, che le emissioni di CO<sub>2</sub> legate alla produzione delle batterie non sono di grosso rilievo. Essi argomentano che: a) le emissioni di CO<sub>2</sub> legate alla batterie agli ioni di litio, dipendono dalla scala di produzione: maggiore è la scala minori le emissioni; e b) che in alcuni casi il riciclo delle batterie consente di ridurre enormemente le emissioni ad esse connesse. Ciò li porta a concludere che le maggiori emissioni di CO<sub>2</sub> dei BEV rispetto agli ICEV, causate dalla produzione della batteria è totalmente compensato dopo soli 25 mila chilometri di percorrenza.

## 2.5 La produzione e distribuzione dei carburanti derivati dal petrolio.

La raffinazione ed il trasporto dei carburanti derivanti dal petrolio produce considerevoli emissioni di CO<sub>2</sub> che andrebbero contate nell'analisi del ciclo di vita delle ICEV. Allo stesso modo, andrebbero contabilizzate per le BEV le emissioni prodotte nelle fasi di estrazione delle fonti energetiche che entrano nella produzione dell'energia elettrica quali il carbone ed il gas naturale. La valutazione di queste emissioni risente però di una sostanziale mancanza d'informazioni attendibili. Date queste incertezze e difficoltà, tali emissioni sono spesso non considerate o sono considerate in modo poco trasparente. Per evitare di introdurre eccessivi elementi d'incertezza, si è deciso di non introdurle nelle nostre stime. Per ulteriori approfondimenti si può fare riferimento a Edwards et al. (2013).

## 3 Conclusioni

Il tema se le BEV emettano più o meno CO<sub>2</sub> delle ICEV, considerando l'interno del ciclo di vita, ovvero in una prospettiva che include tutte le fasi di estrazione dei materiali, produzione delle vetture e dei combustibili ed uso delle stesse, è ancora dibattuto nella letteratura scientifica e in diversi articoli giornalistici. Almeno a nostra conoscenza, non si dispone di stime che considerino espressamente l'Italia. Questo contributo propone una stima comparativa: a) basata sul database VCA che contiene informazioni relative ai consumi energetici ed alle emissioni di CO<sub>2</sub> per più di 45 mila automobili in vendita nel Regno Unito (e molte di queste anche in Italia) ed è aggiornato all'agosto 2016; b) concentrandosi sulle principali automobili vendute in Italia nel 2016, circa dieci per tipologia di alimentazione (a benzina, diesel, ibrida ed elettrica); c) tenendo conto delle emissioni di CO<sub>2</sub> durante la produzione di energia elettrica come stimate dall'ENEA per il 2013; d)

incorporando le stime sulle emissioni di CO<sub>2</sub> nella fase di produzione delle automobili e delle batterie, compresa la fase di smaltimento proposte nella letteratura internazionale.

Il risultato principale è che le BEV emettono complessivamente meno CO<sub>2</sub> delle ICEV: il 19% in meno delle ICEV a benzina, il 18% in meno delle ICEV diesel e il 9% in meno delle ibride.

Questo risultato va valutato alla luce di queste ulteriori precisazioni:

- Esistono diverse aree di incertezza, in particolare relativamente alle emissioni derivanti dalla produzione delle batterie per le automobili elettriche, ma anche relativamente alle emissioni che si producono per l'estrazione, il trasporto e la raffinazione della benzina e del diesel e per l'estrazione ed il trasporto del carbone e del gas naturale;
- La gamma di automobili BEV e ICEV è molto differenziata per dimensione e peso, per cui un confronto più omogeneo andrebbe fatto a livello di segmento; in particolare, le BEV si differenziano (e presumibilmente si differenzieranno ancora di più in futuro) per dimensione delle batterie in relazione ai livelli di autonomia richiesti. Le auto ibride plug-in (PHEV) non sono state prese in considerazione data la loro ancora scarsa diffusione in Italia.
- Un fattore determinante per il confronto, riconosciuto da tutti i commentatori, è il mix energetico, ovvero l'insieme delle fonti utilizzate per produrre l'energia elettrica. Negli ultimi anni il peso delle rinnovabili è cresciuto considerevolmente in Italia (ed anche a livello mondiale), contribuendo a rendere le BEV più ambientalmente efficienti. Tale andamento è il frutto dell'innovazione tecnologica, delle scelte degli agenti economici (famiglie, imprese, produttori di energia) e delle politiche pubbliche, tutti fattori che, come in premessa ricordato, determinano i parametri usati nell'analisi. Nella misura in cui il peso delle rinnovabili continuerà a crescere, aumenterà il vantaggio delle BEV rispetto alle ICEV in termini di contributo ai cambiamenti climatici.

## 4 Bibliografia

- Automotive Science Group (ASG) (2014-02-04). "Life-cycle Assessment of 1,300 Models Reveals Best of 2014". ASG Press Room. Retrieved 2014-02-22.
- Cavallaro, F., Danielis, R., Nocera, S., Rotaris, L. (2016) Should BEVs be subsidized or taxed? A European perspective based on the economic value of CO<sub>2</sub> emissions, (in valutazione presso una rivista scientifica internazionale)
- VCA - Vehicle Certification Agency (2016) Car and Van Fuel Consumption / CO<sub>2</sub> Databases, sito visitato il 3 gennaio 2016, <http://www.dft.gov.uk/vca/index.asp>
- Daimler AG. 2012. Environmental brochure: Smart fortwo electric drive. Daimler AG, Mercedes-Benz Technology Center, Stuttgart, Germany.
- Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., James, C., & Gallagher, K. G. (2015). The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. *Energy & Environmental Science*, 8(1), 158-168.
- Edwards R., Larivé J.F., Rickeard D., Weindorf W., 2013. WELL-TO-TANK Appendix 4 - Version 4.0. Description, results and input data per pathway. Luxembourg: Publications Office of the European Union
- Enea (sito) KiloWattene: Fattore di emissione di CO<sub>2</sub> e consumo di energia primaria per kilowattora di energia elettrica al contatore, , sito visitato il 3 gennaio 2016, <http://kilowattene.enea.it/KiloWattene-CO2-energia-primaria.html#>
- Hawkins, T.R., B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A.H. Strømman. 2012. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x

- Hawkins, Troy R.; Singh, Bhawna; Majeau-Bettez, Guillaume; Strømman, Anders Hammer (2013-01-13). "Corrigendum to: Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles Journal of Industrial Ecology". Journal of Industrial Ecology.
- Romeo Danielis (2015) Inquinano maggiormente le auto elettriche o le auto convenzionali? Stime recenti, variabili determinanti e suggerimenti di politica dei trasporti, *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, n. 3, art. 1.
- U. S. Environmental Protection Agency (October 2014). "Light-Duty Automotive Technology, Carbon Dioxide Emissions, and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2014" (PDF). EPA. Retrieved 2014-10-11. See Table 7.2 – MY 2014 Alternative Fuel Vehicle Powertrain and Range; p. 98; Table 7.3 for overall fuel economy (mpg-e), p. 100; Table 7.4 for tailpipe CO<sub>2</sub> emissions, p. 102; and Table 7.5 for upstream CO<sub>2</sub> emission, p. 105.
- UNRAE (2016), Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri, Top 10 per alimentazione - Settembre 2016, , sito visitato il 3 gennaio 2016, <http://www.unrae.it/>