

Sostenibilità sociale, ambientale ed
economica delle batterie agli ioni di litio per
veicoli elettrici nell'Unione Europea.

Prof.
Paolo Garonna

RELATORE

Alessio Pascucci
Matr. 090222

CANDIDATO

Indice

<i>Introduzione</i>	1
CAPITOLO 1	
ESTRAZIONE DELLE MATERIE PRIME	
1.1 Le batterie più diffuse per veicoli elettrici	5
1.2. La catena di approvvigionamento	6
1.2.1. Cobalto e Litio	9
1.2.2. Il paradosso ambientale	11
1.3. Provvedimenti	12
1.3.1. Il ruolo dell'Unione Europea	15
CAPITOLO 2	
L'IMPRONTA AMBIENTALE	
2.1. Metodologie di studio	18
2.2. Analisi del ciclo vitale	21
2.2.1. Fase di acquisizione delle materie prime	21
2.2.2. Fase di produzione	22
2.2.2.1. Emissioni di CO ₂ e consumo idrico delle prime fasi di vita di una batteria agli ioni di litio secondo il GREET MODEL	25
2.2.3. Fase di utilizzo	28
2.2.4. Fase di fine vita	31
2.3. Impatto sulle varie categorie ambientali	32
2.4. La posizione dell'Unione Europea	34
CAPITOLO 3	
FASE DI FINE VITA	
3.1. Processi che precedono il riciclo	35
3.1.1. Raccolta dall'utilizzatore finale	36
3.1.2. Riutilizzo della batteria	36
3.1.3. Rigenerazione delle componenti di una batteria	37
3.2. Riciclo e smaltimento	38
3.2.1 Smaltimento	40
3.3. Costi del riciclo	40
3.4. L'Unione Europea	42
CAPITOLO 4	
IL CASO STUDIO	
4.1. La FAAM e il gruppo Seri Industrial	47

4.2. Analisi della FAAM integrata con l'intervista al Cav. Vitali	51
4.3. Conclusione sul caso studio	55
<i>Conclusioni</i>	56
<i>Bibliografia</i>	62
<i>Abstract</i>	68

Introduzione

Il cambiamento climatico rappresenta una delle più grandi sfide che gli stati nel corso della loro storia abbiano mai dovuto affrontare e il bisogno di una reazione tempestiva è impellente. È necessario che gli sforzi maggiori per arginare le conseguenze di tale situazione provengano dai paesi più industrializzati e avanzati, in quanto essi sono la causa della maggior parte dell'inquinamento che sta distruggendo il mondo per come lo conosciamo. Nel 2019 questi paesi producevano quasi il 60% delle emissioni di CO₂ nel mondo (Cina 27%, USA 11%, India 6,6%, UE 6,4%, Indonesia 3,4%, Russia 3,1%, Brasile 2,8% e Giappone 2,2%)¹.

Gli effetti del cambiamento climatico ricadono sulla vita di tutti i giorni, in primo luogo l'inquinamento causato dai gas di scarico e dalle micropolveri che fuoriescono dai veicoli ICEVs (Internal Combustion Engine) sono estremamente dannosi per la salute umana, tanto che uno studio del JRC (Joint Research Centre) ha stimato che sono ben 500.000 le morti premature causate dall'inquinamento atmosferico², morti che colpiscono soprattutto chi vive nelle aree urbane dove i livelli di emissioni sono più alti³.

Un'altra conseguenza è l'innalzamento della temperatura che, purtroppo, avrà pesanti ricadute sulla salute umana. Per l'OMS entro il 2030 ci saranno almeno 250.000 ulteriori morti all'anno dovute alle conseguenze del cambiamento climatico; ad essere più a rischio sono coloro che vivono in territori con un clima già molto estremo, i maggiori problemi saranno dovuti all'incremento di morbilità delle malattie, all'aggravarsi di situazioni di malnutrizione e di siccità. Secondo uno studio del 2016 di EBioMedicine l'aumento di un solo grado centigrado avrebbe portato a un incremento del 3,4% del tasso di mortalità per cause cardiovascolari, un incremento del 3,6% di decessi per malattie respiratorie e l'aumento dell'1,4% di morti per patologie cerebrovascolari. Inoltre, l'innalzamento delle temperature permetterebbe una maggiore diffusione di insetti, come le zanzare, portatori di malattie infettive⁴: “La capacità vettoriale per la trasmissione della malaria è aumentata di oltre il 20% in Africa dal 1950, e l'OMS prevede ulteriori importanti aumenti futuri della mortalità per malaria nelle regioni centrali e orientali dell'Africa sub-sahariana. Sempre dagli anni Cinquanta, la capacità vettoriale per la trasmissione della dengue è aumentata almeno del 7%.” (Infodata, 2019).

¹ Franceschini, E. (2021, 7 maggio). Le emissioni di gas serra della Cina superano quelle di Usa e Paesi sviluppati. *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/green-and-blue/2021/05/07/news/i_gas_serra_della_cina_superano_quelle_di_usa_e_paesi_sviluppati-299816466/.

² Valverde, V, et al. *Joint Research Centre 2018 light-duty vehicles emissions testing -Contribution to the EU market surveillance: testing protocols and vehicle emissions performance* EUR29897 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-12333-0, doi:10.2760/289100, JRC117625

³ Temporelli, A., Carvalho, M. L., & Girardi, P. (2020). Life Cycle Assessment of Electric Vehicle Batteries: An Overview of Recent Literature. *Energies*, 13(11), 2864. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13112864>.

⁴ Infodata. (2019, 5 ottobre). Cambiamenti climatici e salute globale: cosa dicono i dati e la letteratura scientifica. *Il sole24ore*. <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2019/10/05/cambiamenti-climatici-salute-globale-cosa-dicono-dati-la-letteratura-scientifica/>.

Inoltre, il cambiamento climatico rappresenta una spesa non indifferente per gli stati. Infatti, il peggioramento della salute dei cittadini graverebbe inesorabilmente sulle finanze pubbliche e secondo uno studio del 2018 della rivista scientifica *Heart BMJ* l'innalzamento della temperatura porterebbe ad un aumento del 6% dei casi di ospedalizzazione⁵.

Gli effetti del cambiamento climatico, però, non ricadono solamente sulla salute umana e sull'integrità degli ecosistemi. Infatti, l'inquinamento atmosferico, il consumo idrico e più in generale l'impatto dell'uomo si ripercuotono anche sull'economia mondiale. Secondo il Rapporto Stern il Global Warming⁶ potrebbe portare a perdite pari al 5-15% del PIL mondiale nel lungo periodo e del 2-3% nel breve periodo⁷. Inoltre, i danni arrecati dall'imprevedibilità e dalla violenza con cui ormai si manifestano i fenomeni meteorologici non fanno altro che confermare le precedenti stime, dato che “nel 2018 alcuni eventi devastanti, mappati dal *The Guardian*, che hanno avuto conseguenze catastrofiche a livello locale. Stiamo parlando degli uragani Florence e Michael, che hanno colpito gli Stati Uniti, parte dell'America Centrale e i Caraibi causando rispettivamente danni per 17 miliardi e 15 miliardi; della siccità in Argentina, che ha devastato le coltivazioni di mais e soia causando 6 miliardi di danni e contribuendo in modo sostanziale a far ricadere il Paese sudamericano in recessione; delle inondazioni nel Kerala, le peggiori da 80 anni, che hanno provocato la morte di 500 persone e ne hanno lasciate circa un milione senza casa.” (Dianda, 2019).

In Italia, nel 2018, l'Osservatorio Climate Finance del politecnico di Milano ha calcolato che il cambiamento climatico è costato alle aziende italiane ben 133 miliardi di euro ⁸“Il risultato dell'analisi statistica è che in dieci anni un grado in più di temperatura ha determinato una riduzione media di fatturato e redditività per le imprese italiane pari rispettivamente a -5,8% e -3,4%. Le piccole imprese sono quelle che più hanno perso in redditività (-4%, a fronte del -5,3% di fatturato), mentre le grandi realtà, potendo meglio agire sui costi e sui processi, nonostante una diminuzione di ricavi e di domanda pari quasi al triplo (-14,6%), hanno contenuto la perdita di marginalità a -3,6%.” (“Il cambiamento climatico costa 133 miliardi di ricavi

⁵ Infodata. (2019, 5 ottobre). Cambiamenti climatici e salute globale: cosa dicono i dati e la letteratura scientifica. *Il sole24ore*. <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2019/10/05/cambiamenti-climatici-salute-globale-cosa-dicono-dati-la-letteratura-scientifica/>.

⁶ I termini Cambiamento climatico (Climate change) e Riscaldamento globale (Global warming) sono comunemente usati come sinonimi e spesso lo saranno anche in questa tesi; tuttavia, è bene precisare che sono in realtà legati da un rapporto di causa-effetto. Il Riscaldamento globale, ovvero il progressivo aumento delle temperature osservato a partire dalla metà dell'Ottocento, con l'intensificarsi dell'emissione di gas serra legati alle attività umane, ha determinato cambiamenti persistenti delle manifestazioni atmosferiche del pianeta, cioè ne sta provocando il Cambiamento climatico.

Climate Change: Vital Signs of the Planet. (s.d.). Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/>.

⁷ Dianda, M. (2019, 16 marzo). Il costo dei cambiamenti climatici. *Starting Finance*. <https://www.startingfinance.com/approfondimenti/cambiamenti-climatici-costo/>.

⁸ Il cambiamento climatico costa 133 miliardi di ricavi alle aziende, che però non si assicurano. (2021, 3 maggio). *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/economia/2021/05/03/news/il_cambiamento_climatico_costa_133_miliardi_di_ricavi_alle_aziende_che_pero_non_si_assicurano-299096040/.

alle aziende, che però non si assicurano", 2021). Per fare un esempio più pratico, secondo gli studi appena citati un'alluvione può far perdere fino al 4% del fatturato alle aziende del territorio colpito⁹.

