



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M. FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"LE AUTO ELETTRICHE INQUINANO MENO? VALUTAZIONI
BASATE SULL'ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) "**

RELATORE:

CH.MO/A PROF. CESARE DOSI

LAUREANDO/A: PAOLO ROSSI

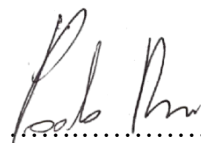
MATRICOLA N. 2000826

ANNO ACCADEMICO 2022 – 2023

Dichiaro di aver preso visione del “Regolamento antiplagio” approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione ‘Riferimenti bibliografici’.

I hereby declare that I have read and understood the “Anti-plagiarism rules and regulations” approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section ‘References’.

Firma (signature)



Ringraziamenti

In questa parte dell'elaborato ci tengo a ringraziare tutti coloro che, tramite il loro contributo, mi hanno permesso di arrivare a questo punto.

Ringrazio il mio relatore, il prof. Cesare Dosi, per tutti i suoi utili consigli, per la sua pazienza e la sua disponibilità dimostrate in questo periodo.

Ringrazio i miei genitori Leopoldo e Giuseppina, e i miei fratelli, Mattia, Luca, Marco, Francesco e Alessandro. Vi ringrazio per essere stati un punto di riferimento, per tutto il supporto e l'affetto che mi avete dato in questi tre anni soprattutto nei momenti difficili.

Ringrazio gli amici di una "vita" su cui ho potuto sempre contare che mi hanno sempre supportato e sopportato. Grazie a: Michele, Matteo, Davide, Francesco, Federico, Giuseppe, Giovanni, Agnese e Rachele.

Ringrazio i miei compagni di università con cui ho condiviso questi tre anni e che hanno reso il tempo dedicato allo studio più piacevole e divertente. In particolare, grazie, Andrea, Matteo, Tommaso, Paolo, Alberto e Marco.

Infine ringrazio tutti i parenti e gli amici che in questi tre anni hanno creduto in me.

Indice

Introduzione	2
1. Il settore dei trasporti	3
1.1 Domanda di auto elettriche	3
1.2 Politiche nazionali e relativi sussidi	5
1.2.1 La Cina e i veicoli elettrici	7
1.2.2 La risposta degli USA.	8
2. Analisi tramite Life Cycle Assessment	10
2.1 Struttura dell'analisi	10
2.2 Life Cycle Assessment applicato ai veicoli elettrici	11
2.2.1 Fase di produzione	12
2.2.2 Fase di utilizzo	14
2.2.3 Fine vita	17
3. Il costo monetario di un'auto	19
3.1 Il costo effettivo delle auto	19
3.2 Il costo del carbonio	22
Considerazioni finali	25
Riferimenti Bibliografici	27

Introduzione

Negli ultimi anni è cresciuta, anche nell'opinione pubblica, la consapevolezza del problema del riscaldamento globale. Per cercare di risolvere, o per lo meno attenuare il più possibile questo problema, vari Paesi nel mondo stanno cercando di attuare sempre più politiche "green".

Una tra queste è l'aumento della produzione e dell'utilizzo di veicoli "elettrici", ritenuti meno inquinanti dei tradizionali veicoli dotati di motore a combustione interna.

Gli studi e i primi prototipi relativi all'auto elettrica risalgono a cinquant'anni fa, ma solamente negli ultimi anni si è assistito ad uno sviluppo significativo di questo prodotto, tanto che, oltre alle aziende del settore automotive che producono solo vetture elettriche come Tesla, anche tutte le altre aziende come Volvo e Mercedes, con produzioni tradizionalmente incentrate su veicoli alimentati con gasolio o benzina, hanno iniziato negli ultimi anni ad implementare il loro parco macchine con sempre più modelli ibridi e full-electric.

L'obiettivo di questo elaborato è quello di analizzare il potenziale di questi veicoli elettrici cercando di capire, in comparazione ai veicoli tradizionali, se risultano essere meno dannosi per l'ambiente. Tutto questo al fine di sviluppare un'opinione, o per meglio dire un pensiero critico sulle nuove politiche nazionali, europee e mondiali che si stanno adottando.

La struttura dell'elaborato è la seguente: nel primo capitolo parleremo del mercato automobilistico, di come si sta evolvendo, concentrandoci sulle politiche adottate da due delle maggiori forze sul mercato: la Cina e gli USA. Nel secondo capitolo effettueremo una comparazione utilizzando l'approccio LCA (Life Cycle Assessment) tra varie tipologie di automobili nelle varie fasi di produzione, di utilizzo e di fine vita. Nel terzo ed ultimo capitolo invece, proveremo a dare un valore economico alla riduzione dell'inquinamento derivante dall'utilizzo di veicoli elettrici e lo utilizzeremo per comparare il costo di un'auto elettrica con una convenzionale a gasolio o a benzina.

Capitolo 1

Il settore dei trasporti

Il settore dei trasporti è uno di quelli in cui, ad oggi, si è rilevato più difficile ottenere riduzioni delle emissioni di gas serra. Attualmente questo settore genera circa un quarto delle emissioni totali di anidride carbonica nell'Unione Europea (Parlamento Europeo, 2023). Il motivo principale è che ancora oggi, il motore a combustione interna è l'invenzione dominante in questo settore. Per questo motivo, negli ultimi anni, al fine di ridurre le emissioni, l'industria, sollecitata in tal senso da vari interventi regolatori, ha intrapreso due percorsi: il primo consiste nel miglioramento tecnologico delle auto a combustione interna rendendole più "ecologiche". Un esempio riguarda i veicoli a diesel con la denominazione "Euro", da zero a 6, andando ad indicare il loro livello di inquinamento medio e permettendo la sola circolazione in determinate zone di quelli meno inquinanti. La seconda linea guida, è quella della produzione e dello sviluppo delle auto elettriche, caratterizzate dal fatto che durante il loro utilizzo non emettono CO₂ e quindi dovrebbero risultare meno inquinanti.

1.1 Domanda di auto elettriche

Per "auto elettrica" si intende un'auto caratterizzata da uno o più motori elettrici in grado, durante il loro utilizzo, di azzerare le emissioni di CO₂ e altri gas inquinanti, garantendo così un miglioramento della qualità dell'aria e una riduzione dei gas serra. Le tipologie principali di auto elettrica si possono classificare nel modo seguente:

1. Veicoli ibridi (HEV): dotati di un motore a benzina e di una batteria elettrica che si ricarica durante l'utilizzo del veicolo.
2. Veicoli ibridi plug-in (PHEV): dotati sia di un motore elettrico che di un motore a benzina; la principale differenza con gli altri veicoli ibridi sta nel fatto che questi ultimi possono essere caricati da prese di corrente esterne.
3. Veicoli a batteria (BEV): dotati solamente di un motore elettrico che viene ricaricato da fonti di alimentazione esterne.

L'introduzione di questi veicoli nel mercato automotive avviene tra il 2009 e il 2010 ma, trattandosi di tecnologie innovative, le loro vendite iniziali nel mercato, in comparazione a quelle dei veicoli tradizionali, erano molto inferiori.

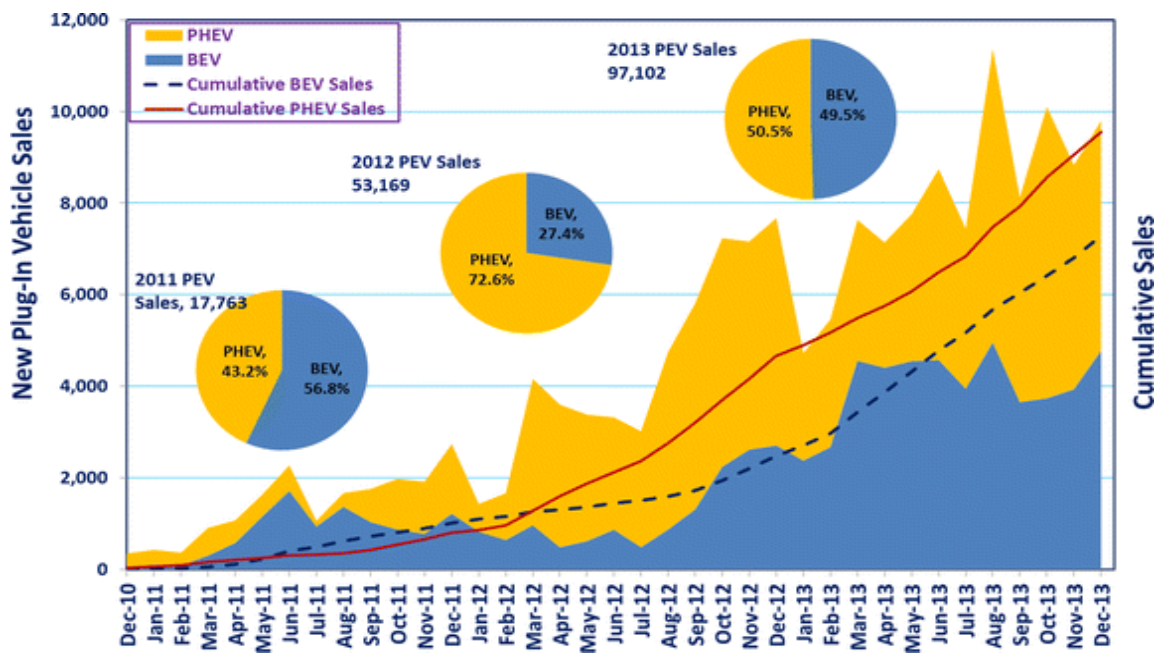


Figura 1 Incremento dal 2010 delle vendite mensili dei nuovi veicoli plug-in, dei PHEVs e dei BEVs negli USA (Zhao, et al., 2014)

La Figura 1 mostra l'andamento delle vendite dei veicoli plug-in e a batteria negli USA nei primi tre anni di commercializzazione.

