

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Diritto Pubblico, Internazionale e  
Comunitario

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Corso di Laurea in Diritto e Tecnologia

Anno accademico 2022/2023

Titolo tesi: Transizione elettrica nel mercato  
automobilistico: analisi dell'impatto economico ambientale,  
regolamenti e politiche

Relatore: Andrea Gerosa

Studente: Letizia Castellani

## Abstract

La transizione verso la mobilità elettrica è stato un tema al centro del dibattito europeo degli ultimi mesi. Questo studio propone un'analisi critica della letteratura di riferimento con un'attenzione particolare rivolta alle varie dimensioni che tale transizione comporta, da quelle normative-politiche a quelle economiche ed ambientali. Più nello specifico, la tesi vedrà come suo punto di partenza il contesto normativo in cui tale transizione si inserisce, passando poi per un confronto accurato tra veicoli a motore termico e quelli a motore elettrico. Successivamente verrà presentato un approfondimento circa l'economia circolare applicata al settore automobilistico, con un riferimento alla stakeholder theory ed infine lo studio si concluderà analizzando le criticità legate alla sicurezza dei veicoli elettrici, soprattutto per quanto concerne le loro stazioni di ricarica. Ecco, quindi, che con il presente studio si vuole contribuire ad una migliore comprensione dei vari aspetti di questa transizione elettrica, evidenziando sfide ed opportunità che essa rappresenta per l'industria automobilista e la società nel suo complesso.

## Indice

Introduzione .....	3
1. REGOLAMENTI E POLITICHE EUROPEE SULLA MOBILITA' ELETTRICA.....	4
1.1. Il Green Deal: contesto, obiettivi e motivi della proposta .....	4
1.2. Framework normativo europeo per le batterie elettriche: analisi dell'attuale stato delle batterie e proposte per contrastarne l'impatto a livello ambientale e sociale .....	5
1.2.1. Premesse .....	5
1.2.2. Batterie: classificazioni, componenti chimiche e impatti socio-ambientali .....	5
1.2.3. Proposte dell'UE per una progettazione sostenibile delle batterie .....	6
1.3. Politiche di incentivo e sostegno alla diffusione delle auto elettriche in Europa: effetto USA	7
1.3.1. La sfida dell'UE per l'autosufficienza: la nascita delle Gigafactory .....	7
1.3.2. I progetti in Italia .....	8
1.3.3. L'effetto USA e la risposta dell'Unione Europea .....	8
2. VEICOLI A MOTORE TERMICO (ICEVs) E VEICOLI A MOTORE ELETTRICO (EVs) A CONFRONTO .	10
2.1. Caratteristiche principali dei veicoli elettrici .....	10
2.2. Analisi comparativa nei diversi paesi europei dal punto di vista economico.....	11
2.3. Analisi comparativa nei diversi paesi europei dal punto di vista ambientale .....	15
2.4. LCA: Life Cycle Assessment.....	17
2.4.1. Introduzione: definizione e tipologie di approcci .....	17
2.4.2. Confronto tra ICEVs e BEVs in tutte le fasi del ciclo di vita.....	18
2.4.3. LCA delle batterie .....	18

2.5.	Risultati emersi, criticità e sfide future.....	19
3.	TRANSIZIONE ELETTRICA E NET ZERO ECONOMY .....	20
3.1.	Economia circolare: che cos'è e come si inserisce nel contesto automobilistico.....	20
3.2.	La stakeholder theory applicata alla transizione elettrica.....	21
3.3.	Effetti a medio-lungo termine del passaggio al motore elettrico: impatto sulla supply chain 26	
3.4.	Considerazioni finali .....	29
4.	LE CRITICITA' CIRCA LA SICUREZZA DEI VEICOLI ELETTRICI.....	30
4.1.	Stazioni di ricarica dei veicoli elettrici (ECVS): architettura e requisiti.....	30
4.2.	Vulnerabilità delle ECVS.....	32
4.3.	Standard e risk management framework necessary a mitigare i rischi cyber delle ECVS... 36	
4.3.1.	Standards .....	36
4.3.2.	Risk management framework .....	38
	Conclusioni .....	40
	Bibliografia .....	41

## Introduzione

L'impatto ambientale delle attività umane è un tema sempre più centrale nel dibattito politico nazionale e internazionale; in particolare, la tematica del cambiamento climatico e del riscaldamento globale ha dominato l'opinione pubblica degli ultimi anni, portando alla presa di posizione di varie entità normative, tra cui l'Unione Europea. Quest'ultima, infatti, ha preso parte all'accordo di Parigi del 2015 con cui ha firmato l'impegno di ridurre le emissioni di gas serra almeno del 40% rispetto ai livelli degli anni 90 del secolo scorso entro il 2030 e di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 (1). Quest'ultimo obiettivo è stato reso giuridicamente vincolante dall'UE tramite il regolamento Green Deal. Proprio dall'analisi di questo regolamento, del suo contesto e dei suoi obiettivi, partirà lo studio di questa tesi che ha come focus la transizione elettrica nel settore automobilistico, in quanto studi dimostrano che una consistente parte di inquinamento derivi proprio dai motori dei veicoli alimentati a benzina o diesel. Nel secondo capitolo ci sarà, poi, un confronto critico tra i veicoli a motore termico e quelli a motore elettrico, analizzando i vari impatti che entrambi hanno a livello economico ed ambientale. Procedendo con il terzo capitolo, vi sarà un approfondimento sul tema della net zero economy e, tramite l'utilizzo della stakeholder theory, sulla supply chain dei veicoli elettrici. Infine, il quarto e ultimo capitolo, evidenzierà la tematica relativa ai rischi cyber delle stazioni di ricarica dei veicoli elettrici e si occuperà di analizzare standard e framework necessari per la mitigazione di tali criticità.

# 1. REGOLAMENTI E POLITICHE EUROPEE SULLA MOBILITA' ELETTRICA

## 1.1. Il Green Deal: contesto, obiettivi e motivi della proposta

Il regolamento Green Deal (2) lancia una nuova strategia di crescita che ha come obiettivo non solo quello di rendere l'Unione Europea una società equa e prospera, con un'economia moderna, efficiente e competitiva ma anche quello di fare dell'Europa il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050 al fine di proteggere la salute e il benessere dei suoi cittadini dai rischi dei cambiamenti climatici e dalle loro conseguenze. Per fare ciò, l'UE, sulla base di una valutazione d'impatto organica, nel settembre 2020 ha proposto, e poi in seguito approvato, una modifica più ambiziosa alla legislazione in materia di clima e energia (3), in vigore all'epoca, consistente in una riduzione delle emissioni nette di almeno il 55% entro il 2030 rispetto al 40% previsto dall'accordo di Parigi.

Secondo l'UE è fondamentale che a questo obiettivo contribuiscano tutti i settori economici e strategici, compresa l'industria automobilistica. Le emissioni di gas ad effetto serra prodotte dal trasporto su strada rappresentano quasi il 20% delle emissioni totali di gas a effetto serra dell'UE e il settore del trasporto è l'unico a registrare un aumento significativo dagli anni 90 del secolo scorso. La questione, però, si fa delicata dal momento che l'industria automobilistica è di fondamentale importanza per l'economia del vecchio continente, rappresentandone oltre il 7% del PIL e garantendo un posto di lavoro – direttamente o indirettamente, nei settori manifatturiero, delle vendite, della manutenzione, della costruzione e dei trasporti e servizi connessi – a 14,6 milioni di europei (4). Inoltre, l'UE è tra i maggiori produttori mondiali di veicoli a motore e gode di una leadership tecnologica in questo settore. Dunque, è necessità dell'Unione Europea accompagnare il settore automobilistico in questa importante transizione in modo tale da non indebolirne il primato tecnologico, alla luce della concorrenza internazionale.

La proposta, che risulta essere parte integrante del pacchetto 2030 su clima ed energia "fit for 55", dunque, è finalizzata al conseguimento di tre obiettivi specifici. Il primo è contribuire agli obiettivi climatici riportati in precedenza riducendo le emissioni di CO2 delle autovetture e dei veicoli commerciali leggeri. Il secondo obiettivo specifico punta a garantire a cittadini e consumatori i benefici derivanti dalla diffusione di veicoli a emissioni zero, tra cui abbiamo non solo un miglioramento nella qualità dell'aria, soprattutto nelle città, ma anche notevoli risparmi energetici e costi più accessibili dovuti ad un aumento dell'offerta. Il terzo obiettivo specifico mira a stimolare l'innovazione nelle tecnologie a zero emissioni rafforzando così la leadership tecnologica del settore automobilistico e l'occupazione.

Diverse sono le motivazioni dell'iniziativa: in primo luogo, vi è da parte dell'UE la necessità nel breve o lungo termine di avere un calendario dettagliato per le varie fasi di attuazione della proposta. I costruttori di autovetture e veicoli di nuova immatricolazione, in questo modo, dovranno conformarsi ai nuovi obiettivi per le emissioni di CO2, riferire alla Commissione i dati relativi al consumo reale di carburante misurati con dispositivi standardizzati e saranno soggetti a verifiche di conformità. In secondo luogo, vi è il valore aggiunto dell'intervento dell'Unione rispetto ad un eventuale intervento dei singoli stati in quanto esso garantisce miglior coordinamento, certezza del diritto e una efficacia maggiore. In terzo luogo, abbiamo una compatibilità con il quadro finanziario pluriennale ed eventuali sinergie con altri strumenti pertinenti, nel senso che la proposta è compatibile con gli

obiettivi del Next Generation EU (5) e del quadro finanziario 2021-2027 che contribuiranno alla realizzazione della duplice transizione verde e digitale a cui l'UE sta puntando.

## 1.2. Framework normativo europeo per le batterie elettriche: analisi dell'attuale stato delle batterie e proposte per contrastarne l'impatto a livello ambientale e sociale

### 1.2.1. Premesse

Tra i veicoli a zero emissioni presi in considerazione all'interno del Green Deal attualmente figurano i veicoli elettrici a batteria, i veicoli alimentati a celle a combustibile o ad idrogeno. Per quanto concerne i primi, è bene sottolineare quanto la tematica delle batterie, dallo sviluppo all'uso passando per la produzione, giochi un ruolo chiave nella transizione dell'UE verso un'economia circolare e sostenibile. La spinta verso una sempre più crescente elettrificazione dei trasporti e di conseguenza un impiego sempre maggiore di batterie nelle reti elettriche fa sì che si preveda entro il 2030 un aumento della domanda globale di batterie di 14 volte rispetto a quella attuale (6), dove l'Unione Europea rappresenterebbe il 17% di tale domanda (7). Inoltre, sempre secondo alcune stime (8), si prevede che il mercato delle batterie potrebbe arrivare a valere fino a 250 miliardi l'anno entro il 2025. Dal momento, quindi, che è prevista una crescita esponenziale di tale mercato diventa fondamentale garantirne la sostenibilità. Per questo motivo, la Commissione Europea, con l'European Battery Alliance prima e con lo "strategic action plan on batteries" dopo, ha adottato una serie di misure con lo scopo di assicurare l'accesso alle materie prime provenienti da paesi ricchi di risorse esterne all'UE e in egual modo assicurare l'accesso a materie prime secondarie disponibili grazie al riciclo delle batterie nei contesti di economia circolare; supportare la produzione europea di celle per batterie su larga scala e una value chain sempre più competitiva attraverso il sostegno a ricerca e innovazione, a una manodopera qualificata e alla sostenibilità di tutte le fasi di quest'ultima. Di recente e più precisamente nel dicembre 2020, la Commissione Europea ha adottato una proposta sulla regolazione delle batterie e il loro spreco, che si colloca all'interno del Green Deal e che analizza in modo concreto lo stato delle batterie e stabilisce requisiti di sostenibilità.

### 1.2.2. Batterie: classificazioni, componenti chimiche e impatti socio-ambientali

Esistono molti criteri con cui effettuare una differenziazione tra le batterie (9). Il primo è quello legato al riciclo per cui abbiamo batterie primarie, non riciclabili, e batterie secondarie, che invece lo sono. Il secondo, che risulta essere anche il più comune, classifica le batterie in portatili (utilizzate nell'elettronica di consumo), automobilistiche e industriali. Più in generale, possiamo affermare che le diverse classificazioni corrispondono a diverse modalità di costruzione e componenti chimiche delle batterie. In particolare, troviamo antimonio all'interno delle batterie a piombo; terre rare nelle batterie nichel-metallo all'idruro e cobalto e grafite naturale nelle batterie agli ioni di litio. Di questo passo, con questa transizione in atto, secondo alcune previsioni, l'UE necessiterà di una quantità di litio e di cobalto rispettivamente maggiore di 60 e 15 volte rispetto a quella attuale entro il 2050 (10). Questo, però, richiede ulteriori riflessioni dal punto di vista sociale, dal momento che l'estrazione e lo sfruttamento di alcuni minerali da batterie comporta, per le terre in cui ciò avviene, non solo gravi inquinamenti di acque, terreni ed aria; degrado del paesaggio e dell'ecosistema ma anche violazione di diritti umani e carenza di protezione dei lavoratori. Un esempio concreto di ciò è il cobalto: quasi la metà delle sue riserve risiedono nella Repubblica Democratica del

Congo, che ne rappresenta circa i due terzi della produzione mondiale, ma secondo una ricerca del UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) all'incirca il 20% del cobalto che arriva dal Congo proviene da miniere artigianali dove più di 40.000 bambini lavorano in condizioni estremamente pericolose (11). La polvere che si crea con l'estrazione può contenere, infatti, materiali tossici per l'uomo, come l'uranio, che possono comportare gravi malattie respiratorie e malformazioni sulle nascite future. Anche ambientalmente parlando, le batterie comportano sfide complesse. Secondo calcoli del World Economic Forum e il Global Battery Alliance, le fasi più intense a livello di emissioni di gas serra della battery value chain sono la produzione di celle e materiali attivi. L'impronta carbonica, infatti, dipende dalla fonte energetica utilizzata nella produzione. Se, per esempio, consideriamo le batterie a ioni di litio, vi sono studi che dimostrano come l'impatto della produzione delle batterie sul riscaldamento globale cambi drasticamente a seconda che si utilizzi un'elettricità mista a carbone nucleare e benzina o energia idroelettrica. Anche lo smaltimento e il riciclo delle batterie è un tema centrale: ogni anno in Europa vengono sprecate più di 1.9 milioni (12) di tonnellate di batterie. Nonostante studi riportino ottimi risultati per quanto riguarda il tasso di riciclo ottenuto per le batterie automobilistiche a piombo, rimane ancora molto basso il tasso di riciclo delle batterie a ioni di litio in quanto il processo di smaltimento risulta essere costoso e ancora non del tutto formalizzato. Inoltre, si attesta basso anche il volume dei materiali recuperati dalla produzione di batterie: solo il 12% dell'alluminio, il 22% del cobalto, l'8% del manganese e il 16% del nichel presenti all'interno dell'UE sono riciclati.

### 1.2.3. Proposte dell'UE per una progettazione sostenibile delle batterie

Per tutte queste motivazioni, nel 2020 il Parlamento europeo ha esortato la Commissione ad affrontare la dipendenza dell'UE dalle importazioni di materie prime per la produzione di batterie, anche laddove questo comporti violazioni dei diritti umani e dei lavoratori e degrado ambientale, come sopra citato. Il Parlamento chiedeva la proposta di un nuovo framework normativo, che avrebbe dovuto tenere conto dell'approvvigionamento etico e sostenibile delle batterie e di una progettazione ecocompatibile con un'attenzione particolare all'intero ciclo di vita di queste ultime. A fine 2020, il Consiglio Europeo ha accolto con favore la proposta relativa a questo nuovo quadro normativo, il quale sostituisce la Direttiva sulle Batterie del 2006 (13), fino ad allora in vigore. La proposta (14), che si basa su una serie di valutazioni della Commissione sulla precedente direttiva e su diverse consultazioni pubbliche e con i vari stakeholders, ha tre obiettivi principali collegati tra di loro: rafforzare il funzionamento del mercato interno, garantendo parità di condizioni attraverso un insieme di norme comuni; promuovere un'economia circolare e ridurre gli impatti sociali ed ambientali in tutte le fasi del ciclo di vita delle batterie. Essa tra le svariate innovazioni che propone, include anche:

- L'introduzione di una nuova categoria di batterie tra quelle già conosciute, ovvero le batterie dei veicoli elettrici (EV batterie);
- Requisiti progressivi volti alla riduzione dell'impronta carbonica delle batterie EV e di quelle industriali ricaricabili con obbligo di dichiarazione di quest'ultima applicabile dal 2024;

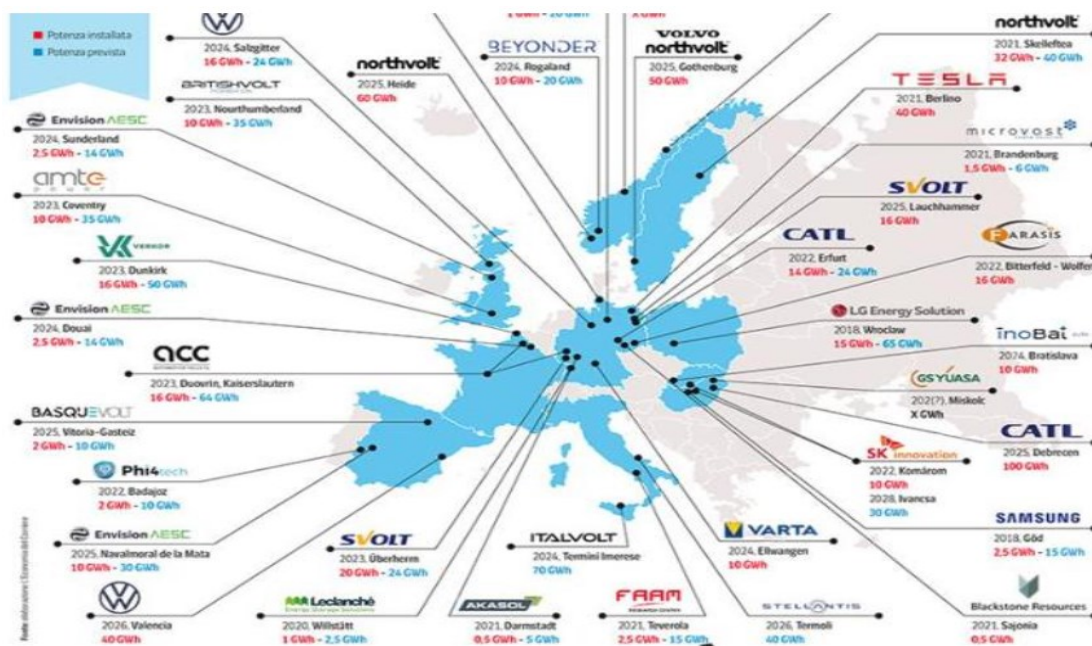
Obbligo di dichiarazione del contenuto riciclato applicabile dal 1° gennaio 2027 alle batterie industriali, EV e automobilistiche contenenti cobalto, piombo, litio o nickel nei materiali attivi.

