

## POLITICAL POSITION PAPER

<b>TITOLO</b> <i>Usa un titolo che Indica chiaramente l'argomento o la questione trattata.</i>	<b>Analisi Comparativa Powertrain Automotive: ICEV vs BEV</b>
<b>KEYWORDS</b> <i>Elenca le parole chiave (3-5) che meglio riflettono il contenuto della proposta</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Comparazione Powertrain (ICEV vs BEV)</li> <li>● Life Cycle Assessment (LCA)</li> <li>● Total Cost of Ownership (TCO)</li> <li>● Transizione ecologica</li> </ul>
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> <i>Riassumi in massimo 10 righe la proposta politica, evidenziando <u>cosa</u> viene proposto, <u>perché</u>, e <u>come</u> realizzarlo.</i>	<p>I veicoli elettrici a batteria (Battery Electric Vehicles, BEV) stanno emergendo come una tecnologia chiave per decarbonizzare il trasporto su strada, mentre i veicoli con motore a combustione interna (Internal Combustion Engine Vehicles, ICEV) dominano ancora il mercato tradizionale [13]. La transizione dai motori termici a quelli elettrici è guidata dalla necessità di ridurre le emissioni di gas serra e l'inquinamento locale, in linea con gli obiettivi climatici e sanitari europei. Questo documento fornisce un'analisi tecnica estesa del confronto tra BEV ed ICEV, con focus sia sugli impatti ambientali lungo <b>l'intero ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA)</b> sia sugli aspetti economici del <b>Total Cost of Ownership (TCO)</b>. Verranno esaminati i principali indicatori ambientali (cambiamento climatico, consumo di risorse, tossicità umana, acidificazione, ecc.) e i costi totali di possesso in diversi Paesi (Italia, Germania, USA, Cina), includendo costi iniziali, energia/carburante, manutenzione, incentivi, svalutazione e durata di vita. L'obiettivo è evidenziare, con dati aggiornati da letteratura scientifica e studi accademici, perché nel medio-lungo periodo i BEV risultino preferibili agli ICEV sotto molteplici aspetti, fornendo anche raccomandazioni operative e di policy basate sull'evidenza.</p> <p>Prima di entrare nel dettaglio dell'analisi LCA, è importante notare che i veicoli elettrici non rappresentano un'innovazione moderna come molti potrebbero pensare. Agli albori dell'industria automobilistica, i veicoli elettrici erano già utilizzati per gli spostamenti urbani, equipaggiati con batterie al piombo. La loro diffusione iniziale era dovuta alla semplicità d'uso ed alla silenziosità rispetto ai primi motori a combustione.</p> <p>Tuttavia, lo sviluppo dell'industria petrolifera ha segnato un punto di svolta decisivo a favore dei motori a combustione interna (ICE). Il successo degli ICE è stato determinato principalmente dalle caratteristiche intrinseche del combustibile fossile: l'alta densità energetica e l'elevata densità di potenza hanno permesso di sviluppare veicoli con grande autonomia. Inoltre, la facilità di trasporto e stoccaggio del carburante ha consentito la creazione di una rete di distribuzione capillare, con tempi di rifornimento nell'ordine di pochi minuti.</p> <p>La rinascita dell'interesse per i veicoli elettrici è avvenuta negli anni '90, con la Cina come protagonista principale. Due fattori chiave hanno guidato questa riscoperta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La necessità impellente di ridurre l'inquinamento atmosferico nelle metropoli cinesi, dove la qualità dell'aria era diventata criticamente compromessa</li> </ul>

- La presenza di vasti giacimenti di terre rare nel territorio cinese, essenziali per la produzione di componenti elettrici ed elettronici. Come sottolineato da Deng Xiaoping: "Mentre i Paesi Arabi hanno il petrolio, la Cina ha le terre rare"

Questo vantaggio strategico ha portato nell'ultimo decennio al rapido sviluppo dell'industria automotive cinese nel settore dei BEV, attirando l'attenzione dell'Unione Europea che vede nella mobilità elettrica una chiave fondamentale per la decarbonizzazione dei trasporti. [12]

Dal punto di vista tecnologico, le batterie hanno fatto progressi significativi con l'introduzione delle tecnologie al litio. Tuttavia, permangono alcune limitazioni intrinseche: la densità energetica rimane inferiore rispetto ai combustibili fossili, i cicli di vita sono limitati e il peso complessivo dei pacchi batteria resta una sfida progettuale. Per contro, il motore elettrico si è dimostrato eccellente per l'autotrazione, offrendo prestazioni e comfort superiori, con un'efficienza energetica più che raddoppiata rispetto ai motori termici tradizionali.

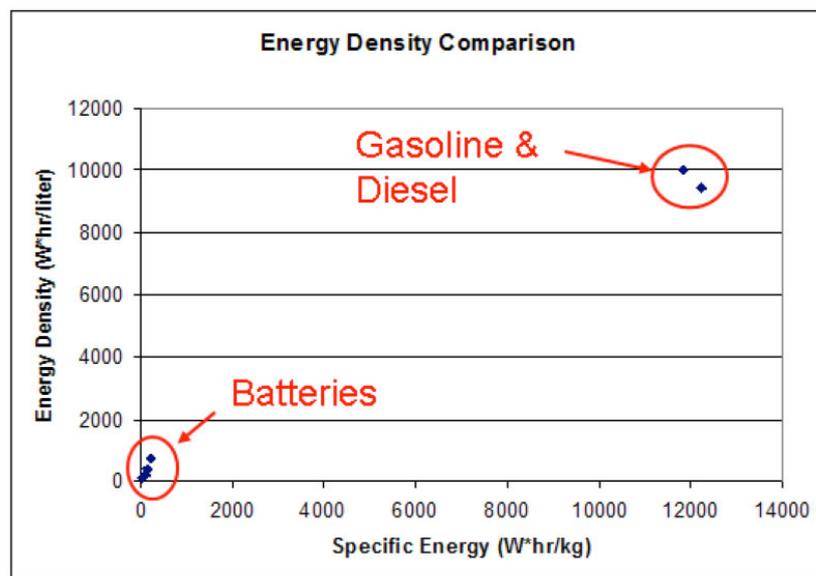


Figure 8: Comparison between batteries and hydrocarbon fuels energy density and specific energy [12].

**CONTESTO**

*Fornisci una breve panoramica dell'argomento, spiegando perché è rilevante e qual è l'attuale stato delle cose*

**Background normativo e descrizione delle fasi e delle variabili della metodologia**

L'LCA (Analisi ciclo vita) è lo strumento standard per confrontare gli impatti ambientali di prodotti, processi o servizio lungo **tutte le fasi del loro ciclo di vita**, dalla produzione allo smaltimento. In ambito automobilistico, un'LCA "cradle-to-grave" prende in esame:

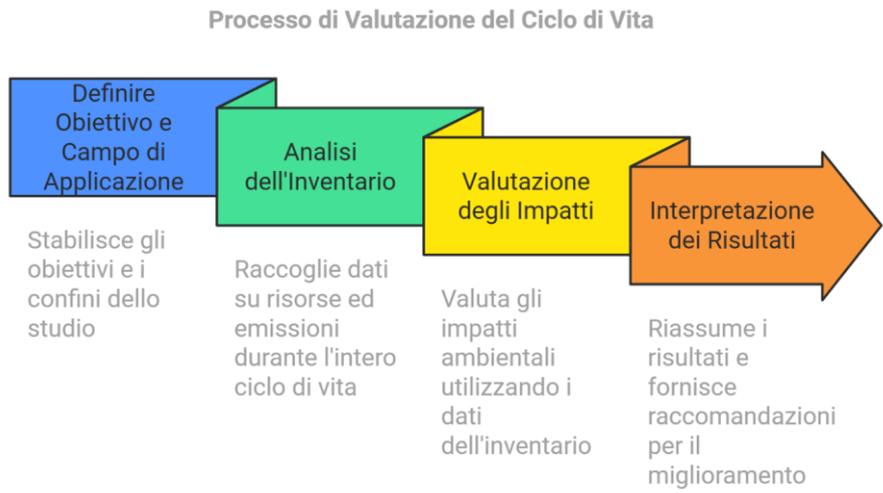
- **Produzione del veicolo:** estrazione e lavorazione delle materie prime, produzione dei componenti (in particolare la batteria nei BEV, il motore e il serbatoio nei ICEV) e assemblaggio.
- **Fase d'uso:** include l'energia consumata durante l'utilizzo (elettricità per la ricarica nei BEV, carburante fossile nei ICEV) e le emissioni allo scarico per i veicoli a combustione.
- **Fine vita (End of Life):** dismissione del veicolo, riciclaggio dei materiali (ad esempio riciclo del pacco batteria) e trattamento dei rifiuti residui.

Idealmente, un’LCA completa considera tutte queste fasi in modo esteso. In pratica, però, esistono differenze tra gli studi: alcuni possono escludere o trattare in modo semplificato la fase di fine vita, e **non tutti considerano in modo esaustivo i benefici del riciclo o del riutilizzo “second-life” delle batterie**. In questa analisi ci focalizziamo su studi **cradle-to-grave**, così da cogliere il quadro completo degli impatti. Inoltre, va tenuto conto che i risultati delle LCA automotive possono variare in base a numerose variabili di **setting**: ad esempio il mix energetico del Paese (che incide sulle emissioni legate alla ricarica dei BEV), l’efficienza dei motori, la durata di vita considerata (km percorsi), le tecnologie di produzione, ecc. La nostra analisi cercherà di evidenziare i trend comuni emersi nella letteratura scientifica al di sopra di queste variabilità di contesto.

L’approccio LCA è un approccio sistemico che espande le più comune analisi tank to wheel e quella well to wheel. Sebbene sia più complesso da analizzare, offre una comprensione più approfondita e completa del problema. Tuttavia, occorre tenere in considerazione che i risultati sono significativamente affetti dai dati di partenza e dalle assunzioni fatte durante la loro analisi.

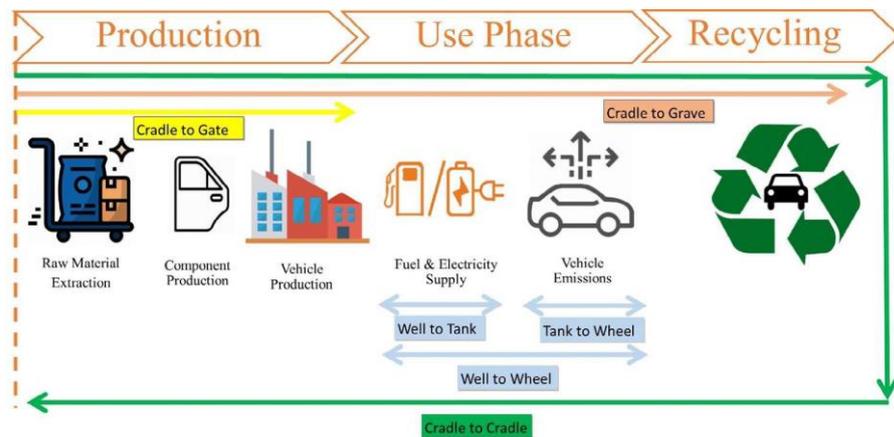
Approccio	Confine di sistema	Vantaggi	Limiti
<b>Tank-to-Wheel (TtW)</b>	Solo uso del veicolo, emissioni allo scarico	Semplice, dati immediati	Ignora produzione di carburante/vettore energetico (energy carrier) e veicolo; sovrastima il vantaggio dei BEV (zero emissioni)
<b>Well-to-Wheel (WtW)</b>	Produzione di carburante/energia + uso	Include efficienza energetica, produzione dei combustibili e mix elettrico di riferimento	Esclude fabbricazione, manutenzione e fine vita; sottostima differenze su materiali.
<b>Life Cycle Assessment (LCA)</b>	"Cradle-to-Grave": estrazione materie prime, produzione, uso, riciclo/smaltimento	Analisi sistemica e comparabile (ISO 14040/44), evidenzia trade-off su una moltitudine di aspetti, tra cui	Richiede dati complessi, scenari sensibili (mix produzione elettrica futura, tassi di riciclo), rigida definizione dei confini dell’analisi e chiare assunzioni di partenza. Questo, in mancanza di standard