Negli anni successivi però si è assistito a un cambiamento di rotta. Infatti, per il 2023 si prevede che circa il 20% delle auto vendute sarà elettrica (Pulcini, 2023). La penetrazione di mercato di questi veicoli dalla loro prima immissione, è salita costantemente ogni anno, tanto da arrivare da un 4% del 2020 a un 18% di quest'anno. Alcune proiezioni inoltre mostrano come la vendita di veicoli elettrici si concentrerà per un 40% in Cina mentre gli USA raggiungeranno il 20% della quota di mercato di questo prodotto e la UE rimarrà sempre attorno al 25% (Pulcini, 2023).

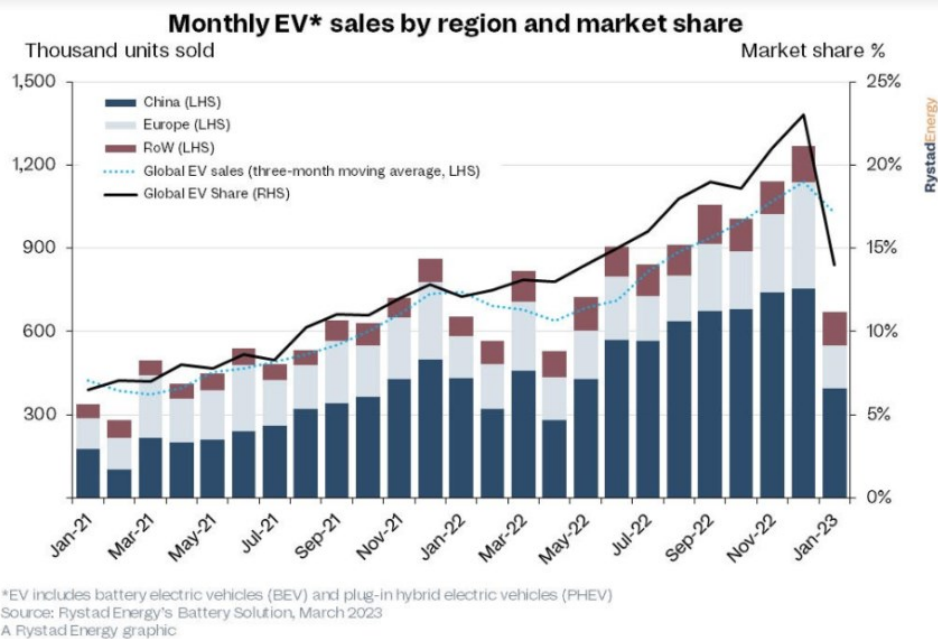


Figura 2 vendite mensili di auto elettriche per area e quote di mercato (Rystad Energy 2023)

La Figura 2 mette in evidenza i dati mensili della durata di tre anni della distribuzione delle vendite globali di veicoli elettrici. È possibile notare che le vendite maggiori di queste vetture avvengono nell'Unione Europea in Cina.

1.2 Politiche nazionali e relativi sussidi

Il problema principale delle auto elettriche sin dalla loro prima introduzione nel mercato è sempre stato quello relativo al loro prezzo. Soprattutto nei primi tempi, trattandosi di una tecnologia nuova e con poca domanda, l'abbattimento dei costi tramite economie di scala e di apprendimento, non risultò possibile; inoltre la produzione delle batterie risultò (e risulta ancora oggi) essere molto costosa. Tutto questo portò ad avere un costo medio di un'auto elettrica nel 2011 poco superiore ai 33.000 dollari (Conti, 2021). A tal proposito sin da subito alcuni governi cominciarono ad attuare politiche di incentivazione al loro acquisto.

Per quanto riguarda sussidi, attualmente le politiche principali si collocano principalmente in UE, Cina e USA. Gli sforzi governativi hanno quindi permesso di arrivare al punto in cui siamo oggi, anche se al riguardo non mancano commenti contrari. Varie figure di spicco nell'industria automotive si sono espresse dicendo che l'auto elettrica è ancora troppo cara per la popolazione media e che il relativo mercato è stato creato dai sussidi; quando questi verranno a mancare si potrebbe quindi assistere a un crollo della domanda (Econopoly, 2023).

Nell'Unione Europea è stato approvato recentemente il piano denominato "Fit for 55" che prevede, per quanto riguarda il settore dei trasporti, la riduzione del 55% del totale delle emissioni per i nuovi veicoli e uno stop alla produzione di veicoli con motore a combustione interna dal 2035. Per quanto riguarda i sussidi invece, questi cambiano da stato a stato, con la Norvegia che attualmente offre quelli più alti. Tra le varie scelte adottate dallo stato norvegese, vi è quella di non far pagare l'IVA (imposta sul valore aggiunto) sull'acquisto di un'auto elettrica, della riduzione del 50% delle tasse analoghe ai veicoli a diesel e benzina e la possibilità in certe città di avere tutti i parcheggi gratuiti (Murgida, 2022).

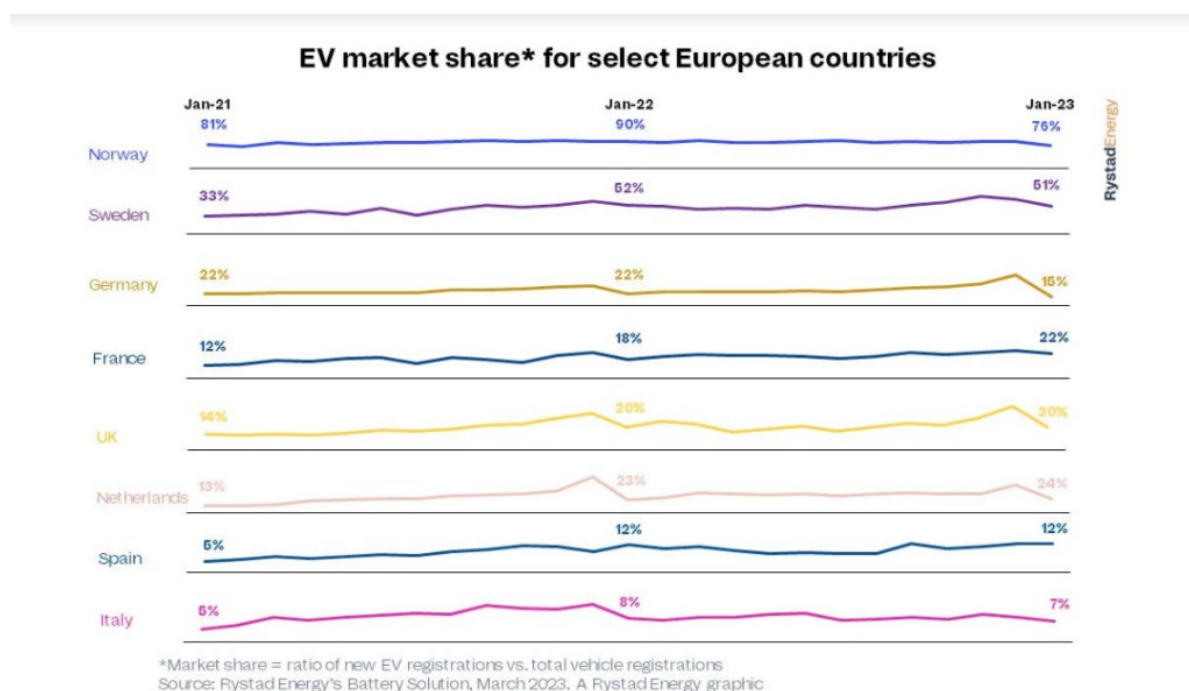


Figura 3 Che cosa sta succedendo in alcuni mercati europei (Rystad Energy 2023)

La Figura 3 mostra la percentuale di immatricolazione dei veicoli elettrici rispetto a tutti i veicoli immatricolati per ogni stato. Come si può notare i paesi del Nord Europa presentano le percentuali più elevate. Il motivo è dovuto allo stipendio medio netto che risulta essere più elevato in quei paesi (Acea, 2023).

1.2.1 La Cina e i veicoli elettrici

Come spiegato nelle sezioni precedenti, la Repubblica Popolare cinese, è uno dei tre più grandi mercati riguardanti le auto elettriche e già da più di un decennio ha deciso di voler diventare il leader mondiale in questo campo. Questo è dovuto al fatto che, come paese, è stato sempre un follower nel settore ed ora visto il nuovo mercato ancora in fase di sviluppo, vuole assumere una posizione dominante. A motivo di questa scelta sono stati decisivi anche l'inquinamento dell'aria nelle grandi metropoli come Pechino e il fatto che il paese sia uno dei più grandi importatori di petrolio al mondo.

Ha iniziato con sussidi relativi a veicoli pubblici e a veicoli di piccole dimensioni, (NEV), focalizzandosi soprattutto sulla capacità della batteria. Successivamente c'è stato un cambiamento sugli incentivi, che hanno iniziato a concentrarsi in base all'autonomia delle auto. Inoltre molto importanti sono stati anche servizi non finanziari, come per esempio un limite massimo, erogato mensilmente, per l'acquisto di licenze che attribuivano il diritto poter comprare un veicolo (Zhao, et al., 2014). Tutto questo ha portato la Cina ad essere al secondo posto, solo dietro l'Unione Europea, per la vendita di auto elettriche con 1.33 milioni di auto vendute nel 2020 (Choudhury, 2021).

Le recenti politiche hanno inserito un costo di 12.000 dollari per aver diritto a poter acquistare un'auto a gasolio o a benzina; inoltre il paese ha sviluppato una vasta infrastruttura di stazioni per ricaricare le auto (circa 500.000) con adattatori universali. In aggiunta tutte le aziende estere relative all'industria automotive, se intendono aprire una fabbrica o uno stabilimento in Cina, devono creare una joint venture con un'azienda locale (Choudhury, 2021).

Tutte queste manovre, stanno portando il paese a raggiungere l'obiettivo prefissato. Il problema però è che il mercato in questione è stato creato dai sussidi, tanto che quest'ultimi sono pari al 33% del valore delle vendite dei veicoli elettrici (Choudhury, 2021). Infatti dopo una diminuzione degli incentivi, si è assistita a una consistente riduzione delle vendite delle vetture elettriche. Una nota positiva però c'è, ed arriva da Tesla. Da quando l'azienda ha aperto in Cina (l'unica azienda a non avere la joint venture) (Choudhury, 2021) e ha iniziato a commercializzare i suoi veicoli, nella mente del consumatore di veicoli elettrici si è creata l'idea di un'auto innovativa, "bella", che può coprire lunghe distanze. Questo pensiero, ha fatto sì che si creasse il desiderio di ottenere una vettura elettrica anche senza sussidi.