### 1.3. Politiche di incentivo e sostegno alla diffusione delle auto elettriche in Europa: effetto USA

#### 1.3.1. La sfida dell'UE per l'autosufficienza: la nascita delle Gigafactory

Abbiamo affrontato nei punti precedenti come l'elettrificazione dei trasporti causerà un'impennata nella domanda globale di batterie e in che modo l'Unione Europa sta cercando di affrontare questo cambiamento epocale attraverso nuovi regolamenti come il Green Deal e quello sulle batterie. Il Vecchio continente, però, ha anche un'altra importante ambizione e cioè quella di migliorarsi fino a rendersi autosufficiente nella produzione di sistemi di accumulo di energia entro il 2025 e coprire insieme agli USA un quarto della capacità mondiale di tale produzione entro la fine del decennio. Nonostante alcuni studi (15) sembrino rassicurare sul fatto che l'UE sia sulla buona strada per raggiungere questi obiettivi, il confronto con la Cina, però, purtroppo non regge. Pechino ha attualmente una capacità di produzione annua di 465 GWh, che corrisponde a circa il 78% del totale mondiale (16) ed è proprio per contrastare questo dominio che l'UE deve aumentare la propria produzione di energia. La Commissione Europea stima che entro il 2025 ci sarà bisogno di 400 GWh di capacità di batterie, che richiedono investimenti per circa 78,2 miliardi di dollari come dimostra uno studio del Financial Times. Da qui, quindi, la volontà di creare una rete di 33 gigafactory sparse su tutto il territorio dell'UE compreso anche il Regno Unito, come mostrato nella figura 1.1. Alcune di loro sono piccole startup specializzate nella produzione di batterie sostenute da investimenti pubblici o privati come Northvolt, Verkor o Itavolt in Italia; altre, invece, sono progetti delle grandi case automobilistiche come Volkswagen, Nissan e Tesla.

Figura 1.1



Fonte: L'economia nel Corriere

### 1.3.2. I progetti in Italia

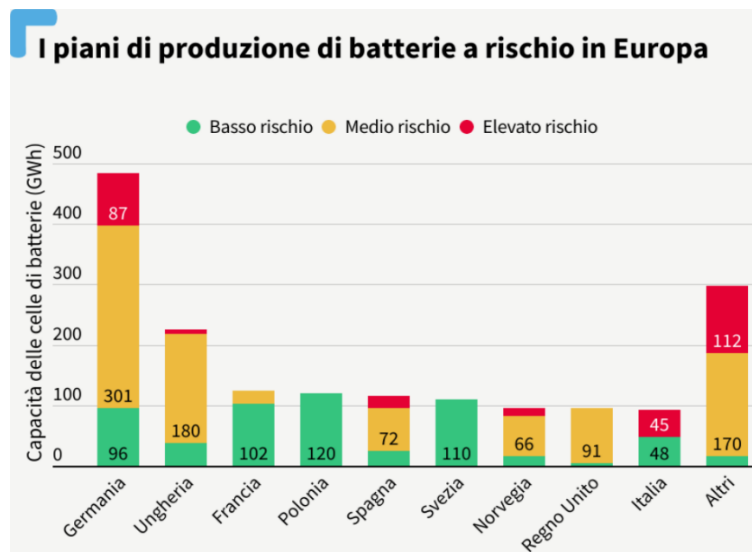
Attualmente sono quattro i progetti principali di gigafactory in Italia (17). Il più rilevante è quello di Acc Automotive Cell Company – partnership tra Stellantis, Total e Mercedes Benz – che sarà realizzato a Termoli, in Molise, e che vanta di un investimento di oltre 2 miliardi più 370 milioni di euro erogati dal governo targati Pnrr. Il progetto prenderà il via nel 2026 e lo stabilimento sarà avviato nel 2030. Un secondo progetto è quello di Seri industrial a Teverola, in provincia di Caserta, dove ad oggi è già attivo uno stabilimento di batterie al litio da 350 megawatt per anno, composto da 150 dipendenti ma vi sono ambizioni più grandi come quella di arrivare a 8,5 giga wattora entro il 2024. Anche questo progetto è stato finanziato da fondi europei per una cifra di 510 milioni di euro erogati in base all'avanzamento dei lavori. Dopodiché abbiamo il progetto Itavolt, inizialmente pensato a Scarmagno, in provincia di Torino, ma poi spostato all'ex sito Stellantis di Termini Imerese in Sicilia poiché la rete elettrica dell'ex polo Olivetti non era adatta a sostenere le esigenze energetiche del progetto. L'apertura dello stabilimento risulta prevista per il 2025 e ha come obiettivo il raggiungimento di una capacità produttiva fino a 45 GWh all'anno assieme ad una drastica riduzione di emissioni di CO2 possibile grazie all'utilizzo di materie prime sostenibili, energie rinnovabili e sistemi di riciclo innovativi. Infine, vi è un progetto ambizioso ma ancora sottotraccia che è quello di Fincantieri SI, controllata di Fincantieri, e Faist Electronics da cui nasce la joint venture Power4Future, dedicata alla produzione di batterie al litio. Quest'ultima gigafactory si trova posizionata a Piedimonte San Germano, in provincia di Frosinone, e la partenza della produzione ha preso il via lo scorso giugno.

### 1.3.3. L'effetto USA e la risposta dell'Unione Europea

Nonostante i buoni propositi di questi progetti, a livello pratico in Europa così come in Italia, essi tardano a vedersi realizzati in quanto mancano finanziamenti statali e i vari investitori fuggono verso realtà più appetibili come Stati Uniti o Cina. Un esempio lo costituisce il caso Itavolt (18). La società che, di recente, ha annunciato una partnership con la startup israeliana StoreDot, ad oggi pioniera e leader mondiale nella tecnologia delle batterie agli ioni di litio a ricarica ultrarapida e ad alta densità energetica, si vede costretta a rallentare la sua tabella di marcia a causa dei tempi di messa appunto della creazione degli elettrodi ad hoc necessari agli obiettivi previsti dal progetto e delle autorizzazioni burocratiche. Il timore, quindi, diventa la fuga degli investitori poiché servono almeno 3,4 miliardi di euro di investimenti per mettere in atto un'opera con tali ambizioni. I medesimi rischi dilagano in tutta Europa: basti pensare che l'analisi dell'organizzazione ambientalista ha rilevato come nel Vecchio continente sia a rischio il 68% (19) della capacità produttiva di batterie agli ioni di litio prevista per i prossimi anni soprattutto a causa dell'Inflation Reduction Act (IRA), ovvero la legge statunitense approvata al fine di attirare la produzione di tecnologie verdi sul suolo americano. Secondo uno studio di T&E (Transpot&Environment), che parte dall'analisi delle 50 gigafactory annunciate in Europa sotto il punto di vista della solidità finanziaria, dello status autorizzativo, della certezza della localizzazione della produzione e dell'eventuale legame tra USA e aziende che dovrebbero realizzare gli impianti, è emerso come 1,2 TWh di produzione europea di batterie, corrispondente all'equipaggio di 18 milioni di auto elettriche, sia attualmente ad alto o medio rischio di interruzione o delocalizzazione, come si vede dall'immagine 1.2.



Figura 1.2



Fonte: Analisi T&E, report delle compagnie

Tale risultato prende una connotazione drammatica se si pensa che senza questi volumi di produzione, l'Europa non sarà in grado di soddisfare la domanda interna di accumulatori prevista per il 2030, dovendo ricorrere ad ampie quote di import dai concorrenti stranieri. A rischiare maggiormente sono Germania, Ungheria, Spagna, Italia e Gran Bretagna. La gigafactory di Tesla a Berlino è quella che sta soffrendo maggiormente, in quanto l'azienda ha dichiarato che concentrerà la fabbricazione di celle negli Stati Uniti per sfruttare i vantaggi dell'IRA. Sempre in Germania, poi, il CEO di Northvolt ha affermato che potrebbe ritardare il progetto di Haide per dare priorità all'espansione negli USA. Incerte sono anche le sorti dei progetti di InoBat in Serbia e in Spagna poiché l'azienda di riferimento ha ottenuto incentivi per una joint venture con un'impresa statunitense da effettuare in Indiana. Di questo passo, la limitata capacità delle aziende di aumentare i volumi di produzione a causa della mancanza di investimenti e la scarsa disponibilità di materie prime – l'UE produce, infatti, solo l'1% delle materie prime necessarie per la manifattura delle batterie – renderà la corsa alla fabbricazione di batterie tra il Nuovo e il Vecchio Continente una sfida persa in partenza per quest'ultimo.

L'UE, quindi, come risposta alla situazione finora illustrata, ha approvato il Net-Zero Industry Act (NZIA) (20) con l'obiettivo di promuovere investimenti e competitività della base industriale europea a tecnologia net-zero fondamentale per creare un sistema di energia più pulito ed accessibile e di ridurre il rischio di sostituire la dipendenza dai combustibili fossili russi con altre dipendenze strategiche che potrebbero impedire l'accesso a tecnologie e componenti chiave per le trasformazioni a cui l'Europa ambisce. Il regolamento distingue tra tecnologie net zero e tecnologie net zero strategiche, le quali contribuiscono in modo consistente alla decarbonizzazione e se per tutte le tecnologie net zero valgono le disposizioni del NZIA, quelle strategiche godono di ulteriori vantaggi, tra cui il criterio di resilienza nelle aste e la possibilità di diventare progetti strategici net zero a cui segue lo status di priorità con tempistiche abbreviate. Tra le tecnologie net zero strategiche si includono:

- Tecnologie solari fotovoltaiche e solari termiche
- Tecnologie rinnovabili onshore e offshore
- Tecnologie di batteria/memoria
- Pompe di calore ed energia geotermica
- Elettrolizzatori e cella a combustibile
- Tecnologie biogas/biometano sostenibili
- Tecnologie per la cattura o lo stoccaggio del carbonio (CCS)
- Tecnologie di rete.

Il NZIA si cura anche di creare le condizioni necessarie alla facilitazione degli investimenti in progetti di produzione tecnologica net zero e lo fa attraverso misure quali la riduzione dell'onere amministrativo di tali progetti tramite la semplificazione dei requisiti amministrativi e facilitazione delle autorizzazioni; la garanzia dell'accesso alle informazioni; l'agevolazione all'accesso ai mercati nelle procedure di appalto pubblico e nelle aste e il sostegno dell'innovazione tramite sandbox normativi. Inoltre, per sostenere e rafforzare la capacità di produzione di tecnologie net zero, il regolamento si propone di istituire Accademie Net-Zero che, tramite programmi di formazione dedicati, potrebbero arrivare a formare oltre 100.000 studenti entro i prossimi tre anni, garantendo così una forza lavoro altamente qualificata. Infine, vi è la creazione di una piattaforma Net-Zero europea che permette ai vari paesi dell'UE di scambiarsi informazioni, nonché di raccogliere contributi dagli stakeholder interessati al settore e di consigliare eventuali finanziamenti per progetti net-zero.

## 2. VEICOLI A MOTORE TERMICO (ICEVs) E VEICOLI A MOTORE ELETTRICO (EVs) A CONFRONTO

### 2.1. Caratteristiche principali dei veicoli elettrici

La nascita dei veicoli elettrici corrisponde a circa 200 anni fa quando nel 1828 Ányos Jedlik sviluppò il primo motore elettrico. Successivamente nel 1884 Thomas Parker sviluppò a Londra la prima auto elettrica a batteria ricaricabile, adatta a piccoli spostamenti interni alle città. Nonostante per svariati anni non fu dimostrato grande entusiasmo per questa tipologia di automobili, la crisi energetica degli anni 70 e 80 del secolo scorso ha riacceso gli interessi per questa tecnologia, che era vista come una possibilità per, finalmente, ridurre la dipendenza della mobilità automobilistica dalle fluttuazioni del mercato petrolifero. Dal 2004, anno in cui sono stati realizzati i primi veicoli con autonomia superiore a 300 km per carica, in poi, questa tendenza è stata seguita da tutti i principali produttori di veicoli a causa delle sempre più crescenti preoccupazioni circa il riscaldamento globale dovuto alla combustione dei veicoli fossili e al fine di creare un mercato più competitivo e in continua evoluzione.

Per veicoli elettrici, quindi attualmente, intendiamo tutti quei veicoli in grado di attingere parte o tutta la loro energia da una rete elettrica. A seconda del crescente livello di elettrificazione, troviamo in ordine i veicoli elettrici ibridi (HEVs) con motore sia elettrico che ICE ma privi di ricarica esterna; veicoli elettrici ibridi plug-in (PHEVs) che si differenziano dai

primi per la presenza di ricarica esterna e veicoli elettrici a batteria (BEVs), i quali possiedono batterie adatte per la ricarica esterna e funzionano esclusivamente con l'elettricità non includendo alcun tipo di ICE.

Ad oggi, sono presenti sul mercato diversi modelli di BEVs, i quali offrono intervalli di autonomia che vanno da un minimo di 130 ad un massimo di 400 km. L'autonomia massima dichiarata dal produttore si basa su test WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) che determinano, tra gli altri, parametri come il consumo di energia elettrica, le emissioni di gas e l'autonomia delle auto elettriche. Attualmente, il mercato globale di batterie ricaricabili è dominato per oltre il 75% da quelle a ioni di litio. Quest'ultime, che si distinguono da tutte le altre per la loro energia e potenza ad alta densità, nessun effetto memoria e un alto numero di cicli, sono caratterizzate da due elettrodi, anodo e catodo; un separatore immerso in una soluzione elettrolitica composta da sali sciolti in un solvente non acquoso e collettori di correnti (21) (22), i quali non sono altro che fogli di alluminio e rame rispettivamente per il catodo e l'anodo che fungono da conduttori elettrici. Tuttavia, uno svantaggio di queste batterie è la limitazione delle ricariche a basse temperature per evitare il deposito di litio e il deterioramento precoce delle batterie.

## 2.2. Analisi comparativa nei diversi paesi europei dal punto di vista economico

La differenza tra i BEV e gli ICEV (Internal combustion engine vehicles) a livello economico tra i diversi paesi europei vede come suo punto di partenza i dati della tabella 2.1.

Tab. 2.1.

I vari parametri corrispondenti a ciascuna colonna si riferiscono a ciascun paese elencato. Le informazioni Gross Domestic Product (GDP) sono fornite dall'Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) e convertite dai dollari in euro il 14 aprile 2021; i costi dell'energia elettrica e del carburante sono forniti da Eurostat nella stessa data. Il costo dell'energia elettrica non include le spese fisse. I costi dei veicoli sono forniti dalle varie concessionarie in ogni paese. I paesi affiancati da un asterisco possiedono una propria valuta, che è stata convertita in euro in data 14 aprile 2021.

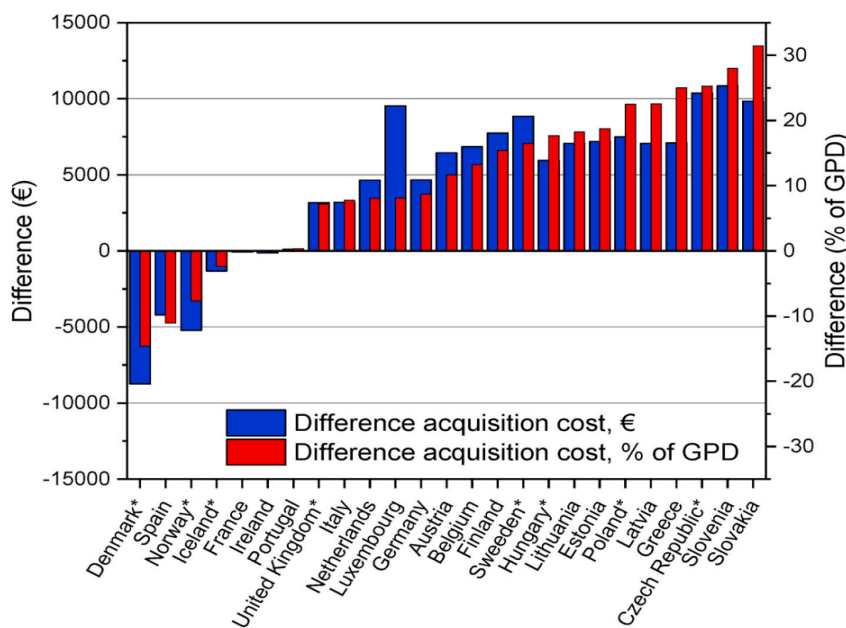
Country	GDP per capita (€)	Passenger mobility per capita (km)	Electricity cost (€/kWh)	Fuel cost (€/l)	Nissan Leaf (€)	Volkswagen Golf (€)
Austria	50851	11 958	0.2111	1.214	29990	23540
Belgium	46206	12 108	0.2792	1.412	34840	27990
Czech Republic*	36403	11 022	0.1841	1.201	31500	21120
Denmark*	50507	12 927	0.2833	1.623	28 900	37640
Estonia	32517	12 397	0.1236	1.375	30770	23580
Finland	43919	14 756	0.1748	1.615	32170	24420
France	41357	12 984	0.1893	1.512	26900	26980
Germany	49235	13 510	0.3843	1.513	29990	25320
Greece	27107	11 939	0.1674	1.600	27500	20400
Hungary*	28077	9590	0.1831	1.186	27900	21955
Iceland*	52628	–	0.1341	1.387	32190	33510
Ireland	76104	14 466	0.2413	1.456	28145	28280
Italy	38130	15 077	0.2226	1.575	29300	26100
Latvia	28120	12 253	0.1428	1.277	30850	23780
Lithuania	32253	11 900	0.1426	1.222	30850	23780
Luxembourg	101593	15 405	0.1986	1.251	33688	24160
Netherlands	51595	10 075	0.1427	1.727	34990	30340
Norway*	60013	15 142	0.1355	1.602	29270	34500
Poland*	28386	7013	0.1475	1.129	27220	19720
Portugal	30260	10 884	0.2120	1.563	26400	26290
Slovakia	31074	7307	0.1686	1.335	29990	20150
Slovenia	34932	15 077	0.1448	1.183	36500	25650
Spain	36556	9333	0.2239	1.317	21500	25700
Sweden*	48777	14 271	0.1826	1.523	35540	26690
United Kingdom*	41683	12 010	0.2203	1.567	30020	26 850

Fonte: Renewable and Sustainable Energy Reviews

In questo studio, il modello individuato per rappresentare la categoria BEV è il Nissan Leaf 40 kW con una cilindrata di 150 CV poiché può definirsi di fatto come uno dei BEV più venduti in Europa; mentre, per quanto riguarda la scelta del modello ICEV, essa è ricaduta sulla Golf Wolswagen 1.0 TSI 81 kW di cilindrata 110 CV. Non sono stati presi in considerazione in questa analisi i veicoli diesel poiché le politiche europee riguardanti questo particolare tipo di motore sono già piuttosto restrittive tanto è che in molte città del Continente è già stato bannato l'uso di tali veicoli. Inoltre, nonostante il costo del gasolio sia inferiore a quello della benzina, il costo di acquistare un veicolo diesel è più elevato rispetto al costo di un acquisto di un modello ICEV e questo allinea i risultati ottenuti a quelli del veicolo a carburante.

Il costo di acquisto di un veicolo è il fattore più significativo di questa analisi comparativa, anche se devono essere presi in considerazione anche i costi di manutenzione e consumo giornaliero. Partendo proprio da qui, quello che emerge è che il costo d'acquisto per i BEV è spesso più elevato rispetto a quello degli ICEV e dalla figura 2.2 è evidente come esistano grandi differenze tra questi costi nei vari paesi europei.