Agire per risolvere il problema costerebbe tra l'1% e il 2% del PIL globale, tale sforzo economico risulta minimo se confrontato alle perdite future dovute all'attuale situazione climatica. Tale azione però necessita di tempestività, perché più passa il tempo più i costi della transizione ecologica si alzano¹⁰. Perciò se si vuole analizzare il cambiamento climatico in termini prettamente economici, senza considerare i risvolti ambientali e sociali, la transizione ecologica sembra la via più conveniente. Inoltre, per far sì che i costi della transizione non aumentino e per evitare di continuare a pagare gli effetti del cambiamento climatico è necessario agire immediatamente. Un rapporto del Global Center of Adaptation¹¹ stima che un investimento di 1,8 trilioni di dollari, dilazionato nel tempo fino al 2030, che abbia lo scopo di arginare la crisi climatica, potrebbe ad un ritorno di 7,1 trilioni di dollari netti¹².

Alla luce di questi molteplici e gravi problemi l'Unione Europea, con l'insieme di iniziative politiche, economiche e sociali che compongono il Green Deal, si è posta come obiettivo primario il raggiungimento della neutralità climatica, ovvero l'eliminazione delle emissioni, entro il 2050¹³. Considerando che il trasporto su strada è responsabile del 20% delle emissioni di carbonio nell'Unione Europea¹⁴, il passaggio alla mobilità elettrica rappresenta una tappa fondamentale per raggiungere il traguardo zero emissioni entro il 2050. Data l'importanza che il settore della mobilità elettrica ricoprirà nei prossimi anni, l'Unione Europea si pone come ulteriore obiettivo quello di divenire la leader mondiale di questo ramo e più in generale nel campo della produzione, vendita e riciclo delle batterie agli ioni di litio, le quali sono il motore dei veicoli elettrici.

Oltre il 40% delle emissioni dovute ai trasporti gommati proviene dagli autoveicoli, per questo motivo molti degli studi che verranno riportati di seguito tratteranno l'analisi delle batterie agli ioni di litio progettate per la trazione di auto¹⁵.

⁹ Il cambiamento climatico costa 133 miliardi di ricavi alle aziende, che però non si assicurano. (2021, 3 maggio). *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/economia/2021/05/03/news/il_cambiamento_climatico_costa_133_miliardi_di_ricavi_alle_aziende_che_pero_non_si_assicurano-299096040/.

¹⁰ Dianda, M. (2019, 16 marzo). Il costo dei cambiamenti climatici. *Starting Finance*. <https://www.startingfinance.com/approfondimenti/cambiamenti-climatici-costo/>.

¹¹ Infodata. (2019, 5 ottobre). Cambiamenti climatici e salute globale: cosa dicono i dati e la letteratura scientifica. *Il sole24ore*. <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2019/10/05/cambiamenti-climatici-salute-globale-cosa-dicono-dati-la-letteratura-scientifica/>.

¹² *Global Commission on Adaptation Launches "Year of Action" to Accelerate Climate Adaptation - Global Center on Adaptation*. (2019, 24 settembre). Global Center on Adaptation. <https://gca.org/news/global-commission-on-adaptation-launches-year-of-action-to-accelerate-climate-adaptation/>.

¹³ *Un Green Deal europeo*. (s.d.). Commissione europea - European Commission. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it.

¹⁴ Ufficio Stampa. (2019, 27 marzo). Il Parlamento approva i nuovi limiti sulle emissioni di CO2 per auto e furgoni. *Parlamento Europeo*. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20190321IPR32112/il-parlamento-approva-i-nuovi-limiti-sulle-emissioni-di-co2-per-auto-e-furgoni>. Ultimo.

¹⁵ *Share of transport greenhouse gas emissions*. (2019, 17 dicembre). European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-transport-ghg-emissions-2/#tab-googlechartid_chart_12.

A causa di queste ingenti quantità di gas serra prodotti dai veicoli addetti al trasporto di persone e merci l'Unione Europea si è posta l'obiettivo di sostituire gradualmente nei prossimi anni i veicoli a combustibile fossile con quelli a trazione elettrica. Questo è quanto viene affermato nel Green Deal, nei diversi progetti di finanziamento del settore elettrico (come i partenariati europei IPCEI Batterie1 e IPCEI Batterie2) e anche nella proposta di regolamento COM(2020) 798 final riguardante la regolamentazione delle batterie che circolano nel territorio comunitario. Una consistente quantità di investimenti provverrà dai fondi di recupero e resilienza, il 27% dei fondi erogati dall'Unione Europea¹⁶ agli stati dovranno essere utilizzati per la transizione ecologica, in materia di trasporti in Italia è previsto che “la quota maggiore è per il trasporto locale: 8,5 miliardi, di cui 3,6 per il trasporto rapido di massa (11 km di metro, 85 di tram, 120 di filovie e 15 di funivie) e 3,6 miliardi (più 1,4 dal fondo complementare) al rinnovo di flotte bus e treni. Con 750 milioni si realizzeranno 7.500 punti di ricarica elettrica rapida in autostrada e 13.755 in centri urbani” (Gaita, 2021).¹⁷

Una pluralità di ostacoli si contrappongono tra l'Unione Europea e la realizzazione degli obiettivi sopracitati, i quali, verranno analizzati sotto diversi aspetti nei capitoli che seguiranno, per citarne alcuni: l'ingombrante presenza cinese in tutti i processi lavorativi che coinvolgono il ciclo vitale di una batteria agli ioni di litio; la difficoltà di assicurare il pieno rispetto dei diritti umani e dei lavoratori coinvolti nella produzione di batterie; la necessità di porre gli obiettivi climatici come obblighi giuridici in modo da creare un corpo armonico di norme che regoli la produzione, la vendita, il riciclo e lo smaltimento delle batterie; il rischio che il guadagno economico vada contro il motivo per cui le batterie vengono prodotte, ovvero la salvaguardia del clima e dell'ambiente.

Oltre ad analizzare i rischi economici, sociali e ambientali legati al ciclo di vita di una LIB (lithium-ion battery), se ne esamineranno i problemi e le possibili soluzioni. Nei capitoli finali verrà anche trattato il caso studio di un'azienda italiana, la FAAM, coinvolta nel partenariato europeo IPCEI Batterie1, la quale si occupa di produzione di batterie agli ioni di litio per veicoli industriali e mezzi di trasporto pesanti e della gestione delle batterie a fine vita.

L'obiettivo, quindi, sarà quello di tracciare delle linee generali per lo sviluppo di una Green Economy nel settore dei trasporti su strada. Ovvero, un sistema economico che non sia solo ecosostenibile, ma che veda il rispetto dell'ambiente e la sua protezione come un'occasione per produrre business.

¹⁶ *Che cosa è il PNRR*. (2021, 7 luglio). OpenBDAP | I dati della Finanza Pubblica. <https://openbdap.mef.gov.it/it/Home/PNRR>

¹⁷ Gaita, L. (2021, 30 aprile). Recovery plan, dai fondi per le comunità energetiche agli obiettivi (poco chiari) sulle rinnovabili: cosa c'è davvero per la transizione ecologica. I dubbi degli ambientalisti. *Il Fatto Quotidiano*. <https://www.ilfattoquotidiano.it/2021/04/30/recovery-plan-dai-fondi-per-le-comunita-energetiche-agli-obiettivi-poco-chiari-sulle-rinnovabili-cosa-ce-davvero-per-la-transizione-ecologica-i-dubbi-degli-ambientalisti/6181889/>.

Capitolo 1

ESTRAZIONE DELLE MATERIE PRIME

Sommario: **1.1** *Le batterie più diffuse per veicoli elettrici*; **1.2.** *La catena di approvvigionamento*; **1.2.1.** *Cobalto e Litio*; **1.2.2.** *Il paradosso ambientale*; **1.3.** *Provvedimenti*; **1.3.1.** *Il ruolo dell'Unione Europea*.

1.1. Le batterie più diffuse per veicoli elettrici.

Prima di analizzare le fasi del ciclo vitale di una batteria agli ioni di litio è opportuno fare chiarezza sulle varie tipologie di batterie per veicoli elettrici in circolazione e sul perché ad oggi quelle Li-ion siano le più diffuse:

- Batterie al piombo-acido, tali batterie in passato erano le più diffuse per la loro affidabilità e per i bassi costi, piombo e acido solforico sono materiali poco costosi; gli altri punti forza sono l'alta velocità di ricarica, il basso tasso di auto scarica ed un'ottima resistenza ad urti e vibrazioni. Tuttavia, ad oggi le batterie ricaricabili per EVs (Electric Vehicles) al piombo-acido risultano obsolete (nonostante ne siano state migliorate le prestazioni con la tecnologia piombo-gel) se confrontate con le nuove tipologie di batterie, in quanto oltre ad essere meno efficienti in materia di longevità e potenza, le batterie al piombo-acido risultano essere più pesanti e più costose delle più diffuse batterie al litio. Nel calcolo dei costi vanno considerati i vari interventi di manutenzione, soprattutto quelli riguardanti il sistema di filtraggio e smaltimento dei gas. Infatti, queste batterie producono gas come idrogeno, zolfo e ossigeno che per l'ambiente non risultano essere dannosi come il carbonio ma tuttavia sono altamente tossici per gli utenti. La capacità vulnerante delle emissioni di tali batterie unita all'assenza di sistemi di sicurezza avanzati, come quelli presenti nelle batterie al litio, fa sì che il rischio di ledere all'incolumità dell'utente sia molto più elevato nelle batterie al piombo acido che nelle altre tipologie di batterie. Oltre alla manutenzione bisogna anche considerare i costi di impianto e di consumo, date le imponenti dimensioni delle batterie¹⁸.

- Batterie al nichel-metallo idruro, utilizzate fino a poco tempo fa su vasta scala dalla Toyota, in particolare sulle Prius di prima generazione, ad oggi sono state sostituite quasi tutte dalle batterie agli ioni di litio. Batterie con una densità energetica maggiore a quelle in piombo-acido e caratterizzate da una particolare longevità se caricate in maniera corretta. Infatti, uno dei maggiori difetti di tali batterie è il cosiddetto "effetto memoria" ovvero il fenomeno per cui in caso di ricarica parziale o incompleta il dispositivo tende a ridurre la propria capacità di ricarica. Gli altri fattori che hanno portato al tendenziale abbandono delle batterie al nichel-metallo idruro per le auto completamente elettriche sono l'alta

¹⁸ *Vantaggi delle batterie al litio vs batterie al piombo / Flash Battery.* (s.d.). Flash Battery. <https://www.flashbattery.tech/perche-passare-da-una-batteria-al-piombo-ad-una-batteria-al-litio/>.

sensibilità alle temperature basse, la tendenza a scaricarsi se non usate e il fatto di avere una redditività minore rispetto alle batterie di ioni di litio.