1.2.2 La risposta degli USA

Gli Stati Uniti d'America sono il terzo ed ultimo importante agente economico nell'industria automotive elettrica. Sotto la guida dell'amministrazione Obama, anche gli USA hanno attuato politiche a favore dei veicoli elettrici. Tra queste vi è "Energy Independence and Security act", che tra i vari punti comprendeva il miglioramento dell'efficienza energetica e la produzione di combustibili rinnovabili. Nel 2009 invece è stato introdotto "l'American recovery Reinvestment Act", in cui uno dei suoi punti sottolineava la possibilità di accedere a un credito fiscale per acquistare PHEV.

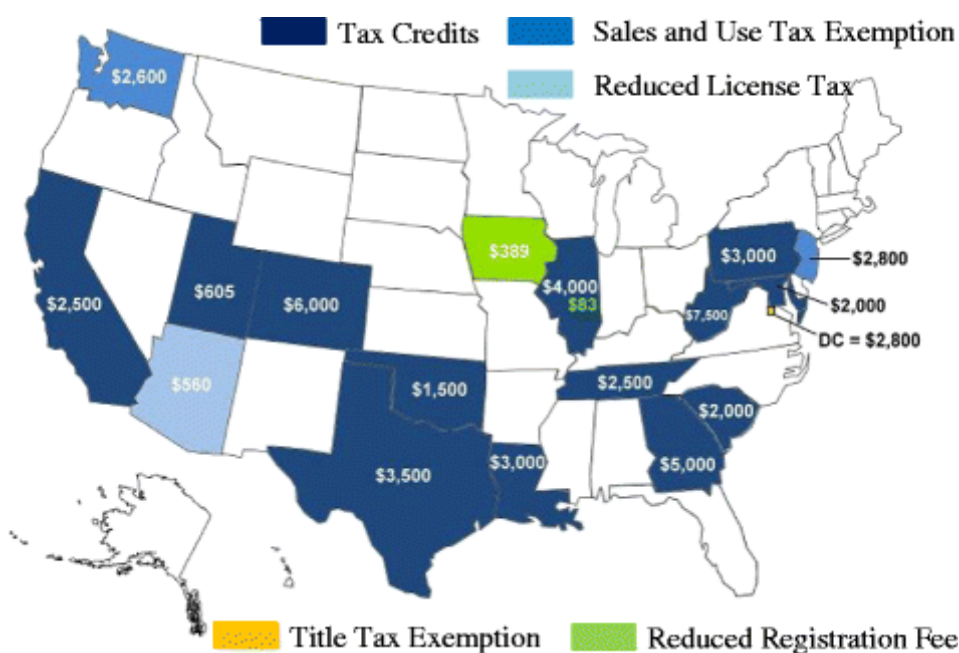


Figura 4 livello dei sussidi di ogni stato per i PEV negli USA, aggiornato a luglio 2013 (Zhao, et al., 2014)

La Figura 4 relativa a luglio 2013 evidenzia le relative detrazioni fiscali nei vari stati per l'acquisto di PHEV.

Negli anni successivi, sotto l'amministrazione Trump, si è assistito a un rallentamento delle politiche in favore alle auto elettriche, dovuta al fatto della sottovalutazione del problema del riscaldamento globale. Con la nuova amministrazione Biden si è assistito a un cambio di rotta con l'introduzione dell'"Inflation Reduction act" che ha elargito, ed elargirà, miliardi di dollari di sussidi, al fine di ridurre il costo degli EV. In due anni di amministrazione, sono stati approvati 31 miliardi di sussidi, tra cui crediti fiscali per i produttori e per i consumatori. Tra questi, 7,5 miliardi in parte già utilizzati, verranno impiegati per la costruzione di centri di

ricarica dei veicoli elettrici (Puko, 2023) al fine di aumentarne il numero (attualmente 100.000), cercando di avvicinarsi alla Repubblica Popolare Cinese.

Capitolo 2

Analisi tramite Life Cycle Assessment

Dopo aver brevemente illustrato l'andamento del mercato automotive e alcuni interventi governativi, proveremo a rispondere al quesito che in molti si fanno. La domanda riguarda, quanto effettivamente inquinino questi veicoli elettrici in comparazione a quelli convenzionali. Per cercare di rispondere a questo, utilizzeremo l'approccio LCA che ci permette di valutare il loro effettivo impatto ambientale, concentrandoci soprattutto sull'emissione dei gas serra, responsabili del problema del riscaldamento globale.

2.1 Struttura dell'analisi

Per poter utilizzare questo metodo, occorre seguire la certificazione ISO 14040, ossia la linea guida utilizzata a livello internazionale. Questo perché permette di avere una predisposizione dello studio che si andrà ad effettuare, offrendo trasparenza, migliorando la comparabilità e la credibilità dell'analisi.

Questa certificazione individua quattro punti principali da seguire:

1. Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione: viene stabilito l'obiettivo e i risultati che si puntano ad ottenere, specificando anche l'unità funzionale, i limiti del sistema e le fonti dei dati (ISO 14041).
2. Inventario del ciclo di vita (LCI): viene analizzata ogni fase che porta alla creazione del prodotto preso in considerazione, identificando tutti gli input utilizzati e gli output ottenuti (ISO 14041). Nella fase di inventario i dati utilizzati possono essere divisi in due (Naranjo et al., 2021):
 - a. Dati di primo piano relativi ai veicoli presi in considerazione nello studio.
 - b. Dati di secondo piano relativi ai dati necessari per poter supportare e al tempo stesso definire i dati di primo piano.
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA): viene svolta un'analisi valutativa dei dati raccolti nella seconda fase, analizzando i vari impatti ambientali (ISO 14042).
4. Interpretazione: in base ai risultati ottenuti, si cerca di dargli un significato identificando i principali problemi e proponendo miglioramenti (ISO 14043).

Al fine di migliorare ancora la qualità dell'analisi, vengono utilizzati dei software; tra i più comuni vi sono: "GaBi", "SimaPro", "Umberto" e "Open LCA" (Verma et al., 2022). Dato il grande utilizzo di dati richiesto per uno studio di questo tipo, questi software permettono la loro gestione, organizzando in modo dettagliato gli input e gli output della fase 1 e riescono a generare calcoli complessi, necessari per determinare gli impatti ambientali nelle varie fasi del ciclo di vita del prodotto. Infine, sempre grazie a questi software, è possibile un'analisi di sensibilità, che permette di cambiare gli input e vedere la conseguente modifica degli output. Questo procedimento è molto utile nel caso si voglia analizzare l'impatto ambientale, utilizzando delle proiezioni dei prossimi anni.

2.2 Life Cycle Assessment applicato ai veicoli elettrici

Per tentare di rispondere alla domanda indicata in premessa, è necessario fare delle assunzioni di base. L'obiettivo è quello di analizzare l'intero ciclo di vita dei veicoli elettrici e compararlo con i veicoli tradizionali, al fine di scoprire quale fra queste tipologie sia la più inquinante.

Si utilizzerà il metodo dalla culla alla tomba, (Cradle-to-Grave), cioè il veicolo verrà analizzato dalla sua produzione, tenendo conto anche delle materie prime impiegate, fino al termine del suo utilizzo e, conseguente, "smaltimento", trascurando, tuttavia, il recupero ("riciclo") dei materiali. Inoltre si assume una vita dell'automobile tra i 150.000 Km e i 200.000 Km, nessuna sostituzione della batteria a trazione, un comune "Glider" e quindi un'aspettativa di vita del veicolo di dieci anni. Per "Glider" si intende la componentistica del veicolo che non crea potenza motrice. Quest'ultima assunzione, anche se molto forte, è necessaria perché permette una migliore comparazione di veicoli a diversa propulsione (Naranjo et al, 2021).

Come limiti del sistema invece viene utilizzato l'approccio, "Cut-off-allocation", che analizza gli impatti ambientali degli elementi più inquinanti, escludendo dall'analisi quelli a minore impatto ambientale. Questo metodo segue il principio del "Polluter pay principle" (Volvo, 2021), in cui come ribadito in precedenza, se più prodotti adottano, o per essere più specifici, condividono gli stessi materiali, a quello oggetto dell'analisi verrà attribuito l'impatto ambientale. Infine per unità funzionale si farà riferimento ai chili di CO₂ emessi.

Considerando lo studio (Naranjo et al., 2021) l'energia utilizzata durante le varie fasi del ciclo di vita terrà conto del:

1. "Well-to-Wheels analysis", che analizzerà gli impatti ambientali derivanti la creazione del carburante o dell'elettricità e si divide in:

- a. “Weel-to-Tank”, che analizza i costi relativi alla fonte energetica utilizzata, considerando l'estrazione, la lavorazione dei materiali ed infine il trasporto.
 - b. “Tank-to-Whell” che analizza i costi di come il carburante viene utilizzato dal sistema di propulsione del veicolo durante il suo utilizzo.
2. Emissioni utilizzate durante la fase di utilizzo.
 3. Emissioni relative alla fine della vita del prodotto.

Dopo tutte queste specificazioni, la LCA si concentrerà sull'inquinamento prodotto in 3 fasi:

1. Fase di produzione del veicolo.
2. Fase di utilizzo del veicolo.
3. Fase di fine vita del veicolo.

2.2.1 Fase di produzione

Per fase di produzione si intende quella comprendente la fase di estrazione, creazione e assemblaggio di tutti i materiali, che successivamente porteranno alla creazione del veicolo. In questa fase risulta essere più inquinante la vettura elettrica. Questo è dovuto al procedimento della creazione delle batterie dei suddetti veicoli. Questo processo infatti riguarda tra il 40% e il 60% delle emissioni totali del ciclo di vita di un veicolo elettrico (Mckinsey & Comapany, 2023). Altri studi invece, come quello di Volvo affermano che può arrivare anche al 70% (Volvo, 2021). Da un punto di vista quantitativo, alcuni studi hanno evidenziato che in media la produzione di una batteria nel 2017 si aggirava attorno ai 100Kg di CO₂ emessi per kWh (Hausfather, 2019). Questo numero però si è ridotto nel tempo e si ridurrà ancora, tanto che nel 2025 è prevista una media globale di emissioni pari a 85 Kg di CO₂ per kWh (Hausfather, 2019).