Figura 2.2



Fonte: Renewable and Sustainable Energy Reviews

In particolare, ci sono paesi come la Spagna e la Danimarca in cui il costo di acquisto dei BEV è più basso rispetto a quello degli ICEV e quindi è economicamente conveniente in questi Stati l'acquisto di un veicolo a batteria se comparato a quelli a motore combustibile. A seconda del paese in cui ci troviamo, la differenza tra i due costi d'acquisto può variare tra i 10850 € della Slovenia agli 8740 € della Danimarca. Ciò può essere dovuto a diversi fattori, tra cui le tasse applicate all'acquisto di un veicolo o le politiche adottate da ogni paese che possono impattare di molto sui risultati ottenuti in quanto ci sono stati governi, come quello portoghese, che hanno offerto generosi incentivi allo scopo di favorire il mercato dei BEV. Per comprendere meglio lo scenario economico dei vari paesi europei, però, è importante

valutare l'impatto della differenza tra i costi iniziali dei due veicoli sul potere d'acquisto dei cittadini di un dato paese. Come si evince dal grafico, ci sono paesi come il Portogallo o il Regno Unito in cui tale differenza rappresenta rispettivamente lo 0,32% e il 7,22% del PIL annuo e altri come Slovenia e Slovacchia in cui essa corrisponde ad un'alta percentuale del GDP, ovvero 28,02% per la prima e 31,45% per la seconda. I seguenti risultati non fanno altro che confermare le differenze nella realtà economica del Vecchio continente: si può infatti osservare come nei paesi dell'Europa orientale il costo di un BEV può arrivare a rappresentare più del 100% del PIL con differenze di costi iniziali superiori al 20%; mentre nei paesi occidentali i prezzi sono più adeguati ai propri GDP e le differenze di costo tra BEV e ICEV rappresentano solamente una piccola quota della ricchezza generata. Inoltre, quanto emerge dallo studio di (23) può essere ulteriormente correlato alla predisposizione di ciascun paese alla transizione verso la mobilità elettrica. Ci sono, infatti, paesi in cui i prezzi dei BEV sono adeguati alla realtà economica rendendo tali veicoli molto attraenti agli occhi dei consumatori. Come già accennato in precedenza, numerosi sono gli incentivi fiscali che più Stati hanno deciso di adottare per favorire questa transizione, tra cui l'esenzione dalla tassa di immatricolazione dei veicoli e regimi di agevolazioni per l'acquisto di un nuovo BEV e rottamazione di un vecchio veicolo a carburante. Un caso particolare è rappresentato dalla Norvegia: qui, infatti, lo Stato ha deciso non solo di mettere in atto incentivi fiscali ma anche sconti su parcheggi, autostrade e traghetti arrivando così nel 2020 a raggiungere un primato storico, ovvero quello di aver venduto più BEV che ICEV e ora mira allo stop di vendite di quest'ultimi entro il 2025. La dedizione con cui la Norvegia vuole raggiungere tale obiettivo è così intensa che ad oggi la prospettiva di acquistare un ICEV, comprese le relative tasse, supera di circa 10.000€ la cifra prevista per l'acquisto di un BEV, grazie all'assenza di tasse prevista dagli incentivi fiscali.

Un altro importante fattore da tenere in considerazione in questa analisi è il costo dell'elettricità e del carburante poiché influenza i costi di rifornimento dei veicoli nel loro periodo di utilizzo. A parità di chilometri, è più conveniente, economicamente parlando, ricaricare un BEV che rifornire un ICEV. Dunque, è possibile presumere che la differenza di costo tra i due veicoli verrà ripagata in pochi chilometri e che più è grande, più tempo ci vorrà per ripagarla. Per trovare il numero esatto di chilometri necessari al superamento di questa differenza di costo di acquisizione, lo studio in questione ha fatto riferimento ai dati della tabella 2.1 riguardanti i costi dell'elettricità e del carburante per ciascun paese e le equazioni relative ai costi d'uso. Per il costo d'uso di un BEV si segue, infatti, la seguente espressione:

$$C_{BEV} = EP \left( \frac{\text{€}}{kWh} \right) \times EC \left( \frac{kWh}{km} \right) \times \Delta x(km) + A_{BEV}(\text{€})$$

dove EP sta per costo dell'elettricità; EC per consumo energetico dei BEV,  $\Delta x$  per il numero di chilometri guidati e  $A_{BEV}$  per il costo di acquisto di un BEV.

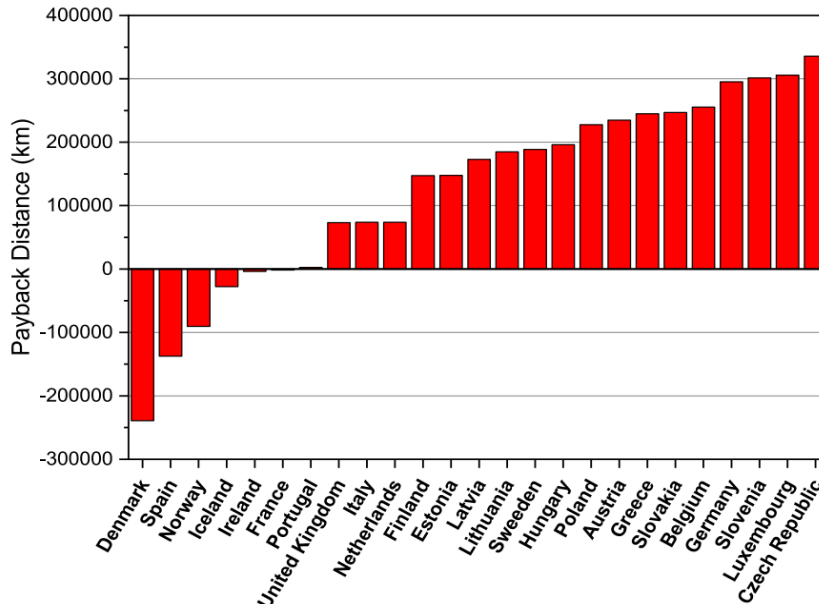
Per quanto riguarda, invece, il costo d'uso di un ICEV, la formula utilizzata è:

$$C_{ICEV}(\text{€}) = FP \left( \frac{\text{€}}{l} \right) \times VC \left( \frac{l}{km} \right) \times \Delta x(km) + A_{ICEV}(\text{€})$$

dove FP è il prezzo del carburante; VC è il consumo di carburante del veicolo;  $\Delta x$  è il numero di chilometri guidati e  $A_{ICEV}$  è il costo d'acquisto di un ICEV.

Dopo il punto, chiamato payback, in cui il costo d'utilizzo di entrambi i veicoli è uguale, i BEV iniziano a compensare l'elevato costo iniziale di acquisizione. La distanza di ritorno dell'investimento per ciascun paese è dimostrata nella figura 2.3.

Figura 2.3



Fonte: Renewable and Sustainable Energy Reviews

Secondo i risultati emersi, dunque, si deduce come, da un punto di vista economico, i migliori paesi in cui acquistare un BEV sono Danimarca, Spagna, Norvegia, Islanda, Irlanda e Francia poiché per tutti questi vi è un valore negativo del payback che corrisponde ad un beneficio economico nell'acquisto del veicolo. Per i paesi in cui è più conveniente l'acquisto di un ICEV, invece, la distanza di ammortamento varia dai 2151 km del Portogallo ai 287.000 della Repubblica Ceca e considerato che un BEV dovrebbe essere ammortizzato entro i 160.000 km o entro 8 anni – tempo di garanzia delle batterie -, si può concludere che l'acquisto di un BEV è vantaggioso in 13 paesi, Italia compresa. Tuttavia, è da sottolineare come questo studio non consideri i vari incentivi statali menzionati in precedenza che potrebbero ridurre di molto i tempi di recupero dell'investimento iniziale, ma si rifaccia solamente al valore di mercato dei vari veicoli presentati nei diversi paesi. Anche i costi di manutenzione non sono stati oggetto di questo studio in quanto hanno un impatto irrilevante sul costo finale e sono più o meno simili in tutti i paesi europei. Ciò non fa altro che supportare i BEV, in quanto la semplicità del loro motore, che è composto da un'unica parte mobile chiamata rotore (24), permette un mantenimento più economico.

Venendo, quindi, al costo dell'elettricità e del carburante, stime affermano che il prezzo delle batterie dei BEV calerà nei prossimi anni e raggiungerà 115 USD/kWh per una cella di 60 kWh grazie all'espansione del mercato. Tale riduzione, quindi, comporterà, a sua volta, una diminuzione nel costo di acquisto dei BEV, abbassando, di conseguenza, anche il payback necessario ad ammortizzare l'investimento. Tuttavia, l'attuale conflitto tra Russia e Ucraina

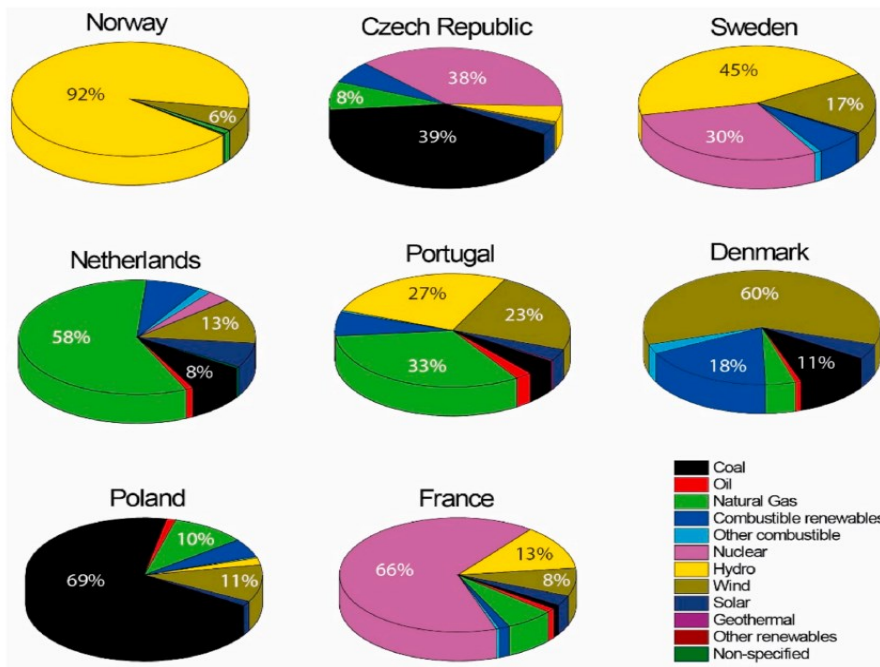
potrebbe modificare tali previsioni, in quanto la dipendenza europea dalla Russia per il nichel, che è arrivata a raggiungere il picco di 100.000 dollari per tonnellata (25) lo scorso anno, e per altre materie prime necessarie alla costruzione di batterie, sta costringendo i vari produttori a frenare o addirittura interrompere i piani messi in atto per accelerare la transizione elettrica. Per quanto riguarda il costo dell'energia, esso si ricollega alla sua fonte. Mentre la domanda di energia elettrica dovuta ai BEV dovrebbe raggiungere quasi 640 TWh nel 2030 secondo IEA (International Energy Association), è più difficile prevedere l'andamento del costo dell'elettricità anche se sembra certa una leggera crescita nei prossimi anni, dovuta, in gran parte, alle speculazioni legate alla guerra russa-ucraina. Ecco che, quindi, diventa sempre più cruciale che i governi spingano verso fonti di energia rinnovabili in modo tale da ridurre il prezzo dell'elettricità, favorendo così la mobilità elettrica ed evitando che i consumatori, preoccupati dell'incertezza dei prezzi, spostino le loro preferenze di acquisto verso gli ICEVs.

### 2.3. [Analisi comparativa nei diversi paesi europei dal punto di vista ambientale](#)

Nonostante i consumatori siano maggiormente concentrati sull'aspetto economico nell'acquistare un veicolo, anche il fattore ambientale gioca un ruolo chiave affinché gli obiettivi del Green Deal possano effettivamente vedersi concretizzati. Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA), il settore dei trasporti è responsabile di circa un quarto delle emissioni totali europee (26) e dunque risulta fondamentale analizzare e quantificare l'impatto che il crescente utilizzo dei BEV al posto degli ICEV avrà sull'ambiente. Il problema principale di quest'ultimi è proprio l'emissione di gas serra, ma non solo poiché la combustione interna di questi motori genera anche altri inquinanti come ozono, idrocarburi aromatici, COV e gas NOx e SOx che sono responsabili di diverse problematiche di salute e ambientali. La combustione di un ICEV necessita di aria come fonte di ossigeno, che agisce come agente ossidante. Essa ha la stessa composizione dell'atmosfera, con un'alta percentuale di azoto e una bassissima percentuale di anidride carbonica (0.04% secondo fonti NASA e Research Report VTT-R-04494-16) e altri elementi. A seguito della combustione, il gas viene espulso dal veicolo attraverso lo scarico del carburante con una composizione significativamente diversa: infatti, è presente una maggiore proporzione di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, mentre sono ridotte le composizioni di ossigeno e nitrogeno a favore della formazione di altri composti quali NOx e SOx. Durante il processo, poi, vengono prodotti anche altri gas come monossido di carbonio e idrocarburi (Research Report VTT-R-04494-16) che non sono responsabili delle emissioni di gas serra ma sono comunque altamente pericolosi in quanto associati a problematiche ambientali come lo smog e le piogge acide e sanitarie in quanto essi sembrano essere collegabili all'aumento di tumori e di malattie respiratorie.

Per quanto riguarda i BEV, invece, determinare la quantità di emissioni per chilometro è differente. Dal momento che questa tipologia di veicoli richiede di essere caricata tramite la rete elettrica di ciascun paese, il valore delle emissioni dipenderà dalle fonti energetiche utilizzate dai diversi Stati poiché ogni mix energetico corrisponde ad un determinato impatto ambientale. Naturalmente, un mix energetico ideale sarebbe quello concentrato in gran parte sulle energie rinnovabili in quanto permetterebbe una maggiore riduzione delle emissioni dei BEV. La figura 2.4 ci mostra diverse combinazioni energetiche di diversi paesi europei, rappresentative delle realtà energetiche presenti in Europa.

Figura 2.4



Fonte: International Energy Agency, 2020

Si può notare dalla figura come alcuni Paesi, come Polonia o Repubblica Ceca, hanno un'importante dipendenza dai combustibili fossili e in particolare dal carbone, che rende la produzione di energia elettrica un'elevata fonte di emissioni di gas serra. In modo opposto, invece, vediamo come la Norvegia, affidandosi quasi completamente alle energie rinnovabili, produce un impatto ambientale bassissimo. I Paesi Bassi, poi, vedono nel loro mix energetico una maggioranza di gas naturale che, pur essendo anch'esso un combustibile fossile, ha un impatto molto inferiore rispetto a quello del carbone. Anche l'utilizzo del nucleare di Francia e Svezia comporta basse emissioni di gas serra ma la produzione di residui radioattivi è una questione di non poca importanza.

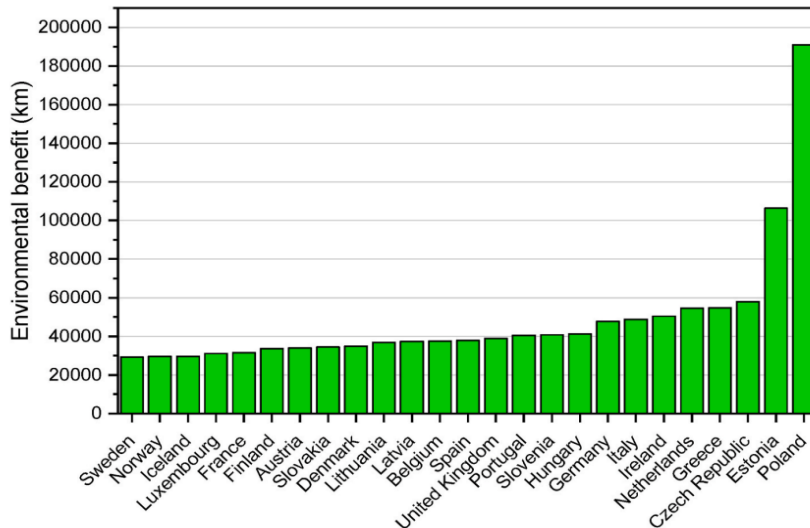
E' stata poi eseguita una simulazione (23), presentata nella figura 2.5, che per quantificare le emissioni di gas serra prodotte dai BEV ha utilizzato la seguente equazione:

$$E_{BEV}(gCO_2eq) = E_{mix} \left( \frac{gCO_2eq}{kWh} \right) \times EC \left( \frac{kWh}{km} \right) \times \Delta x(km) + BPE(gCO_2eq)$$

dove con  $E_{mix}$  si intende il costo di emissione del mix strategico di ciascun paese; con EC si intende il consumo energetico dei BEV; con  $\Delta x$  il numero di chilometri percorsi e con BPE le emissioni di produzione della batteria.

Figura 2.5





Fonte: Renewable and Sustainable Energy Reviews

Qui i risultati ottenuti sono molto diversi da quelli visti nel punto precedente in cui si stava prendendo in considerazione l'aspetto economico di questo confronto tra BEV e ICEV. Infatti, ad eccezione di Estonia e Polonia in cui l'elevato utilizzo del carbone all'interno del mix energetico nazionale fa sì che le emissioni di gas serra emesse dall'utilizzo dei BEV sia paragonabile a quelle degli ICEV, si può notare come i veicoli a batteria elettrica comportino benefici a livello ambientale in tutti gli altri paesi in meno di 60.000 km di distanza percorsa. Ecco, quindi, che attraverso questa analisi si può concludere che la transizione elettrica è possibile solo se l'economia legata alla produzione energetica va di pari passo: infatti, per raggiungere il pieno potenziale dei BEV in termini di emissioni minime è necessario intervenire, attraverso vari investimenti, nella produzione di elettricità garantendo che quest'ultima si avvalga di fonti a bassa impronta di carbonio.

## 2.4. LCA: Life Cycle Assessment

### 2.4.1. Introduzione: definizione e tipologie di approcci

La Life Cycle Environmental Impact Analysis o LCA, più comunemente conosciuta, è una metodologia standardizzata (ISO 14040) per la valutazione delle prestazioni ambientali di un prodotto o di un sistema durante l'intero ciclo di vita. Essa è solitamente suddivisa in quattro fasi (27). La prima consiste nella definizione degli obiettivi e dell'ambito ed è la parte più critica della LCA: con essa si vuole descrivere il motivo principale e l'intenzione per cui si conduce questo tipo di analisi, specificando, in particolar modo, le unità funzionali, i confini del sistema, la quantità e qualità dei dati. La seconda fase è la cosiddetta analisi dell'inventario del ciclo di vita e consiste in un processo di creazione di un inventario dei dati di input e output del sistema analizzato. La terza fase è la valutazione dell'impatto del ciclo di vita, il cui scopo è determinare quest'ultimo sulla base dei risultati della fase precedente. Questo processo, infatti, traduce i dati di inventario in parametri ed indicatori che rendono più facile il riconoscimento degli impatti ambientali del ciclo di vita del prodotto. La quarta e ultima fase è quella dell'interpretazione del ciclo di vita che si propone di identificare i vari problemi emersi durante le analisi precedenti e di valutare i risultati ottenuti in vista di poter trarre conclusioni, limiti e raccomandazioni. Esistono, poi, diversi tipi di LCA e in particolare

quella dei veicoli si basa sull'approccio "cradle-to-gate" o "cradle-to-grave" o ancora "cradle-to-cradle". Con il primo termine – in italiano letteralmente "dalla culla al cancello" – si intende il ciclo di vita di un prodotto dalla lavorazione delle materie prime alla fabbrica di produzione del veicolo, ovvero prima della consegna al consumatore. Questo tipo di approccio non considera la fase di utilizzo e riciclo (28). Il secondo termine – tradotto come "dalla culla alla tomba" – fa riferimento ad un ciclo di vita completo che vede come punto di partenza la fase delle materie prime e come punto di arrivo la fase di smaltimento, passando attraverso tutte le altre fasi intermedie (29). Infine, il terzo termine – "dalla culla alla culla" – rappresenta un ciclo di vita chiuso in cui i materiali in eccesso riciclati alla fine vengono poi riutilizzati come materie prime per il ciclo di vita successivo in modo tale da non avere mai una fine. La LCA del carburante viene solitamente considerata tramite l'approccio "well-to-wheel" (WTW), che può essere a sua volta suddiviso in "well-to-tank" (WTT) e "tank-to-wheel" (TTW). Il WTW copre solamente il ciclo di vita del vettore energetico utilizzato per guidare i veicoli, mentre il WTT si occupa solamente della catena di approvvigionamento del carburante e il TTW del funzionamento del veicolo.