			risorse e tossicità	condivisi, complica la comparazione tra i diversi studi disponibili in letteratura.	
<p>A livello internazionale, la serie di norme ISO 14040 fornisce il quadro di riferimento per la conduzione e la comunicazione delle LCA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>ISO 14040:2006:</b> Definisce i principi e il quadro generale per la LCA.</li> <li>● <b>ISO 14044:2006:</b> Specifica i requisiti e le linee guida per la conduzione della LCA.</li> </ul> <p>Oltre alle norme ISO, esistono altre normative e linee guida a livello nazionale e regionale che possono essere rilevanti per la LCA, a seconda del settore e del contesto specifico.</p> <p>Nel seguente report non sono contenute informazioni specifiche sulla normativa di riferimento per la LCA, quindi potrebbe essere necessario consultare altre fonti per approfondire questo aspetto.</p> <p>Le fasi principali di una LCA sono le seguenti:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione:</b> Questa fase iniziale definisce l'obiettivo dello studio LCA, il prodotto da analizzare, i confini del sistema, l'unità funzionale e i requisiti di qualità dei dati.</li> <li>2. <b>Analisi dell'inventario (LCI):</b> Questa fase comporta la raccolta di dati su tutti gli input (materiali, energia...) e gli output (emissioni, rifiuti...) associate a ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto. La LCI quantifica i flussi di materia ed energia in entrata e in uscita dal sistema del prodotto, creando un inventario completo degli impatti ambientali.</li> <li>3. <b>Valutazione dell'impatto (LCIA):</b> In questa fase, gli impatti ambientali identificati nella LCI vengono classificati e caratterizzati in base al loro potenziale impatto. La LCIA utilizza modelli e dati scientifici per valutare l'impatto di diversi fattori sull'ambiente e sulla salute umana, aggregandoli in categorie di impatto come il cambiamento climatico, l'acidificazione, la tossicità umana, l'eutrofizzazione e l'esaurimento delle risorse.</li> <li>4. <b>Interpretazione dei risultati:</b> In questa fase finale, i risultati della LCI e della LCIA vengono analizzati per identificare le fasi del ciclo di vita con i maggiori impatti ambientali, le aree di miglioramento e le possibili strategie di mitigazione. L'interpretazione dei risultati fornisce una base per il processo decisionale e l'implementazione di soluzioni sostenibili.</li> </ol>					



Esistendo diverse metodologie d'indagine, che si concentrano su particolari fasi di produzione, utilizzo e/o smaltimento dei prodotti, è stato necessario focalizzarsi sugli studi che considerano il ciclo vita "Cradle-To-Grave" cioè dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento del prodotto.

Relativamente alla fase di End of Life è necessario specificare che non tutti gli studi considerano esaustivamente gli effetti del riciclaggio del pacco batterie oppure del suo impiego in applicazioni Second Life.



Un'altra considerazione importante riguarda le differenze di setting all'interno degli articoli analizzati: le grandi differenze in termini di condizioni al contorno, mix energetici nazionali, configurazioni del powertrain ecc. non possono essere considerate adeguatamente se non con ulteriori studi. Questo documento cerca, quando possibile, di trovare dei pattern comuni al di sopra delle differenze di setting e, quando non è possibile, cerca di riportare alcune casistiche ritenute significative ma che non possono fornire delle risposte definitive alle questioni poste.

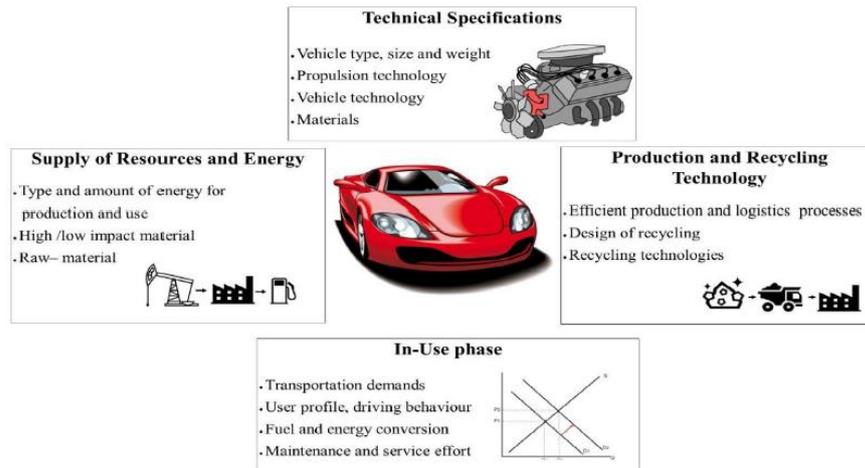


Fig. 1. Factors governing the life cycle of vehicle.

### I diversi fattori d'inquinamento e il loro impatto ambientale

Gli articoli selezionati analizzano una serie di fattori di inquinamento che riguardano la produzione, l'uso e lo smaltimento dei veicoli, in particolare quelli elettrici (BEV) e a combustione interna (ICEV).

Ecco alcuni dei più importanti tra quelli indicati dal EC-JCR (European Commission - Joint Research Centre) nel 2011ea:

- **Emissioni di gas serra (GHG):** emissioni di sostanze che contribuiscono al riscaldamento del pianeta. L'impatto di ciascuna sostanza è stimato dal GWP (Global Warming Potential) ad esso attribuito. Storicamente ci si è focalizzati sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, ma il focus si sta progressivamente ampliando ad altre sostanze tra cui metano (CH<sub>4</sub>) ed idrocarburi incombusti)
- **Esaurimento delle risorse abiotiche (ADP):** consumo significativo di risorse essenziali per le attività umane (litio, cobalto, nichel, rame...)
- **Esaurimento dei combustibili fossili (FDP):** Gli articoli evidenziano l'importanza di considerare il FDP nell'LCA, soprattutto per i paesi che dipendono fortemente da queste fonti energetiche.
- **Tossicità umana (HTP):** emissione di sostanze tossiche nell'ambiente, con potenziali impatti sulla salute umana (metalli pesanti, PM, Ozono, idrocarburi incombusti...).
- **Inquinamento atmosferico:** Le emissioni degli scarichi dei veicoli ICEV, inclusi NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e particolato, e la produzione di batterie contribuiscono all'inquinamento atmosferico e possono avere effetti negativi sulla salute umana e sull'ambiente.
- **Eutrofizzazione (ETP):** Il rilascio di nutrienti, come fosfati e nitrati, derivanti dalla produzione di fertilizzanti per la coltivazione di biocarburanti o dalla produzione di batterie, può contribuire all'eutrofizzazione di corpi idrici.
- **Acidificazione (ACP):** Le emissioni di SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, principalmente dai veicoli ICEV e dalla produzione di energia elettrica, possono contribuire all'acidificazione del suolo e delle acque.

Sebbene un'analisi completa dovrebbe considerare più fattori possibili, è evidente che la maggioranza degli studi si concentra sulle emissioni di gas serra e per questo vi è abbondanza di case study e dati [1][12].

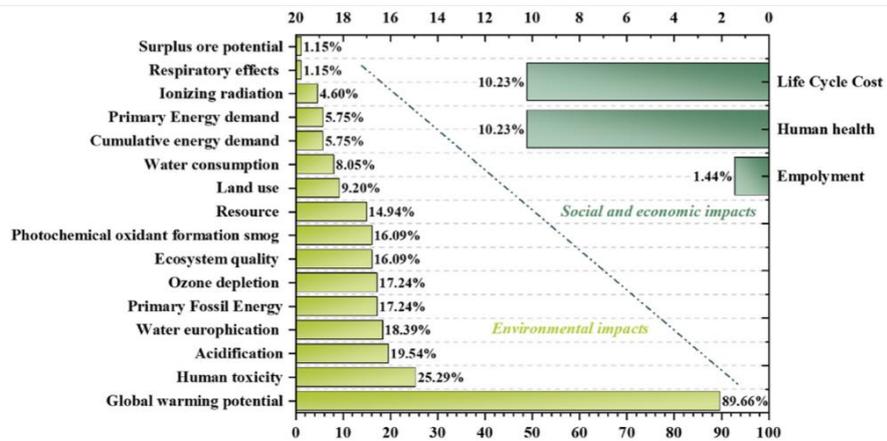
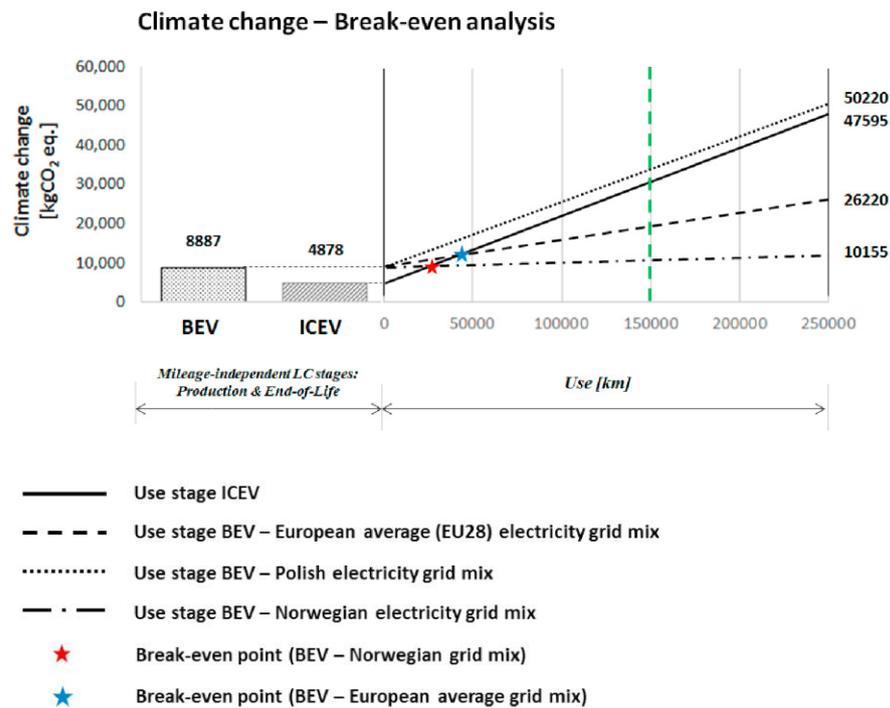


Fig. 4. Percentages of studies categorized by sustainability indicator.

Per quanto riguarda la distribuzione geografica degli articoli, sembra probabile che la concentrazione maggiore di studi si trovi in quei paesi che, non essendo produttori di batterie, si pongono maggiormente il problema di quantificare gli effetti collaterali della produzione e di indagare possibili modelli alternativi come il riciclo e la "seconda vita" [1].