Trattandosi infatti di un processo molto complesso, soprattutto per quando riguarda l'estrazione e la lavorazione dei materiali, è richiesta molta energia e tecniche sempre più sviluppate. Per questo motivo, un fattore cruciale è la materia prima, che viene utilizzata per creare elettricità. Se si usasse energia rinnovabile in tutto il processo, si riuscirebbe a portare quasi a zero il livello di emissioni, trasferendo il peso ambientale nelle altre due fasi.

In questa fase quindi i veicoli tradizionali risultano essere molto meno inquinanti per il problema relativo al riscaldamento globale.

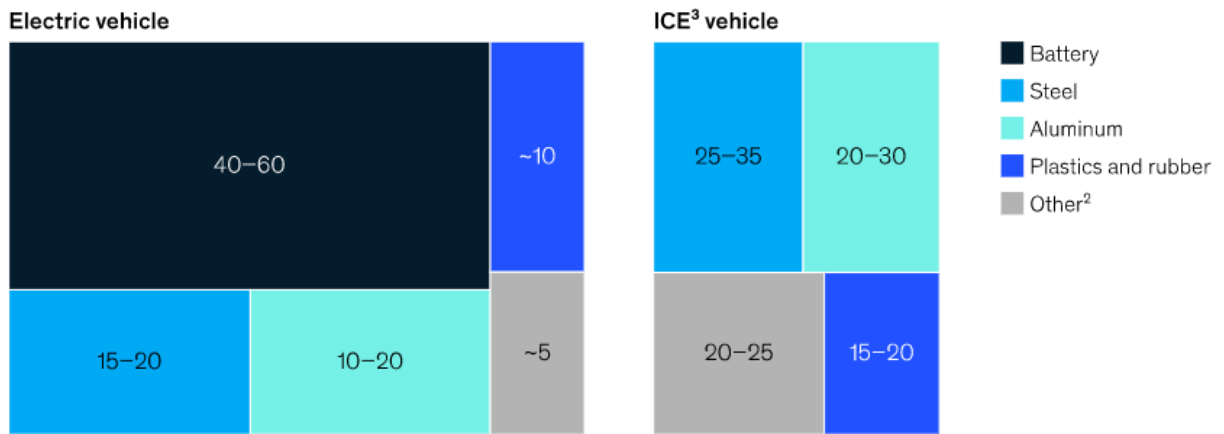
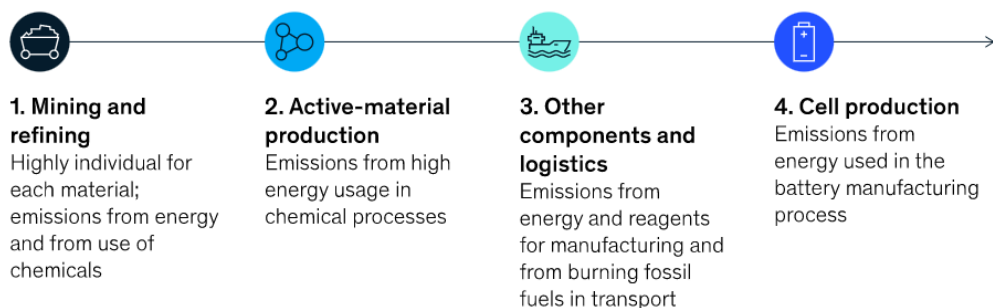


Figura 5 Emissioni di CO₂ percentuali per i componenti necessari alla costruzione del veicolo (Mckinsey & Comapany, 2023)

Nella Figura 5 vengono evidenziate relativamente alla fase di produzione, le varie emissioni dei materiali necessari per la costruzione di una macchina tradizionale e di una elettrica. Come detto in precedenza, la creazione della batteria risulta essere il processo più inquinante. Per tutti gli altri materiali le emissioni sono più alte in valore percentuale per i veicoli convenzionali, ma questo è dovuto al fatto che esse hanno un valore totale di emissioni relativamente più piccolo rispetto a quello delle auto elettriche, dovuto alla mancanza della batteria.



Emission intensities, kg CO₂e/kWh¹

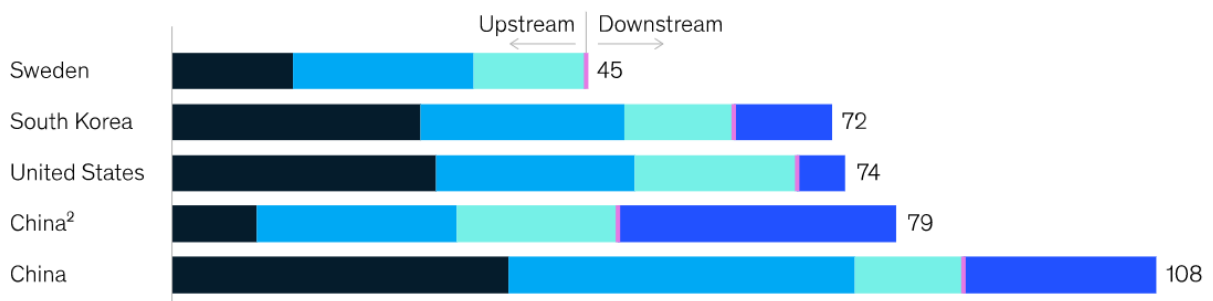


Figura 6 intensità delle emissioni per ogni fase del processo di costruzione delle batterie (Mckinsey & Comapany, 2023)

La Figura 6 analizza come cambia l'impatto ambientale delle varie gigafactories (fabbriche che producono le batterie oggetto di questa analisi) a seconda del paese che si prende in

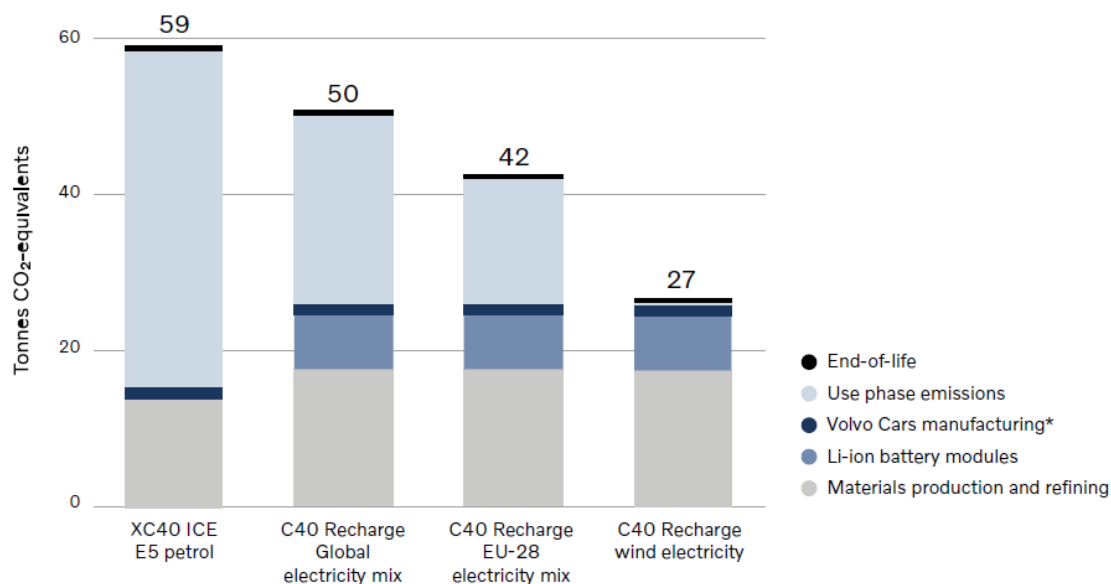
considerazione e al suo corrispettivo mix di elettricità utilizzato. Come si può notare la produzione in Cina risulta essere più inquinante rispetto a tutti gli altri paesi e questo è dovuto al fatto che il paese utilizzi ancora una grande quantità di carbone. Questo dato dovrebbe suscitare un certo livello di sconcertamento, perché attualmente la Cina detiene il 70% delle quote di mercato per quanto riguarda la produzione di batterie (Mckinsey & Comapany, 2023). Infine focalizzandosi ancora sulla figura 6, sempre per quanto riguarda lo stato cinese, dato l'elevato numero di gigafactories presenti sul suo territorio, è evidenziato l'impatto delle batterie, che utilizzano come materiale principale il nickel oltre a quelle che utilizzano il litio.

2.2.2 Fase di utilizzo

Se per quanto riguarda la prima fase, i veicoli tradizionali generano minori impatti ambientali, per la fase di utilizzo le macchine elettriche “vincono” in modo considerevole rispetto ai veicoli tradizionali, avendo un impatto ambientale ridotto. Per misurare il livello di emissioni dei veicoli e quindi compararlo, si analizzano per quanto riguarda le auto a gasolio e benzina, le emissioni derivanti dalla marmitta durante l'utilizzo, mentre per le vetture elettriche si osserva il modo in cui viene prodotta l'elettricità per ricaricarle.

Questo punto risulta essere cruciale, in quanto a seconda del mix utilizzato, i risultati cambiano sensibilmente. Tra i mix energetici presi più in considerazione, per condurre un'analisi di questo tipo, vi sono:

1. Il mix di elettricità globale.
2. Il mix di elettricità europeo.
3. Il mix di elettricità che proviene solamente da fonti rinnovabili.



*Volvo Cars manufacturing includes both factories as well as inbound and outbound logistics.