#### 2.4.2. Confronto tra ICEVs e BEVs in tutte le fasi del ciclo di vita

Per questa analisi comparativa, si è voluto utilizzare l'approccio cradle-to-grave in modo tale da avere una visione completa dei vari impatti ambientali che le varie fasi del ciclo di vita di queste due tipologie di veicoli comportano. Nella fase di produzione, le emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli elettrici sono comprese tra le 14.6 e le 14.7 tonnellate, che corrispondono a circa il 60% in più rispetto alle 9.2 tonnellate di emissioni degli ICEV (30) e ciò è, per lo più, dovuto al fatto che la produzione di batterie ha un impatto maggiore a livello di gas serra e di altre categorie di impatti ambientali (31) (32). Per quanto riguarda, invece, la fase di utilizzo, gli EV hanno un profilo migliore, anche se, come analizzato in precedenza, questo dipende principalmente dal mix energetico a cui si fa riferimento. Certo è che le reti elettriche pulite riducono le emissioni di gas serra degli EV compensando il loro impatto ambientale nella fase precedente. Anche nella fase di riciclo, i BEV risultano migliori in quanto il riciclaggio migliora l'utilizzo delle risorse delle batterie e riduce di molto le emissioni di GHG e SO<sub>2</sub>. Inoltre, durante tutto il ciclo di vita, l'uso di combustibili e le emissioni di gas serra dei BEV sono di gran lunga inferiori rispetto a quelle degli ICEV; mentre risultano superiori agli ICEV per formazione di particolato, EP e HTP (33) (34).

Dunque, in sintesi, la produzione di batterie, che richiede un grande consumo di risorse minerali e metalliche, aumenta l'impatto ambientale dei BEV nella loro fase di produzione ma l'energia pulita e il riciclaggio delle batterie dà loro un grosso vantaggio ambientale nelle fasi di utilizzo e riciclaggio rispetto agli ICEV. Pertanto, un miglioramento nell'efficienza di utilizzo delle risorse minerarie e delle tecnologie di produzione delle batterie unito all'uso di energie pulite e di industrie in grado di garantire un secondo uso delle batterie tramite il riciclaggio farebbe sì che i BEV vincessero il confronto con gli ICEV in tutte le fasi, garantendo così a tutti gli effetti una mobilità sostenibile.

#### 2.4.3. LCA delle batterie

In questa sezione, alla luce di quanto detto fino ad ora, si vuole approfondire la LCA delle batterie. Essa è uno strumento importante che aiuta ad identificare le fasi chiave che maggiormente impattano sull'ambiente e di conseguenza ci permette di trovare metodi

efficaci per ridurre tali impatti. Prima della produzione commerciale di LIBs, le principali batterie previste per gli EV erano le Ni-Cd, Pb-Ac and NiMH (35). La LCA di queste tre tipologie ha dimostrato che le più rispettose dell'ambiente sono le ultime, nonostante sia molto basso il tasso di riciclaggio. Al contrario, invece, le prime due sono caratterizzate da un'elevata percentuale di riciclaggio e un'altrettanta elevata tossicità. Più recentemente, sono state messe in commercio le batterie LIBs che, grazie all'utilizzo di tecnologie più moderne, risultano avere migliori prestazioni ambientali. In particolare, nella fase di produzione, l'impatto ambientale delle seguenti batterie rimane elevato a causa dell'importante consumo di energia e delle emissioni dovute alla lavorazione del materiale catodico e all'asciugatura degli elettrodi (36). Durante la fase di utilizzo, la differenza fondamentale è rappresentata, ancora una volta, dalla fonte energetica utilizzata. Aumentare la percentuale di utilizzo di energie rinnovabili può contribuire a ridurre le emissioni fino anche del 60%. Particolarmente importante diventa in questo contesto la fase di riciclo delle batterie poiché molte delle batterie ritirate hanno ancora il 70-80% della loro capacità residua a disposizione. Studi (37) (38), infatti, dimostrano come l'utilizzo secondario di batterie provenienti da veicoli già esistenti ha notevoli vantaggi ambientali in quanto si evita di passare attraverso un nuovo processo di produzione. In particolare, si è rilevato che il consumo di energia e di emissioni GHG è ridotto di quasi il 2% (39) quando si procede alla rigenerazione di batterie. Dunque, la rottamazione diretta non solo è uno spreco di risorse ma ha anche un impatto significativo sull'ambiente poiché si perdono i vantaggi derivanti dall'utilizzo di batterie di seconda mano. Infine, il riciclo e la rigenerazione delle batterie anche dopo l'uso secondario è importante poiché contribuisce a diminuire la domanda di materie prime per la produzione di batterie, evitandone i conseguenti impatti ambientali negativi e permettendo così di raggiungere una produzione a circuito chiuso.

## 2.5. Risultati emersi, criticità e sfide future

Per concludere questo capitolo dedicato all'analisi comparativa tra ICEV e BEV, possiamo affermare che stando alle varie analisi riportate, sia economiche che ambientali, ciò che emerge è un netto vantaggio dei veicoli elettrici, che risultano essere economicamente più convenienti e più sostenibili. Per quanto riguarda l'aspetto economico, è sicuramente evidente, dai risultati ottenuti, come, a livello europeo, i vari Stati viaggino a ritmi diversi soprattutto per quanto concerne politiche adottate in favore di mobilità elettrica rischiando di polarizzare la popolazione europea tra cittadini estremamente avvantaggiati nell'acquisto di BEV e cittadini per cui ciò sarebbe assolutamente gravoso. Sarebbe, dunque, importante che l'UE adottasse politiche volte a uniformare la realtà europea, con prezzi e ricavi più livellati e un'uniformità degli incentivi per garantire la fattibilità dei BEV e accelerarne il più possibile la transizione.

Inoltre, importante sarebbe anche intervenire circa la conformità delle batterie e delle stazioni di ricarica. Infatti, affinché sia possibile effettuare la transizione del Green Deal, c'è bisogno di uno sviluppo intensivo di reti di postazioni di ricarica. Secondo l'European Automobile Manufacturer's Association (ACEA), nel 2018 in Europa erano presenti circa 100.000 colonnine di ricarica, che corrispondono ad una media di circa una colonnina ogni 60 km di autostrada e una ogni 5 veicoli, distribuite per la maggior parte sui suoli di quattro paesi (Paesi Bassi, Germania, Francia, Inghilterra). Dunque, è chiaro che per non rendere vana la stima di espansione del mercato dei BEV prevista per i prossimi anni, sarà necessario

intervenire con aumento di quasi 2 milioni di colonnine entro il 2025 distribuite in tutta Europa. Questo, a sua volta, però, comporta un'altra problematica, ovvero la necessità di pianificare viaggi più lunghi, soprattutto per quanto riguarda la valutazione di quante fermate alle stazioni di ricarica devono essere effettuate, il controllo che le strade siano effettivamente dotate delle infrastrutture necessarie e la possibilità di ricaricare i veicoli nei luoghi di alloggio (nei casi in cui i viaggi durassero più di due giorni). Inoltre, la rete di ricarica potrebbe essere completata attraverso le stazioni di commutazione delle batterie che permetterebbero la sostituzione delle batterie scariche dei BEV con batterie cariche in circa un minuto, senza nemmeno il bisogno di scendere dall'auto. Ciò sarebbe di grande aiuto nel superamento del principale limite dei BEV, ovvero i loro tempi di ricarica delle batterie.

Un'altra sfida che l'Europa deve affrontare per sostenere questa transizione verde è il rafforzamento della rete elettrica. Si stima, infatti, che per una quota del 15% di BEV nella flotta europea entro il 2030, la domanda di elettricità aumenterà di 95 TWh all'anno, pari a circa il 3% dell'attuale consumo di elettricità dell'UE (40). Ecco, quindi, che per stare al passo con questi ritmi, sarà necessario sviluppare una rete elettrica per lo più basata sulle energie rinnovabili e preferibilmente più intelligente, dove i BEV siano in grado di affrontare problematiche quali instabilità intrinseca della rete o l'intermittenza delle fonti energetiche rinnovabili.

Infine, ambientalmente parlando, una tematica centrale resta quella della fine della vita delle batterie dei BEV. Diversi sono gli approcci che possono essere utilizzati per affrontare questo tema, tra cui quello già discusso in precedenza del secondo utilizzo delle batterie. Anche il riciclo è un approccio che negli ultimi anni sta riscuotendo notevole interesse con un crescente numero di studi che suggeriscono diverse strategie e processi per recuperare i materiali dai dispositivi usati. Tuttavia, i processi industriali ad oggi non sono ancora ben consolidati, con un solo paio di industrie in grado di fare ciò in tutto il mondo (41). Dunque, anche in questo caso devono essere messi in atto grandi sforzi da parte dell'Unione Europea per garantire che le batterie vengano trattate in modo efficace alla fine del loro ciclo di vita ed impedire che gli EV creino ulteriori problemi ambientali.

### 3. TRANSIZIONE ELETTRICA E NET ZERO ECONOMY

#### 3.1. Economia circolare: che cos'è e come si inserisce nel contesto automobilistico

L'economia circolare mira ad aumentare il valore delle risorse per il maggior tempo possibile, andando a gestire la fine del ciclo di vita dei prodotti, componenti e materiali (42). L'idea principale è quella di massimizzare l'uso delle risorse naturali introducendo flussi circolari di materiale nei processi produttivi al fine di ridurre al minimo gli sprechi e l'uso di nuove materie prime (43) (44). Questo modello di produzione si contrappone al tradizionale modello "take-make-dispose" che, basandosi sull'estrazione di materie prime sempre nuove, sul consumo di massa e sulla produzione di scarto una volta raggiunta la fine, incarna gravi conseguenze per l'equilibrio dell'ecosistema globale. Secondo l'Agenzia europea dell'ambiente, i processi industriali e l'uso dei prodotti sono, infatti, responsabili del 9,10% delle emissioni di gas serra nell'UE, a differenza della gestione dei rifiuti, che ne rappresenta solo il 3,32% (45). Stime dimostrano, poi, che creare prodotti più efficienti e sostenibili fin da subito contribuisce a ridurre la quantità di energie e risorse consumate, in quanto oltre l'80% dell'impatto ambientale di un prodotto è determinato durante la sua fase di progettazione

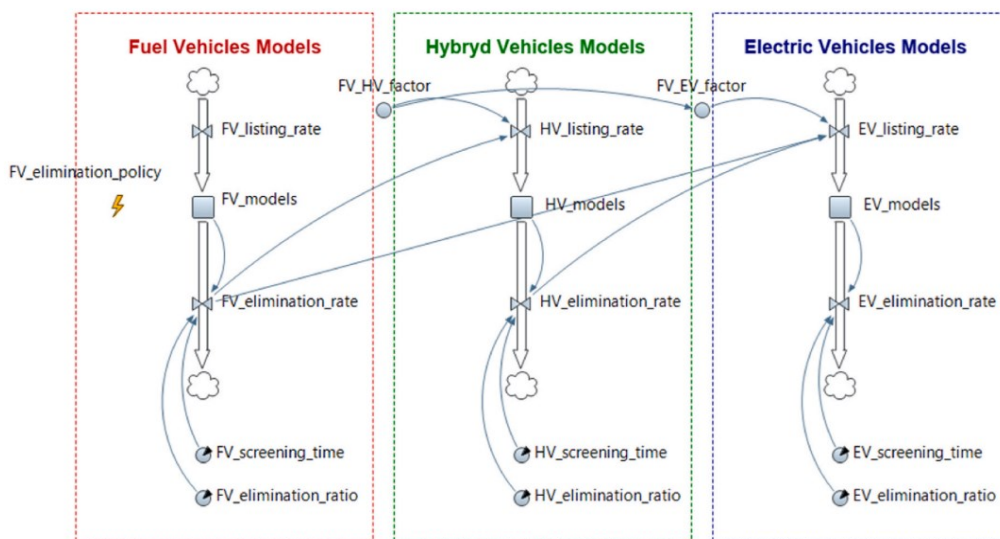
(45). I vari modelli di business circolare includono strategie di riutilizzo, riparazione, ristrutturazione, ricondizionamento, aggiornamento, riprogettazione e così via; mentre le strategie di riciclo hanno a che fare con la chiusura dei cicli delle risorse (46). Un ruolo chiave dell'economia circolare è messo in atto dai processi di de-fabbricazione (47). Infatti, per applicare strategie circolari, è necessario implementare un sistema di recupero dei prodotti a fine vita, i quali devono essere analizzati e valutati sulla base della loro integrità e successivamente indirizzati verso un ciclo di lavorazione predeterminato affinché possano rientrare nei processi produttivi. Questa catena inversa è fondamentale per garantire il modello circolare, poiché senza una gestione adeguata dei materiali riciclati, il loro utilizzo su larga scala diventerebbe impossibile. In questo contesto, un ruolo fondamentale alla contribuzione di una net zero economy lo giocano gli EV, che grazie alle varie strategie di riutilizzo e di riciclo citate sopra, potrebbero ridurre il loro impatto ambientale complessivo. Ma non solo, perché l'economia circolare può anche aiutare a realizzare uno sviluppo dei BEV più sostenibile. Secondo quanto detto nei capitoli precedenti, infatti, la fase di produzione delle batterie prevede anche una fase di estrazione di materie prime, che l'Europa si trova ad importare per quasi il 100% e considerando l'aumento della domanda di queste ultime a cui assisteremo nei prossimi anni, lo scenario che si verrebbe a creare, se si dovesse continuare con la logica dell'economia lineare, comporterebbe gravi rischi associati all'approvvigionamento come la volatilità dei prezzi e la dipendenza dalle importazioni verso altri paesi. Dunque, investire nella realizzazione dell'economia circolare, attraverso la formalizzazione di processi di riciclo di batterie nel caso degli EV, diventa per l'UE una priorità assoluta per poter contrastare la dipendenza dalle materie prime di altri Stati e per non rendere vani i benefici ambientali proposti da questa tipologia di veicoli.

### 3.2. La stakeholder theory applicata alla transizione elettrica

Per comprendere più a fondo e riuscire a modellare la net zero economy applicata al settore automobilistico, in questa sezione, si procederà con la stakeholder theory. Essa è un approccio alla gestione e alla corporate governance che vede l'organizzazione come un insieme di individui e gruppi che hanno interessi nell'azienda, come possono essere gli azionisti, i dipendenti, i clienti o i fornitori (48). Questa teoria afferma che la società ha il dovere di bilanciare le richieste di tutte le parti interessate e non solo di dare precedenza agli interessi di coloro che massimizzano i profitti. Inoltre, essa afferma che così facendo le aziende sono più sostenibili e hanno maggiori chances di avere successo nel tempo. Dunque, volendo riportare tale definizione nel contesto automobilistico, possiamo affermare come la stakeholder theory applicata alla transizione EV deve considerare e bilanciare i bisogni e gli interessi di tutte le parti in gioco nei processi decisionali e di pianificazione strategica. Non solo, le aziende automobilistiche, poi, devono tenere conto dell'impatto a lungo termine generato dalle loro azioni sull'ambiente e sulla società e attuare politiche che portino alla realizzazione di strategia economicamente e ambientalmente responsabili e sostenibili nel lungo periodo. Nella seguente analisi, sarà studiato l'impatto di questa transizione su particolari gruppi, ovvero i produttori, i fornitori e i lavoratori attraverso l'approccio ibrido AB-SD (49). Tale approccio è una fusione tra due l'approccio AB (Agent Based) e quello SD (System Dynamic). In particolare, il primo consente di esaminare come diversi individui o gruppi di individui apprendano ed interagiscano tra loro all'interno di un sistema al fine di creare una struttura più ampia. Il secondo, invece, permette di comprendere i modelli e i

comportamenti complessivi di un sistema utilizzando le rappresentazioni di stock e flussi. La scelta di utilizzare un approccio ibrido deriva dal fatto che è più pratico ed economico rispetto all'approccio AB e permette una visione più completa rispetto al solo approccio SD. Partendo proprio da quest'ultimo, lo studio in questione (49) esamina quali fattori influenzano maggiormente il passaggio dalle auto a combustione interna a quelle elettriche. In particolare, vengono messi a confronto tre tipologie di veicoli: FV, HV ed EV e sono identificati quattro sottomodelli: i) l'elenco delle configurazioni; ii) la produzione; iii) la deproduzione e iv) i sottomodelli di fine vita. Il primo, illustrato nella figura 3.1, si occupa di spiegare come le configurazioni dei veicoli sono determinate nei prezzi di listino (Zhang et al., 2021).

Figura 3.1



Fonte: Journal of Cleaner Production

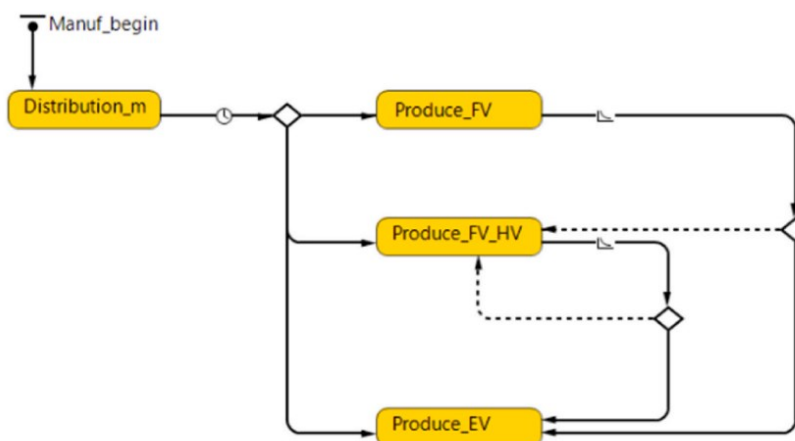
Dall'immagine notiamo come i tre stock rappresentino tutti i veicoli disponibili. Essi hanno sia flussi in ingresso ( FV\_listing\_rate, HV\_listing\_rate, EV\_listing\_rate), che rappresentano nuove configurazioni di veicoli associati ad avanzamenti nella ricerca e sviluppo, che flussi in uscita (FV\_elimination\_rate, HV\_elimination\_rate, EV\_elimination\_rate), che rappresentano, invece, la quantità di configurazioni obsolete e dunque rimosse dall'elenco di mercato durante l'anno. Altri fattori importanti riportati dalla figura sono gli FV\_HV e FV\_EV, che esprimono quanto l'industria automobilistica investa nello sviluppo di veicoli ibridi o elettrici, andando poi a sostituirli con i modelli FV eliminati. Inoltre, vi è un ulteriore evento chiamato "FV\_elimination\_policy", il cui scopo è eliminare le configurazioni FV dal mercato in 10 anni, ovvero entro il 2030.

Il secondo sottomodello è quello della produzione: essa è la parte centrale, a cui si collegano tutti gli altri sottomodelli. Qui, abbiamo tre diversi flussi di produzione, uno per ciascun tipo di veicolo. La produzione di questi ultimi è guidata principalmente da due dinamiche variabili: la domanda globale e la relativa domanda di materie prime. I componenti necessari alla realizzazione dei veicoli vengono poi raccolti nell'inventario, che specifica la fonte degli stessi ed infine, dopo l'assemblaggio di questi ultimi, i veicoli vengono rilasciati nello stock

circolante (49). Dopodiché abbiamo il sottomodello relativo alla de-produzione: durante questo processo i vecchi veicoli vengono prelevati dal rispettivo stock circolante, convertiti in componenti di massa e smistati nel flusso più appropriato. Ogni tipo di motore ha il proprio impianto di smaltimento, anche se vi sono parametri specifici comuni come il peso medio e la frazione del peso totale per ogni tipologia di materiale. Una volta che tutto il materiale è stato smistato nello stock corretto, viene spostato nell'area di fine vita in cui vengono praticate diverse tipologie di attività, tra cui riciclo, riparazione o riutilizzo. Più precisamente, i diversi controlli di qualità verificano lo stato dei vari componenti e in base ai risultati emersi, essi vengono, poi, indirizzati di conseguenza: i componenti di buona qualità vengono riutilizzati, riparati o riciclati mentre quelli di bassa qualità vengono considerati rifiuti e dunque smaltiti in discarica. Tra i vari componenti, le batterie dei veicoli elettrici sono le uniche ad avere una categoria intermedia: in questo caso, esse vengono collocate in un magazzino apposito e successivamente vendute a terzi. Questo modello include anche un fattore denominato "End-of-Life Improvement Factor" (EIF), che analizzando diversi scenari e incorporando vari progressi tecnologici, ha la funzione di indicare alle aziende le tariffe da praticare (49).