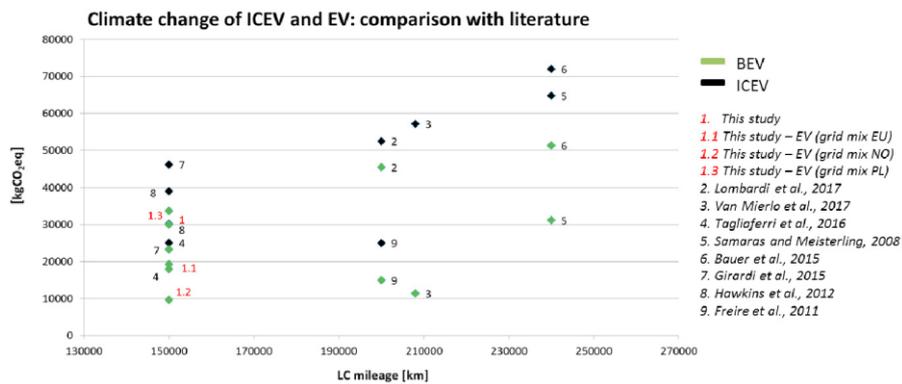
**Alcuni risultati dalla letteratura scientifica: confronto tra le emissioni di gas serra**



Sebbene non si stiano specificando le caratteristiche dei due powertrain presi in esame, questione cruciale ma che viene meno qualora si posseggano numerosi dati da differenti studi in modo da sintetizzare ed interpretare i risultati oltre il singolo caso, sono chiari i seguenti punti [5]:

1. La produzione di batterie influisce sulla quantità di CO2 emessa durante la produzione del veicolo rendendo più impattante la produzione di BEVs rispetto alla produzione di ICEVs.
2. Le emissioni derivanti dall'uso del veicolo sono dipendenti dal mix energetico della nazione in cui viene consumata l'energia elettrica
3. A meno di nazioni fortemente dipendenti dai combustibili fossili (es. Polonia), si può identificare un punto di pareggio, in termini di chilometri percorsi, oltre il quale le emissioni di un BEV sono minori rispetto a quelle di un ICEV

Queste conclusioni sono avvalorate dal seguente grafico che sintetizza i risultati di diverse altre analisi LCA [5]:



A parità di condizioni (chilometri percorsi, nazione, setting dell'analisi...) risulta evidente che i veicoli basati su motori a combustione interna emettano più kg equivalenti di anidride carbonica considerando tutte le fasi del ciclo vita, dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento del veicolo.

Un'ultima considerazione riguarda l'impiego di biocarburanti al posto, almeno in parte, dei combustibili di origine fossile.

In uno studio Brasiliano [8], da considerare limitatamente proprio perchè un solo studio, sono stati confrontati diversi scenari di utilizzo in cui le variabili sono il tipo di veicolo utilizzato e, nel caso di veicoli con un motore termico, alcune possibili alternative per quanto riguarda il combustibile utilizzato:

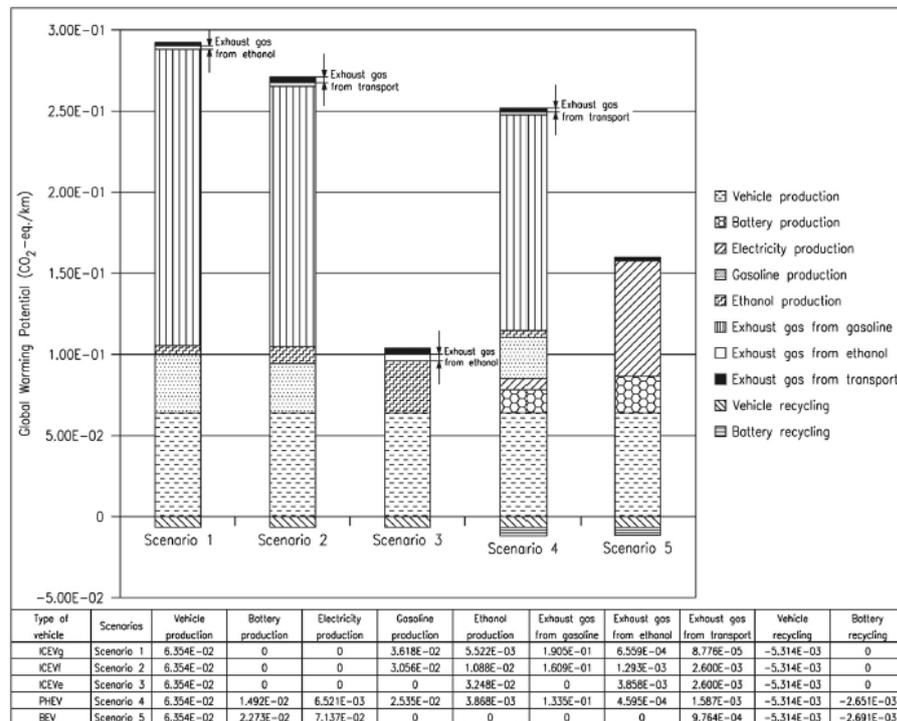
SCENARIO	POWERTRAIN	FUEL	SIGLA
Scenario 1	Internal Combustion Engine Vehicle	Gasoline	ICEVg
Scenario 2	Internal Combustion Engine Vehicle	Mixture of ethanol (E25) and ethanol (FFVs)	ICEVf

Scenario 3	Internal Combustion Engine Vehicle	ethanol	ICEVe
Scenario 4	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	Mixture of ethanol (E25) and ethanol (FFVs)	PHEV
Scenario 5	Pure Battery Electric Vehicle	/	BEV

Sebbene un singolo studio non sia sufficiente per trarre informazioni inequivocabili sul contributo che questi biocarburanti possono avere sull'ammontare di CO2 emesso nel Life Cycle, verranno riportati i risultati in modo da poter approfondire e verificare i dati confrontandoli con altra letteratura.

**Table 2**  
Summary of the different proportions of gasoline, ethanol and electricity used in the five different scenarios analyzed in this work.

Scenarios	For entire life cycle of vehicle (160,000 kJn)			For Functional Unit (1 km)		
	Gasoline (l)	Ethanol (l)	Electricity (kwh)	Gasoline (l)	Ethanol (l)	Electricity (kwh)
Scenario 1	9836.10	3278.70	—	0.061	0.020	—
Scenario 2	8108.10	6306.30	—	0.051	0.039	—
Scenario 3	—	18823.50	—	—	0.118	—
Scenario 4	7137.90	2379.30	3751.80	0.045	0.015	0.023
Scenario 5	—	—	27200.00	—	—	0.170



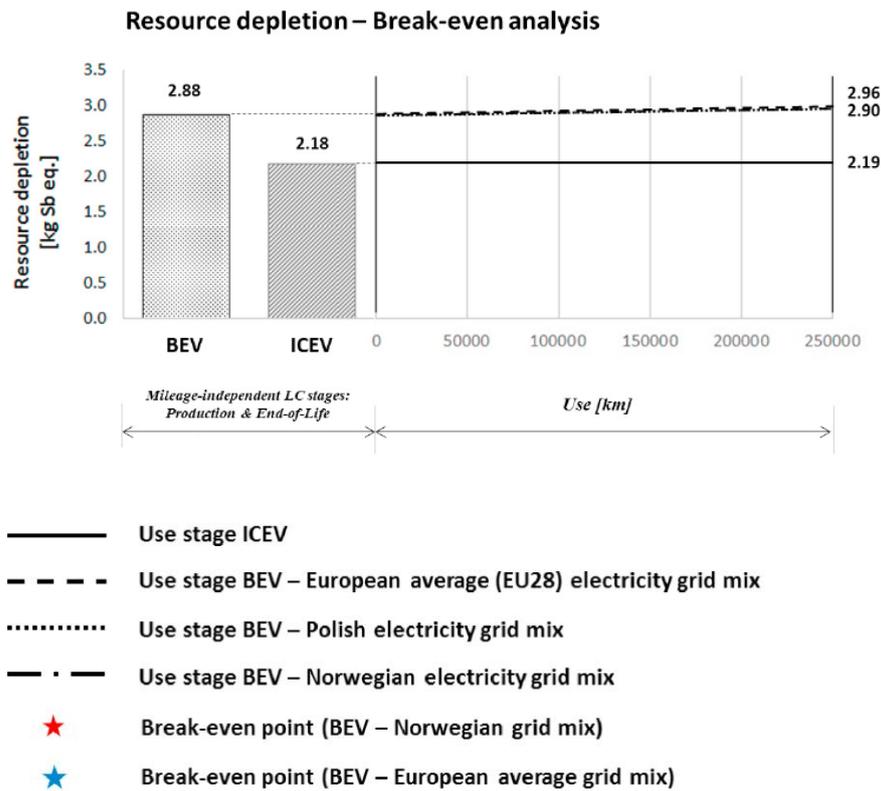
**Fig. 8** Global Warming Potential (GWP) for vehicles under Brazilian conditions.

Dal precedente grafico sembrerebbe che il veicolo elettrico a batteria sia più impattante, in termini di kgCO2eq, rispetto al veicolo alimentato completamente attraverso l'uso di biocombustibile.

**Risultati dalla letteratura scientifica: consumo di risorse (ADP e FDP)**

Questa analisi ha l'obiettivo di quantificare le risorse non rinnovabili, come minerali, metalli e combustibili fossili, consumate e ridotte nella disponibilità a causa delle attività industriali, della produzione e del consumo.

È pratica comune scegliere l'antimonio come sostanza di riferimento poiché è un metallo relativamente raro, e la sua estrazione comporta un impatto ambientale significativo.



La produzione di batterie richiede l'estrazione di grandi quantità di metalli, come cobalto, nichel e manganese. Questa dipendenza risulta critica e pertanto grandi sforzi sono in atto a livello di ricerca per ridurre la quantità di tali metalli. Esempio ne è la crescente diffusione delle batterie LFP negli ultimi anni.

L'estrazione mineraria intensiva contribuisce inevitabilmente all'esaurimento delle riserve di questi metalli e man mano che le risorse facilmente accessibili si esauriscono, le aziende minerarie sono costrette a rivolgersi a giacimenti di qualità inferiore o situati in aree remote e sensibili dal punto di vista ambientale. Questo può portare ad un aumento dell'impatto ambientale e della tossicità umana, poiché sono richiesti processi di estrazione e lavorazione più invasivi e inquinanti.

Dalla figura 8 è possibile vedere come lo studio indichi un aumento percentuale del 32% del consumo di risorse non rinnovabili (ad eccezione dei combustibili fossili) rispetto al consumo necessario per la produzione e l'utilizzo di un veicolo a combustione interna. Questo gap è determinato quasi esclusivamente in fase di estrazione e produzione, durante la fase di utilizzo la variazione è minima.

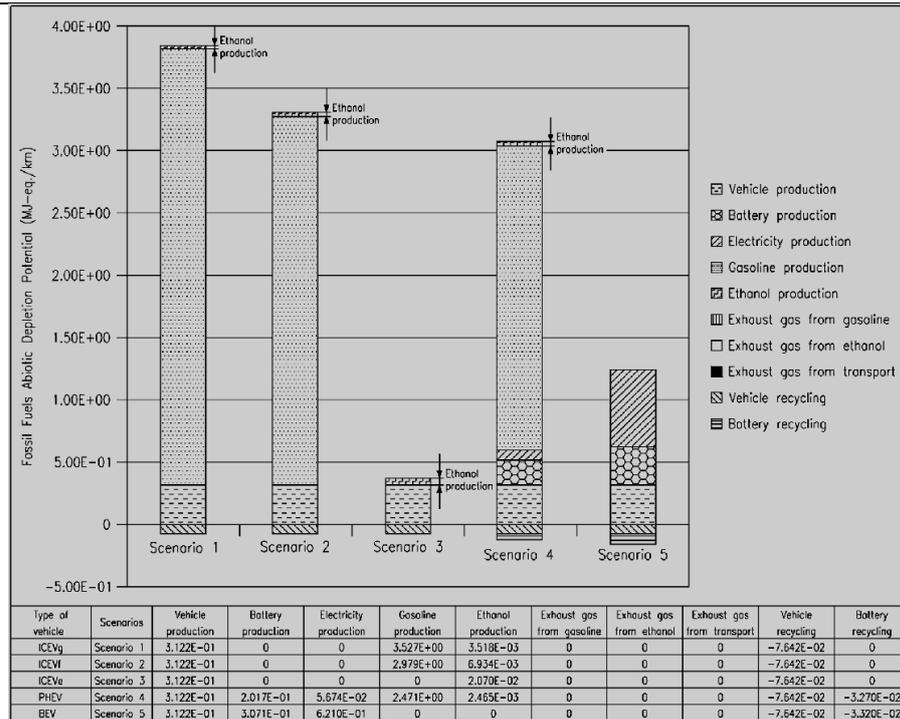


Figure 9: Consumo di combustibili fossili in 5 scenari diversi [8]

La valutazione della quantità di combustibili fossili consumati, posto che l'unità di misura è quella dell'energia (potrebbero essere usati anche i Kg Oil eq.), vede mantenersi comprensibilmente i risultati già ottenuti con il calcolo delle emissioni di anidride carbonica.