Figura 7 Tonnellate emissioni totali di CO₂ per ciclo di vita del veicolo (Volvo, 2021)

La Figura 7 evidenzia come, qualora si utilizzasse solo energia da “fonti rinnovabili” (ovvero non prodotta attraverso combustibili fossili), le emissioni vengano ridotte di circa 25 tonnellate di CO₂ in comparazione al mix di elettricità globale. Alla fine, il risultato, cioè il fatto che l’auto elettrica sia meno inquinante in questa fase, è confermato da tutti i tre i mix utilizzati, ma se si vuole essere più “ecosostenibili” possibili è importante cercare di aumentare l’utilizzo di energia rinnovabile. Questo grafico risulta essere molto interessante anche in un’analisi di sensibilità, che come spiegato ad inizio capitolo, permette di utilizzare proiezioni di alcuni dati per analizzare differenti output. Risulta quindi essere molto utile, visto tutte le proiezioni sempre più positive degli ultimi anni, che vedono un aumento dell’energia rinnovabile soprattutto per quanto riguarda il mix di elettricità europeo, permettendo di capire il “guadagno ambientale”.

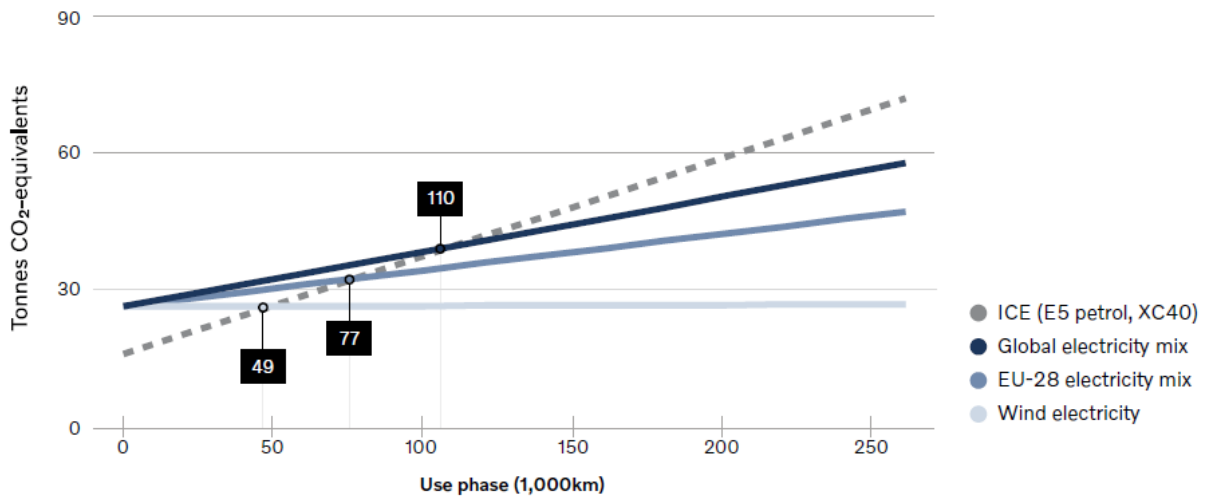


Figura 8 Punto di pareggio di emissioni per veicolo in Km percorsi (Volvo, 2021)

La Figura 8 invece, ricavata sempre dalla stessa fonte, traduce in Km percorsi con il veicolo elettrico, il numero necessario per pareggiare l'impatto ambientale con i veicoli tradizionali e quindi recuperare il gap dovuto alla fase di produzione. Come si può notare utilizzando il mix energetico globale in 110.000 Km si raggiunge il punto di pareggio. Tenendo presente il fatto che il report considera un'aspettativa di vita di 200.000 Km, la macchina elettrica produce un sensibile guadagno di riduzione di emissioni (sempre considerando il mix precedente), relativo a 90.000 Km di utilizzo.

Sono stati fatti numerosi studi relativi anche sulla quantità di anni di utilizzo richiesta per recuperare questo gap.

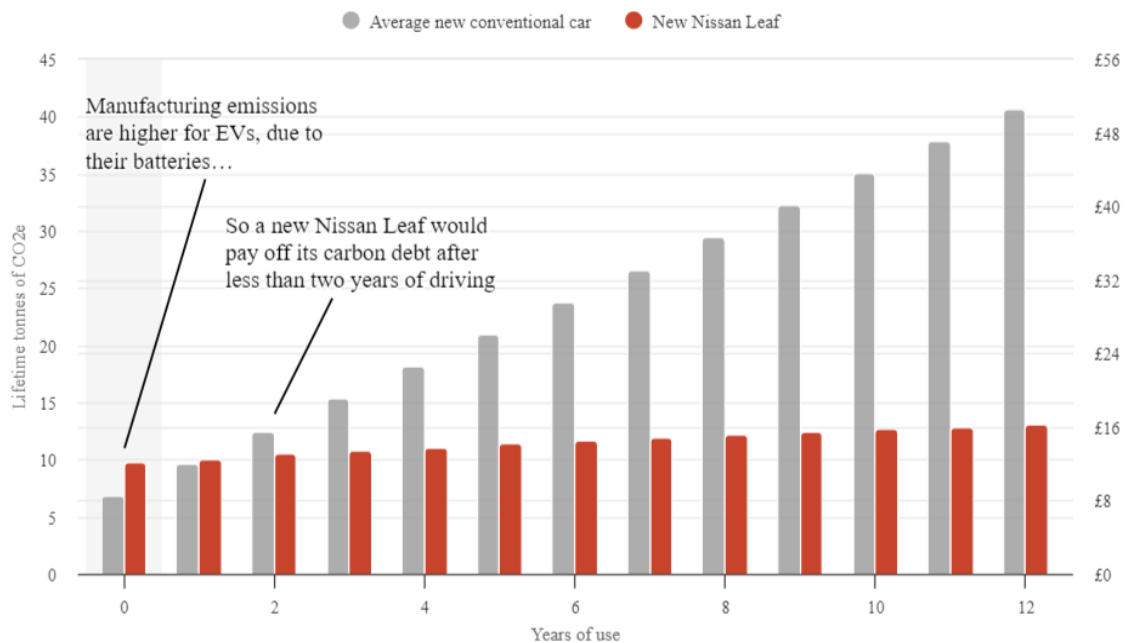


Figura 9 Emissioni totali di CO₂ per veicolo nelle fasi di produzione e utilizzo (Haufather, 2019)

La [Figura 9](#) pone a confronto le “prestazioni ambientali” di un veicolo tradizionale nel Regno Unito e la Nissa Leaf uno dei modelli elettrici più diffusi in Europa. Come si può vedere in meno di due anni il “Carbon Gap” viene recuperato. Ovviamente i risultati presentati in questo grafico risultano essere diversi da quelli presentati dal grafico delle macchine Volvo. Questa discrepanza è dovuta alle differenze delle unità funzionali, ad esempio una differente aspettativa di vita, ma soprattutto dalla differenza delle grandezze della batteria, in quanto la produzione di batterie a capienza maggiore risultano essere più inquinanti.

2.2.3 Fine vita

Questa è l’ultima fase dell’analisi. Al fine di rappresentarla al meglio, l’immagine sottostante risulta essere molto utile.

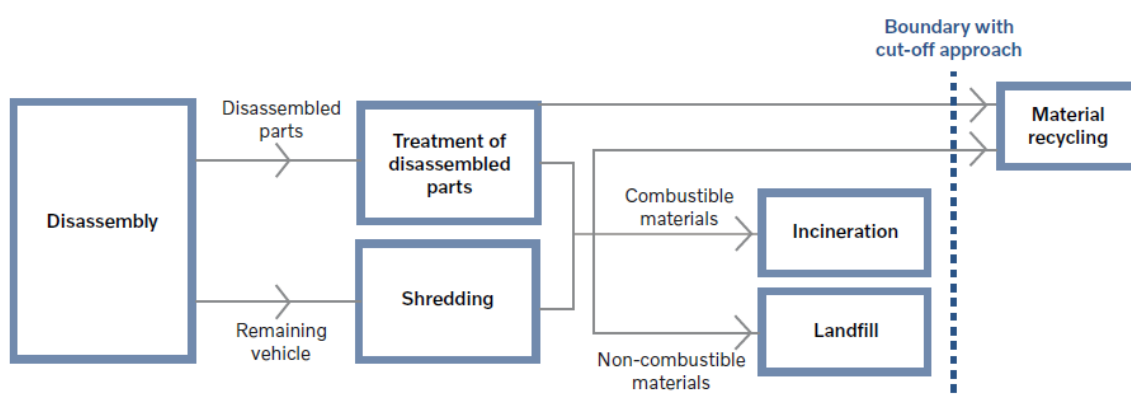


Figure 4. End-of-life system boundaries.

Figura 10 Processo di smaltimento del veicolo (Volvo, 2021)

Nella [Figura 10](#) viene evidenziato il processo oggetto di analisi con il Cut-off-approach, che elimina la fase di riciclo dei materiali. Questa fase risulta essere la più delicata data la presenza di metalli pesanti contenuti nelle batterie, che se trattati in malo modo, hanno un potenziale impatto inquinante considerevole. L’assunzione di base è quella che i veicoli vengano raggruppati e successivamente vengano indirizzati nelle relative strutture per il processo di smantellamento. Questo processo prende in considerazione la rimozione della batteria dal veicolo ed il suo raggruppamento insieme alle altre in depositi preposti. Una volta raggiunto il numero ottimale (Cost-Effective), le batterie verranno trasportate in apposite strutture, dove verranno estratti i materiali per il riciclo. In media si stima che il trasporto delle batterie riguardi circa il 4% delle emissioni totali del ciclo di vita del veicolo elettrico (Slattery et al., 2021).

Per quanto riguarda gli altri componenti, il Glider viene mandato in una struttura adibita al riciclo delle parti del veicolo, mentre le plastiche e altri materiali vari vengono distribuiti tra discariche o inviati all'inceneritore; questo andrà ad aumentare la produzione di gas serra. Percentualmente in media vengono inviate al 90% nelle discariche, mentre il restante 10% viene bruciato (Naranjo et al., 2021).