L'approccio AB, invece, secondo quanto ci afferma la sua definizione, viene utilizzato per studiare i tre tipi di stakeholder coinvolti all'interno del sistema, ovvero produttori, fornitori e lavoratori. Per ognuno dei tre, in questo studio, è stato costruito un modello indipendente, collegando alcuni comportamenti a variabili dinamiche particolarmente significative. Il primo gruppo analizzato è quello dei produttori, per i quali l'aspetto più interessante da approfondire è quello legato al tipo di veicoli che producono e al modo in cui essi si adattano ai cambiamenti della domanda. Tre sono i possibili stati di ciascun produttore, che corrispondono ai tre veicoli che stiamo considerando e dunque: produttore di FV, produttore di FV e HV – dal momento che a livello di impianti di produzione, un impianto FV può essere facilmente adattato alla produzione di HV in un periodo limitato di tempo e attraverso l'utilizzo di un numero limitato di risorse – e produttore di EV. La figura 3.2. ci mostra lo schema comportamentale dei produttori.

Figura 3.2



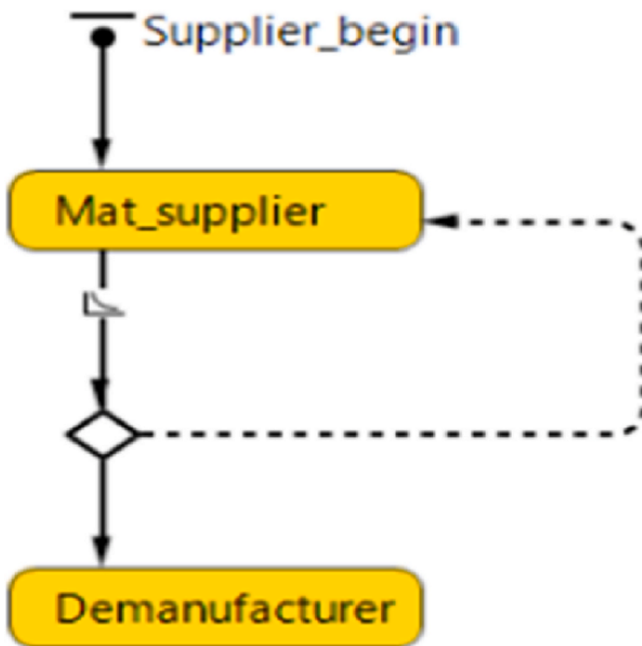
Fonte: Journal of Cleaner Production

Lo stato chiamato in figura "Distribution\_m" ha la funzione di distribuire la popolazione dei produttori in tre possibili stati. Inoltre, all'inizio della simulazione, viene assegnato una categoria di veicoli da produrre per ogni stabilimento produttivo e tale distribuzione si basa sulla domanda generata durante l'approccio SD. Si può notare, poi, come gli impianti di FV e FV\_HV portino a due rami poiché ogni anno una parte degli impianti viene esaminata e, se necessario, riconvertita per produrre un'altra categoria di veicoli. Ad esempio, quello che potrebbe succedere è che gli stabilimenti che inizialmente producono FV siano un po' alla volta adeguati alla produzione di HV o vengano del tutto convertiti in impianti di produzione di EV. Procedendo con la simulazione (49), si presume che la domanda di EV diventerà più consistente se paragonata a quella degli altri due veicoli e dunque potrebbe non bastare la conversione degli impianti FV in EV. Tuttavia, per ovviare a questo problema, è stato inserito un secondo ramo che permette anche agli impianti FV\_HV di poter essere convertiti in stabilimenti di produzione di EV. È, quindi, chiaro come questi processi decisionali siano governati dalle curve di domanda delle tre categorie di veicoli, sviluppate ed analizzate durante la parte SD: la condizione essenziale inserita all'interno delle ramificazioni è che la percentuale di sistemi EV sia, come minimo, di poco inferiore alla domanda di EV e allo stesso modo, gli impianti di produzione FV e HV devono essere tali per cui possano soddisfare la somma dei rispettivi fabbisogni.

La seconda categoria che viene presa in considerazione è quella dei fornitori. In questo caso, l'ipotesi fondamentale riguardante il loro comportamento è che parte di loro, osservando una diminuzione della domanda di materie prime e una simultanea espansione del settore di de-produzione, decidano di cambiare il loro modello di business diventando così società di fine vita in grado di fornire le parti necessarie al riciclo piuttosto che al riutilizzo ai produttori. La figura 3.3. mostra il diagramma di flusso che conduce le decisioni dei singoli fornitori.

Figura 3.3



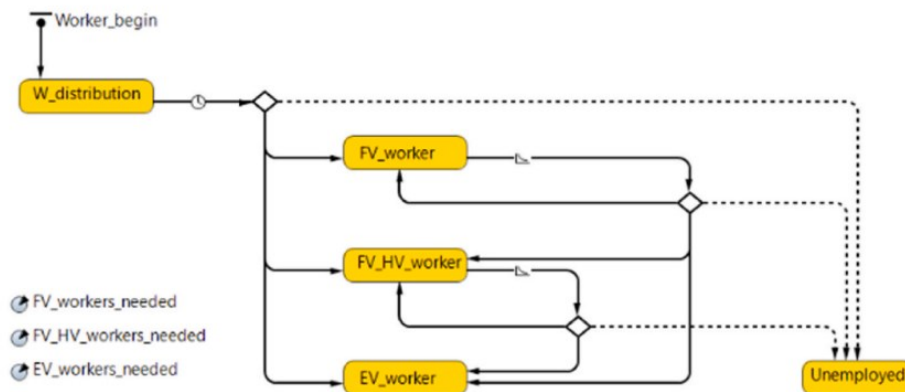


Fonte: Journal of Cleaner Production

Qui, come possiamo vedere, gli stati possibili sono solamente due: un fornitore può, inizialmente, partire in modo tradizionale, ovvero fornendo materie prime e successivamente, durante la simulazione, convertirsi allo stato di de-produzione. Questo passaggio, in realtà, è molto importante poiché permette di preservare numerosi posti di lavoro, semplicemente orientando le capacità lavorative verso un processo inverso. La condizione che determina questa conversione è legata alle percentuali di materiale che le case produttrici richiedono ai fornitori o che vengono recuperate da auto d'epoca. Se la percentuale di aziende di de-produzione è inferiore rispetto a quella del materiale usato proveniente dal ciclo di recupero, moltiplicato per un coefficiente di 0.9 (49), allora anche gli altri fornitori cambieranno assetto e diventeranno aziende di de-produzione.

Infine, abbiamo la categoria dei lavoratori, che è particolarmente importante dal momento che permette di introdurre alcuni aspetti legati alla sostenibilità sociale. Il diagramma di flusso che rappresenta il processo decisionale di quest'ultimo genere di stakeholder mostra varie somiglianze con quello sviluppato per i produttori, anche se in questo ultimo caso vi è un ulteriore status che è quello di "disoccupato". Infatti, una delle maggiori preoccupazioni riguardo questa transizione elettrica nel settore automobilistico riguarda proprio la possibile diminuzione di posti di lavoro. La maggiore semplicità costruttiva dei nuovi EV e soprattutto il crescente utilizzo di processi automatizzati potrebbe comportare una riduzione della manodopera necessaria per la costruzione di tali automobili. Questo, poi, rischia di diventare un problema anche per le aziende terze produttrici di componenti specifiche dei FV. Il modello che rappresenta il comportamento dei lavoratori è illustrato nell'immagine 3.4.

Figura 3.4



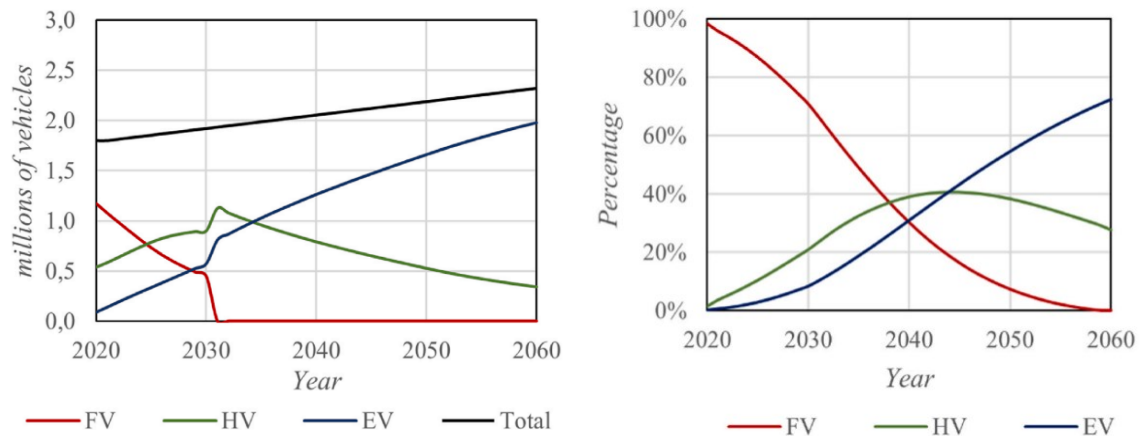
Fonte: Journal of Cleaner Production

Anche in questo caso, come già visto nella categoria di stakeholder precedente, lo stato chiamato “W\_distribution” funge da distributore della popolazione dei lavoratori tra le diverse tipologie di impianto ad inizio simulazione, ovvero FV, FV e HV ed EV. Il processo decisionale, qui, si basa sul numero di lavoratori necessari all’attività di ciascuna categoria di stabilimento. In particolare, questi dati sono rappresentati, nell’immagine, dai parametri posti nell’area in basso a sinistra e assumono che per la produzione di EV siano necessari circa il 30% di lavoratori in meno (49) rispetto alla produzione delle altre due categorie di veicoli. Questo comporta che questa percentuale di lavoratori in più sia a rischio di perdita di lavoro ed è il motivo per cui in figura troviamo che da ogni branca vi è una transizione verso lo stato di disoccupazione. Tuttavia, i lavoratori possono anche essere assegnati a diverse filiere produttive in base alla necessità richiesta e dunque evitare di perdere il proprio impiego passando da un lavoro all’altro attraverso transizioni condizionate.

### 3.3. Effetti a medio-lungo termine del passaggio al motore elettrico: impatto sulla supply chain

Considerando la tendenza di questi ultimi anni e le linee guida imposte dalla Commissione Europea volte ad accelerare il passaggio verso una mobilità più sostenibile, si presume che nel medio-lungo termine il numero di FV circolanti diminuirà al punto tale da scomparire lentamente dalla circolazione stradale. Per quanto riguarda, invece, gli HV, stando alla simulazione effettuata tramite software del modello di studio di (49) spiegato precedentemente, vedranno un primo momento di espansione, seguito, successivamente, da una crescente diminuzione a causa della diffusione sempre maggiore di EV. Nelle immagini 3.5. e 3.6 vediamo raffigurate rispettivamente l’andamento delle tre domande di veicoli e il trend dei veicoli circolanti in percentuale.

Figure 3.5 e 3.6

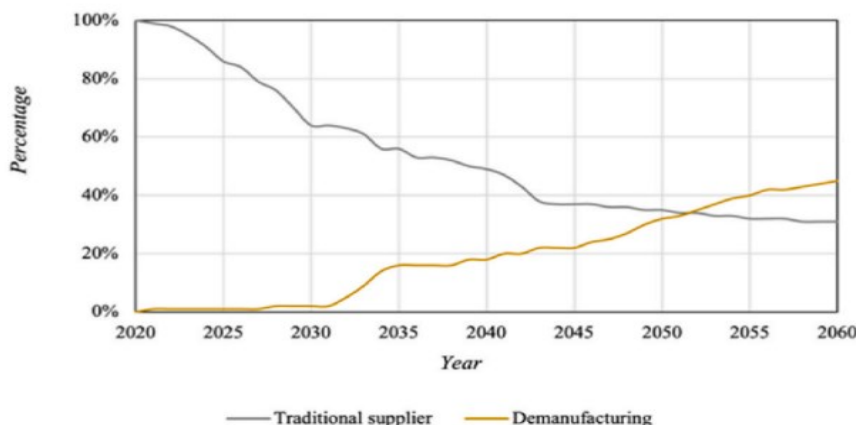


Fonte: Journal of Cleaner Production

Secondo l'analisi effettuata, che fa riferimento al periodo temporale che va dal 2020 al 2060, è possibile notare come all'incirca a metà di questo macro-arco temporale i FV rappresenteranno solo il 30% della flotta; mentre vi sarà un buon 40% rappresentato dagli HV. Verso la fine del periodo considerato e più precisamente si stima nel 2058 si vedrà l'estinzione degli FV e una diminuzione di circa il 12% nella circolazione degli HV. Al contrario, invece, accadrà per gli EV, che saranno protagonisti di una crescita esponenziale, dal 3% al 78% dei veicoli circolanti (49).

Procedendo poi ad analizzare gli agenti, nell'ordine utilizzato nell'approccio AB, emerge, dalle simulazioni effettuate (49), come le suddivisioni dei vari stabilimenti produttivi seguano le domande mostrate in figura 3.5. Di conseguenza, nel breve periodo la maggior parte degli stabilimenti di produzione FV verranno predisposti alla produzione anche di HV. Questi cesseranno di esistere dall'entrata in vigore della normativa che prevede lo stop alla circolazione dei veicoli FV e a quel punto gli impianti si convertiranno in filiere di produzione di EV, che raggiungeranno quota 60% degli stabilimenti totali del settore automobilistico. La figura 3.7, invece, mostra l'evoluzione del ruolo dei fornitori all'interno della finestra temporale 2020-2060.

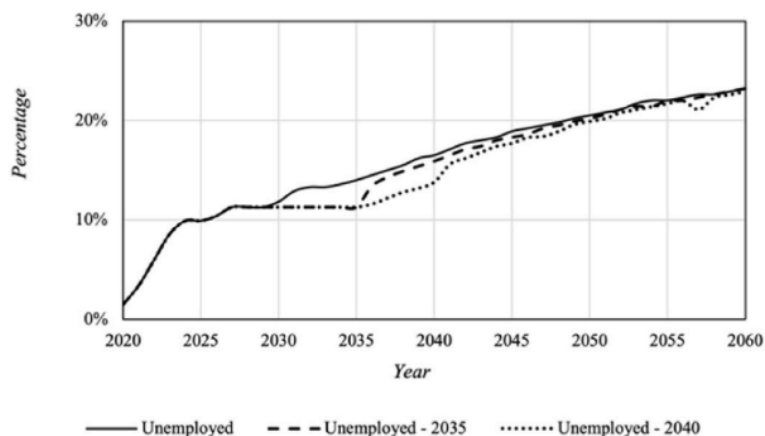
Figura 3.7



Fonte: Journal of Cleaner Production

Essi hanno la possibilità e il tempo di poter modificare il proprio business, integrandosi maggiormente nel sistema produttivo attraverso la conversione dei loro impianti da stabilimenti di produzione di componenti automobilistiche a stabilimenti di de-produzione, non appena la domanda di parti riciclate inizia ad aumentare. Infatti, dallo studio (49) emerge quanto i vari progressi tecnologici permettano alle aziende di diminuire il consumo e la dipendenza dalle materie prime nel tempo. Anche nel peggiore degli scenari, entro il 2060, è previsto, secondo queste simulazioni, un calo del 16% delle nuove materie prime utilizzate. Inoltre, i miglioramenti nell'ambito della fine vita dei prodotti comportano a loro volta un progresso nella produzione di rifiuti – nello scenario pessimistico, esso può arrivare fino ad una riduzione del 40% - e ciò è particolarmente significativo in quanto il riutilizzo di materiali che prima erano considerati rifiuti permette alle aziende di ridurre i costi di smaltimento e di essere più autosufficienti, questione attualmente importante, visto la grande carenza di componentistica automobilistica che caratterizza i giorni d'oggi a causa della pandemia e di problematiche socio-economiche.

L'ultima categoria di agenti analizzata e su cui si è concentrata la simulazione del modello ibrido AB-SD (49) è quella dei lavoratori. In particolare, la variazione della percentuale di lavoratori che potrebbero trovarsi disoccupati a seguito delle normative europee circa l'eliminazione degli FV dal 2035 viene mostrata nella figura 5.8.



Fonte: Journal of Cleaner Production

In figura notiamo innanzitutto che i tre tassi di disoccupazione sono studiati con riferimento a tre periodi temporali: dopo 10 anni rispetto alle politiche di eliminazione degli FV (2030), dopo 15 anni (2035) e dopo 20 anni (2040). Nel breve termine, non sono presenti differenze tra i tre scenari con un tasso di disoccupazione dei lavoratori che sale oltre il 10%. Nella parte centrale della simulazione (49), vi è una piccola variazione tra gli scenari di circa il 3% ed infine nel medio-lungo termine questa differenza tende ad appiattirsi nuovamente fino a poter essere del tutto trascurata, con un tasso di disoccupazione che supera il 20%.

### 3.4. Considerazioni finali

Arrivati a questo punto, quindi, siamo in grado di rispondere alcune importanti domande che questa transizione ha fatto sorgere. La prima riguarda gli effetti che questo complesso passaggio verso una mobilità elettrica comporta a livello di supply chain e stakeholders. Sicuramente la pressione esercitata dal Green Deal farà in modo tale che i produttori e i fornitori di EV aumenteranno nel tempo e crescerà quindi il numero di concorrenti sul mercato poiché le tecnologie richieste nella produzione di EV implicano conoscenze e competenze sempre nuove soprattutto nei settori della chimica e dell'elettronica (50). Nonostante ciò, però, bisogna sottolineare il fatto che, ad oggi, la domanda di EV è inferiore rispetto a quella di FV, rappresentando di fatto ancora un mercato di nicchia. Quindi, i produttori che intendono convertire i loro impianti produttivi si vedranno costretti ad affrontare costi di produzione crescenti se paragonati con l'efficienza e le economie di scale di FV poiché essi, ancora, devono lavorare su piccoli volumi di produzione. Questo effetto è dovuto principalmente agli elevati costi di acquisto degli EV, ai costi delle batterie, all'autonomia di guida limitata e ai tempi di ricarica potenzialmente lunghi, che sono tuttora visti come difetti da parte dei clienti finali. Ecco perché, come già affermato più volte nel corso di questo studio, è importante che lo Stato faccia la sua parte, mettendo in campo incentivi fiscali volti a rendere più sostenibili i prezzi di questi veicoli ai consumatori; ma non solo, poiché una parte molto importante può essere giocata anche dalle case automobilistiche, le quali possono educare i propri clienti con informazioni adeguate sui vantaggi degli EV, spiegando loro quelli che sono gli eventuali risparmi sulla manutenzione e gli effettivi benefici di questi veicoli sull'ambiente e sulla società (51).