### Risultati dalla letteratura scientifica: tossicità umana (HTP)

L'analisi della tossicità umana (Human Toxicity Potential, HTP) è una componente cruciale dell'analisi del ciclo di vita (LCA) che quantifica gli effetti delle sostanze chimiche sul corpo umano derivanti dall'esposizione diretta o indiretta.

Per esprimere l'effetto tossico di una sostanza e confrontare gli impatti di diverse sostanze chimiche, si utilizzano diverse unità di misura equivalenti, nei documenti :

- **kg di 1,4-dicloro-benzene equivalente (kg 1,4-DCB eq.)** [2][4]: funge da sostanza di riferimento per la sua tossicità ben documentata.
- **kg di benzo(a)pirene equivalente (kg BaP eq.)**[8]: il benzo(a)pirene (BaP) è un composto cancerogeno utilizzato come riferimento per la tossicità cancerogena.
- **CTUh (comparative toxic unit human)** [5]: esprime il numero di casi potenziali di effetti nocivi sulla salute umana (ad esempio malattie) per unità di massa di una sostanza emessa nell'ambiente.

L'estrazione e la lavorazione dei metalli necessari per la produzione di batterie, in particolare del cobalto, costituiscono le principali fonti di tossicità per gli esseri umani. Secondo [8], l'indice HTP relativo a queste attività potrebbe essere addirittura il doppio rispetto a scenari alternativi che non considerano l'uso di veicoli elettrici a batteria (BEV).

Il riciclaggio delle batterie emerge dunque come una soluzione necessaria per mitigare l'impatto della HTP, recuperando i materiali e riducendo la necessità di estrarre nuove risorse. Quest'ultimo aspetto merita ulteriori analisi in futuro.

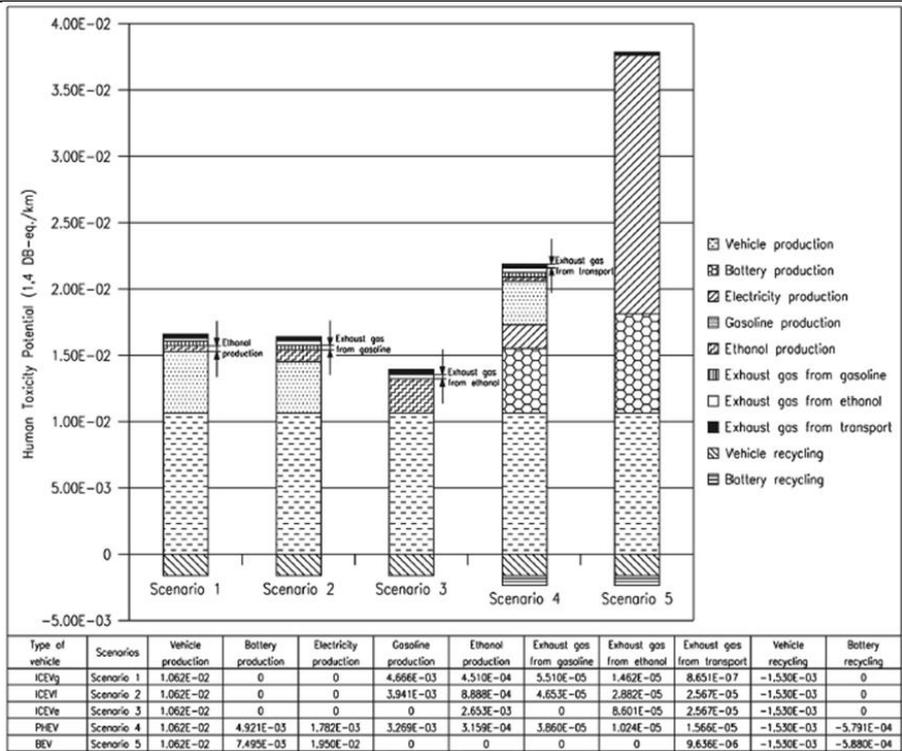


Figure 10: HTP in cinque differenti scenari [8]

Table 3  
LCA results of BEV and ICEV of various authors.

Country/Year	Type of analysis	Results		References
		Climate change, kg CO <sub>2</sub> eq/km	Human toxicity, kg 1.4 DB eq/km	
Poland, 2018	Cradle-to-grave	BEV 2015: 0.276	BEV 2015: 0.331	[32]
		BEV 2050: 0.172	BEV 2050: 0.234	
		ICEV-petrol: 0.284	ICEV-petrol: 0.085	
Canada, 2017	Well-to-wheel	BEV: 0.160	BEV: 0.26	[33]
		ICEV-petrol : 0.270 ICEV-diesel : 0.230	ICEV-petrol: 0.03 ICEV-diesel : 0.04	
Italy, 2018	Cradle-to-grave	BEV: 0.129	BEV: 0.027	[34]
Sweden, 2014	Wheel-to-wheel	ICEV: 0.203	ICEV: 0.00057 BEV: 0.460	[35]
Switzerland, 2015	Wheel-to-wheel	BEV 2012: 0.220	ICEV-petrol: 0.27 ICEV-diesel: 0.25	[36]
		BEV 2030: 0.090	BEV 2012: 1.0 BEV 2030: 0.3	
		ICEV-petrol 2012: 0.30	ICEV-petrol 2012: 0.26	
		ICEV-petrol 2030: 0.24	ICEV-petrol 2030: 0.24	
Italy, 2015	Well-to-tank	ICEV-diesel 2012: 0.26	ICEV-diesel 2012: 0.27	[37]
		ICEV-diesel 2030: 0.21	ICEV-diesel 2030: 0.25	
		BEV: 0.155	BEV: 0.136	
		ICEV-petrol: 0.300	ICEV-petrol: 0.095	

È necessario evidenziare la grande variazione dei risultati a seconda delle condizioni al contorno: Lo studio [4] confronta i livelli di emissioni di gas serra (GHG) e di tossicità umana lungo il ciclo di vita in diversi paesi e conclude che i livelli di emissioni diminuiscono per i veicoli elettrici (EV) rispetto ai veicoli a combustione interna (ICEV). Tuttavia, si osserva un aumento del livello di tossicità umana per gli EV, dovuto al maggiore utilizzo di metalli, terre rare, sostanze chimiche ed energia necessari per la produzione del powertrain e delle batterie ad alta tensione.

**Risultati dalla letteratura scientifica: Altri fattori**

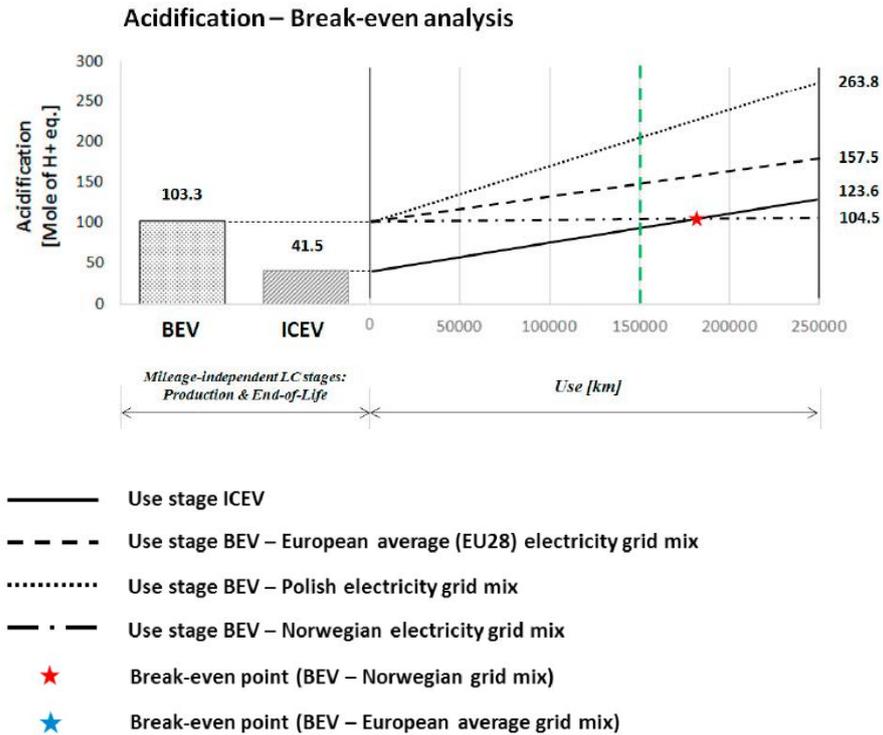


Figure 12: Confronto tra l'impatto di un BEV e un ICEV sull'acidificazione [5]

L'acidificazione è un problema ambientale causato da inquinanti acidificanti come NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> che raggiungono l'atmosfera e reagiscono con il vapore acqueo per formare acidi. Queste emissioni provengono da diverse fonti, tra cui la produzione di energia, i trasporti e l'agricoltura.

L'acidificazione è un problema particolarmente critico per i biocarburanti di prima generazione (ovvero quelli ottenuti da colture appositamente predisposte). Secondo quanto riportato in [8] l'etanolo, sebbene considerato un'alternativa più ecologica alla benzina, contribuisce comunque all'acidificazione a causa dell'uso di fertilizzanti, prodotti chimici e la combustione della bagassa di canna da zucchero.

Per quanto riguarda le batterie [2][5][8]:

- La produzione di batterie per veicoli elettrici contribuisce in modo significativo all'impronta di acidificazione rispetto ai veicoli a motore a combustione interna
- L'impatto dell'acidificazione è ulteriormente aggravato dalla produzione di componenti delle batterie come pasta per elettrodi, contenitori per celle ed elettroliti, che richiedono un uso intensivo di energia e risorse
- La produzione di elettricità per l'alimentazione di BEVs contribuisce all'acidificazione, in misura variabile in funzione del mix energetico locale

Ancora una volta, il riciclaggio e la scelta di una chimica della batteria appropriata possono mitigare significativamente questo impatto. Lo sviluppo di tecnologie di riciclaggio più efficienti e la transizione verso un mix energetico più pulito sono perciò essenziali per ridurre ulteriormente l'impronta di acidificazione delle batterie.

A questo proposito le batterie al litio ferro fosfato (LFP) hanno generalmente un impatto ambientale inferiore rispetto alle batterie al nichel manganese cobalto (NMC) a causa della minore dipendenza da metalli come il cobalto, la cui estrazione è associata a significative

emissioni acidificanti. Tuttavia, la loro diffusione è stata sinora limitata da problemi tecnici legati alla loro minore energia e potenza specifica [1][6], che stanno tuttavia venendo risolti negli ultimi anni.