Infine, da numerosi dati emersi da vari studi, si è scoperto che nonostante le auto elettriche risultino essere meno inquinanti per la produzione di gas serra, sono più dannose per altri tipi di inquinamento. A livello di eco tossicità, i lavoratori provenienti da paesi del terzo mondo che si collocano nella catena produttiva delle auto elettriche, sono esposti a percentuali più alte di sostanze tossiche (Naranjo, et al, 2021). Tutto questo è dovuto a un mix di metalli pesanti, agenti chimici e altri elementi necessari per la produzione delle batterie.

Capitolo 3

Il costo monetario di un'auto

Accertato quindi, sulla scorta di vari studi che una macchina elettrica relativamente alle emissioni di gas serra, inquina di meno rispetto ai veicoli tradizionali con motore a combustione interna, proveremo a capire il costo monetario di questi veicoli. L'obiettivo è quindi quello di andare a vedere i costi delle varie vetture. Una volta fatto questo, utilizzando l'analisi del capitolo 2, cercheremo di dare un valore monetario alla riduzione delle emissioni di CO₂ ed infine valuteremo i costi totali dei vari tipi di auto al netto dei sussidi e del risparmio in termini economici di emissioni.

3.1 Il costo effettivo delle auto

Quando si deve scegliere se acquistare una macchina, per capire quanto sarà il relativo costo, i consumatori tendono a guardare il prezzo di acquisto e quanti Km si possono percorrere con un litro di carburante o con un kW/h di elettricità; così facendo però non si va a considerare un'altra grande componentistica di costi che vanno ad influire sulla scelta.

Per determinare il costo effettivo di un veicolo vi è la necessità di considerare vari fattori (Furch et al., 2022). Per semplificare possiamo riassumerli in 4 principali:

1. Costo di acquisto: si riferisce al prezzo di listino dei vari concessionari e include il costo di produzione della componentistica del veicolo più il relativo mark-up.
2. Costo di manutenzione: si riferisce ai costi necessari per poter permettere un corretto utilizzo del veicolo nella fase d'uso. Questa categoria si suddivide ulteriormente in altre categorie:
 - a) Costi di manutenzione preventiva: che attribuisce i costi delle operazioni effettuate con una certa regolarità per ridurre le probabilità di rottura del veicolo.
 - b) Costi di manutenzione correttivi: sono costi relativi alla riparazione delle componenti del veicolo.
3. Costo d'uso: è il costo relativo all'utilizzo del veicolo in cui rientrano il costo delle gomme, del carburante o dell'energia elettrica, l'assicurazione e altri costi.
4. Costo di smaltimento: relativo ai costi necessari per la sostituzione del veicolo al fine del suo ciclo di vita.

La somma di questi elementi va divisa per il tempo di utilizzo, per trovare il cosiddetto costo al Km. Dopo 200.000 km verrà considerata anche la sostituzione della batteria.

Basic input and calculated values	Types of passenger car drives and their costs at time t _l					
	Petrol 1.5 dm ³ TSI 110 kW	Diesel 2.0 dm ³ TSI 110 kW	Petrol and CNG 1.5 dm ³ TGI 96 kW	Petrol and PHEV 1.4 dm ³ TSI 150 kW	Petrol and MHV 1.5 dm ³ TSI 110 kW	Electric 80 kW
Purchase price of the vehicle C _p (€)	22.796	27.36	23.196	34.396	25.836	54.396
Selected service life of vehicles t _l (km/years)	400,000 15	400,000 15	400,000 15	400,000 15	400,000 15	400,000 15
Mean time between failures MTBF (km)	32	32	30	26	28	36
Average hourly price for work and workshop equipment for maintenance c _p (€/hour)	37	37	37	37	37	41
Mean working time to repair one fault t _{pc} (hour)	4	3.5	3.5	4	4	3.5
Preventive maintenance interval MTBMP (km/years)	15	15	15	15	15	20
Average working time per one preventive maintenance t _{pm} (hour)	2	2	2.5	2.25	2.25	1.25
Fuel costs CF	31.376	23.485	26.312	23.101	30.784	17.584
Costs for operating fluids, oils and lubricants COL (€)	1200	1200	1200	1200	1200	1080
The cost of tires CT (€)	2453	2453	2453	2453	2453	2453
Accumulator battery costs CAB (€)	667	667	667	667	667	18.184
Costs of mandatory CIRT + CMT + CETC (€)	3384	3724	3163	1954	3019	861
Corrective maintenance costs CMC (€)	4583	4408	4702	5640	5237	3183
Preventive maintenance costs CMP (€)	7688	7688	8980	7874	7874	2865
Life cycle cumulative costs LCC	74.147	70.985	70.673	77.285	77.07	82.423

Tabella 11 Cumulativo LCC (Life Cycle Cost) in euro per veicoli selezionati a diversa propulsione (Furch, Konecny, Krobot, 2022)

La Tabella 1 contiene una sintesi dell'analisi di costo, dove si può notare nell'ultima riga, il costo totale complessivo delle varie tipologie di veicoli. I veicoli elettrici risultano essere quelli

più costosi, mentre i convenzionali veicoli a gasolio e a benzina sono i più economici con un risparmio di circa 12.000 euro rispetto alla versione elettrica.

In questa analisi è possibile fare una comparazione del costo totale nelle varie fasi. Assumendo una durata del veicolo di 15 anni e di una percorrenza di 400.000 Km, si può notare che, nella fase di acquisto, i veicoli elettrici risultino essere più costosi e questo è dovuto alle più alte spese correlate alla tecnologia più avanzata presente nel veicolo, mentre nelle altre fasi, soprattutto quelle di manutenzione e d'uso, gli EV (veicoli elettrici) risultano essere più economici, con costi di ricarica minori e minore manutenzione riguardo alla componentistica del motore. Il problema nasce però dopo 200.000 Km, cioè quando è prevista la sostituzione delle batterie. Secondo uno studio, con la sostituzione di quest'ultima, il ROI (Return on Investment), un indice che esprime la durata di rientro dall'investimento, risulta essere negativo (Furch, et al., 2022). Questo vuol dire che il passaggio da un veicolo tradizionale a uno elettrico, in caso di sostituzione delle batterie, non permette al proprietario del mezzo di rientrare dell'investimento.

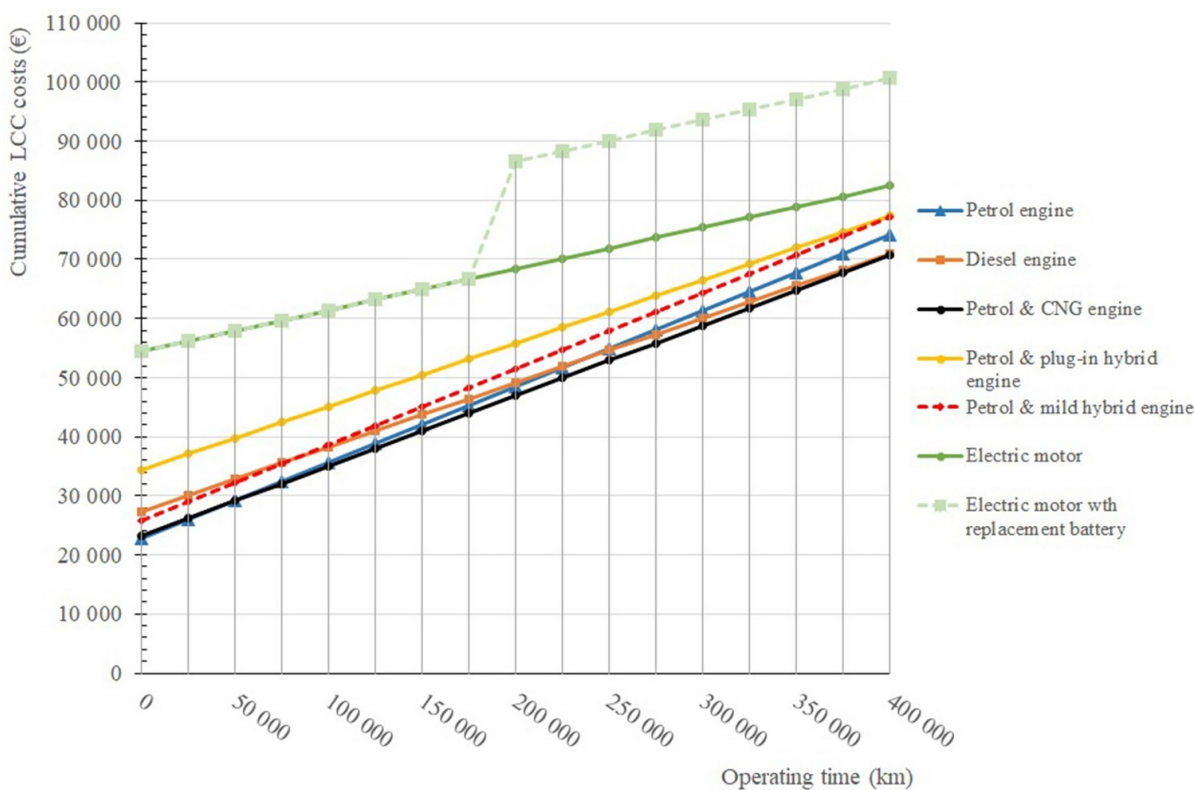


Figura 11 Cumulativo LCC in euro per veicoli selezionati a diversa propulsione per Km percorsi (Furch, Konecny, Krobot, 2022)

Come si può vedere dalla [Figura 11](#) i veicoli elettrici presentano un costo più elevato e nel momento in cui si sostituisce la batteria il costo delle vetture elettriche diventa molto più elevato in comparazione alle altre tipologie di veicoli.

3.2 Il costo del carbonio

Nel paragrafo precedente ci siamo limitati a considerare i costi sostenuti per l'acquisto, l'utilizzo e la gestione del veicolo. Qui di seguito tenteremo di integrare l'analisi attraverso una "monetizzazione" del risparmio ambientale di CO₂, riguardante l'utilizzo degli EV.