- Batterie al sodio-nichel cloruro, anche dette batterie ai sali fusi o chiamate con l'acronimo Z.E.B.R.A. (Zero Emission Battery Research Activity), nelle loro diverse varianti queste batterie rappresentano una tecnologia che se sviluppata meglio potrebbe andare a sostituire le batterie al litio. Tali dispositivi risultano avere una maggiore efficienza, e densità energetica rispetto alle batterie al litio; avendo addirittura un costo inferiore a quest'ultime in quanto utilizzano il sodio (sale da cucina) e il nichel, elementi poco costosi e più facilmente reperibili soprattutto in Europa. Elementi anche meno dannosi per l'ambiente. Oltre ai relativi problemi riguardanti l'eccessivo peso delle batterie al sodio-nichel il principale svantaggio di tali batterie è l'alta temperatura d'esercizio richiesta dal dispositivo sia al momento dell'utilizzo che al momento della ricarica, allungando notevolmente i tempi di quest'ultima. Temperatura che si aggira intorno ai 270 gradi centigradi e che se da un lato permette a tali batterie di funzionare anche con temperature estreme, contrariamente alle altre tipologie, dall'altro rappresenta un problema non indifferente in quanto sprecherebbe un'ingente quantità di energia solo per raggiungere e poi mantenere tale temperatura andando così a diminuire la durata della ricarica.

- Batterie agli ioni di litio, si differenziano tra loro numerosi modelli in base alla composizione chimica dell'anodo e del catodo. Le nostre analisi riguarderanno principalmente questa famiglia di batterie in quanto sono le più utilizzate per auto elettriche. Le batterie agli ioni di litio in forma liquida sono caratterizzate da una notevole leggerezza e compattezza e non necessitano di una carica completa per funzionare correttamente. I lati negativi riguardano la durabilità limitata (massimo di otto anni per i modelli più recenti), la facilità di degrado e l'inefficienza se utilizzate con temperature inferiori ai -10°C e superiori ai +30°C. Le batterie solide di ultima generazione, non molto diffuse in quanto tale tecnologia non è ancora molto matura, risultano essere molto più leggere, compatte, efficienti grazie alla maggiore densità energetica (maggiore è la densità energetica minore sarà il volume e il peso della batteria¹⁹) e con maggiore tolleranza per le temperature estreme, vantaggi non solo in prestazioni ma anche in sicurezza in quanto risultano avere minori possibilità d'infiammarsi rispetto alle batterie agli ioni di litio liquide.

1.2. La catena di approvvigionamento.

Il ciclo vitale di una batteria inizia dalla fase di approvvigionamento delle materie prime quali il cobalto, la grafite, il litio e il manganese che sono definiti abiotiche²⁰, termine che in ecologia indica quegli elementi non viventi la cui presenza influenza gli organismi viventi e gli ecosistemi di cui fanno

¹⁹ Brown, Lemay, Bursten, Murphy, Woodward, Stoltzfus. (2018). *Fondamenti di chimica*. (4 ed.) Edises.

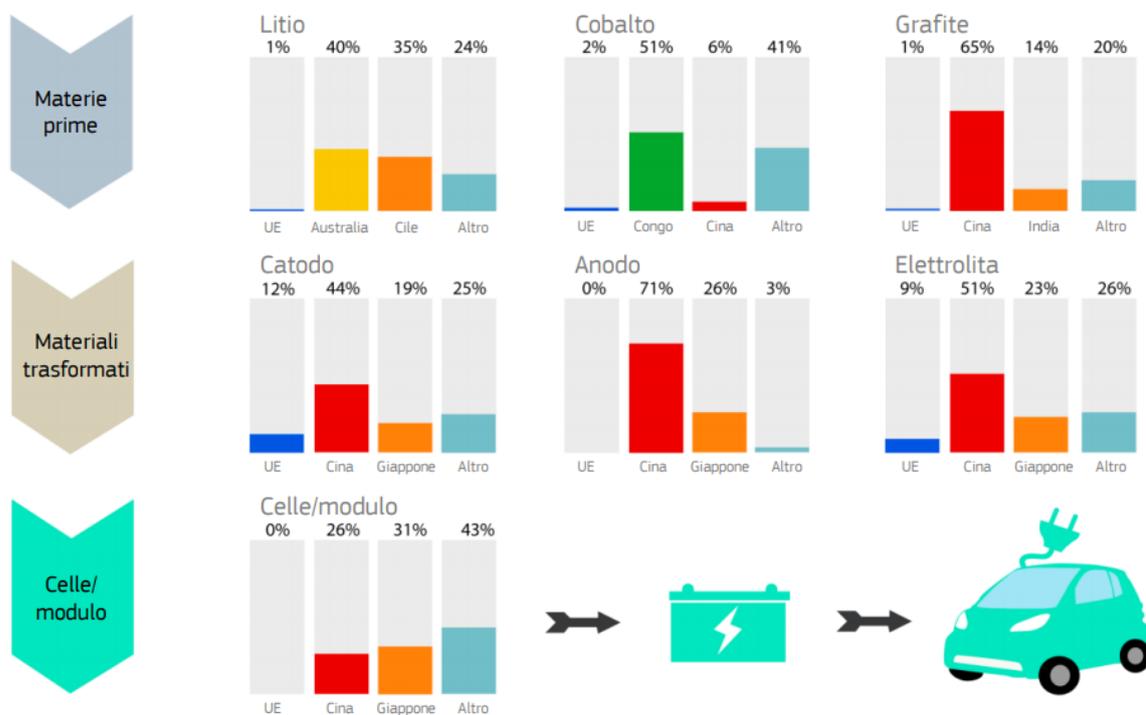
²⁰ SAPERE.IT By De AGOSTINI, s.v. "abiotico", <https://www.sapere.it/sapere/dizionari/dizionari/Italiano/A/AB/abiotico.html>.

parte; la capacità di questi elementi di rinnovarsi nel tempo supera di gran lunga la vita di un essere umano, perciò, sono considerati non rinnovabili e presenti in natura in quantità limitate²¹.

La scarsa presenza di questi elementi nel territorio europeo mette i Paesi Membri dell'UE in una posizione di dipendenza nei confronti di altri stati per garantirsi l'approvvigionamento delle sopraccitate materie prime. Nel seguente grafico è possibile vedere prima i maggiori paesi estrattori delle materie prime precedentemente citate, poi i paesi dove tali materie prime vengono lavorate e trasformate in componenti di una batteria agli ioni di litio ed infine i maggiori stati esportatori di accumulatori agli ioni di litio:

Figura 1

Dipendenza dall'approvvigionamento di materiali lungo la catena del valore per le batterie dei veicoli, (COM (2019) 176 final, p.6).



Un ulteriore problema collegato all'approvvigionamento delle materie prime è che i processi lavorativi di estrazione e lavorazione vengono spesso svolti con la completa e consapevole violazione dei diritti umani.

Tra le diverse iniziative europee per regolare la catena di approvvigionamento la proposta di regolamento COM(2020) 798 final propone di mettere a norma tali processi estrattivi limitando le materie prime provenienti da paesi che non fanno parte dell'Unione Europea tramite lo sviluppo di un

²¹ Mancini L., Vidal Legaz B., Vizzarri M., Wittmer D., Grassi G. Pennington D., *Mapping the Role of Raw Materials in Sustainable Development Goals. A preliminary analysis of links, monitoring indicators, and related policy initiatives.*, EUR 29595 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019 ISBN 978-92-76-08385-6, doi: 10.2760/026725, JRC112892.

sistema di riciclaggio che porti nei prossimi anni a garantire un'economia circolare perfettamente funzionante, in modo da permettere un adeguato grado di resilienza ed autonomia rispetto ai paesi estrattori ma anche per smettere di alimentare processi lavorativi immorali e anti-etici.²²

Equità e sostenibilità sono i principi su cui si basa la strategia europea sulle materie prime (Raw Materials Initiative, RMI), essi debbono essere garantiti in tutte le catene di approvvigionamento che coinvolgono l'UE. La collaborazione tra istituzioni europee e imprese coinvolte nel processo di approvvigionamento e lavorazione delle risorse minerarie, risulta essere una delle chiavi individuate dall'Unione Europea per il raggiungimento dei Sustainable Development Goals (SDG)²³. Gli SDG sono diciassette obiettivi per lo sviluppo sostenibile che nel 2015 sono stati elaborati dai 193 Paesi Membri dell'ONU, questi paesi hanno sottoscritto l'impegno di raggiungerli entro il 2030²⁴.

Figura 2

Sustainable Development goals, (Mancini et al., 2019, p.3.)



Analizzando la tabella degli SDG è possibile dedurre come le materie prime necessarie per la fabbricazione delle batterie per gli EVs influenzino in maniera più o meno diretta la realizzazione di quasi tutti gli obiettivi di sviluppo sostenibile. Tuttavia, è paradossale rilevare come da un lato l'estrazione e la lavorazione del cobalto porta alla fabbricazione di batterie atte ad eliminare le emissioni di carbonio permettendo così la realizzazione di alcuni obiettivi della tabella, dall'altro, allo stesso tempo tali processi sono la causa di impatti negativi che interessano quasi tutti gli SDG (distruzione di

²² Commissione Europea, Proposta di regolamento del parlamento europeo e del consiglio relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/2020. COM(2020) 798, finale, 10 dicembre 2020.

²³ Mancini L., Vidal Legaz B., Vizzarri M., Wittmer D., Grassi G. Pennington D., *Mapping the Role of Raw Materials in Sustainable Development Goals. A preliminary analysis of links, monitoring indicators, and related policy initiatives.*, EUR 29595 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019 ISBN 978-92-76-08385-6, doi: 10.2760/026725, JRC112892.

²⁴ *Agenda 2030*. (s.d.). ONU Italia. <https://unric.org/it/agenda-2030/>.

ecosistemi, sfruttamento del lavoro minorile, sfruttamento e aggravamento di situazioni di povertà o di guerra ecc.)²⁵.