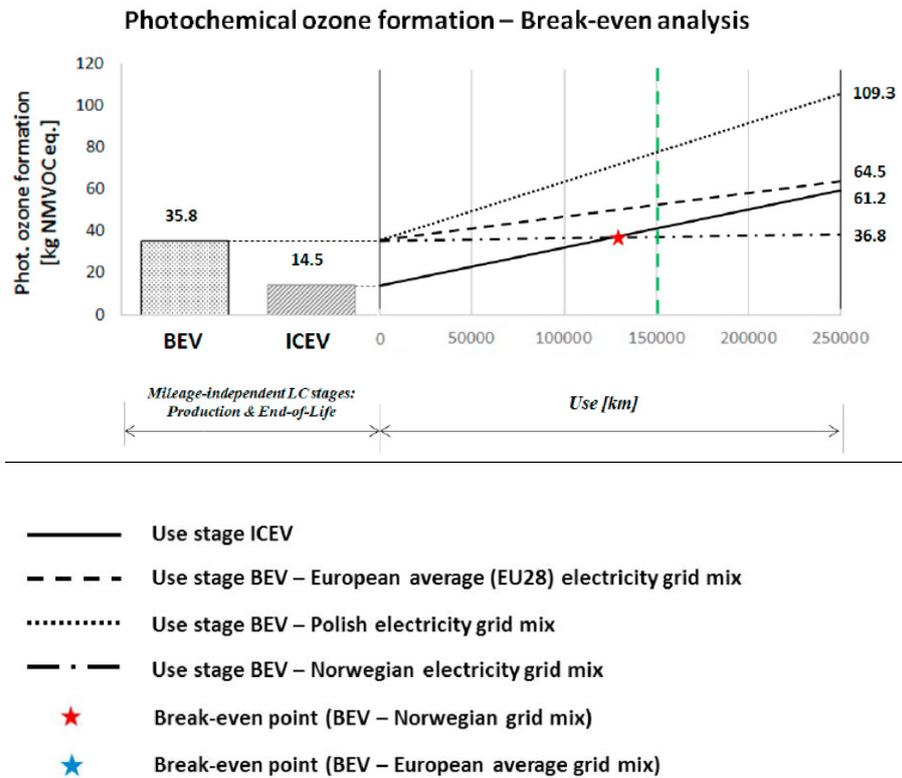


Figure 13: Confronto tra l'impatto di un BEV e un ICEV sulla formazione di ozono [5]

L'ozono fotochimico si forma quando gli ossidi di azoto (NOx) e i composti organici volatili (come gli idrocarburi incombusti) reagiscono in presenza di luce solare. Questa reazione chimica complessa crea ozono troposferico, un inquinante atmosferico dannoso per la salute umana e per l'ambiente:

- Le emissioni di NOx provenienti dai veicoli a combustione interna sono una fonte significativa di precursori dell'ozono fotochimico [5]
- La produzione di BEV, in particolare la fase di estrazione e lavorazione dei metalli per le batterie, contribuisce anche alle emissioni di NOx, aumentando il potenziale di formazione di ozono fotochimico [5]

Per una comprensione più completa della formazione dell'ozono fotochimico, sarebbe necessario consultare fonti aggiuntive che trattino specificamente questo argomento.

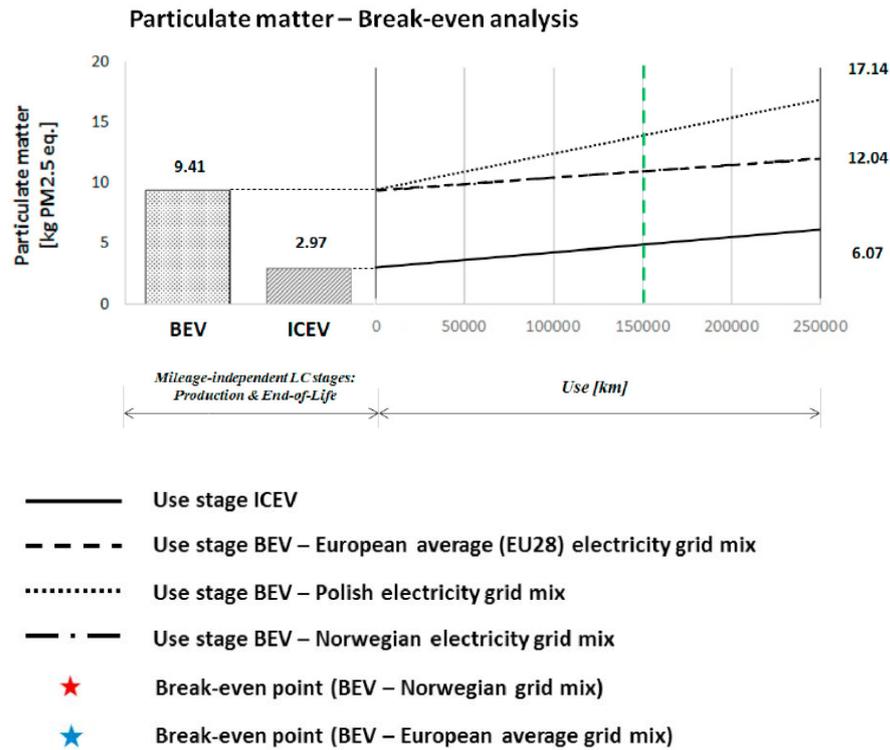


Figure 14: Confronto tra l’impatto di un BEV e un ICEV sulla formazione di particolato [5]

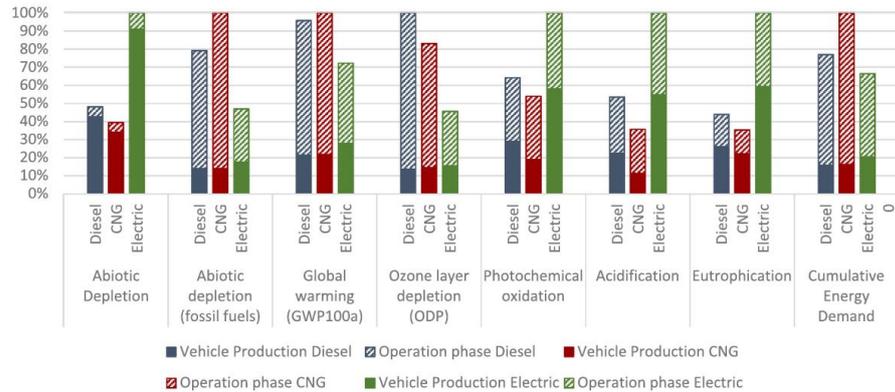
I veicoli a combustione interna (ICEV) sono una fonte significativa di inquinamento atmosferico, comprese le emissioni di particolato; i veicoli elettrici a batteria (BEV) producono meno emissioni di particolato rispetto ai veicoli ICEV durante la fase di utilizzo, tuttavia, la produzione di BEV, in particolare la produzione delle batterie, può comportare emissioni significative di PM specialmente nella fase di estrazione e lavorazione dei metalli e soprattutto in presenza di mix energetici che coinvolgano il consumo di carbone[5].

Ulteriori approfondimenti andrebbero effettuati per meglio comprendere l’impatto degli inquinanti sulla salute. Infatti, l’emissione di particolato nelle fasi di produzione avviene generalmente in aree a bassa densità abitativa, riducendo così il numero di persone esposte a tali sostanze. Ulteriori accertamenti andrebbero effettuati anche sulle prospettive di miglioramento futuro. Infatti, è più conveniente avere grosse sorgenti di emissioni concentrate (fabbriche, power plants, ...) che piccole sorgenti disperse (auto) in quanto più facilmente monitorabili ed ammodernabili.

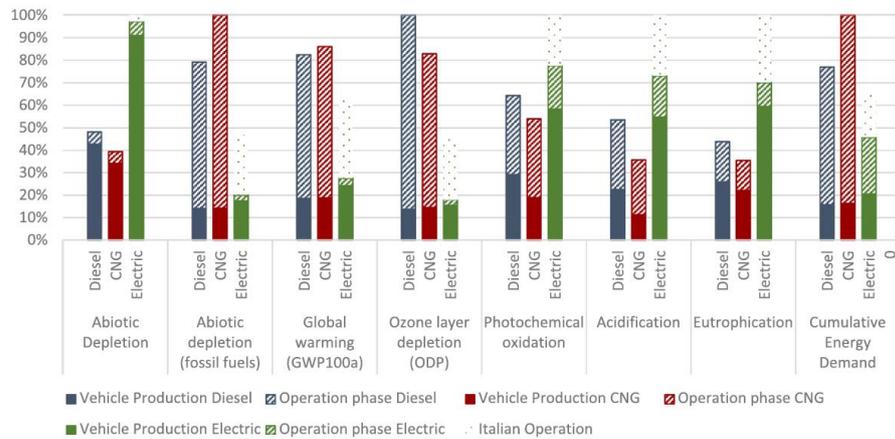
**Risultati dalla letteratura scientifica: studio comparativo**

Lo studio proposto in [10] analizza tre differenti versioni dello stesso modello di veicolo, destinato alla per la consegna urbana di merci, con una vita utile stimata in 240000 km. Le tre versioni si pasano su tre differenti powertrain: diesel, metano (CNG) ed BEV. I risultati sono coerenti con l’analisi presentata in questo documento. Come si evince dalla figura in basso, non esiste una soluzione in grado di migliorare ogni aspetto esaminato nella LCA. Pertanto, al fine di stabilire quale sia la tecnologia più adatta occorre comprendere in dettaglio l’impatto dei vari fattori di rischio e stabilire un ordine di priorità. Inoltre, **occorre tenere a mente che le analisi LCA generalmente forniscono una fotografia dello stato attuale delle cose. I risultati delle LCA infatti variano nel tempo in base all’evoluzione tecnologica che l’oggetto**

**analizzato subisce.** Pertanto, nell'interpretazione dei dati è fondamentale tenere in considerazione le prospettive di sviluppo futuro.



(a)



(b)

Attiva Windc

Figure 15: Complete life cycle impacts per travelled km (vehicle lifetime of 240.000 km and use phase M1) using the Italian electricity mix (a) e Norwegian electricity mix (b)

## Il motore ICEV al di fuori dei cicli di omologazione

La normativa sull'omologazione dei veicoli light-duty si basa su due distinte verifiche: test in laboratorio su banco a rulli e test su strada. Affinché la normativa sia implementata in maniera adeguata occorre che i metodi di verifica rispettino due criteri fondamentali:

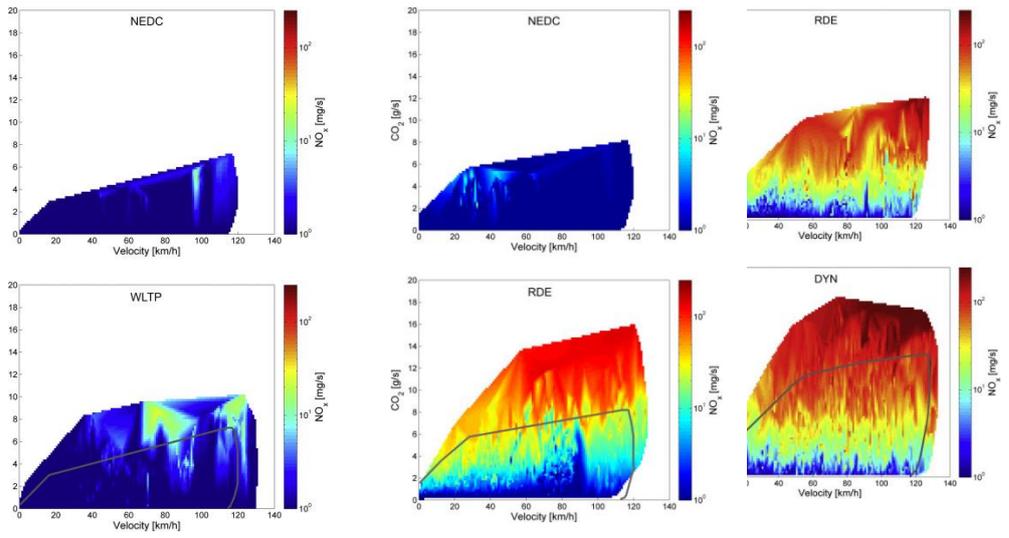
1. Siano ripetibili e riproducibili, in modo da favorire il confronto tra veicoli diversi.
2. Siano rappresentativi delle condizioni di guida reali.

Per lungo tempo si è cercato di raggiungere entrambi gli obiettivi mediante i soli test in laboratorio, fallendo. Per tale motivo, i test su strada sono stati affiancati a quelli in laboratorio. La logica dell'attuale legislazione è quella di usare i test in laboratorio ai fini della riproducibilità ed i test su strada ai fini della rappresentatività.