A tal fine possiamo seguire due strade:

1. Il cd. "Costo Sociale del Carbonio" (Social Cost of Carbon): si tratta di una funzione che permette di dare un valore monetario al carbonio misurando, il costo derivante dall'immissione di una sua tonnellata in più nell'atmosfera.
2. Guardare il prezzo attuale nel mercato del carbonio.

Per quanto riguarda il costo sociale del carbonio, stiamo parlando di un valore che varia da paese a paese e che peraltro è soggetto a cambiamenti che, in parte, riflettono diversi criteri di stima e diverse "sensibilità" nei confronti degli effetti esterni (locali, globali) di una tonnellata di CO₂ emessa. Basti pensare agli USA: durante l'amministrazione Obama le agenzie federali erano state chiamate, nella valutazione dei loro interventi, ad utilizzare un valore di 52 dollari per tonnellata, per poi scendere a 18 dollari con Trump e per poi risalire a 52 dollari con Biden (Zappalà, 2023).

Il problema di usare questo indicatore come misuratore a livello economico delle emissioni, sta nel fatto che attualmente viene utilizzato a livello nazionale. Questo vuol dire che i vari stati osservano solamente le emissioni nel loro territorio cercando di attribuirgli un valore. Il problema però è che, essendo il riscaldamento globale un problema mondiale e non attribuibile a uno specifico territorio o zona, questo strumento non è adeguato.

Per quanto riguarda il prezzo corrente nel mercato del carbonio si può prendere in considerazione l'Unione Europea. Nell'Unione, dal 2005 è stato introdotto il sistema ETS (Emission Trading Scheme). Dato che questo prezzo, rispetto al costo sociale del carbonio, è lo stesso per tutti gli stati membri, nonché per alcuni paesi non-EU (che aderiscono al sistema ETS), utilizzeremo questo per andare a calcolare il "guadagno economico" derivante dalla riduzione di emissioni di CO₂.



Figura 12 sviluppo prezzo del carbonio (Dosi, 2023)

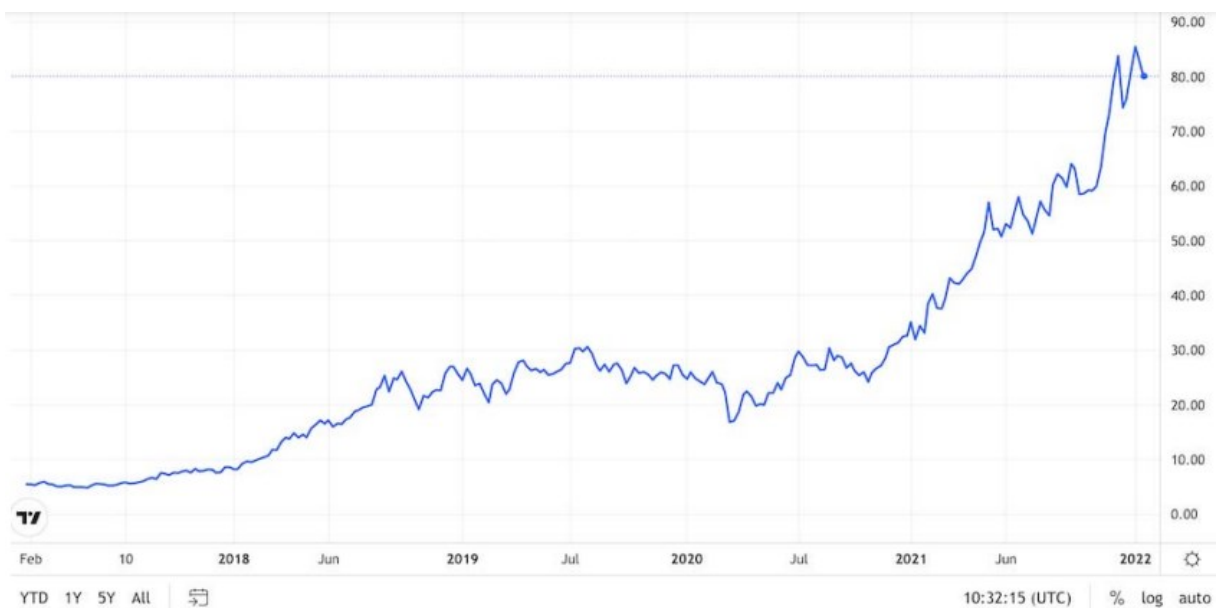


Figura 13 Sviluppo prezzo del carbonio (Dosi, 2023)

Le Figure 12 e 13 mostrano l'andamento del prezzo del carbonio negli ultimi anni. In alcuni periodi, come nel 2008, il prezzo risultava essere molto basso e di conseguenza vi era poco incentivo da parte delle aziende ad adottare politiche meno inquinanti. Per questo motivo è stata introdotta a livello europeo la Riserva stabilizzatrice del mercato, che metteva a riserva circa il 24% dei permessi totali, che diventavano disponibili solo in caso di aumento della rispettiva domanda, al fine di aumentarne il prezzo (Parlamento Europeo, 2023).

Attualmente il prezzo del carbonio si aggira intorno ai 100 euro per ogni tonnellata emessa. Per poter dare un'approssimazione del guadagno ambientale in termini economici utilizzeremo la Figura 7 del capitolo due, che comparava la vettura Volvo tradizionale con il relativo modello full-electric, prendendo in considerazione tre mix di elettricità diversi.

Il veicolo tradizionale (ICEV) emetteva nel suo ciclo di vita circa 59 tonnellate di CO₂. Il modello elettrico invece, a seconda del mix di elettricità utilizzato, che poteva essere di tre tipi: globale, europeo o puramente rinnovabile, emetteva rispettivamente 50, 42 e 27 tonnellate di CO₂. Per attribuire un prezzo, in maniera molto semplificata, alle esternalità positive derivanti dalle minori emissioni di CO₂ grazie all'utilizzo dei veicoli elettrici, adotteremo il seguente procedimento.

Sottraiamo alle emissioni totali del veicolo convenzionale quelle relative al veicolo elettrico caricato secondo i tre mix di energia. Successivamente moltiplichiamo questa differenza per il prezzo attuale del carbonio. In questo modo è possibile osservare un “guadagno ambientale” dal valore di 900 euro utilizzando il mix di elettricità globale, un guadagno di 1.700 euro utilizzando il mix europeo e un guadagno di 3.200 euro utilizzando un mix interamente rinnovabile. Dato che stiamo utilizzando il prezzo del carbonio del mercato ETS dell'Unione Europea, per questa analisi ci concentreremo sull'utilizzo del mix di elettricità europeo.

L'azienda Sorgenia evidenzia come gli incentivi nell'Unione cambino da stato a stato fino ad arrivare in alcuni casi attorno ai 10.000 euro per macchina (Sorgenia, 2023). Ipotizzando quindi un incentivo medio di 7.000 euro e sommando i 1.700 euro di “guadagno ambientale” (calcolati in precedenza), si arriva a ridurre il costo della vettura elettrica evidenziato nella Tabella 1 attorno a 73.000 euro, cifra non molto superiore al prezzo dei veicoli tradizionali.

Il problema di fondo però nasce quando è necessario sostituire le batterie; infatti questo processo risulta essere molto oneroso e quindi, ripetendo quanto detto in precedenza nel primo capitolo, fa risultare la vettura elettrica troppo costosa per la classe media. Un altro fattore da considerare è l'incremento nell'ultimo periodo del prezzo dell'elettricità, che ha fatto alzare considerevolmente i costi di ricarica. Infine, anche nel caso in cui ci fosse la scelta da parte del mercato di aderire all'elettrico, bisognerebbe considerare una significativa diminuzione delle entrate erariali, derivanti dalla mancata riscossione delle accise, dati i minori consumi di benzina e gasolio. Non è da escludere quindi che alcuni stati potrebbero adottare una possibile tassa sulla ricarica elettrica, come già avvenuto nel caso del Texas (Furch et al.,2022).

Considerazioni finali

Con il presente elaborato abbiamo trattato il tema, fortemente di attualità, dell'utilizzo delle auto elettriche in sostituzione a quelle tradizionali, per capire se effettivamente fossero meno inquinanti e se la loro adozione potesse aiutare a risolvere, o quantomeno ridurre, il problema del riscaldamento globale. Abbiamo analizzato questa tematica in tre punti principali, uno per ogni capitolo.

Nel primo è stato fatto un confronto tra le varie politiche adottate dai vari Stati in materia, cercando di capire quali fra questi Paesi stesse acquistando un ruolo sempre più importante in questo nuovo mercato che si sta creando.

Nel secondo capitolo invece ci siamo concentrati, utilizzando l'approccio LCA, in una comparazione tra i veicoli tradizionali e le vetture elettriche, confrontando le emissioni di CO₂ dalla loro fase di creazione fino alla loro fase di smaltimento.

Nell'ultimo capitolo invece abbiamo tenuto conto degli incentivi attribuendo un valore monetario semplificato alle esternalità positive, derivanti dalla riduzione dell'emissione di CO₂ causate dall'utilizzo di un veicolo elettrico invece di uno convenzionale. Tramite questo procedimento abbiamo fatto una comparazione tra i costi totali, che un consumatore deve sostenere, a seconda della tipologia di veicolo utilizzato e della sua alimentazione.

Dopo questa analisi, possiamo individuare che tra gli elementi positivi derivanti dall'adozione di un veicolo elettrico vi è quello di una sensibile riduzione sul totale di anidride carbonica emessa durante l'intero ciclo di vita del veicolo. Dato che, il settore dei trasporti è uno di quelli in cui è più complicato ridurre le emissioni, questa soluzione parrebbe essere la più efficace nel breve periodo per attenuare il problema del cambiamento climatico, anche grazie alla mobilitazione in quest'ottica delle principali case automobilistiche e dei vari Stati con le loro politiche "green".

Essendo infatti il riscaldamento globale un problema sempre più grande, trovare una soluzione in tempi brevi risulta essere fondamentale, considerando soprattutto gli obiettivi di numerosi Stati di essere "carbon neutral" nei prossimi anni.