1.2.1 Cobalto e Litio.

Rispettivamente il 50% e il 60% della fornitura mondiale di cobalto e litio vengono utilizzate per la produzione di batterie agli ioni di litio, in minor parte la grafite all'8% e il nichel al 6%²⁶; a causa di queste alte percentuali nelle nostre analisi andremo a concentrarci soprattutto sulle criticità che contraddistinguono la catena di approvvigionamento dei primi due elementi, l'enorme domanda di questi due elementi è dovuta al fatto che il litio è essenziale per la fabbricazione delle LIBs, mentre il cobalto è per ora il metallo, che miscelato con altri elementi, permette alle batterie agli ioni di litio di raggiungere le prestazioni migliori.

La crescente domanda di queste materie prime ha portato conseguenze negative in termini geoeconomici per tutti quegli stati, come i Paesi Membri dell'Unione Europea, che non posseggono grandi giacimenti minerari. L'Unione Europea è dipendente al 100% da paesi esteri per quanto riguarda l'approvvigionamento di litio e all'86% per quello di cobalto. Il 14% della fornitura europea di cobalto proviene dalle modeste miniere finlandesi²⁷. Per quanto riguarda la raffinazione invece le percentuali risultano essere più rassicuranti, l'Unione Europea nel 2018 era responsabile di circa il 20% della fornitura globale di cobalto raffinati, nonostante la Cina sia la leader indiscussa in questo settore, le importazioni provenienti dal gigante asiatico nel 2017 sono pari solamente al 5% del cobalto raffinato presente nel mercato comunitario. Tuttavia, il lavoro da fare è ancora molto, perché tali percentuali non sono sufficienti a rendere l'Unione Europea leader mondiale nel mercato della produzione di batterie per EVs.²⁸

L'egemone indiscussa nel mercato delle materie prime per la fabbricazione delle batterie agli ioni di litio è la Cina, la produzione sinica rappresenta il 69% della fornitura globale di grafite²⁹, elemento essenziale per la fabbricazione dell'anodo di una LIB. Inoltre, la Cina è la maggiore produttrice ed esportatrice di cobalto raffinato³⁰ (64% della fornitura globale di cobalto grezzo proviene dalla

²⁵ *Agenda 2030*. (s.d.). ONU Italia. <https://unric.org/it/agenda-2030/>.

²⁶ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

²⁷ Commissione Europea, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità. COM(2020) 474 final, 3 agosto 2020.

²⁸ Alves Dias P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N., *Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility*, EUR 29381 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-94311-9, doi:10.2760/97710, JRC112285.

²⁹ Commissione Europea, RELAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO, AL COMITATO DELLE REGIONI E ALLA BANCA EUROPEA PER GLI INVESTIMENTI relativa all'attuazione del piano d'azione strategico sulle batterie: creare una catena del valore strategica delle batterie in Europa. COM(2019) 176, final, 9 maggio 2019.

³⁰ *Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili* (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali.

Repubblica democratica del Congo)³¹. Fasti pensare che la Gem, la più grande società cinese di raffinazione di cobalto, fornitrice della maggior parte delle case automobilistiche, ha un accordo triennale con la Glencore, compagnia mineraria anglo-svizzera, per una fornitura di cobalto di circa 52.800t, una quantità pari a più della metà del cobalto estratto nel 2017.³² Oltretutto nel 2016 la Cina è divenuta il paese con il più grande stock di auto elettriche nel mondo.

Purtroppo, i problemi legati all'approvvigionamento di questi metalli non sono solo di natura geoeconomica, infatti, la proposta di regolamento precedentemente citata vuole andare a tracciare delle linee generali che non solo possano diminuire la dipendenza dei Paesi Membri da paesi terzi, ma che aiutino anche a regolare le problematiche ambientali e sociali legate all'estrazione e alla raffinazione dei suddetti materiali, considerati materie prime critiche per l'Unione Europea³³.

Sfruttamento del lavoro minorile, mancata collaborazione con le popolazioni indigene, violazione dei diritti dei lavoratori, corruzione di funzionari pubblici, mancato rispetto delle giuste condizioni di salario e di lavoro, sono solo alcune delle violazioni dei diritti umani e dei lavoratori che avvengono nelle miniere artigianali della Repubblica democratica del Congo, dalle quali ricordiamo proviene il 64% della fornitura globale di cobalto grezzo. Le continue guerre civili, la corruzione dilagante dei funzionari pubblici e la debolezza economica, giuridica e istituzionale della RDC sono fattori che hanno permesso ad attori economici privi di scrupolo di poter operare indisturbati nella regione.

Circa nel 20% delle miniere di cobalto il processo estrattivo avviene "in maniera artigianale e su piccola scala" (Simoncelli, 2016)³⁴: questo vuol dire che uomini, donne e bambini, sono forzati a lavorare per turni di dodici ore senza alcun equipaggiamento o protezione, costretti per lo più ad utilizzare le mani nude ed obbligati a respirare le polveri nocive all'interno di cunicoli, nei quali si estrae il prezioso metallo, mal scavati che spesso collassano su se stessi; il tutto per un salario giornaliero a cottimo (la paga dipende dai kg di cobalto estratti dal singolo minatore) che si aggira attorno agli uno o due dollari al giorno. Queste sono le sofferenze e i soprusi che i "creusers"³⁵ debbono subire per portarsi a casa un'alquanta misera paga; dietro a tali violazioni dei diritti umani si celano, in maniera più o meno diretta, le grandi multinazionali dell'elettronica e del trasporto elettrico. Secondo un rapporto di Human

https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTkEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.

³¹ COM(2019) 176 final, 9 maggio 2019.

³² *Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili* (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali.

https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTkEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.

³³ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

³⁴ Simoncelli, M. (2016, 27 gennaio). Congo, bambini in miniera ad estrarre cobalto per cellulari, tablet, computer e auto. *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/solidarieta/diritti-umani/2016/01/27/news/miniere_di_cobalto-132142114/. 16 set. 2021.

³⁵ Bellis, M. (2018, 23 settembre). In Congo tra i baby minatori alla ricerca di cobalto: "Viviamo nella polvere, pieni di ferite". *Fanpage.it*. <https://www.fanpage.it/esteri/in-congo-tra-i-baby-minatori-alla-ricerca-di-cobalto-viviamo-nella-polvere-pieni-di-ferite/>.

Rights Watch³⁶ e secondo i dati UNICEF³⁷ sono circa 40.000 i bambini che nella RDC vengono sfruttati nelle miniere. Molti di questi bambini vengono utilizzati nelle miniere artigianali di cobalto dove sono costretti a trasportare sacchi di pietre tra i venti e i quaranta kg³⁸ e a lavorare nelle condizioni disumane elencate precedentemente.

1.2.2. Il paradosso ambientale.

È paradossale come la fabbricazione di batterie agli ioni di litio, utilizzate per ridurre l'impatto ambientale dell'uomo, porti alla distruzione di interi ecosistemi. Gli impatti negativi di tali miniere artigianali non sono solo sociali ma anche ambientali; infatti, come già detto la catena di approvvigionamento delle materie necessarie per la costruzione di batterie per veicoli elettrici è spesso caratterizzata da poca trasparenza e da insostenibilità sociale e/o ambientale.

Come nel caso del lago salino del Salar di Atacama, situato in Cile nella regione di Antofagasta, nel quale risiedono tra il 30% e il 40% delle riserve mondiali di litio³⁹. Il processo estrattivo del litio è semplice quanto dannoso per questo ecosistema e per le popolazioni che lo abitano; l'estrazione prevede il drenaggio di acqua dal sottosuolo ricca di sali minerali e metalli, tra cui il litio⁴⁰, la quale una volta prelevata viene lasciata in grandi piscine ad evaporare. Proprio come nelle saline, una volta che l'acqua è evaporata si raccoglie il metallo separandolo dai sali residui. Tale sistema di raccolta consuma il 65% dell'acqua della regione, infatti, per produrre solamente una tonnellata di litio sono necessarie ben 1.900t di acqua⁴¹. Questi dati mostrano quanto il processo estrattivo del litio in salamoia sia distruttivo per l'ambiente e dannoso per le popolazioni che abitano la regione, la quale essendo già arida, a causa dell'estrazione di questo metallo, rischia di divenire un deserto senza vita.

³⁶ Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali. https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTkEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.

³⁷ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. ENEA, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

³⁸ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. ENEA, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

³⁹ Internazionale. (2020, 12 maggio). L'estrazione del litio minaccia il deserto salato del Cile. *Internazionale*. <https://www.internazionale.it/video/2020/05/12/litio-deserto-cile>.

⁴⁰ Industry Chemistry. (2020, 24 febbraio). In Cile, dal lago Salar de Atacama si estrae il litio "in salamoia". *Industry Chemistry*. <https://www.industrychemistry.com/in-cile-dal-lago-salar-de-atacama-si-estrapae-il-litio-in-salamoia/>.

⁴¹ Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature* 575, 75–86 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.

1.3. Provvedimenti.

Di fronte a tali violazioni sono state diverse le azioni legali intraprese contro coloro che operano in maniera non sostenibile nel settore delle batterie agli ioni di litio per EVs. Ad esempio, l'ONG International Rights Advocates ha portato in tribunale multinazionali come Apple, Tesla, Dell ed altre con l'accusa di utilizzare cobalto sporco per i loro dispositivi, proveniente dalle miniere artigianali della RDC; in tal caso l'ONG si è posta come rappresentante delle famiglie dei minori che sono stati vittime delle pesanti, precarie e pericolose condizioni lavorative in cui tali miniere vertono⁴². Un altro esempio di attivismo dalle autorità statali in difesa dell'ambiente sono le indagini, ad opera del giudice Mauricio Oviedo, per verificare la sostenibilità ambientale dei siti d'estrazione del litio in Cile⁴³.

Nonostante alcuni dei giganti dell'industria delle batterie ricaricabili si stiano mobilitando per garantire una catena di approvvigionamento delle materie prime più trasparente e sostenibile possibile è necessario stabilire un corpo normativo che vieti la commercializzazione di batterie sporche nel mercato comunitario europeo. La proposta di regolamento COM(2020) 798 final offre come soluzione che le compagnie attive nel campo della fabbricazione o della vendita di tali dispositivi operino sia in linea ai dieci principi del Global Compact delle Nazioni Unite, sia in conformità alla guida dell'OCSE sul Dovere di Diligenza per la Condotta d'Impresa Responsabile e nel rispetto della Dichiarazione tripartita di principi sulle imprese multinazionali e la politica sociale dell'Organizzazione Internazionale del Lavoro (OIL)⁴⁴.