### Test in laboratorio

Il metodo tradizionale per misurare le emissioni dei veicoli leggeri durante l'omologazione utilizza un banco dinamometrico e un ciclo di guida predefinito per raccogliere le emissioni

	<p>inquinanti [18]. Tuttavia, l'efficacia di questi cicli nel rappresentare le condizioni di guida reali è una questione cruciale per valutare le emissioni dei veicoli [19].</p> <p>Negli ultimi anni, molti paesi (tra cui Europa, Stati Uniti e Cina) hanno sostituito gli obsoleti cicli modali (tipo NEDC) con cicli di guida più rappresentativi delle condizioni reali. In Europa, il passaggio dal NEDC al WLTC è iniziato nel 2017 ed è stato completato nel 2020 [20]. Anche la Cina ha adottato la procedura WLTP tramite il proprio ciclo di guida, il China Light-duty Test Cycle (CLTC) [21]. Negli Stati Uniti, gli standard CAFE utilizzano due cicli distinti, FTP-75 e HWFET, contribuendo rispettivamente al 55% e al 45% nel calcolo complessivo dei consumi [22].</p> <p>I cicli guida sono vantaggiosi per la loro riproducibilità, ma presentano limitazioni:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sono sequenze artificiali non riscontrabili nella guida reale.</li> <li>2. Non riflettono statisticamente i parametri delle condizioni di guida reali.</li> <li>3. Sono deterministici e facilmente rilevabili durante i test [23].</li> </ol> <p>Diversi studi evidenziano il crescente divario tra i valori di omologazione e le prestazioni reali dal 1990 al 2015. In Europa, il divario nei consumi è aumentato dal 10% al 50%, con una crescita particolarmente accentuata a partire dall'introduzione degli obiettivi di emissione di CO<sub>2</sub> nel 2009 [24]. In Cina è cresciuto dal 12% nel 2008 al 27% nel 2015 [25], mentre negli USA il divario è passato dal 14% nel 2004 al 31% nel 2015 [26].</p> <p>Ulteriori limiti del NEDC includono flessibilità e tolleranze nei test che hanno contribuito alla crescita del divario [27]. L'adozione del WLTP nel 2017 ha ridotto il divario al 10–15% [28], migliorando la rappresentatività per il consumo di carburante, ma sottovalutando le emissioni di NO<sub>x</sub>, con valori reali da 5 a 16 volte superiori a quelli registrati durante il test [29]. Sistemi di abbattimento degli inquinanti ottimizzati per i cicli di approvazione, come evidenziato nel Dieselgate del 2015, sollevano preoccupazioni sulla natura deterministica dei DC [30, 31].</p> <p><b>Test su strada</b></p> <p>L'introduzione dei sistemi PEMS (Portable Emissions Measurement System) negli anni '90 ha rivoluzionato i test su strada, diventando obbligatori per i veicoli pesanti (HDVs) nel 2014 e per i veicoli leggeri con il test RDE (Real Driving Emissions) nel 2017 [32].</p> <p>I test RDE mirano a coprire il 95% delle condizioni di guida reali, considerando parametri come altitudine, temperatura ambiente, carico e dinamiche di guida. Tuttavia, emissioni elevate sono registrate durante condizioni di guida sportive fuori dai limiti RDE, con NO<sub>x</sub> da 2 a 8 volte superiori e CO<sub>2</sub> da 1,4 a 1,8 volte maggiori [33].</p> <p>Critiche riguardano la post-elaborazione dei dati che esclude condizioni non normali, applica fattori di conformità per rendere o limiti meno stringenti ed introduce funzioni di trasferimento per la normalizzazione al WLTC, rischiando di attenuare i picchi di emissione [34].</p> <p><b>Comparazione grafica</b></p>
--	---



Comparazione tra esplorazione della mappa motore nel test NEDC (sopra) e nel test WLTP (sotto), con focus sulle emissioni di NOx. Veicolo sedan. Immagine da [29].

Comparazione tra esplorazione della mappa motore nel test NEDC (sopra) e nel test RDE (sotto), con focus sulle emissioni di NOx. Veicolo station-wagon. Immagine da [29].

Comparazione tra esplorazione della mappa motore nel test RDE (sopra) ed in condizioni extra-RDE (sotto), con focus sulle emissioni di NOx. Veicolo station-wagon. Immagine da [29].

## Total Cost of Ownership (TCO) a Confronto per Paese

Oltre agli aspetti ambientali, per consumatori e flotte è fondamentale il **costo totale di possesso** di un veicolo lungo il suo ciclo di vita (Total Cost of Ownership). Il TCO include tipicamente: **prezzo d'acquisto iniziale**, costi di **carburante/energia** per l'uso, spese di **manutenzione e riparazione**, **tasse** (bollo, ecc.), eventuali **incentivi/sussidi** o esenzioni, e il **valore residuo** a fine periodo (deprezzamento). Questi fattori possono variare notevolmente da un Paese all'altro. Di seguito analizziamo il confronto BEV vs ICEV in termini economici per Italia, Germania, USA e Cina, evidenziando le differenze chiave.

### Average TCO per country for the Mid-size standard segment (D1 & SUV-D1)

	AT	BE	CH	CZ	DE	DK	ES	FI	FR	GR	HU	IE	IT	LU	NL	NO	PL	PT	RO	SE	SK	UK
BEV	€ 1.121	€ 1.117	€ 1.204	€ 1.256	€ 1.143	€ 1.054	€ 1.059	€ 991	€ 861	€ 844	€ 1.100	€ 993	€ 1.162	€ 880	€ 1.073	€ 1.193	€ 959	€ 898	€ 1.034	€ 1.036	€ 961	€ 1.050
PHEV	€ 1.429	€ 1.059	€ 1.486	€ 1.327	€ 1.254	€ 1.120	€ 1.178	€ 1.132	€ 1.114	€ 1.044	€ 1.170	€ 1.068	€ 1.080	€ 1.209	€ 1.213	€ 1.247	€ 1.266	€ 1.289	€ 1.044	€ 1.141	€ 1.209	€ 1.224
Diesel	€ 1.120	€ 1.159	€ 1.376	€ 1.119	€ 1.135	€ 1.116	€ 1.042	€ 1.172	€ 1.140	€ 934	€ 1.147	€ 1.033	€ 1.038	€ 1.165	€ 1.305	€ 1.365	€ 931	€ 1.364	€ 1.006	€ 1.155	€ 958	€ 1.047
Petrol	€ 1.125	€ 1.143	€ 1.363	€ 1.139	€ 1.130	€ 1.137	€ 1.022	€ 1.149	€ 1.068	€ 1.038	€ 1.157	€ 1.066	€ 1.055	€ 1.180	€ 1.148	€ 1.475	€ 880	€ 1.466	€ 1.010	€ 1.114	€ 1.035	€ 1.079

### Italia

In Italia il costo iniziale di acquisto di un'auto elettrica è attualmente più elevato rispetto a un modello equivalente a benzina o diesel. Gli **incentivi statali** (Ecobonus) hanno offerto un contributo di 3.000-5.000€ per l'acquisto di BEV nuovi, variabile in base alla fascia di emissioni

e alla rottamazione. Nonostante questi incentivi, l'**esborso iniziale netto** per un BEV rimane attualmente superiore di alcune migliaia di euro rispetto a un ICEV.

I **costi operativi** delle auto elettriche in Italia sono però significativamente inferiori. Con il prezzo dei carburanti elevato (benzina e diesel a 1,7-1,8 €/L) e considerando un consumo medio di 15-18 kWh/100 km con un prezzo dell'elettricità di 0,20-0,25 €/kWh (tariffe 2023), il costo energetico per 100 km in BEV è di 3,0-4,5€, contro gli 8-12€ di un'auto a benzina che percorre 15 km/L. Questo si traduce in un **risparmio sul "carburante" del 60-70%** per km, generando centinaia di euro di risparmio annuo per chi percorre distanze significative. Il costo aumenta significativamente in caso però di ricarica da colonnine pubbliche, che oscillano tra 0,65-0,95 €/kWh, ciò significa che i costi operativi possono lievitare sino a 10-17 €/100km, a seconda della velocità di ricarica e della modalità di utilizzo. Nello scenario peggiore dunque in Italia i costi operativi di un BEV possono superare quelli di una termica classica, rendendo totalmente anti-economico l'acquisto di queste vetture.

La **manutenzione** ordinaria di un BEV è più economica grazie all'assenza di olio motore e alle minori parti mobili soggette a usura. I tagliandi costano circa il 20-30% in meno, eliminando molte spese tipiche dei motori a combustione come filtro olio, candele, frizione e marmitta.

Nonostante questi vantaggi operativi, l'Italia è tra i pochi Paesi europei dove il TCO (Total Cost of Ownership) di alcune categorie di EV risulta ancora **leggermente superiore** a quello delle auto tradizionali. Un'indagine su 22 Paesi europei ha evidenziato che il **costo totale di possesso di un'auto elettrica familiare è più conveniente in 19 Paesi su 22**, con *Italia, Polonia e Repubblica Ceca* come uniche eccezioni.

Questo ritardo italiano è dovuto a diversi fattori:

- Aumento del costo dell'elettricità nel 2022
- Mercato dell'usato EV ancora poco maturo (penalizzando il valore residuo)
- Incentivi discontinui con plafond limitati, che creano incertezza

In conclusione, per un automobilista medio italiano (10-15 mila km/anno), un BEV ha oggi un TCO simile o leggermente superiore a un ICEV senza incentivi. **Con gli incentivi e per chi percorre più chilometri, il BEV diventa economicamente vantaggioso** dopo alcuni anni grazie ai risparmi operativi. La *LeasePlan Car Cost Index 2022* prevede che il divario si ridurrà ulteriormente con la diminuzione dei prezzi delle batterie o un lieve aumento dei carburanti fossili, rendendo il TCO dei BEV più conveniente in quasi tutti i segmenti anche in Italia.

## Germania

La Germania è uno dei mercati più favorevoli per i veicoli elettrici (BEV), grazie a una combinazione di incentivi e tassazione dei carburanti. L'**ecobonus** ha offerto fino a €6.000 per BEV sotto i 40k € (ridotto a €4.500 nel 2023), con esenzione dal bollo decennale e agevolazioni fiscali per auto aziendali elettriche. I costi operativi vedono prezzi carburante di ~1,8 €/L e elettricità domestica a 0,30-0,35 €/kWh, con opzioni di ricarica notturna agevolata.

Studi europei confermano che in Germania il TCO dei BEV è già inferiore agli ICEV nella maggior parte dei segmenti. Per utilitarie e medie, il risparmio del 70% su carburante e manutenzione porta a centinaia di euro mensili di risparmio su 4-5 anni. La *LeasePlan Index 2022* conferma la convenienza dei BEV in quasi tutti i segmenti. Il **valore residuo** è ottimo grazie a un mercato dell'usato attivo e politiche anti-ICE nelle città. In sintesi, in Germania **il BEV è economicamente vantaggioso** grazie a incentivi, costi carburante e fiducia del mercato.