Un altro aspetto importante di questa transizione riguarda il design degli EV, che può essere di due tipi: semplice conversione, ovvero al veicolo viene sostituito il motore a benzina per lasciare spazio alla batteria elettrica, senza che vi sia nessun tipo di modifica all'architettura dell'automobile; e purpose design, che consiste nello sviluppare un nuovo veicolo per la mobilità elettrica (52). Sicuramente, in entrambi i casi, i produttori automobilistici e i fornitori con tradizionali competenze riguardanti i motori dovranno orientare le proprie strategie per trovare nuove opportunità di business poiché con il passare del tempo la maggior parte delle componentistiche utilizzate nella realizzazione dei veicoli FV, come i pistoni o i blocchi cilindri diventeranno obsolete. I nuovi veicoli elettrici, infatti, richiedono meno componenti automobilistiche tradizionali ma fanno affidamento su componenti elettronici come semiconduttori, microchip, sensori, batterie.

Un ultimo aspetto che è stato analizzato sono le implicazioni di questa transizione abbinata all'economia circolare sull'occupazione. Da un lato, essa comporta un chiaro effetto negativo sull'occupazione perché i veicoli elettrici richiedono meno manodopera; dall'altro, invece, essa genera nuove opportunità di lavoro create dalle attività di fine vita dei vari componenti. Ciò nonostante, il mercato del lavoro dell'economia circolare necessita di capacità specifiche che almeno nel breve periodo comporterà ad una carenza di lavoratori qualificati. Ecco perché è fondamentale progettare e ridisegnare programmi di formazione che coinvolgano sia l'apparato scolastico che le industrie, mirando a far incontrare domanda e offerta di lavoro. Dunque, per concludere la risposta alla domanda iniziale riguardante gli effetti di questa transizione su supply chain e stakeholders, possiamo affermare che i veicoli elettrici

comportano sfide ed opportunità e sta alle aziende, assieme agli Stati, saper cogliere questa occasione per esplorare nuovi modelli di business pensati secondo logiche circolari.

Una seconda domanda a cui possiamo ora dare una risposta è quella relativa agli effetti relativi alle dimensioni ambientali e sociali di questa transizione circolare nell'industria automobilistica. Abbiamo già analizzato come il passaggio verso gli EV abbia un impatto positivo sull'ambiente, soprattutto grazie alle strategie di economia circolari riguardanti le attività di fine vita come il riutilizzo o il riciclo. Basti pensare, infatti, che le attività di smantellamento e di fine vita hanno il potenziale di ridurre la domanda di materie prime del 22-28% entro il 2060 e di ridurre la produzione di rifiuti del 55-72%, arrivando, in questo modo, a coprire circa un terzo della futura domanda di materie prime attraverso i flussi di rifiuti (53). Tuttavia, ci sono da tenere in considerazione anche conseguenze indesiderate quali i materiali delle terre rare. Abbiamo già visto nel capitolo 1 come gli EV richiedano una grande quantità di materiali che sono concentrati in aree geografiche specifiche e la cui estrazione comporta notevoli costi sociali e ambientali. Inoltre, un altro fattore critico è rappresentato dal fatto che questi materiali sono principalmente controllati dalla Cina, che ne estrae circa il 63% e ne controlla la lavorazione per l'85%, rappresentando un rischio di approvvigionamento per l'Europa tutta, compresa l'Italia (54). Ecco perché risulta fondamentale per il nostro continente implementare sempre di più attività di riciclo e riutilizzo dei vari componenti degli EV. Un'altra conseguenza involontaria legata alla diffusione su larga scala della mobilità elettrica sarà una crescente domanda di elettricità che comporterà, a sua volta, un effetto maggiore sui sistemi di alimentazione. Dunque, i Paesi europei, considerando questo aspetto, dovranno investire molto di più in energia rinnovabile e pulita da utilizzare come fonte di energia per i veicoli elettrici. Gli studi (55) (56) hanno analizzato la possibilità di utilizzare le batterie EV per accumulare energia e i risultati emersi da questa analisi ne hanno evidenziato il potenziale.

Per quanto riguarda, invece, gli impatti sociali relativi a questa transizione, diversi studi (57) (58) (59) hanno dimostrato come le nuove tecnologie, che gli EV comportano, possano modificare drasticamente il mercato del lavoro, comportando l'automazione di diversi processi che prima richiedevano l'attività manuale di diversi lavoratori. Pertanto, l'impatto sull'occupazione, se privo di politiche statali su misura a sostegno, rischia di essere devastante con un tasso di disoccupazione che potrebbe raggiungere il 23% entro il 2060 (49). Un esempio italiano di questo drammatico fatto è dato dalla multinazionale Stellantis, la quale, dopo aver annunciato di voler convertire la fabbrica di motori in una fabbrica di batterie, ha previsto una perdita di circa 1000 lavoratori nel 2025 (60). Concludendo, quindi, possiamo affermare che è necessario che la disoccupazione sia presa in considerazione a livello statale per contenere le problematiche sociali ed evitare l'innalzamento della soglia di povertà statale.

## 4. LE CRITICITA' CIRCA LA SICUREZZA DEI VEICOLI ELETTRICI

### 4.1. Stazioni di ricarica dei veicoli elettrici (ECVS): architettura e requisiti

A seguito della diminuzione del costo degli EV previsto per i prossimi anni, abbiamo visto come la domanda di quest'ultimi crescerà in modo esponenziale e questo comporterà, a sua volta, la costruzione di numerose strutture di ricarica per tali veicoli. Molte di esse sono state progettate e sono in fase di costruzione proprio per far fronte alle esigenze di ricarica di

centinaia di migliaia di EV, che dovranno essere perfettamente integrati nelle moderne reti elettriche del futuro. Con i progressi emergenti nei sistemi tecnologici di ricarica dei veicoli elettrici, tre (61) sono i metodi principalmente utilizzati per caricare un EV: 1) carica conduttiva, dove la batteria attraverso un collegamento via cavo viene direttamente in contatto con un EVSE; 2) ricarica induttiva o wireless, in cui l'elettricità viene trasferita attraverso del materiale ferromagnetico da una bobina magnetica nel caricabatterie ad un'altra bobina magnetica montata all'interno dell'auto e 3) sostituzione della batteria, dove quest'ultima viene scambiata con una nuova batteria in una stazione di sostituzione (BSS). Attualmente il metodo di ricarica conduttivo è altamente preferito dagli operatori poiché risulta essere quello maggiormente efficace, pur essendo un modello di business molto semplice, e meno costoso. Esistono diversi livelli di carica per una presa che utilizza meccanismi di ricarica conduttivi, in base al livello di potenza impiegato. Stando allo standard SAE J1772 (62), volto ad analizzare i requisiti fisici, elettrici e prestazionali per i sistemi di ricarica dei veicoli elettrici negli USA, emesso dalla Society of Automotive Engineering (SAE), sono disponibili due livelli di carica in AC e due livelli in DC. Più precisamente:

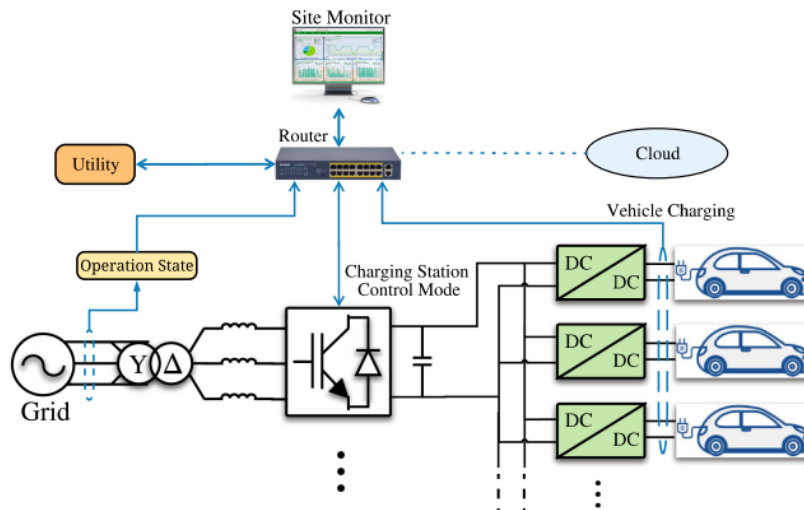
- Il livello AC 1, noto anche come ricarica domestica, supporta il livello di tensione di 120 V con un livello di corrente massimo di 16 A.
- Il livello AC 2 supporta dai 208 ai 240 V con un livello massimo di corrente di 80 A.
- Il livello DC 1 ha una tensione di uscita di circa 50-1000 V con una corrente massima di 80 A.
- Il livello DC 2 supporta una tensione d'uscita uguale al precedente livello ma con una corrente massima che può arrivare a raggiungere i 400 A.

Mentre entrambi i due livelli in entrata richiedono che l'EV riceva una alimentazione monofase dall'EVSE, i livelli DC caricano la batteria EV direttamente attraverso l'alimentazione DC, la quale può essere convertita da monofase a trifase. Infatti, lo standard SAE J3068 pubblicato nel 2018 consente agli EV di utilizzare completamente l'alimentazione AC trifase per la ricarica delle batterie, poiché essa migliora la stabilità della rete grazie a livelli di potenza elevati. Inoltre, esso standardizza un accoppiatore di carica trifase AC (63) con protocolli di controllo digitale, offrendo, tramite questa comunicazione bidirezionale tra gli EVs e le EVSEs, stazioni di ricarica di grandi dimensioni in grado di ricaricare i veicoli elettrici a basso costo, ma in modo più affidabile ed efficace. Esiste poi lo standard IEEE 1547 del 2018 che stabilisce i requisiti relativi alle prestazioni, al funzionamento, ai test, alle considerazioni sulla sicurezza e alla manutenzione dell'interconnessione tra i sistemi di alimentazione elettrica (EPS) e i DERs. Questi requisiti devono essere universalmente adottati in quanto sono necessari per l'interconnessione di vari tipi di DERs (64), altrimenti, in caso contrario, potrebbero esserci gravi conseguenze nei sistemi di alimentazioni. Basti pensare, per esempio, all'enorme blackout avvenuto in Australia del sud nel 2016 a causa di una tempesta che colpì un parco eolico, creando difficoltà per un totale di 650.000 clienti (65). Proprio per evitare questo genere di situazioni, dunque, è importante sviluppare le EVSE non solo tenendo conto delle tradizionali considerazioni, ma anche preoccupandosi della sicurezza dei sistemi cyber-fisici e delle loro interazioni con la rete.

Quello a cui oggi si punta è costruire, oltre a stazioni di ricarica lungo le infrastrutture stradali, anche stazioni corrispondenti a garage o parcheggi a lungo termine. Questa tipologia di EVCS

formata da diversi EVSEs consiste in tre parti: 1) un sistema fisico che ha il compito di fornire i servizi di ricarica; 2) un sistema di comunicazione e 3) un centro di controllo. Nell'immagine 4.1. viene mostrata la tipologia di architettura proposta per EVCS di tali dimensioni.

Figura 4.1



Fonte: IEEE Xplore

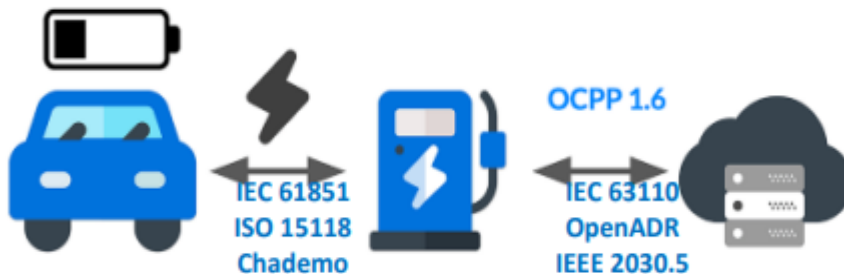
Il sistema fisico delle EVCS è mostrato in figura dai blocchi in nero ed il suo funzionamento lo troviamo ben analizzato nello studio di (66). Il sistema di comunicazione, invece, è illustrato in blu: possiamo vedere, infatti, come il sistema informatico trasmette i segnali tra il sistema fisico e il centro di controllo. Quest'ultimo, invece, attraverso un site monitor, coordina il controllo del carico energetico dei veicoli elettrici per consentirne una ricarica intelligente e trasmette anche ulteriori segnali attraverso l'utility. Inoltre, molti operatori EVCS analizzano dati ed eseguono algoritmi di programmazione EV su cloud, dunque, come si nota in figura, anche la comunicazione tra stazioni di ricarica e cloud è abilitata.

#### 4.2. Vulnerabilità delle EVCS

Per caricare un veicolo elettrico, come abbiamo appena appreso, c'è bisogno di coordinamento e comunicazione tra le varie entità della rete. Un esempio può essere il fatto che le informazioni e i segnali di controllo devono essere trasmessi tra EVs, stazioni di ricarica e operatori o sistemi di gestione di terze parti per poter consentire servizi come la riduzione dei picchi di domanda di elettricità. Le informazioni riguardanti l'elettricità, dalla frequenza alla tensione, insieme a quelle relative allo stato del veicolo, come l'identificazione dell'auto, le dimensioni della batteria, lo stato di carica della batteria e l'energia necessaria al viaggio, vengono utilizzate per allocare i punti di regolazione e di alimentazione dei vari caricatori. E', però, importante che il sistema sia in grado di gestire le variazioni che possono caratterizzare tutti questi dati con un tempo di risposta possibilmente inferiore al secondo (67). Per permettere ciò, vengono utilizzate applicazioni e algoritmi che hanno come conseguenza negativa la limitazione di tecniche di sicurezza informatica, come la crittografia. Le regole e le linee guida che consentono la comunicazione e lo scambio di dati tra le varie entità presenti



all'interno dei sistemi di ricarica dei veicoli sono chiamate protocollo. La figura 4.2. illustra le due tipologie principali di protocolli usati negli EVs (68): quelli front-end che descrivono il collegamento tra EV e EVCS, tra i quali abbiamo IEC61851, ISO 15118, Chademo e IEEE 2030.5; e quelli back-end, i quali definiscono il collegamento tra EVCS e operatore terzo, tra cui troviamo OCPP, IEC 63110, OpenADR, IEEE 2030.5 e EEBUS.



Fonte: IEEE Xplore

I protocolli back-end sono quelli su cui ci si è soffermati maggiormente quanto alle loro misure di sicurezza informatica. Nonostante essi si impegnino ad essere aperti, interoperabili e a fornire un livello base di sicurezza, questo sistema energetico intelligente che accoppia le reti di comunicazione a quelle legacy introduce nuove vulnerabilità informatiche, che rischiano di compromettere seriamente il sistema in termini di funzionamento ed affidabilità. Queste vulnerabilità sono ancora più preoccupanti in quanto, in questo genere di sistemi, attaccarne, per esempio, la dimensione fisica comporta una serie di effetti a cascata che producono guasti molto mirati. Dunque, risulta interessante capire innanzitutto quali sono le differenze (68) che stanno alla base tra la sicurezza informatica tradizionale e quella dei sistemi energetici. Sicuramente una prima grande discrepanza è dovuta dal fatto che, mentre per quanto riguarda la cyber-security classica, essa si basa principalmente su esperti in materia; per quanto concerne la sicurezza informatica dei sistemi energetici, invece, essa ha bisogno non solo di esperti cyber ma anche di esperti nel settore dell'energia e delle telecomunicazioni. Inoltre, come già riportato, le applicazioni dei sistemi energetici possono definirsi critiche in termini di tempo con la conseguenza che molte delle tecniche di mitigazione degli attacchi informatici risultano essere non sufficientemente veloci per soddisfare tali requisiti tempistici. Un'altra differenza tra i due ambiti di sicurezza informatica è data dallo scarso utilizzo da parte dei sistemi energetici di soluzioni di sicurezza sviluppate per i sistemi IT classici, come ad esempio sistemi di rilevamento e protezione dalle intrusioni, in quanto la presenza di eventuali falsi positivi potrebbe portare alla creazione di seri danni all'impianto e al sistema operativo. A cambiare, poi, è anche l'ordine di priorità dei tre requisiti di cyber security definiti dal NIST: riservatezza, integrità e disponibilità. Nella maggior parte dei sistemi IT, la riservatezza ha la massima priorità poiché solitamente le informazioni trattate riguardano dati sensibili degli utenti, dopodiché abbiamo l'integrità ed infine la disponibilità. L'ordine è del tutto invertito per quanto riguarda, invece, i sistemi energetici, dove ad avere massima priorità è la disponibilità, seguita da integrità e solo infine vi è la riservatezza. Questo è dovuto dal fatto che per tali sistemi mantenere il flusso di energia costante è la cosa più importante in assoluto, così come diventa fondamentale

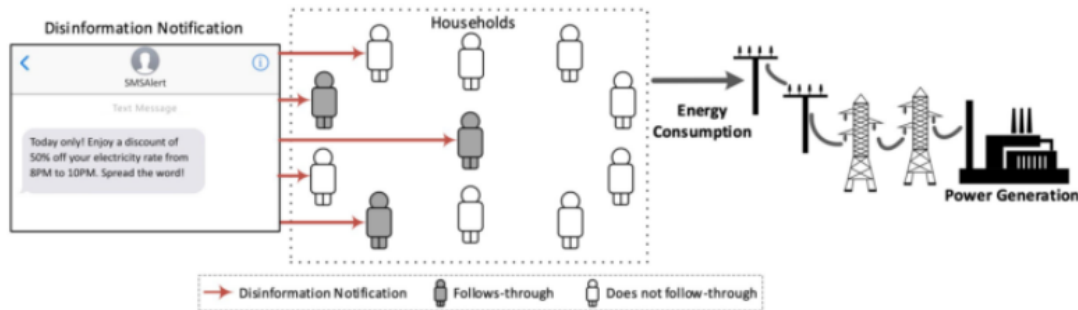
proteggere l'integrità delle informazioni perché comandi non attendibili possono influenzare le decisioni di controllo, mettendo a rischio la sicurezza di persone, ambiente e beni. Infine, un'ulteriore differenza tra le due tipologie di sicurezze informatiche è che in quella dei sistemi energetici non risulta possibile adottare la politica di protezione tramite password in quanto in questo contesto non è accettabile la possibilità che, a causa di svariati tentativi errati, l'operatore sia costretto ad eseguire il logout della sua postazione poiché c'è sempre bisogno che l'operatore sia in grado di controllare il sistema.

Arrivati a questo punto, possiamo procedere con l'analisi delle vulnerabilità cibernetiche (68) delle EVCS domestiche. Esse sono nuovi tipi di dispositivi elettronici che vengono installate nelle abitazioni dei clienti o nei parcheggi o garage privati. A differenza delle stazioni di ricarica pubbliche, quelle private hanno capacità limitate poiché generalmente non devono occuparsi della gestione anticipata della rete elettrica né addebitare pagamenti. Tuttavia, queste nuove EVCS contengono tra le varie funzionalità anche il controllo remoto dei metodi di ricarica, che le rende particolarmente vulnerabile agli attacchi informatici. Nel 2018, i ricercatori di cyber security di Kaspersky (69), dopo aver individuato delle criticità in una stazione di ricarica, hanno constatato come la conseguenza dello sfruttamento di queste vulnerabilità abbia causato il danneggiamento della rete elettrica domestica, comportando dunque anche danni economici. Inoltre, durante questa analisi, i ricercatori hanno avviato comandi con l'intento di interrompere la ricarica o impostare la corrente al massimo e ciò che è emerso è che, con l'interruzione della carica, il cliente può subire solamente perdite finanziarie, ma tramite la regolazione della stazione alla corrente massima i rischi sono molto più elevati, dal momento che i cavi elettrici potrebbero surriscaldarsi su un dispositivo non protetto da un fusibile provocando in questo modo un incendio. Inoltre, un attacco di questo genere potrebbe danneggiare anche tutti gli altri dispositivi collegati alla stessa rete. Questi tipi di attacchi solitamente iniziano con gli aggressori che, tramite la tecnica di bruteforcing di potenziali password, riescono a penetrare all'interno della rete Wi-Fi domestica. Una volta entrati, scoprono l'IP della stazione di ricarica e questo permette loro di sfruttare le vulnerabilità di queste ultime e disturbarne il funzionamento. Dunque, per evitare questo genere di situazioni è importante aggiornare i software, utilizzando solo le ultime versioni; sostituire le password predefinite con password complesse nelle reti WI-FI e nei dispositivi intelligenti e dove possibile, separare la rete domestica connessa ai dispositivi smart da quella utilizzata per le attività personali, poiché, così facendo, si potrebbe evitare che un dispositivo personale danneggiato da malware, per esempio, intacchi la rete domestica.