L'Organizzazione Internazionale del Lavoro si impegna a far rispettare alle multinazionali politiche di sviluppo sostenibile e progresso economico che non entri in conflitto con gli interessi delle nazioni e dei lavoratori, nel pieno rispetto dei principi I, II e X del Global Compact⁴⁵. Questo sarà possibile solo grazie alla collaborazione reciproca tra multinazionali, paesi e organizzazioni dei lavoratori, l'adesione all'organizzazione comporta il rispetto obbligatorio dei principi e diritti fondamentali dei lavoratori (principi III, IV, V, VI del Global Compact⁴⁶), anche se non si è aderiti ai trattati internazionali che hanno dato la vita a tali principi o diritti. È necessario che le imprese operino processi di *due diligence* per assicurarsi un approvvigionamento sostenibile delle materie prime, nel rispetto dei lavoratori, dell'ambiente e delle comunità che vivono nelle regioni in cui operano, intervenendo in protezione delle categorie sociali o ambientali più a rischio. La dichiarazione tripartita si pone atta a regolare i principi riguardanti: la sicurezza e la salute sul lavoro, il giusto salario,

⁴²Bellomo, S. (2019, 18 dicembre). Apple e Tesla sotto accusa per il cobalto insanguinato. *Il sole24ore*.

<https://www.ilsole24ore.com/art/apple-e-tesla-sotto-accusa-il-cobalto-insanguinato-ACb9ir6>.

⁴³Joy, P., & Azzopardi, T. (2021, 31 dicembre). Water Use in Atacama Salt Flat Trips Up Chilean Lithium Miner. *Bloomberg Law*. <https://news.bloomberglaw.com/environment-and-energy/water-use-in-atacama-salt-flat-trips-up-chilean-lithium-miner>.

⁴⁴COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

⁴⁵Introduzione. (s.d.). Home. <https://www.globalcompactnetwork.org/it/il-global-compact-ita/i-dieci-principi/introduzione.html>.

⁴⁶Introduzione. (s.d.). Home. <https://www.globalcompactnetwork.org/it/il-global-compact-ita/i-dieci-principi/introduzione.html>.

l'abolizione del lavoro forzato e minorile, le libertà sindacali come la libertà di associazione o contrattazione collettiva, la formazione lavorativa e l'uguaglianza al trattamento⁴⁷. La proposta di regolamento vuole incoraggiare tali comportamenti e verificare la loro sussistenza tramite il tracciamento dei vari processi lavorativi che hanno portato alla vendita finale della LIB.

La proposta di regolamento descrive il dovere di diligenza nella catena di approvvigionamento come: “gli obblighi dell'operatore economico che immette sul mercato una batteria industriale ricaricabile o una batteria per veicoli elettrici, in relazione al suo sistema di gestione, alla gestione del rischio, alle verifiche da parte di terzi svolte da organismi notificati e alla divulgazione delle informazioni al fine di individuare e affrontare i rischi effettivi e potenziali legati all'approvvigionamento, alla lavorazione e al commercio delle materie prime necessarie per la fabbricazione di batterie” (COM(2020) 798 final, p.51). Nel documento dell'OCSE, a cui la proposta fa riferimento, i requisiti per una condotta d'impresa responsabile rinviengono nel rispetto dei diritti umani, nella sostenibilità ambientali e nel rispetto degli interessi nazionali e del lavoratore. Per raggiungere tale obiettivo è necessario che il dovere di diligenza venga applicato in modo da eliminare o arginare il più possibile tutti quegli output negativi provenienti dall'attività dell'impresa; per tornare al caso dell'estrazione di litio nel lago salato in Cile, dato che il problema non è eliminabile non si può eliminare il problema relativo al drenaggio dell'acqua nel suolo è necessario che l'estrazione proceda a ritmi più lenti in modo da non avere un eccessivo impatto negativo sull'ambiente, dando così la possibilità al suolo di reidratarsi. Una condotta d'impresa responsabile fa sì che tra i rischi dell'azienda non vengano considerati solo quelli finanziari o relativi al mercato, ma anche quelli sociali e ambientali, perciò la *due diligence* implica una moltiplicazione degli obiettivi dell'impresa, da un punto di vista economico questo a volte vorrà dire diminuire parte del profitto per una maggiore sostenibilità dell'attività d'impresa; infatti, nel caso dell'estrazione di cobalto nella RDC, un maggior rispetto e tutela del lavoro comporterà un aumento del prezzo del cobalto grezzo. Oltretutto in paesi come la Repubblica Democratica del Congo, che verte in situazioni di povertà assoluta, con sanguinosi conflitti interni e istituzioni deboli, è ancora più difficile applicare i principi di *due diligence*; l'OCSE vuole impedire che tali situazioni vengano aggravate dalla ricerca di profitto di operatori economici incuranti dei propri impatti, sociali, ambientali o politici e all'occasione ha elaborato un corpo di linee guida, sul dovere di diligenza, dedicate espressamente alle imprese che operano nel processo di approvvigionamento di materie prime, la cui estrazione e lavorazione avviene in zone di conflitto o ad alto rischio (aree di instabilità politica, con istituzioni deboli e situazioni di conflitti violenti. Tali aree sono spesso caratterizzate da violazioni diritti umani, del diritto nazionale o internazionale). Nel documento “*OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas*” viene scritto che per catena o processo di approvvigionamento ci si riferisce al sistema di

⁴⁷ International Labour Organization, (2017) *Dichiarazione tripartita di principi sulle imprese multinazionali e la politica sociale*. 5^a. ed. Ginevra: Consiglio di Amministrazione dell'Ufficio Internazionale del Lavoro. ISBN: 978-92-2-830887-7.

tutte le attività, organizzazioni, attori, tecnologie, informazioni, risorse e servizi coinvolti dal momento dell'estrazione del minerale fino alla sua applicazione nel prodotto finale. Le imprese hanno il compito di verificare che tali processi vengano eseguiti nel rispetto del dovere di diligenza, ovvero identificando gli eventuali rischi sociali e/o ambientali e agendo per prevenirli, per quanto possibile, o mitigarli, in linea alle linee guida del precedente documento “*Guida dell’OCSE sul Dovere di Diligenza per la Condotta d’Impresa Responsabile*”. Nei casi limite la prevenzione potrebbe condurre alla sospensione, se non addirittura alla cessazione, del processo lavorativo del minerale quando la mitigazione risulta impossibile e i rischi troppo elevati, portando però ad un costo economico non indifferente. Un’impresa che segue le linee guida dell’OCSE deve prima di tutto garantire dei sistemi di organizzazione aziendale efficienti, che garantiscano la massima comunicazione degli obiettivi di *due diligence*, interna ed esterna. È necessario che gli obiettivi relativi alla responsabilità d’impresa siano sentiti non solo da chi lavora all’interno dell’azienda, ma anche da coloro che collaborano con essa e che quindi sono esterni. Per identificare e valutare gli eventuali rischi è necessario che l’impresa si serva di sistemi di controllo che assicurino il massimo grado di trasparenza, in modo da avere la piena cognizione di tutti i processi lavorativi che la coinvolgono e quindi anche gli eventuali rischi associati. Una volta individuati i rischi, per garantire un approvvigionamento sostenibile, l’impresa ideerà e poi metterà in atto un piano di gestione del rischio, le cui azioni di prevenzione e mitigazione saranno proporzionali alla gravità del rischio. Sono già stati menzionati i due casi limite, ovvero la sospensione e la cessazione dell’attività, fortunatamente però vi sono altre manovre intermedie atte a eliminare o arginare il rischio, nei limiti dell’accettabile (un esempio di manovra intermedia è l’interruzione dei rapporti commerciali con un operatore economico, ad esempio un fornitore, che è causa diretta del rischio). Una volta attuato il piano di gestione del rischio è necessario in primis vigilare sulla situazione, cercando di evitare gli eventuali effetti collaterali; in secundis, una volta attuato il piano di gestione del rischio, bisogna aggiornare i sistemi di controllo e di valutazione dei rischi alla luce dei nuovi risvolti. Per tutte le operazioni di rilevazione, monitoraggio e gestione del rischio l’impresa può rivolgersi a terzi, come ad esempio audit di terza parte o possono ricevere la collaborazione di istituzioni governative⁴⁸. Viene inoltre stabilito che il dovere di diligenza non è trasferibile, questo vuol dire che se una qualsiasi impresa automobilistica dovesse vendere un’autovettura elettrica la cui batteria è stata realizzata con cobalto sporco di sangue o litio la cui estrazione ha comportato la desertificazione di un territorio, la responsabilità di tali violazioni ricadrà sull’impresa automobilistica; perché ricade su quest’ultima l’onere di assicurarsi che tutti i servizi o prodotti collegati ad essa siano sostenibili e siano stati erogati o prodotti in maniera responsabile⁴⁹.

⁴⁸ OECD (2016), *OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas: Third Edition*, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264252479-en>.

⁴⁹ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

Spetta agli Stati Membri stabilire le sanzioni, che dovranno essere “effettive, proporzionali e dissuasive” (COM(2020) 798 final, p.107) da applicare ai trasgressori; importante è che i Paesi Membri facciano rispettare l’obbligo di registrazione dei produttori ad un apposito registro dove oltre ai recapiti del produttore dovranno essere registrate anche le tipologie di batterie che si vogliono immettere nel mercato, con allegate ovviamente le specifiche tecniche per ogni tipologia. La responsabilità del produttore, o dell’organizzazione autorizzata che ne fa le veci, si estende oltre alla semplice immissione nel mercato; infatti, essi si devono adoperare per organizzare al meglio la raccolta, il trasporto, il trattamento e il riciclaggio delle batterie, assicurandosi anche che il processo di riciclaggio sia promosso tra i consumatori, i quali devono essere ben informati sulle azioni da eseguire per garantire il pieno funzionamento di un’economia circolare⁵⁰. Qualora il produttore, o chi ne faccia le veci, non avverta le autorità competenti di eventuali modifiche alle informazioni fornite relative ad una determinata tipologia di batteria per veicoli elettrici in commercio in uno dei Paesi Membri, quest’ultimo, ha il compito di cessare la commercializzazione delle batterie non a norma. La Commissione deve assicurarsi che gli stati facciano rispettare ai produttori, o a chi ne fa le veci, il rispetto dei loro obblighi. Come sostenuto dalla proposta di regolamento è opportuno attribuire alla Commissione competenze di esecuzione per permettere un continuo aggiornamento degli obiettivi e dei dati relativi alla produzione di batterie per EVs e la possibilità di intervenire tempestivamente e armonicamente in situazioni di rischio sociale e ambientale⁵¹.