	<p><b>Stati Uniti</b></p> <p>Il TCO negli USA varia significativamente per regione. Il <b>prezzo d'acquisto</b> dei BEV resta superiore agli ICEV, nonostante il <i>Federal Tax Credit</i> di \$7.500 e incentivi statali (California \$2.000-4.000, New Jersey elimina sales tax). Il TCO medio nazionale rimane leggermente superiore ai veicoli tradizionali, principalmente per il basso costo dei carburanti (0,80-1,0 €/L) rispetto all'elettricità (\$0,13-0,15/kWh, con picchi di \$0,20+/kWh in California). Il <b>risparmio carburante</b> è modesto: \$5-7 vs \$8-10 per 100 miglia. La <b>manutenzione</b> costa 50% in meno per i BEV.</p> <p>Il TCO diventa vantaggioso con gli incentivi federali (es. Tesla Model 3 da \$40k a \$32.5k) e per chi percorre molti km (20-30k/anno). L'<b>eterogeneità geografica</b> è marcata: le coste (California, New York) favoriscono i BEV, gli stati centrali gli ICEV. Nel 2023, il 60% dei modelli elettrici ha TCO competitivo, specie nei segmenti medio-alti. Si prevede la <i>parità di costo totale</i> entro fine anni 2020, con maggiore <b>stabilità dei costi</b> rispetto ai carburanti tradizionali.</p> <p><b>Cina</b></p> <p>La Cina domina il mercato BEV con peculiarità uniche: <b>modelli a basso costo</b> (es. Wuling HongGuang Mini EV a \$5.000) e produzione locale efficiente. Il 60% dei BEV costa meno degli equivalenti benzina. Le <b>politiche locali</b> favoriscono fortemente i BEV: targhe gratuite per i BEV vs a pagamento (10.000+ €) per ICEV nelle megacittà. L'<b>elettricità economica</b> (0,05-0,10 €/kWh) rende il costo/km molto vantaggioso.</p> <p>Il <b>vantaggio di costo totale</b> raggiunge il 27% sull'intero ciclo vita, con risparmio medio di \$4.800 in 7 anni. Nel 2023 i BEV hanno superato il 25% delle vendite. L'unica preoccupazione riguarda la <b>svalutazione</b> per il rapido progresso tecnologico, ma il mercato maturo e regolamentato sta aumentando la fiducia nell'usato.</p> <p><b>Conclusioni sul TCO:</b> in linea generale, la Cina è in una situazione in cui <b>l'auto elettrica conviene economicamente</b> nella maggior parte dei casi (grazie al costo carburante o EV economici, rispettivamente), negli altri Paesi il vantaggio è meno marcato ma in rapido miglioramento [14]. Vale la pena notare che i <b>costi delle batterie (principale componente di costo dei EV)</b> sono diminuiti di ~85% nell'ultimo decennio e si prevede continueranno a scendere, anche se a un ritmo più lento; ciò dovrebbe ridurre i prezzi di acquisto dei BEV. Molti analisti prevedono che attorno al <b>2025-2027 si raggiungerà la parità di prezzo iniziale</b> tra BEV e ICEV in diversi segmenti e mercati, eliminando l'ultima barriera economica all'adozione di mass [13]. Quando ciò avverrà, il TCO dei BEV diventerà sicuramente inferiore anche in altri Paesi oltre la Cina, poiché già oggi, nonostante l'aumento dei prezzi dell'energia, i costi di esercizio nella maggior parte dei casi rimangono significativamente più bassi per le auto elettriche rispetto a benzina o diesel (15% del TCO contro 23-28% nei termici solo per il carburante, secondo LeasePlan [15]). In altre parole, nel caso venga neutralizzato lo svantaggio del prezzo di listino, l'elettrico vince dal punto di vista del costo.</p>
<p><b>POSIZIONE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Dichiarazione della posizione: Esprimi chiaramente la</i></li> </ul>	<p>Dall'analisi condotta non emergono <b>conclusioni univoche</b>, però si può dire che i veicoli elettrici a batteria presentano benefici ambientali rispetto ai veicoli a combustione interna in un'ottica di ciclo di vita completo riguardo la CO2, e stanno diventando competitivi – o già lo sono in Cina – anche sul piano economico del costo totale di possesso. Al contrario, allo stato attuale rimangono forti preoccupazioni sulla tossicità nell'estrazione dei metalli e nel consumo di risorse rinnovabili. Risulta dunque fondamentale aumentare il riciclo ed i controlli</p>

<p><i>tua posizione sull'argomento.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Importanza: Spiega perché questa posizione è importante e quali sono le sue implicazioni politiche.</i></li> </ul>	<p>su questi processi. Consideriamo quindi favorevolmente l'adozione di veicoli BEV per la mobilità, specialmente nelle aree urbane ad alta intensità demografica, spostando quindi l'emissione lontana dalla popolazione.</p> <p>In definitiva, i BEV offrono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Riduzione drastica delle emissioni di gas serra</b> sul ciclo di vita, già oggi tra il 30% e il 70% in meno rispetto a ICEV a seconda del mix energetico, con prospettive di ulteriore miglioramento grazie alla transizione verso fonti rinnovabili [16]. Ciò li rende un pilastro fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi climatici a medio-lungo termine (carbon neutrality).</li> <li>● <b>Minor inquinamento atmosferico e miglior tutela della salute:</b> l'assenza di emissioni allo scarico abbatte NOx, particolato e altri inquinanti nelle città, contribuendo a ridurre malattie respiratorie e decessi prematuri. Si sposta l'onere ambientale verso i settori energetico e manifatturiero, dove può essere più facilmente controllato con tecnologie di abbattimento.</li> <li>● <b>Risparmio di risorse energetiche fossili:</b> l'uso dell'elettricità (soprattutto se rinnovabile) al posto di benzina/diesel riduce la dipendenza dal petrolio e le importazioni di combustibili, con benefici anche geo-economici. Un parco circolante elettrico è compatibile con un sistema energetico basato su fonti locali rinnovabili, aumentando la sicurezza energetica.</li> <li>● <b>Costi di esercizio inferiori:</b> già oggi ricaricare un'auto elettrica costa meno che fare il pieno a un'auto convenzionale nella maggior parte dei Paesi, e la manutenzione è più economica per via della maggiore semplicità meccanica. Questi vantaggi economici tendono ad aumentare col tempo (ad es. se aumentano i prezzi dei carburanti fossili o se vengono introdotti carbon tax).</li> <li>● <b>Prospettive di costo totale vantaggiose:</b> sebbene il prezzo d'acquisto sia ancora un ostacolo in alcuni contesti, la tendenza dei mercati (vedi Cina ed Europa) indica che il <b>TCO dei BEV è già competitivo</b> e lo diventerà universalmente entro pochi anni [15; 13]. Questo rende l'adozione di BEV non solo una scelta ecologica ma anche economicamente razionale nel medio periodo, specialmente per utenti ad alto chilometraggio o flotte.</li> </ul>
<p><b>PROPOSTA</b></p> <p><i>Illustra nel dettaglio le azioni concrete e specifiche che proponi di intraprendere in base alla tua posizione. Questa parte è il cuore del documento.</i></p>	<p>Alla luce di queste conclusioni, <b>si raccomandano però azioni mirate di policy e operative</b> per e ottimizzare la transizione verso la mobilità elettrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Incentivare l'adozione dei BEV specialmente nelle aree urbane ad alta densità demografica</b>, dove l'eliminazione delle emissioni dirette porta i maggiori benefici per la salute pubblica e la qualità dell'aria locale</li> <li>● <b>Integrare sistematicamente le analisi del ciclo di vita (LCA) nei target di decarbonizzazione</b> del settore trasporti, superando la visione limitata "tank-to-wheel" per una valutazione più completa e realistica degli impatti ambientali</li> <li>● <b>Promuovere l'uso di biocarburanti sostenibili come soluzione transitoria</b> per ridurre le emissioni di gas serra dell'attuale parco circolante, con particolare focus sul settore del trasporto pesante (HDV) dove l'elettrificazione presenta ancora sfide tecniche</li> <li>● <b>Promuovere la decarbonizzazione del mix elettrico ed espandere la produzione di energia</b> in parallelo all'elettrificazione dei trasporti. Politiche energetiche verdi (nucleare, espansione di rinnovabili, phase-out del carbone) garantiranno che i BEV siano alimentati da energia pulita, massimizzando i benefici climatici e riducendo gli</li> </ul>

	<p>impatti come acidificazione e HTP legati alla generazione da fossili. Trasporto elettrico e energia rinnovabile dovrebbero avanzare in sinergia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Investire in infrastrutture di ricarica capillari e affidabili:</b> una rete di ricarica pubblica ben distribuita (fast charger sulle arterie principali, charging-hub urbani, colonnine nei centri commerciali, ecc.) e la predisposizione di punti di ricarica in edifici nuovi sono essenziali per aumentare la convenienza d’uso dei BEV. Una ricarica accessibile e conveniente rafforza il vantaggio in TCO e supera l’ansia da autonomia, stimolando l’adozione.</li> <li>● <b>Supportare ricerca e filiere per batterie sostenibili:</b> è cruciale investire nello sviluppo di batterie di nuova generazione (a maggiore densità energetica, meno o zero metalli critici) e nei processi di produzione a basso impatto (uso di energie rinnovabili nelle gigafactory, tecniche di estrazione meno impattanti). Inoltre, creare <b>filiere di riciclo</b> efficienti per batterie agli ioni di litio, con normative che ne impongano il recupero a fine vita e incentivi al riciclo domestico, permetterà di ridurre drasticamente l’uso di materie prime vergini e la tossicità legata all'estrazione [17]. Solo così il BEV sarebbe una soluzione <i>veramente sostenibile</i> a lungo termine, allo stato attuale non lo è.</li> </ul>
<p><b>ARGOMENTAZIONI</b>  <i>Supporta la tua posizione con ragioni solide</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Argomento 1: Presenta il primo argomento a sostegno della tua posizione. Spiega i benefici e fornisci dati, esempi o citazioni che supportano il tuo punto di vista.</i></li> <li>▪ <i>Argomento 2: Presenta il secondo argomento, seguendo la stessa struttura.</i></li> <li>▪ <i>Argomento 3: Continua con ulteriori argomentazioni, se necessario.</i></li> </ul>	<p><b>Argomentazione 1: Minore impronta di CO<sub>2</sub> sull’intero ciclo di vita per i BEV</b></p> <p>Con un mix elettrico medio-UE il punto di pareggio fra BEV e ICEV si raggiunge fra 40 e 60 mila km; oltre tale soglia il BEV emette fino al 40 % in meno di GHG. Il progressivo phase-out del carbone europeo anticipa ulteriormente il break-even.</p> <p><b>Argomentazione 2: Miglioramento della qualità dell’aria nelle zone a maggiore densità demografica</b></p> <p>Zero emissioni allo scarico (NO<sub>x</sub>, PM, HC) nei centri urbani; le analisi LCA mostrano riduzioni di materiale particolato e ozono foto-chimico anche considerando l’intera filiera</p> <p><b>Argomentazione 3: Sicurezza energetica</b></p> <p>L’UE importa combustibili fossili; l’elettrificazione riduce questa dipendenza a patto che venga sviluppata una produzione elettrica indipendente da importazioni estere.</p> <p><b>Argomentazione 4: Costo veicolo</b></p> <p>A parità di percorrenza il costo “energia + manutenzione” cala del 35-55 %. Nel 40 % degli scenari d’uso analizzati in Italia (flotte alto chilometraggio, ricarica notturna) il BEV è già la soluzione con il Total Cost of Ownership più basso</p> <p><b>Argomentazione 5: Innovazione industriale</b></p> <p>Il passaggio a veicoli software-defined e all’elettronica di potenza mobilita l’R&amp;D automotive in Europa, difendendo la leadership tecnologica e creando nuova occupazione high-tech</p>