Un'altra criticità cyber di queste EVCS domestiche è la disinformazione che consente la manipolazione di massa. L'aumento di consumatori di energia attivi offre vantaggi per la rete, ma questi ultimi sono esposti a fake news, che espongono la rete ad attacchi di manipolazione del comportamento. Una ricerca effettuata nel 2020 (70) ha indagato l'impatto causato proprio da un attacco di questo tipo. In particolare, esso incoraggiava i cittadini a effettuare i consumi energetici nel periodo di alta richiesta, inviando falsi sconti da spendere in quella determinata tempistica. I ricercatori hanno preso come campione per il loro studio la regione britannica del Great London e hanno dimostrato come una disinformazione di questo genere può arrivare alla creazione di linee elettriche sovraccariche, che potrebbero portare a blackout su scala urbana. Si ritiene, infatti, che il fattore umano sia l'anello più debole nella protezione delle infrastrutture critiche nazionali.

In figura 4.3. vediamo illustrata la panoramica dell'attacco di disinformazione alla rete elettrica.

Figura 4.3



Fonte: IEEE Xplore

In questo studio (70) sono stati presi in considerazione la rete elettrica della Greater London, il comportamento dei consumatori di energia domestica e il tasso di adozione di EVs. Poiché questi ultimi controllano una notevole quantità di energia, essi hanno un grande impatto quando vengono alterati. I ricercatori, dunque, volendo verificare i vari impatti, hanno variato la quantità di clienti che seguono la falsa notifica e il tasso di adozione dei veicoli elettrici e hanno concluso che, se quest'ultimo aumentasse del 20% rispetto a quello attuale, allora la rete, che normalmente può tollerare un aumento del carico fino ad un massimo del 10%, da un lato diventerebbe molto vulnerabile a questo tipo di attacco; dall'altro, però, aumenterebbe la sua resilienza per poter far fronte all'aumento del numero di EVs, riducendo così le probabilità di provocare blackout dovuti al sovraccarico. Il sondaggio effettuato durante l'analisi, comunque, dimostra che molti di coloro che ricevono il messaggio falsificato tenderanno poi a dividerlo con parenti e amici, andando, in questo modo, ad amplificare l'attacco. Dunque, i ricercatori hanno suggerito ai responsabili politici di trovare delle strategie volte a ridurre l'impatto di questo tipo di minacce, tramite pubblicità di sensibilizzazione per aumentare la consapevolezza dei cittadini. Nonostante la problematica importante sollevata da questa analisi (70), c'è da tenere in considerazione il fatto che nella realtà non è possibile prevedere con certezza assoluta quella che può essere la reazione dei cittadini e dunque non si può sapere quanti effettivamente di loro cadrebbero in errore. Dopodiché molto spesso la rete elettrica è progettata in modo da reagire ad eventuali aumenti improvvisi del carico con la riduzione di esso o con l'aumento della generazione disponibile ed infine, i consumatori con sistemi di gestione energetica automatizzati hanno meno incentivo a modificare il proprio consumo, in quanto il loro sistema è già programmato per ottimizzare automaticamente il consumo energetico in base al segnale che ricevono dall'azienda elettrica.

Infine, possiamo affermare che un'ulteriore vulnerabilità è data dall'utilizzo del cloud da parte del sistema di gestione e controllo del carico dei veicoli elettrici (66) poiché questo tipo di comunicazione tra le due entità modificherà le reti elettriche da sistemi isolati a sistemi esposti a miriadi di minacce informatiche. Ad esempio, l'attacco DDoS (Distributed Denial of

Service), consistente nell'interruzione del servizio attaccato, può causare gravi ritardi o guasti nella trasmissione dati tra EVCS e cloud, provocando, anche in questo caso, disturbi di frequenza e oscillazioni di rete che possono portare a blackout di massa. Pertanto, le stazioni di ricarica dovrebbero eseguire l'algoritmo di gestione e controllo del carico degli EVs sul proprio server, lasciando come unica funzionalità del cloud pubblico quella di leggere e archiviare i dati delle ECVS.

#### 4.3. Standard e risk management framework necessary a mitigare i rischi cyber delle ECVS

##### 4.3.1. Standards

Con l'aumentare del numero di dispositivi di consumo connessi ad internet – la cosiddetta Internet of things (IoT) – tra cui è possibile inserire anche le stazioni di ricarica intelligenti per i veicoli elettrici, diventa un tema sempre più centrale la cyber security di tali sistemi. Per proteggere quest'ultimi dai vari attacchi informatici che l'esposizione online comporta, sono stati sviluppati una serie di standard.

##### A. *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*

Questo istituto ha pubblicato una specifica tecnica per la sicurezza informatica dell'IoT dei consumatori (71), che riunisce un insieme di pratiche di comportamento corrette da tenere nell'utilizzo di questi dispositivi in una sequenza di disposizioni di alto livello. Alcune di queste disposizioni sono: assenza di password predefinite universali; implementazioni di sistemi di gestione delle segnalazioni di vulnerabilità; aggiornamento dei software; archivio sicuro di credenziali e dati sensibili; resilienza dei sistemi attraverso una costante manutenzione. L'ETSI, poi, si occupa anche di fornire indicazioni ai produttori IoT per quanto concerne il processo di sviluppo di dispositivi smart.

##### B. *National Institute of Standards and Technology (NIST)*

L'Information Technology Laboratory (ITL) è uno dei sei laboratori del NIST e si occupa dello sviluppo di dati, test, metodi, implementazioni e analisi tecniche per cercare di portare le ricerche e i conseguenti dati ad una qualità sempre maggiore, sia dal punto di vista dell'indipendenza che dell'assenza di bias. Tale laboratorio ha fornito un report dettagliato circa i requisiti di gestione della sicurezza informatica e della privacy dell'IoT (72). In particolare, esso ha accertato tre considerazioni di alto livello per i rischi legati alla cyber security e alla privacy dei dispositivi IoT rispetto a quelli tradizionali: i) molti dispositivi IoT interagiscono con il mondo fisico in modi diversi da quelli dei sistemi convenzionali IT; ii) non si può accedere, gestire o monitorare i dispositivi IoT nello stesso modo in cui si tratta con i sistemi tradizionali IT e iii) la disponibilità, l'efficienza e l'efficacia delle funzionalità della sicurezza informatica e della privacy sono spesso diverse per i sistemi IoT rispetto a quelli IT. Il NIST, poi, ha identificato tre obiettivi da proteggere: sicurezza del dispositivo, sicurezza dei dati e privacy delle persone. Gli standard NITS sono in linea con quelli pubblicati dall'Organizzazione Internazionale per la standardizzazione (ISO) e dalla Commissione elettrotecnica internazionale (IEC). Tra questi, quelli che potrebbero essere richiesti per salvaguardare la sicurezza informatica delle EVCS sono: linee guida NISTIR 7628 per la cyber security delle reti intelligenti; tecniche di gestione e

valutazione del rischio IEC 31010:2019 e NIST.SP 800-30 ed infine NIST.SP 800-53 Rev. 5 per i controlli di sicurezza e la privacy dei sistemi informativi.

C. *ISO 27001*

Si tratta di uno standard internazionale per la sicurezza delle informazioni, che attraverso quattordici controlli specifici (73), fornisce le linee guida necessarie a stabilire, implementare, mantenere e migliorare il sistema di sicurezza delle informazioni. Tuttavia, l'implementazione di questo standard è del tutto facoltativa: alcune organizzazioni scelgono di fare proprio questo standard per poter beneficiare delle migliori pratiche a garanzia della sicurezza delle proprie informazioni; altre, invece, ne ottengono la certificazione per assumere maggior credibilità agli occhi dei clienti, che, in questo modo, possono essere certi del fatto che le raccomandazioni presenti all'interno della ISO 27001 siano rispettate.

D. *Open Charge Point Protocol (OCPP)*

Il seguente protocollo (74) fornisce accessibilità, conformità e comunicazioni uniformi tra le stazioni di ricarica per i veicoli elettrici e i sistemi di gestione di quest'ultime, senza costi o licenze che fungono da barriere. Esso sta diventando il protocollo standard de facto poiché consente agli utenti di modificare la rete di ricarica senza sostituire la stazione di ricarica, tanto da essere richiesta la versione 1.6 per le nuove EVCS del Regno Unito dal 2019. Quest'ultima, rispetto alle precedenti versioni, apportava un vantaggio dato dall'abilitazione della ricarica intelligente e dalla possibilità di connettere la stazione di ricarica alla banda larga connessa da casa. Ora, però, che anche la connessione Internet è abilitata da OCPP 1.6, la sicurezza di questi sistemi inizia ad essere critica. Dunque, OCPP ha fornito delle considerazioni sulla sicurezza progettate per essere basate sul Transport Layer Security (TLS) e crittografia a chiave pubblica utilizzando i certificati X.509. Tre sono i profili di sicurezza presentati dalla versione OCPP 1.6 e 2.0.1 (75), come mostrati nella tabella 4.4.

Figura 4.4

Profile	Charging Station Authentication	CSMS Authentication	Communication Security
Unsecured Transport with Basic Authentication	HTTP Basic Authentication	-	-
TLS with Basic Authentication	HTTP Basic Authentication	TLS authentication using certificate	Transport Layer Security (TLS)
TLS with Client-Side Certificates	TLS authentication using certificate	TLS authentication using certificate	Transport Layer Security (TLS)

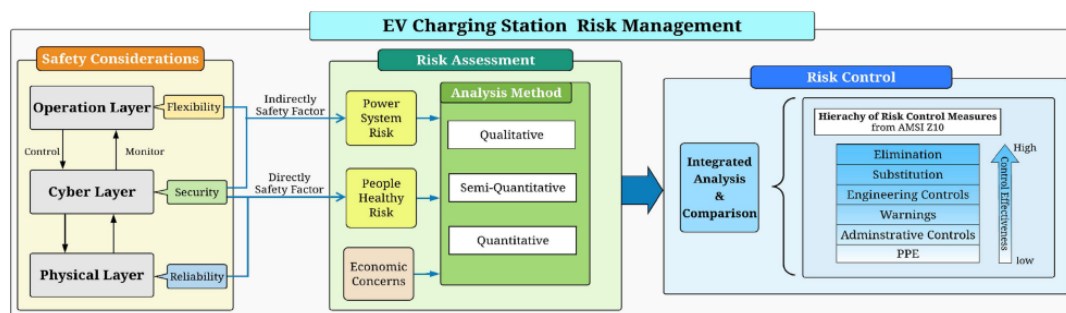
Fonte: IEEE Xplore

Il primo livello, ovvero Unsecured Transport with Basic Authentication, offre un basso livello di sicurezza poiché il canale di sicurezza non è protetto, non vi è alcuna autenticazione per quanto riguarda i sistemi di gestione delle stazioni di ricarica (CSMS), mentre l'autenticazione di quest'ultime avviene tramite nome utente e password. Dunque, questo primo profilo dovrebbe essere utilizzato solo ed esclusivamente in reti affidabili, dove la connessione VPN è abilitata tra i CSMS e EVCS. Il secondo profilo, TLS with Basic Authentication, offre un livello di sicurezza medio. Qui, il canale di comunicazione è protetto proprio dal Transport Layer Security; il CSMS si autentica utilizzando un certificato del server TLS, mentre le stazioni di ricarica utilizzano l'autenticazione di base HTTP. Questo livello, proprio grazie al TLS, consente l'invio crittografico di password. Il terzo e ultimo profilo, TLS with Client-Side Certificates, offre un livello di sicurezza di gran lunga superiore rispetto ai precedenti due, in quanto, qui, sia il CSMS che le stazioni di ricarica si autenticano tramite certificati: in particolare, il CSMS autentica le EVCS tramite il certificato TLS client e il contrario avviene tramite certificato TLS server. Inoltre, dal momento che il CSMS solitamente funge da server, in questo protocollo non sono implementati utenti diversi o il controllo degli accessi basati sui diversi ruoli delle EVCS, ma per avere una sicurezza più completa, sarebbe consigliato farlo.

#### 4.3.2. Risk management framework

Analizzati questi, possiamo ad un altro strumento sistematico volto ad esaminare i rischi delle EVCS, chiamato risk management framework. Esso tiene in considerazione tre livelli (66): 1) considerazioni sulla sicurezza delle EVCS; 2) valutazione del rischio e 3) controllo del rischio, come mostrato in figura 4.5.

Figura 4.5



Fonte: IEEE Xplore

Questo modello prende in considerazione l'affidabilità delle componenti delle EVCS, la cybersecurity delle comunicazioni e la flessibilità delle operazioni EVCS. La ricarica conduttiva, che, come abbiamo visto, risulta essere il metodo maggiormente utilizzato dai clienti, richiede che questi ultimi colleghino il proprio veicolo alla colonnina di ricarica (EVSE) e dunque il loro design deve essere tale da proteggere l'utente da eventuali scosse elettriche. Questo si può ottenere attraverso due modi: protezione di base, che consiste nell'impedire alla persona di entrare in contatto con parti sotto tensione e protezione dai guasti, che si ha tramite la

disconnessione della fornitura. L'IEC ha definito diverse modalità di ricarica e per ognuna di esse ha descritto il protocollo di sicurezza tra EV e EVSE (76). Anche l'affidabilità delle componenti delle colonnine di ricarica è molto importante e necessitano di protezione elettrica di sicurezza che dovrebbe essere monitorata dal centro di controllo e sottoposta a revisioni di sicurezza periodiche. Infine, come abbiamo già potuto approfondire anche precedentemente, anche l'affidabilità informatica è un aspetto centrale delle EVSE poiché se il router per qualsiasi motivo non funziona, i segnali di gestione del carico dell'EV non possono essere implementati e la comunicazione tra utility e EVCS fallisce. E' proprio questa comunicazione che rende le EVCS vulnerabili agli attacchi informatici. L'hacker, infatti, ad esempio, può disabilitare i dispositivi di protezione, che possono compromettere la sicurezza elettrica oppure può inviare il segnale di autorizzazione per la disattivazione dell'EVCS dalla rete elettrica, causando gravi danni a cascata.

Una volta effettuate le seguenti considerazioni, il modello (66) procede alla valutazione dei rischi. Un rischio è definito come la probabilità che un pericolo provochi un danno. Il primo rischio individuato dal framework che stiamo considerando è il rischio di lesioni o danni alla salute, che è dato dalla seguente equazione:

$$R_i = P o_i \times S e_i$$

dove  $R_i$  è un pericolo identificato dalla probabilità di accadimento della lesione o del danno alla salute  $P o_i$  e dei conseguenti impatti e gravità  $S e_i$  scatenati dall'evento  $i$ . Il rischio totale, invece, è dato dalla somma di tutti i punteggi di rischio  $R_i$ , calcolati su tutti i potenziali scenari di rischio, secondo la formula:

$$R_t = \sum_i R_i$$

$R_t$  include, tra gli altri, il rischio di esporre i clienti a tensioni pericolose durante la ricarica dei veicoli elettrici e i lavoratori a potenziali archi elettrici durante la manutenzione. Esso varia nel tempo ed è influenzato dall'efficacia dell'ispezione e della manutenzione del sito. Questo approccio, basato sul punteggio di rischio, è un metodo semi-quantitativo, ovvero non è in grado di quantificare una misura accurata del rischio; tuttavia, è un metodo di valutazione del rischio ampiamente utilizzato perché permette di aiutare il processo decisionale e di effettuare un controllo del rischio efficace per pericoli come gli shocks, la folgorazione, le ustioni e così via (77).

Il secondo rischio individuato ha a che fare con il funzionamento del sistema elettrico; in particolare esso prende forma nel fattore di energia non fornita (ENSF). Per poter quantificare questo rischio, si parte innanzitutto con il calcolare l'EENS, che riflette lo stato di affidabilità della rete e la sua capacità di soddisfare continuamente le richieste energetiche, con la seguente equazione:

$$EENS = \sum_j EENS_j$$

EENS e EENS' sono la somma dell'energia non fornita con o senza EVCS durante ogni interruzione  $j$ . Dunque, il contributo dell'ECVS ai cambiamenti nell'EENS del sistema viene valutato attraverso la formula:

$$ENSF = \alpha(EENS - EENS')$$

dove  $\alpha$  indica quanto un EVCS contribuisce all'EENS ed è calcolato come rapporto tra la capacità nominale dell'ECVS e la capacità totale dell'intera stazione di ricarica che porta all'interruzione del servizio. Non è sempre detto che la sospensione del carico degli EVs contribuisca ad aumentare l'EENS, soprattutto quando la mobilità e la flessibilità del carico di veicoli elettrici vengono utilizzate durante il ripristino dell'interruzione. Tuttavia, però, l'incapacità degli EVCSs di rispondere ad eventuali disturbi della rete può portare ad un problema di stabilità transitorio che può finire per influenzare l'affidabilità del sistema e dunque aumentare l'EENS. Pertanto, l'ENSF si propone di riflettere il rischio dei livelli operativi e informatici delle stazioni di ricarica degli EVs che contribuiscono alle sospensioni di servizio.

Infine, per quanto riguarda i rischi relativi al layer cyber-fisico delle ECVS, si introduce un indice di rischio di stabilità  $S_r$  che riflette il rischio imposto da tale livello rispetto alla stabilità e affidabilità del sistema. Si tratta di una valutazione qualitativa, che viene usata spesso quando i dati numerici sono inadeguati o non disponibili (78) e consiste di cinque classificazioni: "molto basso", "basso", "medio", "alto", "molto alto".

## Conclusioni

La transizione elettrica della mobilità rappresenta una tappa cruciale nella storia del trasporto e dell'energia e nel cammino verso una società più sostenibile ed ecologicamente responsabile. Anche di recente, abbiamo potuto toccare con mano quelli che sono gli effetti del cambiamento climatico, dovuto per lo più al riscaldamento globale, all'inquinamento atmosferico e alla dipendenza dai combustibili fossili. Questo studio ha voluto analizzare in modo critico e approfondito tutte le dimensioni di questa transizione, tenendo in considerazione benefici e svantaggi. Partendo dall'analisi dei regolamenti normativi effettuata nel Capitolo 1, ci si rende facilmente conto di quanto essi giochino un ruolo fondamentale nel plasmare il panorama della mobilità elettrica. Le politiche europee così come i vari incentivi statali sono cruciali per promuovere l'adozione di veicoli elettrici, lo sviluppo di batterie sostenibili e per combattere e ridurre la dipendenza di materie prime verso altri Paesi, in cui, spesso, i diritti umani non vengono rispettati. È, poi, importante che l'Europa si impegni a livello comunitario su questa tematica con regolamenti e direttive, per evitare che vi siano Stati in cui effettuare questa transizione sia economicamente più semplice rispetto ad altri.

Ancora, è stato dimostrato come il passaggio verso una mobilità elettrica comporti effettivamente benefici ambientali notevoli; tuttavia, come ben illustra il Capitolo 2, tale affermazione non è assoluta poiché tutto dipende dal mix energetico con cui viene alimentata la rete elettrica nazionale: in paesi dove gran parte di quest'ultima è affidata a combustibili fossili, come il carbone, l'adozione di EVs non comporterà alcun tipo di miglioramento a livello ambientale rispetto alla mobilità tradizionale tramite ICEVs. A questo proposito, tale studio mostra come diventi prioritario anche



gestire il fine vita delle batterie attraverso l'utilizzo di tecniche come il riciclo o il riutilizzo, poiché non solo questo permette di ridurre la dipendenza di materie prime del nostro Continente ma anche di ridurre consistentemente l'impatto ambientale che la produzione di batterie comporta.