1.3. Il ruolo dell’Unione Europea.

Il compito dell’Unione Europea deve essere quello d’impegnarsi ad assicurare la completa trasparenza e, per quanto possibile, il più alto grado di sostenibilità e responsabilità d’impresa di tutti gli operatori economici che agiscono nel suo mercato interno. Tale impegno non è volto solamente ad assicurarsi un maggiore rispetto ambientale e/o sociale ma anche a garantire il minor onere economico possibile. In un sistema di collaborazione e trasparenza sarà più facile garantire una catena di approvvigionamento delle materie prime sostenibile e responsabile; il singolo per assicurarsi un rifornimento di materie prime “pulite” dovrà investire meno risorse economiche se tale requisito sarà richiesto anche dagli altri competitors e dagli altri operatori economici. Promuovere la sostenibilità sociale ed ambientale a più livelli, partendo dal basso, è l’obiettivo da raggiungere così che il risparmio sulle materie prime non sia più associato ad una provenienza immorale e ambigua. L’Unione deve far sì che le aziende esterne ai Paesi Membri che operano nel mercato comunitario, o che comunque lo influenzano con i propri prodotti derivati, rispettino gli stessi standard di *due diligence* delle imprese europee, in modo da non permettere la formazione di un mercato di batterie per EVs con costi inferiori,

⁵⁰ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

⁵¹ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

dovuti al mancato rispetto sociale e ambientale. L'obiettivo è fa sì che al marchio CE, che attesta l'idoneità della batteria ad essere immessa nel mercato comunitario in conformità al regolamento 756/2008⁵², vengano integrate una serie di nuove norme che stabiliscano sostenibilità, sicurezza ed efficienza della LIB. Qualora una determinata tipologia possa rappresentare un rischio per la salute umana la Commissione, tenendo conto degli effetti socioeconomici e considerando anche le alternative, applica delle restrizioni in conformità agli articoli 73 e 71 della proposta⁵³

In base a quanto sostenuto dalla proposta di regolamento COM(2020) 798 final il sistema informativo permetterà il tracciamento di tutte le fasi di vita delle batterie agli ioni di litio, partendo dall'estrazione delle materie prime necessarie per la loro costruzione, passando tra tutte le varie utilizzazioni durante la fase di vita utile, fino ad arrivare al riciclaggio e poi allo smaltimento. Tale sistema di raccolta delle informazioni sarà costituito da un'etichetta riconoscitiva di cui tutte le batterie saranno dotate integrata ad un sistema di memorizzazione interno dell'accumulatore agli ioni di litio. Nell'etichetta verranno riportate le informazioni relative alla fabbricazione della batteria, alla durabilità e alle prestazioni del dispositivo e anche le indicazioni riguardanti lo smaltimento e il riciclo delle batterie; informazioni che potranno essere verificate digitalmente tramite scansione del codice QR presente sull'etichetta insieme al marchio CE⁵⁴. Il sistema di memorizzazione interna aiuterà a ripercorrere il ciclo vitale della batteria dalla sua prima utilizzazione, grazie a tale sistema si potrà essere sempre a conoscenza dello stato di salute della LIB e le informazioni raccolte dal sistema ci potranno dire come e ancora per quanto la batteria potrà essere riutilizzata o se sia pronta ad essere riciclata; questo sistema viene definito dal regolamento "il dispositivo elettronico che controlla o gestisce le funzioni elettriche e termiche della batteria, che gestisce e conserva i dati sui parametri per determinare lo stato di salute e la durata di vita prevista delle batterie [...] e che comunica con il veicolo o l'apparecchio in cui è incorporata la batteria" (COM(2020) 798 final, p.50-51). Il database realizzato con le informazioni che verranno raccolte dalle batterie permetterà alle istituzioni europee di avere un quadro dettagliato e costantemente aggiornato delle batterie in circolazione nel mercato dell'Unione Europea.

Ovviamente la trasparenza è il requisito essenziale per il funzionamento di tale meccanismo; le istituzioni europee, prendendo un accumulatore agli ioni di litio prossima al riciclo, dovrebbero essere in grado di risalire tutto il ciclo vitale del dispositivo fino all'approvvigionamento delle materie prime utili alla produzione. La trasparenza per la proposta di regolamento deve essere assolutamente garantita dal fabbricante e richiesta dall'operatore economico che vuole immettere la batteria nel mercato, senza tale requisito viene negata l'applicazione del marchio CE alla LIB.

Ed è verso la trasparenza che sempre più produttori e consumatori si stanno spingendo tramite lo sviluppo e la diffusione della tecnologia blockchain. Questa tecnologia permetterebbe, tramite un

⁵² COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

⁵³ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

⁵⁴ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

software di raccolta dati installato sulla batteria, la geolocalizzazione delle batterie e delle materie utilizzate per la loro fabbricazione. Inoltre, i dati raccolti durante la vita della batteria vengono costantemente memorizzati in dei blocchi, i quali ordinati cronologicamente dal sistema, scandiscono le varie fasi di vita del dispositivo; queste informazioni vengono registrate in maniera indelebile all'interno di questi blocchi, protetti da una speciale crittografia, la cui manomissione porterebbe compromettere l'intero sistema. Questa tecnologia garantirebbe un controllo e una registrazione costante, senza permettere alcuna modifica retroattiva ai blocchi d'informazione, portando così al grado massimo di trasparenza.

Per la costituzione di una normazione efficiente e ottimale è necessario che alla trasparenza venga unito di un corpo di norme armonizzate che permettano un adeguato grado di cooperazione tra operatori economici e istituzioni europee, è quindi necessario che la Commissione abbia poteri esecutivi e la capacità di adottare atti non legislativi come sancito dall'articolo 290 del TFUE⁵⁵. Facendo così la Commissione riuscirebbe a modificare obiettivi e parametri relativi alla composizione e alle prestazioni delle batterie in maniera tempestiva, permettendo una regolamentazione che riesca a stare al passo con lo sviluppo tecnologico e che si uniformi a tutti gli operatori economici che agiscono all'interno del mercato comunitario⁵⁶.

⁵⁵ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

⁵⁶ *Cos'è la tecnologia blockchain? - IBM Blockchain.* (s.d.). IBM - Deutschland | IBM. <https://www.ibm.com/it-it/topics/what-is-blockchain>.

Capitolo 2

L'IMPRONTA AMBIENTALE

Sommario: 2.1. Metodologie di studio; 2.2. Analisi del ciclo vitale; 2.2.1. Fase di acquisizione delle materie prime; 2.2.2. Analisi del ciclo vitale; 2.2.2.1. Emissioni di CO₂ e consumo idrico delle prime fasi di vita di una batteria agli ioni di litio secondo il GREET MODEL; 2.2.3. Fase di utilizzo; 2.2.4. Fase di fine vita; 2.3. Impatto sulle varie categorie ambientali; 2.4. La posizione dell'Unione Europea.

2.1 Metodologie di studio.

L'assenza del tubo di scappamento nei veicoli elettrici fa pensare che questi siano completamente a zero emissioni, tuttavia, la realtà è molto diversa. Infatti, anche i veicoli elettrici producono emissioni ed inquinamento e questo avviene sia durante fase di produzione (la produzione di un EV è più inquinante di quella di un ICEV), sia durante la fase di utilizzo (in base alle fonti di energia da cui si attinge per la produzione di elettricità) sia durante la fase di fine vita (l'impatto dipende dai trattamenti metallurgici utilizzati per il riciclo). Perciò nel seguente capitolo, previa analisi delle metodologie di calcolo dell'impronta ambientale, si cercheranno di delineare le possibili strade da percorrere per garantire un ciclo vitale di una batteria agli ioni di litio che abbia il minor impatto ambientale possibile, tenendo conto anche dei fattori socioeconomici coinvolti in questo lungo percorso.

La Product Environmental Footprint (PEF) è un metodo di calcolo dell'impatto ambientale del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) di un determinato prodotto, nel nostro caso di una batteria ricaricabile agli ioni di litio. Il calcolo dell'impronta ambientale inizia già dalla fase di approvvigionamento delle materie prime, quindi dall'estrazione del cobalto, nichel, alluminio, litio e delle altre materie prime; grazie alla PEF è possibile calcolare l'impronta ambientale di quasi tutti i processi che caratterizzano la fabbricazione, l'utilizzo e poi lo smaltimento di una batteria agli ioni di litio, tale conoscenza consente di agire per eliminare o circoscrivere quelle fasi particolarmente critiche che hanno un eccessivo impatto negativo sull'ambiente⁵⁷. L'Unione Europea tramite il PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules) ha fissato gli standard ambientali da rispettare durante il ciclo di vita di una batteria agli ioni di litio. La sostenibilità ambientale non è l'unico fattore tenuto in considerazione; il JRC nella stesura del PEFCR delle batterie agli ioni di litio ha anche tenuto conto del costo economico di ogni processo, le regole stabilite perciò sono il frutto del connubio tra sostenibilità ambientale ed economica. L'Unione Europea per fornire maggiore chiarezza sul metodo di calcolo dell'impronta ambientale ha pubblicato una guida PEF, la quale stabilisce quelli che debbono essere i criteri comuni per misurare le prestazioni ambientali del ciclo di vita di un determinato prodotto e una

⁵⁷ Zampori, L. e Pant, R., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

volta calcolate il PEFCR stabilisce quali sono i limiti dell'impatto ambientale del LCA prodotto⁵⁸. In sostanza la ratio del PEFCR è quella di creare un corpo di norme armonizzato da far rispettare a chiunque operi nel mercato comunitario⁵⁹.