	<p><b>Argomentazione 6: Integrazione nella rete elettrica con le rinnovabili</b></p> <p>I BEV possono fungere da storage distribuito (V2G), riducendo i costi di bilanciamento rete e facilitando l'assorbimento di eolico e fotovoltaico</p>
<p><b>CONTRO-ARGOMENTAZIONI</b>  <i>Anticipa obiezioni e rispondi in modo efficace</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Controargomentazione 1: Identifica una possibile obiezione alla tua posizione e rispondi con contro-argomentazioni solide.</i></li> <li>▪ <i>Controargomentazione 2: Ripeti per altre obiezioni comuni.</i></li> </ul>	<p><b>Controargomentazione 1: “La produzione di batterie produce elevata CO<sub>2</sub> oltre che consumare minerali critici, quindi il BEV inquina di più.”</b></p> <p>È vero che nella fase «cradle-to-gate» la produzione batterie aumenta le emissioni e l'<b>Abiotic Depletion Potential</b> di circa il 32 % rispetto a un ICEV. Tuttavia: 1) il saldo si ribalta dopo poche decine di migliaia di km; 2) il nuovo Regolamento batterie UE impone <b>tassi di riciclo &gt;70 %</b> già al 2030 e tracciabilità delle materie prime, riducendo drasticamente l'impatto; 3) l'evoluzione verso chimiche LFP e sodio-ione taglia l'uso di cobalto e nichel.</p> <p><b>Controargomentazione 2: “Se l'elettricità è prodotta con il carbone (es. Polonia) il BEV emette più di un diesel.”</b></p> <p>In griglie molto carbon-intensive il punto di pareggio si sposta (fino a ~250 mila km). Però tutti gli Stati membri hanno piani di decarbonizzazione che ridurranno il fattore emissivo medio del 60 % entro il 2030, accorciando il break-even ben prima.</p> <p><b>Controargomentazione 3: “Non c'è abbastanza autonomia né infrastruttura di ricarica.”</b></p> <p>Il 67 % dei modelli 2024 offre autonomie reali &gt;400 km; oltre il 30 % supporta ricariche &gt;150 kW. La rete europea di punti pubblici è cresciuta del 57 % in dodici mesi, sostenuta dal regolamento AFIR e dai fondi CEF; il target 1 milione di colonnine entro il 2027 è finanziato.</p> <p><b>Controargomentazione 4: “I BEV costano troppo.”</b></p> <p>Il prezzo medio dei pacchi batteria è crollato dell'89 % dal 2010; con le curve di apprendimento e l'aumento della concorrenza (anche asiatica) i costi si allineeranno ai termici prima del 2027. Già oggi, grazie minori spese operative, il <b>TCO è favorevole</b> per chi percorre &gt;15-20 mila km/anno, soprattutto in ambito urbano</p> <p><b>Controargomentazione 5: “Si perderanno posti di lavoro perchè il powertrain ha meno componenti nella filiera BEV”</b></p> <p>La trasformazione sta ridisegnando l'occupazione: ai 600 mila addetti europei nelle batterie (IPCEI Battery Alliance) si affiancano nuove figure in elettronica di potenza, software, AI e infrastrutture di ricarica. Una parte dei posti di lavoro sarà dunque persa, ma si svilupperanno nuove posizioni a maggior valore aggiunto. Programmi di <b>reskilling</b> e fondi devono affiancarsi per sostenere la mobilità dei lavoratori</p>
<p><b>CONCLUSIONE</b>  <i>Ribadisci brevemente i punti principali della tua proposta e i benefici</i></p>	<p>L'analisi LCA evidenzia che i veicoli elettrici (BEV) rappresentano una soluzione promettente per la decarbonizzazione dei trasporti, offrendo vantaggi nelle emissioni di gas serra e nei costi operativi rispetto ai veicoli tradizionali (ICEV). Tuttavia, l'analisi mostra anche un quadro più complesso: i benefici dei BEV nel ciclo di vita sono notevolmente inferiori rispetto alle semplici analisi tank-to-wheel, e persistono importanti sfide legate alla sostenibilità nella</p>

<p><i>che ne deriverebbero per il Sistema Paese</i></p>	<p>produzione delle batterie e nell'estrazione delle materie prime. Per ottimizzare i benefici della transizione elettrica, è essenziale attuare le seguenti raccomandazioni chiave:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Accelerare la decarbonizzazione del mix energetico ed aumentare la produzione di energia</li> <li>● Sviluppare infrastrutture di ricarica capillari</li> <li>● Ottimizzare i processi di produzione e riciclo delle batterie</li> </ul> <p>Inoltre tener conto che su trasporto pesante le batterie sono fortemente limitate e l'approccio più immediato per la decarbonizzazione è quello di utilizzare biocarburanti.</p> <p>Solo attraverso un approccio integrato che affronti queste sfide, i veicoli elettrici potranno realizzare pienamente il loro potenziale come soluzione sostenibile per la mobilità del futuro.</p>
<p><b>MINISTERI DI RIFERIMENTO</b> <i>Elenca il o i ministeri sotto i quali ricadrebbe per competenza per la proposta</i></p>	<p>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica</p>
<p><b>BUDGET</b> <i>Se possibile, indica la più realistica stima di budget per realizzare la proposta, basandoti su riferimenti oggettivi e spiegando come è stata calcolata</i></p>	<p>Il documento rappresenta principalmente supporto alla strategia per l'automotive, il cui budget è stato individuato nel documento: "GT5_04InA_Strategia Automotive_PP_v1_31apr2025"</p>
<p><b>FONTI</b></p>	<p>Alcune fonti sono citate nel paper con link allegato. Altrettanto nei grafici è spesso identificabile al pedice la fonte.</p> <p>Qui altre fonti utilizzate:</p> <p>[1] H. Achour and A. G. Olabi, "Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation," <i>Journal of Cleaner Production</i>, vol. 112, no. 2, pp. 1778-1788, 2016.</p> <p>[2] Silvestri, Luca, et al. "Recycling technologies of nickel-metal hydride batteries: an LCA based analysis." <i>Journal of cleaner production</i> 273 (2020): 123083. [3] United Nations Economic Commission for Europe, "Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure," 2014. [Online]. Available: <a href="https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29r-1998agr-rules/ECE-TRANS-180a15e.pdf">https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29r-1998agr-rules/ECE-TRANS-180a15e.pdf</a>.</p> <p>[3] Ternel, Cyprien, Anne Bouter, and Joris Melgar. "Life cycle assessment of mid-range passenger cars powered by liquid and gaseous biofuels: Comparison with greenhouse gas</p>

<p>emissions of electric vehicles and forecast to 2030." <i>Transportation Research Part D: Transport and Environment</i> 97 (2021): 102897.</p> <p>[4] Verma, Shrey, Gaurav Dwivedi, and Puneet Verma. "Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: A review." <i>Materials Today: Proceedings</i> 49 (2022): 217-222.</p> <p>[5] Del Pero, Francesco, Massimo Delogu, and Marco Pierini. "Life Cycle Assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car." <i>Procedia Structural Integrity</i> 12 (2018): 521-537.</p> <p>[6] Tolomeo, Rosario, et al. "Application of life cycle assessment to lithium ion batteries in the automotive sector." <i>Sustainability</i> 12.11 (2020): 4628.</p> <p>[7] Xia, Xiaoning, and Pengwei Li. "A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries." <i>Science of the Total Environment</i> 814 (2022): 152870.</p> <p>[8] De Souza, Lidiane La Picirelli, et al. "Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil." <i>Journal of cleaner production</i> 203 (2018): 444-468.</p> <p>[9] Kawamoto, Ryuji, et al. "Estimation of CO2 emissions of internal combustion engine vehicle and battery electric vehicle using LCA." <i>Sustainability</i> 11.9 (2019): 2690.</p> <p>[10] Marmiroli, Benedetta, et al. "The transport of goods in the urban environment: A comparative life cycle assessment of electric, compressed natural gas and diesel light-duty vehicles." <i>Applied Energy</i> 260 (2020): 114236.</p> <p>[11] Liu, Haoye, et al. "A systematic review on sustainability assessment of internal combustion engines." <i>Journal of Cleaner Production</i> (2024): 141996.</p> <p>[12] <a href="#">Zhuge, Wei, et al. "The role of the license plate lottery policy in the adoption of Electric Vehicles: A case study of Beijing". <i>Energy Policy</i> (2020)</a></p> <p>[13] <a href="#">IEA - Electric Vehicles - 2024</a></p> <p>[14] <a href="#">Who saves money buying electric vehicles? Heterogeneity in total cost of ownership</a></p> <p>[15] <a href="#">Owning an electric vehicle in Europe could be cheaper than you think, new research shows</a></p> <p>[16] <a href="#">A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars</a></p> <p>[17] <a href="#">End-of-Life Impact on the Cradle-to-Grave LCA of Light-Duty Commercial Vehicles in Europe</a> - Accardo A. et al.</p> <p>[18] H. Achour and A. G. Olabi, "Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation," <i>Journal of Cleaner Production</i>, vol. 112, no. 2, pp. 1778-1788, 2016.</p>
--

- [19] M. André, "The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions," *Science of The Total Environment*, Vols. 334-335, pp. 73-84, 2004.
- [20] United Nations Economic Commission for Europe, "Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure," 2014. [Online]. Available: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29r-1998agr-rules/ECE-TRANS-180a15e.pdf>.
- [21] DieselNet, "China Light-Duty Vehicle Test Cycle (CLTC)," [Online]. Available: <https://dieselnet.com/standards/cycles/cltc.php>.
- [22] DieselNet, "EPA Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET)," [Online]. Available: <https://dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>.
- [23] R. Günther, T. Wenzel, M. Wegner and R. Rettig, "Big data driven dynamic driving cycle development for busses in urban public transportation," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 51, pp. 276-289, 2017.
- [24] U. Tietge, S. Díaz, Z. Yang and P. Mock, "From Laboratory to Road: a comparison of official and real world fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe, the United States, China, and Japan," 2017. [Online]. Available: [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Lab-to-road-intl\\_ICCT-white-paper\\_06112017\\_vF.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Lab-to-road-intl_ICCT-white-paper_06112017_vF.pdf).
- [25] S. Zhang, Y. Wu, H. Liu, R. Huang, P. Un, Y. Zhou, L. Fu and J. Hao, "Real-world fuel consumption and CO2 (carbon dioxide) emissions by driving conditions for light-duty passenger vehicles in China," *Energy*, vol. 69, pp. 247-257, 2014.
- [26] D. L. Greene, A. J. Khattak, J. Liu, X. Wang, J. L. Hopson and R. Goeltz, "What is the evidence concerning the gap between on-road and Environmental Protection Agency fuel economy ratings?," *Transport Policy*, vol. 53, pp. 146-160, 2017.
- [27] G. Kadijk, M. Verbeek, R. Smokers, J. Spreen, A. Patuleia, M. van Ras, J. Norris, A. Johnson, S. O'Brien, S. Wrigley, J. Pagnac, M. Seban and D. Buttigieg, "Supporting Analysis regarding Test Procedure Flexibilities and Technology Deployment for Review of the Light Duty Vehicle CO2 Regulations," 2012. [Online]. Available: <https://publications.tno.nl/publication/34622247/QesCIL/kadijk-2012-supporting.pdf>.
- [28] G. Fontaras, B. Ciuffo, N. Zacharof, S. Tsiakmakis, A. Marotta, J. Pavlovic and K. Anagnostopoulos, "The difference between reported and real-world CO2 emissions: How much improvement can be expected by WLTP introduction?," in *World Conference on Transport Research - WCTR 2016*, Shanghai, 2016.
- [29] G. Triantafyllopoulos, A. M. Dimaratos, L. D. Ntziachristos, Y. Bernard, J. Dornoff and Z. C. Samaras, "A study on the CO2 and NOx emissions performance of Euro 6 diesel vehicles under various chassis dynamometer and on-road conditions including latest regulatory provisions," *Science of The Total Environment*, vol. 666, pp. 337-346, 2019.
- [30] U.S. Environmental Protection Agency, "Navistar International Transportation Corporation Diesel Engines Settlement," [Online]. Available: <https://www.epa.gov/enforcement/navistar-international-transportation-corporation-diesel-engines-settlement>.
- [31] U.S. Department of Justice - Office of Public Affairs, "Volkswagen AG Agrees to Plead Guilty and Pay \$4.3 Billion in Criminal and Civil Penalties; Six Volkswagen Executives and

	<p>Employees are Indicted in Connection with Conspiracy to Cheat U.S. Emissions Tests,” [Online]. Available: <a href="https://www.justice.gov/opa/pr/volkswagen-ag-agrees-plead-guilty-and-pay-43-billion-criminal-and-civil-penalties-six">https://www.justice.gov/opa/pr/volkswagen-ag-agrees-plead-guilty-and-pay-43-billion-criminal-and-civil-penalties-six</a>.</p> <p>[32] J. Claßen, S. Krysmon, F. Dorscheidt, S. Sterlepper and S. Pischinger, “Real Driving Emission Calibration - Review of Current Validation Methods against the Background of Future Emission Legislation,” <i>Applied Sciences</i>, vol. 11, no. 12, 2021.</p> <p>[33] D. Chindamo and M. Gadola, “What is the Most Representative Standard Driving Cycle to Estimate Diesel Emissions of a Light Commercial Vehicle?,” <i>IFAC-PapersOnLine</i>, vol. 51, no. 5, pp. 73-78, 2018.</p> <p>[34] M. Meyer and H. Lohse-Busch, “Evaluation and Adaptation of 5-Cycle Fuel Economy Testing and Calculations for HEVs and PHEVs,” 2012. [Online]. Available: <a href="https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/evaluation-and-adaptation-5-cycle-fuel-economy-testing-and-calculations-hevs">https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/evaluation-and-adaptation-5-cycle-fuel-economy-testing-and-calculations-hevs</a>.</p>
--	--