Per quanto riguarda il medio e il lungo periodo invece andrebbero cercate altre soluzioni. Questo perché, come evidenziato nel capitolo due, nonostante le riduzioni di anidride carbonica, le auto elettriche sono relativamente più inquinanti in altri ambiti come la Eco-tossicità. Per questo motivo è necessario trovare un'altra soluzione perché altrimenti potrebbe esserci il rischio di sostituire un problema con un altro. Si passerebbe quindi a risolvere, perlomeno parzialmente, il problema del riscaldamento globale e poi trovarsi tra una decina d'anni a dover affrontare gli altri tipi di inquinamento generati da queste auto.

In aggiunta dobbiamo tenere in considerazione anche l'aspetto economico. Come evidenziato nel terzo capitolo assumendo una sostituzione della batteria (operazione necessaria dopo circa 10 anni o 200.000 Km), il costo di questi veicoli in comparazione ai convenzionali, diventa significativamente più alto, non rendendo possibile per una grande parte della popolazione il loro acquisto.

L'azienda Acea evidenzia infatti come la percentuale di penetrazione del mercato da parte dei veicoli elettrici sia inferiore al 9% nei paesi con un reddito medio netto inferiore ai 12.000 euro, mentre le percentuali di penetrazioni maggiori (attorno al 30%) riguardano i paesi con un reddito superiore ai 32.000 euro netti all'anno (Acea, 2023).

Sempre a riguardo, bisognerebbe considerare la tematica incentivi; infatti come affermato più volte in questo elaborato, stiamo trattando un mercato basato e creato da questi sussidi che, a loro volta, dipendono dalle varie politiche che gli Stati adotteranno nei prossimi anni.

Per tutti questi motivi riteniamo che le auto elettriche non siano la soluzione definitiva, né da un punto di vista ambientale, considerando più tipologie di inquinamento, né tanto meno da un punto di vista economico. Ad oggi infatti il pensiero comune sul veicolo elettrico è quello che gli attribuisce l'etichetta di auto da "ricchi". Di conseguenza pensiamo che anziché cancellare la produzione di veicoli tradizionali, bisognerebbe migliorarne la tecnologia sottostante per cercare di renderle più "eco-friendly" in quanto risultano essere quelle più "abbordabili" per la maggior parte della popolazione. Tutto questo perché ad oggi le auto elettriche non sono la soluzione definitiva, ma sono un piccolo passo per arrivare al traguardo della ecosostenibilità.

Riferimenti Bibliografici

Acea, 2023. Interactive map – affordability of electric cars: Correlation between market uptake and annual net income [Online]. Disponibile su: <<https://www.acea.auto/figure/interactive-map-affordability-of-electric-cars-correlation-between-market-uptake-and-annual-net-income/>>. [Data di accesso: 18/05/2023].

Choudhury, S., 2021. Are electric cars “Green”? The answer is yes but it’s complicated. *CNBC* [Online]. Disponibile su: <<https://www.cnbc.com/2021/07/26/lifetime-emissions-of-evs-are-lower-than-gasoline-cars-experts-say.html>> [Data di accesso: 16/05/2023].

Conti, A., 2021. Auto elettriche, quanto costano? In Europa il 31,7% più delle termiche. *Gazzetta* [Online]. Disponibile su: <<https://www.gazzetta.it/motori/mobilita-sostenibile/auto-elettriche/11-10-2021/auto-elettriche-quanto-costano-europa-31-7percento-piu-termiche-4201737724197.shtml>>. [Data di accesso: 08/06/2023].

Dosi, C., 2023. Environmental policies in theory and in practice: goals and instruments. Dept. Of Economics and Management, Univ. di Padova.

Econopoly Numeri idee e progetti per il futuro, 2023. Chi comprerà le auto elettriche senza incentivi? Intanto il mercato avvisa. *Il Sole 24 Ore* [Online]. Disponibile su: <<https://www.econopoly.ilsole24ore.com/2023/03/02/auto-elettriche-rystad/>> [Data di accesso 17/05/2023].

Furch, J., Konecny, V., Krobot, Z., 2022. Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles. *Scientific reports* [Online]. Disponibile su: <<https://www.nature.com/articles/s41598-022-14715-8>>. [Data di accesso: 17/05/2023].

Girardi, P., Brambilla, C., Mela, G., 2019. Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 16, Number 1—pp. 140–150.

Greenreport.it, 2023. Iea: <<La domanda di auto elettriche è in forte espansione>> [Online]. Disponibile su: <<https://greenreport.it/news/energia/iea-la-domanda-di-auto-elettriche-e-in-forte-espansione/>>. [Data di accesso 17/05/2023].

Hausfather, Z., 2020. The lifecycle emission figures were revised to reflect more recent data on electricity carbon intensity and battery manufacture. *Carbon Brief* [Online]. Disponibile su: <<https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change/>> [Data di accesso: 16/05/2023].

Hawkins, T., Singh, B., Bettez, G., Stromman, A., 2012. Comparative environmental life cycle assessment of Conventional and Electric vehicles. *Industrial Ecology* [Online]. Disponibile su: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>> [Data di accesso: 16/05/2023].

Il Sole 24 Ore, 2022. Auto elettriche, la ricarica costa il 161% in più in un anno per il caro energia [Online]. Disponibile su: <<https://www.ilsole24ore.com/art/auto-elettriche-i-rincari-bolletta-un-anno-si-spende-161percento-piu-AEayPABC>> [Data di accesso: 17/05/2023].

Industry service for electric mobility, 2021. Volvo reveals the CO₂ footprint of the C40 Recharge. *Electrivate.com* [Online]. Disponibile su: <<https://www.electrivate.com/2021/11/04/volvo-reveals-the-co2-footprint-of-the-c40-recharge/>>. [Data di accesso: 17/05/23].

MacDonald, J., 2016. Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040. *Bloomberg new energy finance*. [Online]. Disponibile su: <https://www.bbhub.io/bnef/sites/4/2016/02/BNEF_EV-Forecast_2016_FINAL.pdf>. [Data di accesso: 17/05/23].

McKinsey & Company, 2023. The race to decarbonize electric-vehicle batteries [Online]. Disponibile su: <<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-to-decarbonize-electric-vehicle-batteries>> [Data di accesso: 16/05/2023].

Murgida, R., 2022. La Norvegia valuta il taglio o l'abolizione dei privilegi su tasse e pedaggi. *Quattroruote* [Online]. Disponibile su: <[28](https://www.quattroruote.it/news/industria-finanza/2022/05/05/auto_elettriche_la_norvegia_valuta_il_taglio_o_l_abolizione_dei_privilegi_su_tasse_e_pedaggi.html#:~:text=La%20fiscalit%C3%A0%20norvegese.&text=Le%20auto%20elettriche%20beneficiano%20di,50%25%20rispetto%20alle%20analoghe%20endotermiche.> [Data di accesso: 17/05/2023].</p></div><div data-bbox=)

Naranjo, G., Bolonio, Ortega, B., Ortega, M., Martínez, M., 2021. Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicle in Spain. *Elsevier*.

Parlamento Europeo, 2023. Emissioni di CO₂ delle auto: i numeri e i dati. Infografica [Online]. Disponibile su: <[Parlamento Europeo, 2023. Il sistema delle quote di emissione e la sua riforma in breve \[Online\]. Disponibile su: <\[> \\[Data di accesso: 18/05/2023\\].\]\(https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20170213STO62208/il-sistema-di-scambio-delle-quote-di-emissione-e-la-sua-riforma-in-breve\)](https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20190313STO31218/emissioni-di-co2-delle-auto-i-numeri-e-i-dati-infografica#:~:text=Il%20settore%20dei%20trasporti%20%C3%A8,'Agenzia%20Europea%20dell'Ambiente.> [Data di accesso: 08/06/2023].</p></div><div data-bbox=)

Pryshlakivsky, J., e Searcy, C., 2013. Fifteen years of ISO 14040: a review. *Elsevier* [Online]. Disponibile su: <[> \[Data di accesso: 16/05/23\].](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613003764)

Puko, T., 2023. Biden to remake U.S. auto industry with toughest emission limits ever. *Washington Post* [Online]. Disponibile su: <<https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/04/12/biden-auto-emissions-rules-climate/>> [Data di accesso: 17/05/2023].

Pulcini, A., 2023. Auto elettriche da record, nel 2023 green una macchina su 5. Cala il mercato italiano. *Fortune Italia* [online]. Disponibile su: <<https://www.fortuneita.com/2023/04/26/auto-elettriche-da-record-nel-2023-green-una-vendita-su-5/>>. [Data di accesso: 17/05/2023].

Slattery, M., Dunn, J., Kendall, A., 2021. Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at the end of life: a literature review. *Elsevier* [Online]. Disponibile su: <[> \[Data di accesso: 17/05/2023\].](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921003645)

Sorgenia, 2023. Incentivi auto elettriche [Online]. Disponibile su: <<https://www.sorgenia.it/guida-energia/incentivi-auto-elettriche#:~:text=Gli%20incentivi%20europei%20per%20le,ibride%20con%20o%20senza%20rottamazione>>. [Data di accesso: 18/05/2023].

U.S. Department of Energy, 2020. Alternative Fuels Data Center [Online]. Disponibile su: <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html> [Data di accesso: 16/05/2023].

Verma, S., Dwivedi, G., Verma, P., 2022. Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: a review. *Elsevier*.

Volvo, 2021. Carbon footprint report, Volvo C40 Recharge. *Volvo LCA report* [Online]. Disponibile su: <<https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Market-Assets/INTL/Applications/DotCom/PDF/C40/Volvo-C40-Recharge-LCA-report.pdf>> [Data di accesso: 17/05/2023].

Zappalà, G., 2023. Etichs economics and enviromental policies. *Enviromental economics and policy* – University of Padova.

Zhou, Y., Wang, M., Hao, H., Johnson, L., Wang, H., Hao, H., 2014. Plug-in electric vehicle market penetration and incentives: a global review. *Springer Link* [Online]. Disponibile su: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-014-9611-2>>. [Data di accesso: 17/05/2023].