La guida PEF stabilisce che il calcolo dell'EF (Environmental Footprint) di un prodotto deve rispettare i seguenti principi:

- Rilevanza, i dati raccolti devono essere pertinenti allo scopo;
- Completezza, nel PEF deve essere calcolato l'impatto ambientale di tutti i processi che compongono il ciclo vitale del prodotto. Tuttavia, dal calcolo della PEF per le batterie agli ioni di litio sono esclusi, in quanto considerati trascurabili, l'impatto ambientale del trasporto delle materie prime e l'impatto ambientale relativo alla produzione delle attrezzature atte all'assemblaggio e al riciclo delle batterie⁶⁰;
- Coerenza, per tutte le fasi vitali del prodotto devono essere utilizzati gli stessi metodi di raccolta, analisi, calcolo e studio dei dati;
- Precisione, le incertezze nei calcoli devono essere infinitesimali;
- Trasparenza, tutti i dati raccolti e i risultati ottenuti devono essere comunicati con la massima trasparenza⁶¹.

Rispettando tali principi lo studio della PEF si suddivide in diverse fasi, rappresentate dal seguente diagramma:

⁵⁸ Zampori, L. e Pant, R., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

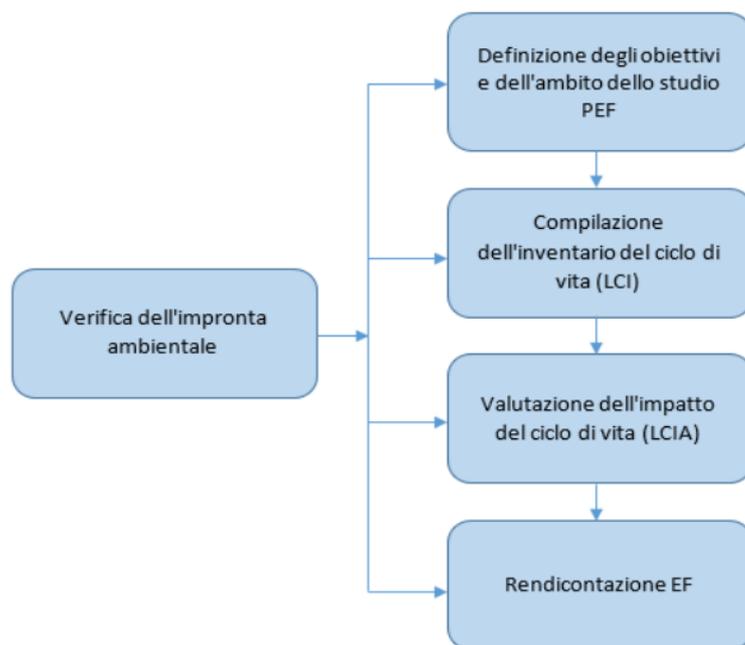
⁵⁹ Zampori, L. e Pant, R., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

⁶⁰ *PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications* (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

⁶¹ Zampori, L. e Pant, R., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

Figura 3

Fasi dello studio sull'impronta ambientale di prodotto, (Zampori et al., 2019, p.32.)



Nella prima fase vengono definiti gli obiettivi e l'unità funzionale, ovvero l'oggetto di riferimento del nostro studio e vengono esplicate le motivazioni che hanno portato a tali scelte⁶². La fase d'inventario fissa i confini del sistema; ovvero, vengono definiti tutti i processi e tutte le fasi che rientrano nel nostro studio e vengono identificati ed esclusi quei processi che nel calcolo sono considerati irrilevanti. Una volta definiti i confini del ciclo di vita, i dati relativi ai processi che compongono LCA vengono raccolti e analizzati. Successivamente si passa alla valutazione dell'impatto del ciclo di vita, viene fatta una classificazione tra i processi che scandiscono LCA in base alla categoria ambientale sulla quale impattano e ogni categoria ha un proprio indicatore di riferimento; ad esempio, prendendo come categoria ambientale le emissioni di carbonio l'indicatore di riferimento saranno i Kg CO₂ eq. Infine, si ha la fase di interpretazione dei dati e il report finale⁶³.

L'obiettivo del calcolo della PEF di una batteria agli ioni di litio per EVs è quello di dare una visione complessiva dell'impatto ambientale dei processi che compongono il ciclo di vita di una LIB, nel quadro di una regolamentazione armonica per tutti gli attori che operano dentro il mercato comunitario, al fine di promuovere una produzione, una vendita ed un acquisto di batterie per veicoli elettrici che sia il più ecosostenibile possibile. Nei paragrafi che seguiranno verranno analizzate le diverse fasi di vita di una batteria ricaricabile agli ioni di litio per EVs e l'impatto ambientale di queste fasi.

⁶² Zampori, L. e Pant, R., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

⁶³ Zampori, L. e Pant, R., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

Per garantire un'analisi più accurata dell'impronta ambientale del ciclo vitale di una LIB verrà anche utilizzato l'indice GREET MODEL (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies mode) utilizzato dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti ed elaborato dall'Argonne National Laboratory, è lo strumento analitico utilizzato negli U.S.A. per il calcolo del LCA, in questo caso applicato alle prime fasi del ciclo vitale di una batteria agli ioni di litio per EVs.

2.2. Analisi del ciclo vitale

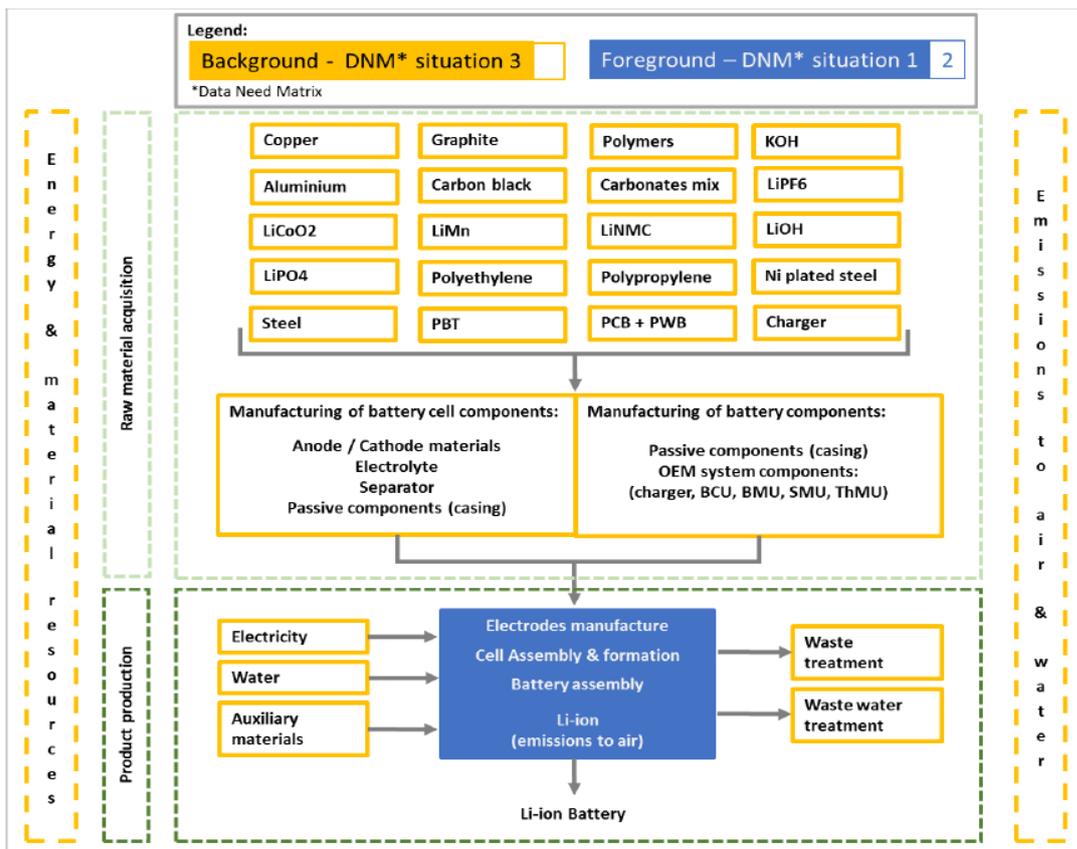
2.2.1. Fase di acquisizione delle materie prime

Il ciclo vitale di una batteria inizia con la fase dell'acquisizione delle materie prime che parte dal momento dell'estrazione di esse e termina quando le materie prime raffinate e lavorate entrano nell'impianto di produzione delle batterie (fase di pre-lavorazione delle materie prime). Nel seguente diagramma è rappresentata la catena di processi che compongono la prima fase del ciclo vitale di una batteria, il cosiddetto viaggio “dalla culla ai cancelli” (*PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications*, 2020, p.11) che le materie prime compiono dalle miniere alle filiali produttive, dove vengono utilizzate per realizzare le componenti elettroniche e chimiche essenziali nella fabbricazione di batterie ricaricabili⁶⁴.

⁶⁴ *PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications* (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

Figura 4

Cradle to gate process for Li-ion battery production, (PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications, 2020, p.35).



2.2.2. Fase di Produzione

Dopo la fase di acquisizione e pre-lavorazione delle materie prime si ha la fase di produzione, che si articola in quattro processi: fabbricazione degli elettrodi, fabbricazione delle celle di energia, fabbricazione degli OEM e infine assemblaggio di tutte le componenti citate per la produzione finale della batteria⁶⁵.