Procedendo con l'analisi, si è voluto approfondire la forte connessione tra questa transizione e il concetto di economia circolare. Questo tema diventa particolarmente importante dal momento che attraverso il miglioramento delle tecnologie di riciclaggio, la progettazione ecosostenibile dei componenti e la creazione di nuovi modelli di business basati sulla circolarità si può estendere la vita utile delle batterie, dovendo ricorrere sempre meno alla produzione di nuove. Il capitolo 3, però, fa emergere anche quelli che sono gli aspetti negativi dell'applicazione dell'economia circolare, ovvero un crescente stato di disoccupazione per i lavoratori che nel passaggio alla mobilità elettrica vedranno un netto aumento delle operazioni automatizzate e un cambio di business forzato per i produttori, che per continuare a sopravvivere dovranno convertire i loro impianti in impianti di de-produzione finalizzati al fine vita dei componenti degli EVs. Dunque, anche qui fondamentale risultano le politiche statali che dovranno occuparsi di sostenere questo cambiamento, evitando quanto più possibile ripercussioni negative nella dimensione sociale.

Infine, l'analisi si è voluta concludere affrontando la sicurezza delle EVCS. Nonostante l'Europa stia spingendo affinché questa transizione avvenga il più velocemente possibile, varie sono ancora le criticità legate alle stazioni di ricarica dei veicoli elettrici: da quelle elettriche, legate al pericolo degli utenti di venire in contatto con scosse elettriche durante la ricarica del veicolo o al pericolo creato da possibili interruzioni dell'alimentazione; a quelle informatiche, poiché, come analizzato nel Capitolo 4, il crescente utilizzo di reti di comunicazioni per la gestione delle EVCS apre la strada a molteplici attacchi hacker volti a manipolare dati di gestione del carico, causando, in questo modo, instabilità nella rete elettrica e relative conseguenze su scala urbana. Dunque, risulta prioritario proteggere questi canali di comunicazione con standard, protocolli e misure di mitigazione dei rischi per affrontare in modo responsabile tale transizione.

Ecco che quindi con il presente studio, si è voluto sottolineare tutte quelle che sono le sfide e le opportunità che questa rivoluzione elettrica comporta, evidenziando l'importanza del coinvolgimento di tutti gli attori in causa, dalle istituzioni ai produttori e consumatori, per cercare di arrivare il prima possibile a raggiungere una mobilità che sia sicura, efficiente e sostenibile per noi stessi, il nostro pianeta e le future generazioni.

## Bibliografia

1. **Parlamento europeo.** Parlamento europeo. *Sito Web Parlamento Europeo*. [Online] 7 Agosto 2018. [Riportato: 5 7 2023.] [https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180703STO07129/le-soluzioni-dell-ue-per-contrastare-i-cambiamenti-climatici?&at\\_campaign=20234-Green&at\\_medium=Google\\_Ads&at\\_platform=Search&at\\_creation=RSA&at\\_goal=TR\\_G&at\\_audience=cambiamento%20](https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180703STO07129/le-soluzioni-dell-ue-per-contrastare-i-cambiamenti-climatici?&at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=cambiamento%20).
2. **Europa, Commissione.** Diritto dell'UE. *EUR - Lex*. [Online] 2019. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF).

3. —. Diritto dell'UE. *EUR - Lex*. [Online] 2020. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:91ce5c0f-12b6-11eb-9a54-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:91ce5c0f-12b6-11eb-9a54-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF).
4. —. Diritto dell'UE. *EUR - Lex*. [Online] 2021. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:870b365e-eecc-11eb-a71c-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:870b365e-eecc-11eb-a71c-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF).
5. —. Strumento dell'Unione europea per la ripresa NextGenerationEU. *EUR - Lex*. [Online] 2021. <https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/eu-recovery-instrument-nextgenerationeu.html>.
6. **A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030. *Word Economic Forum***. [Online] [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_A\\_Vision\\_for\\_a\\_Sustainable\\_Battery\\_Value\\_Chain\\_in\\_2030\\_Report.pdf#page=11](https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf#page=11).
7. **Europa, Commissione. *EUR - Lex***. [Online] 2020. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5ee7d299-3ad8-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF#page=14](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5ee7d299-3ad8-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF#page=14).
8. —. *EUR - Lex*. [Online] 2018. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_3&format=PDF#page=2](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_3&format=PDF#page=2).
9. **Parlamento europeo. *Europa.eu***. [Online] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS\\_BRI\(2021\)689337\\_EN.pdf#page=4](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf#page=4).
10. —. ***Europa.eu***. [Online] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS\\_BRI\(2021\)689337\\_EN.pdf#page=3](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf#page=3).
11. **Developing countries pay environmental cost of electric car batteries. *uncatad.org***. [Online] 2020. <https://unctad.org/news/developing-countries-pay-environmental-cost-electric-car-batteries>.
12. **Reducing loss of resources from waste management is key to strengthening the circular economy in Europe. *European Environment Agency***. [Online] 2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/reducing-loss-of-resources-from/reducing-loss-of-resources-from>.
13. **Commissione Europea. *EUR-Lex***. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0066>.
14. —. ***EUR - Lex***. [Online] 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798>.
15. **Goldman Sachs says U.S., Europe could end reliance on Chinese EV batteries by 2030 -FT. *Reuters***. [Online] 2022. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/goldman-sachs-says-us-europe-could-end-reliance-chinese-ev-batteries-by-2030-ft-2022-11-22/>.
16. **Rugi, Tiziano. Batterie, la corsa dell'Ue per l'autosufficienza: ora servono le gigafactory. *EconomiaCircolare.com***. [Online] 2 Febbraio 2023. <https://economiecircolare.com/batterie-litio-autosufficienza-ue-gigafactory/>.
17. **Andrea Rinaldi, Rita Quercè. Batterie, la corsa europea alle gigafactory: dove verranno prodotte e cosa farà Stellantis. *Corriere.it***. [Online] 22 Marzo 2023. [https://www.corriere.it/economia/aziende/23\\_marzo\\_22/batterie-corsa-europea-gigafactory-dove-verranno-prodotte-cosa-fara-stellantis-d2521a2c-c7fb-11ed-b48b-1072850cceb.shtml](https://www.corriere.it/economia/aziende/23_marzo_22/batterie-corsa-europea-gigafactory-dove-verranno-prodotte-cosa-fara-stellantis-d2521a2c-c7fb-11ed-b48b-1072850cceb.shtml).

18. Italtolt stringe una collaborazione strategica con StoreDot per la tecnologia delle batterie agli ioni di litio a ricarica ultrarapida. *Italtolt.com*. [Online] 16 Gennaio 2023. <https://www.italvolt.com/it/italvolt-stringe-una-collaborazione-strategica-con-storedot-per-la-tecnologia-delle-batterie-agli-ioni-di-litio-a-ricarica-ultrarapida/>.
19. Effetto USA: a rischio due terzi della produzione UE di batterie. *transportenvironment.org*. [Online] 6 Marzo 2023. <https://www.transportenvironment.org/discover/effetto-usa-a-rischio-due-terzi-della-produzione-ue-di-batterie/>.
20. The Net-Zero Industry Act: Accelerating the transition to climate neutrality. *single-market-economy.ec.europa.eu*. [Online] [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en).
21. Lu L, Han X, Li J, Hua J, Oayang M. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Science Direct*. [Online] 13 Marzo 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775312016163>.
22. de las Casas C., Li W. A review of application of carbon nanotubes for lithium ion battery anode material. *Science Direct*. [Online] 15 Giugno 2012.
23. C.M. Costa et al. Electric vehicles: To what extent are environmentally friendly and cost. *Science Direct*. [Online] Novembre 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121008261>.
24. Crabtree G., Kocs E., Tillman B. Where is transportation going? *Europhysics News*. [Online] 16 Giugno 2017. <https://www.europhysicsnews.org/articles/epn/abs/2017/03/epn2017483p21/epn2017483p21.html>.
25. Graziella Marino. Auto elettrica, quale futuro se la guerra in Ucraina durerà a lungo? *la Repubblica*. [Online] 21 Marzo 2022. [https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2022/03/21/news/auto\\_elettrica\\_quale\\_futuro\\_se\\_la\\_guerra\\_in\\_ucraina\\_durera\\_a\\_lungo-342093886/](https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2022/03/21/news/auto_elettrica_quale_futuro_se_la_guerra_in_ucraina_durera_a_lungo-342093886/).
26. EEA. Greenhouse gas emissions from transport in Europe. *European Environment Agency*. [Online] 26 Ottobre 2022. <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>.
27. Verma S., Dwivedi G., Verma P. Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: A review. *Science Direct*. [Online] 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221478532100763X?via%3Dihub>.
28. Messagie M. et al. Life Cycle Assessment of conventional and alternative small passenger vehicles in Belgium. *IEEE Xplore*. [Online] 2010. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5729233>.
29. Baptista P. et al. Fuel cell hybrid taxi life cycle analysis. *Science Direct*. [Online] 9 Settembre 2011. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421511005209?via%3Dihub>.
30. Qiao Q. et al. Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China. *Science Direct*. [Online] Maggio 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217309049?via%3Dihub>.
31. Kim H.C. et al. Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis. *ACS Publications*. [Online] 15 Giugno 2016. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b00830>.

32. Girardi P. et al. A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the appropriate power mix: the Italian case study. *Springer Link*. [Online] 23 Maggio 2015. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0903-x>.
33. Burchart - Korol D. et al. Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *Science Direct*. [Online] 20 Novembre 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618325009?via%3Dihub>.
34. Qiao Q. et al. Life cycle cost and GHG emission benefits of electric vehicles in China. *Science Direct*. [Online] Settembre 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920306052?via%3Dihub>.
35. Xia X. et al. A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the. *Science Direct*. [Online] 25 Marzo 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721079493>.
36. Yuan C. et al. Manufacturing energy analysis of lithium ion battery pack for electric vehicles. *Science Direct*. [Online] 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850617301099?via%3Dihub>.
37. Genikomsakis K. et al. A life cycle assessment of a Li-ion urban electric vehicle battery. *IEEE Xplore*. [Online] 2013. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6914907>.
38. Ioakimidis C. et al. Life Cycle Assessment of a Lithium Iron Phosphate (LFP) Electric Vehicle Battery in Second Life Application Scenarios. *MDPI*. [Online] 2019. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2527>.
39. S., Xiong. Environmental and economic evaluation of remanufacturing lithium-ion batteries from electric vehicles. *Science Direct*. [Online] 1 Febbraio 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19307081?via%3Dihub>.
40. Niestad M. et al. Electric road vehicles in the European Union: Trends, impacts and policies. *Policy Commons*. [Online] 3 Aprile 2019. <https://policycommons.net/artifacts/1335083/electric-road-vehicles-in-the-european-union/1941304/>.
41. Ramoni M.O. et al. End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries. *Springer Link*. [Online] 19 Febbraio 2013. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-013-0588-4>.
42. Govindan K. et al. Circular economy adoption barriers: An extended fuzzy best–worst method using fuzzy DEMATEL and Supermatrix structure. *Wiley Online Library*. [Online] 27 Febbraio 2022. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.2970>.
43. —. A location-inventory-routing problem to design a circular closed-loop supply chain network with carbon tax policy for achieving circular economy: An augmented epsilon-constraint approach. *Science Direct*. [Online] Marzo 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527323000038>.
44. Mahdiraji H.A. et al. Unveiling coordination contracts' roles considering circular economy and eco-innovation toward pharmaceutical supply chain resiliency: Evidence of an emerging economy. *Science Direct*. [Online] 1 Gennaio 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622047096>.
45. Europeo, Parlamento. Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi. *Europarl europa eu*. [Online] 25 Maggio 2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>.

46. Bocken N. et al. Business Model Experimentation for Circularity: Driving sustainability in a large international clothing retailer. *ResearchGate*. [Online] 2017. [https://www.researchgate.net/publication/321945110\\_Business\\_Model\\_Experimentation\\_for\\_Circularity\\_Driving\\_sustainability\\_in\\_a\\_large\\_international\\_clothing\\_retailer](https://www.researchgate.net/publication/321945110_Business_Model_Experimentation_for_Circularity_Driving_sustainability_in_a_large_international_clothing_retailer).
47. Cappelletti F. et al. How de-manufacturing supports circular economy linking design and EoL - a literature review. *Science Direct*. [Online] Aprile 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612522000401?via%3Dihub>.
48. Donaldson Thomas, Preston Lee E. The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications. *Academy of Management*. [Online] 1 Gennaio 1995. <https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/amr.1995.9503271992>.
49. Demartini M. et al. The transition to electric vehicles and a net zero economy: A model based. *Science Direct*. [Online] 15 Luglio 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623011897?via%3Dihub>.
50. Borgstedt P. et al. Paving the road to electric vehicles – A patent analysis of the automotive supply industry. *Science Direct*. [Online] 20 Novembre 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617318905?via%3Dihub>.
51. Coffman M. et al. Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption. *Taylor & Francis Online*. [Online] 10 Agosto 2016. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2016.1217282>.
52. F., Klug. How electric car manufacturing transforms automotive supply chains. *ResearchGate*. [Online] 2013. [https://www.researchgate.net/profile/Florian-Klug-2/publication/273131420\\_How\\_electric\\_car\\_manufacturing\\_transforms\\_automotive\\_supply\\_chains/links/54f87f5f0cf28d6deca2a81c/How-electric-car-manufacturing-transforms-automotive-supply-chains.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Florian-Klug-2/publication/273131420_How_electric_car_manufacturing_transforms_automotive_supply_chains/links/54f87f5f0cf28d6deca2a81c/How-electric-car-manufacturing-transforms-automotive-supply-chains.pdf).
53. Nurdiawati A. et al. Creating a circular EV battery value chain: End-of-life strategies and future perspective. *Science Direct*. [Online] Ottobre 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922003275?via%3Dihub>.
54. Gemechu E. D. et al. Geopolitical-related supply risk assessment as a complement to environmental impact assessment: the case of electric vehicles. *Springer Link*. [Online] 20 Giugno 2015. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0917-4>.
55. Zhao G., Baker J. Effects on environmental impacts of introducing electric vehicle batteries as storage - A case study of the United Kingdom. *Science Direct*. [Online] Marzo 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22000190?via%3Dihub>.
56. Li Q. et al. Electric vehicle sharing based “energy sponge” service interfacing transportation and power systems. *Science Direct*. [Online] Marzo 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772390921000226?via%3Dihub>.
57. Pasqualino R. et al. Digital Transformation and Sustainable Oriented Innovation: A System Transition Model for Socio-Economic Scenario Analysis. *MDPI*. [Online] 20 Ottobre 2021. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11564>.
58. Dosi G. et al. Embodied and disembodied technological change: The sectoral patterns of job-creation and job-destruction. *Science Direct*. [Online] Maggio 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733321000032>.

59. Ugur M. et al. TECHNOLOGICAL INNOVATION AND EMPLOYMENT IN DERIVED LABOUR DEMAND MODELS: A HIERARCHICAL META-REGRESSION ANALYSIS. *Wiley Online Library*. [Online] 10 Gennaio 2017. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/joes.12187>.
60. Stellantis to start conversion of Italian plant to gigafactory in 2024. *Automotive News Europe* . [Online] 28 Giugno 2022. <https://europe.autonews.com/automakers/stellantis-start-conversion-italian-plant-gigafactory-2024>.
61. Ahmad A. et al. A Review of the Electric Vehicle Charging Techniques, Standards, Progression and Evolution of EV Technologies in Germany. *ResearchGate*. [Online] Gennaio 2018. [https://www.researchgate.net/publication/322600041\\_A\\_Review\\_of\\_the\\_Electric\\_Vehicle\\_Charging\\_Techniques\\_Standards\\_Progression\\_and\\_Evolution\\_of\\_EV\\_Technologies\\_in\\_Germany](https://www.researchgate.net/publication/322600041_A_Review_of_the_Electric_Vehicle_Charging_Techniques_Standards_Progression_and_Evolution_of_EV_Technologies_in_Germany).
62. SAE. SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler J1772\_201710. *SAE INTERNATIONAL*. [Online] 13 Ottobre 2017. [https://www.sae.org/standards/content/j1772\\_201710/](https://www.sae.org/standards/content/j1772_201710/).
63. —. Electric Vehicle Power Transfer System Using a Three-Phase Capable Coupler J3068\_201804. *SAE INTERNATIONAL*. [Online] 25 Aprile 2018. [https://www.sae.org/standards/content/j3068\\_201804/](https://www.sae.org/standards/content/j3068_201804/).
64. IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. *IEEE STANDARDS ASSOCIATION*. [Online] 2018. <https://standards.ieee.org/ieee/1547/5915/#:~:text=P1547%20Standard%20for%20Interconnection%20and%20Interoperability%20of%20Distributed,with%20electric%20power%20systems%20%28EPS%29%20and%20associated%20interfaces..>
65. N., Harmsen. AEMO releases final report into SA blackout, blames wind farm settings for state-wide power failure. *ABC News* . [Online] 28 Marzo 2017. <https://www.abc.net.au/news/2017-03-28/wind-farm-settings-to-blame-for-sa-blackout-aemo-says/8389920>.
66. Wang B. et al . Electrical Safety Considerations in Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations. *IEEE Xplore*. [Online] 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8809284>.
67. Neaimeh M., Andersen P.B. . Mind the gap- open communication protocols for vehicle grid integration. *ResearchGate*. [Online] Febbraio 2020. [https://www.researchgate.net/publication/339153784\\_Mind\\_the\\_gap\\_-\\_open\\_communication\\_protocols\\_for\\_vehicle\\_grid\\_integration](https://www.researchgate.net/publication/339153784_Mind_the_gap_-_open_communication_protocols_for_vehicle_grid_integration).
68. Pourmirza Z., Walker S. . Electric Vehicle Charging Station: Cyber Security Challenges and Perspective. *IEEE Xplore*. [Online] 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9535052>.
69. Sklyar D. . ChargePoint Home security research. [Online] 2018. [https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/43/2018/12/13084354/ChargePoint-Home-security-research\\_final.pdf](https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/43/2018/12/13084354/ChargePoint-Home-security-research_final.pdf).
70. Raman G. et al. . How weaponizing disinformation can bring down a city's power grid. *plos.org*. [Online] 12 Agosto 2020. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0236517>.
71. ETSI. Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements. *European Telecommunications Standard Institute*. [Online] 2020. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/303600\\_303699/303645/02.01.01\\_60/en\\_303645v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303600_303699/303645/02.01.01_60/en_303645v020101p.pdf).
72. NIST. Considerations for Managing Internet of Things (IoT) Cybersecurity and Privacy Risks. *National Institute of Standards and Technology*. [Online] 2019. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2019/nist.ir.8228.pdf>.

73. BSI. ISO/ IEC 27001 Information Security Management . *British Standards Institution* . [Online] 2013.
74. Leeuw, R.d. Improved security for OCPP 1.6-J. *Open Charge Alliance*. [Online] 2020.
75. OPEN CHARGE POINT PROTOCOL 2.0.1. . *Open Charge Alliance* . [Online] 2020. <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/>.
76. IEC 61851-1:2017 Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements. *Webstore IEC*. [Online] 2017. <https://webstore.iec.ch/publication/33644>.
77. University of Pennsylvania. Electrical safety program . *PennEHRS* . [Online] 2018. <https://ehrs.upenn.edu/sites/default/files/2022-04/Electrical%20Safety%20Program%2004-04-22.pdf>.
78. Radu Laura Diana. QUALITATIVE, SEMI-QUANTITATIVE AND, QUANTITATIVE METHODS FOR RISK ASSESSMENT: CASE OF THE FINANCIAL AUDIT. *EconPapers*. [Online] 2009. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:aic:journl:y:2009:v:56:p:643-657>.