Le materie prime estratte vengono principalmente utilizzate nel processo di fabbricazione degli elettrodi ovvero, l'anodo e il catodo. Nelle batterie agli ioni di litio più utilizzate per le vetture elettriche come le batterie Li-NMC l'elettrodo positivo, più comunemente chiamato catodo, è formato da nichel manganese e cobalto mentre l'elettrodo negativo, l'anodo, è fatto di grafite⁶⁶ e silicio; invece, le batterie Li-NCA hanno un catodo composto da nichel, alluminio e cobalto (in minor quantità rispetto alle NMC)

⁶⁵ PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

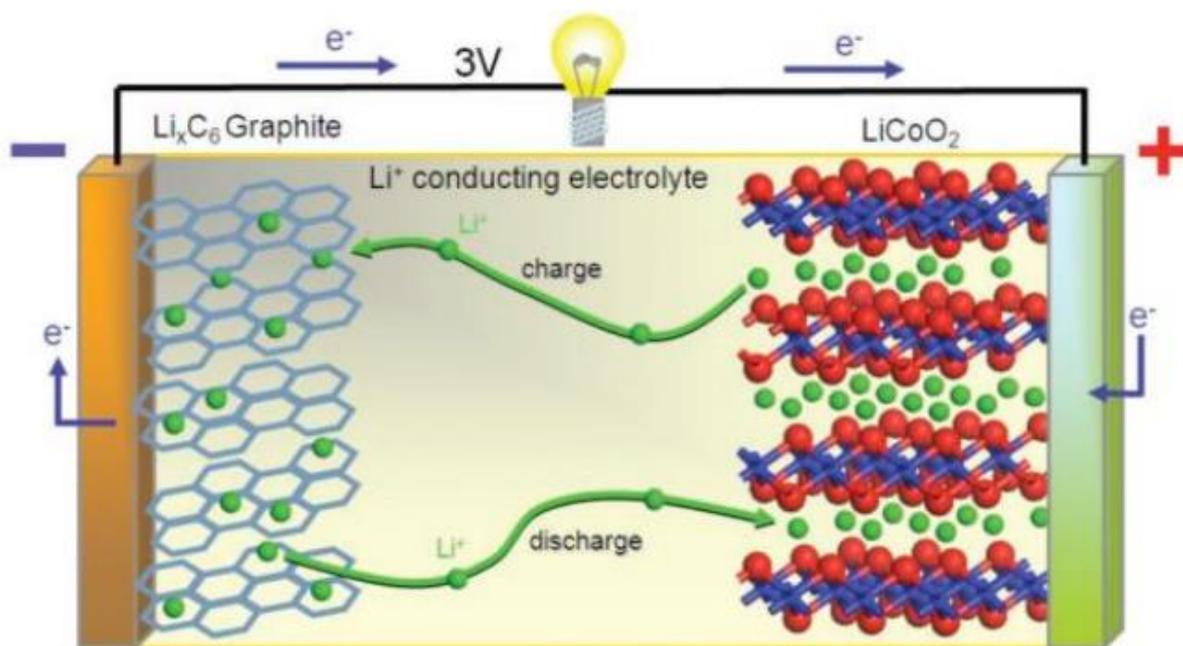
⁶⁶ N. Andreanacci, et al. Stato dell'arte dei modelli di invecchiamento per le celle litio-ione. Applicazione al caso di studio delle celle NMC invecchiate in ENEA. *Enea*, set. 2017. Report Rds/PAR2016/163.

e un anodo composto da grafite e silicio⁶⁷; mentre quelle al Li-LFP hanno un anodo di grafite esilicio ed un catodo composto da una miscela di litio-ferro-fosfato.

Una volta fabbricati, gli elettrodi vengono divisi da un separatore e immersi in una sostanza elettrolita composta per la maggior parte da sali di litio⁶⁸. Il processo di fabbricazione delle celle consiste nell'avvolgimento delle sopracitate componenti elettro-chimiche in involucri isolanti, ovvero le celle di energia che in base alle sollecitazioni esterne sono in grado di rilasciare o immagazzinare energia elettrica. Se gli ioni di litio si muovono dall'anodo al catodo la cella è in fase di scarico, ovvero la cella rilascia energia elettrica, se invece se gli ioni di litio, attraverso la sostanza elettrolita, si muovono dal catodo all'anodo si ha la fase di carica⁶⁹.

Figura 5

Schema di funzionamento di una cella agli ioni di litio, (Pelloni, 2017, p.11).



Le componenti OEM (Original Equipment Manufacturer) sono dispositivi elettronici e meccanici gestiti da dei software che si occupano del corretto funzionamento della batteria ricaricabile impiantata sull'autoveicolo. Una batteria è formata da un BMS (Battery Management System), che sarebbe il sistema di gestione della batteria, composto dalle SMU (Safety Management Unit), ovvero i sistemi di sicurezza delle celle di energia; dalla BCU (Battery Control Unit) che comprende tutto l'insieme di interruttori e contatori che gestiscono la batteria; e dalla BMU (Battery Management Unit) l'insieme dei dispositivi elettronici che gestiscono la batteria. Il ThMU (Thermal Management Unit) o Heat

⁶⁷ Moro, C. (2019b). *Sviluppo di un algoritmo per la stima della degradazione di batterie al litio* [Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica, UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA].

http://tesi.cab.unipd.it/62722/1/Moro_Cristian_1157219.pdf

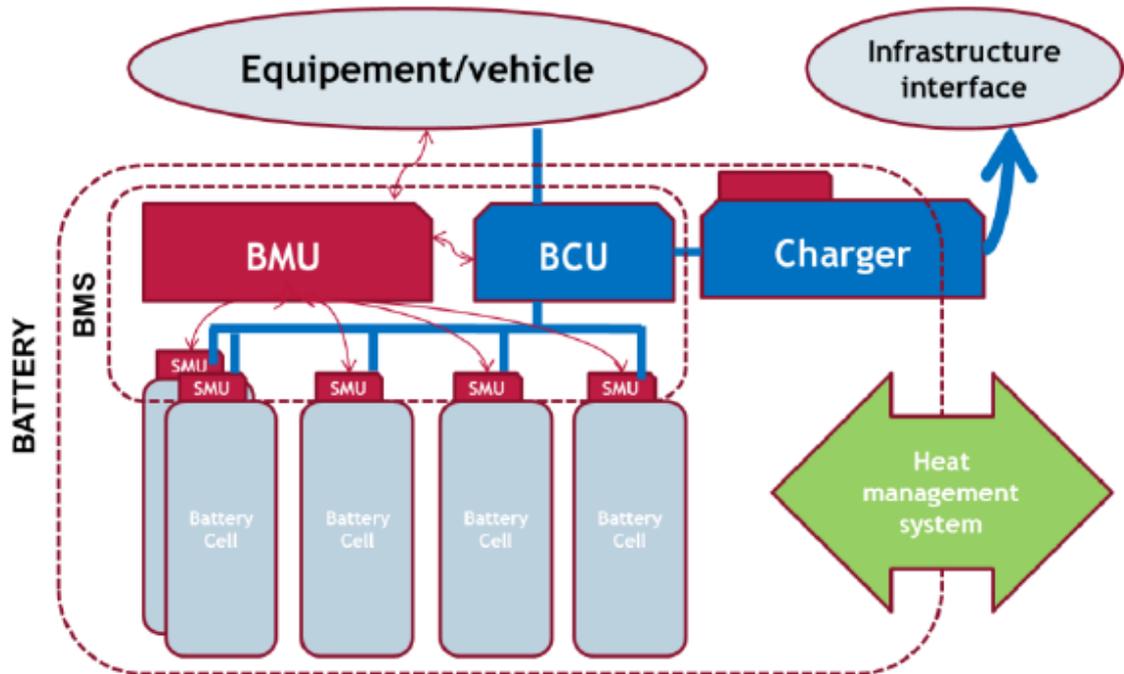
⁶⁸ Pelloni, S. (2017). *Modellazione termica di batterie ad alta tensione con tecnologia Li-Ion per veicoli ibridi* [MasterThesis, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna]. AMS Laurea. <http://amslaurea.unibo.it/13616/>.

⁶⁹ Pelloni, S. (2017). *Modellazione termica di batterie ad alta tensione con tecnologia Li-Ion per veicoli ibridi* [MasterThesis, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna]. AMS Laurea. <http://amslaurea.unibo.it/13616/>.

Management System è un dispositivo esterno al BMS ma altrettanto importante in quanto è addetto alla gestione termica delle componenti della batteria e della batteria stessa⁷⁰. È possibile osservare la composizione della batteria nell'immagine seguente:

Figura 6

Representative products components, (PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications, 2020, p.27).



*Nelle batterie per EVs il caricabatteria è considerato un dispositivo a parte.

Il processo finale della fase di produzione consiste nell'assemblaggio delle componenti elettriche, elettroniche meccaniche e chimiche che unite danno vita alla LIB. Una volta ultimata, tale batteria, se considerata idonea lascia l'impianto di assemblaggio e immessa nel mercato comunitario⁷¹.

Si è voluto analizzare ed illustrare il processo di fabbricazione di una batteria sin dal primo istante in cui le materie prime vengono estratte perchè queste fasi sono le responsabili della maggior parte delle emissioni di carbonio e di consumo idrico nel ciclo vitale di una batteria agli ioni di litio. Perciò, per intervenire più accuratamente nella risoluzione di problemi durante la fase di produzione è importante conoscere i processi che la compongono.

⁷⁰ PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

⁷¹ PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

Nel prossimo paragrafo verrà analizzato come e quanto tali processi impattino sull'ambiente in base alla provenienza delle materie prime e in base al paese di produzione.

2.2.2.1. Emissioni di CO₂ e consumo idrico delle prime fasi di vita di una batteria agli ioni di litio secondo il GREET MODEL

Nello studio che andremo ad analizzare i parametri del GREET Model⁷² sono stati utilizzati per calcolare l'impatto ambientale della produzione di una specifica tipologia di batterie, ovvero le LIB NMC-111 da 27 kWh. La nomenclatura NMC-111 è dovuta alla composizione del suo catodo, costituito da un terzo di ossido di nichel, un terzo di ossido di manganese e un terzo di ossido di cobalto⁷³; materiali altrettanto importanti oltre a quelli che compongono il catodo, sono la grafite, utilizzata per l'anodo e l'alluminio che costituisce il 24% della massa totale della batteria. È stata scelta una LIB NMC perché tali batterie nel 2017, quando è stato effettuato lo studio, erano le batterie agli ioni di litio più utilizzate e rappresentavano il 20% delle LIB in circolazione; di tale percentuale la metà era a composizione NMC-111⁷⁴. Nonostante lo studio che stiamo analizzando sia di quattro anni fa, esso risulta essere ancora attuale, in quanto, ancora oggi le batterie NMC sono molto diffuse. Tuttavia, si stanno cercando alternative più economiche ed ecologiche dato che esse risultano essere tra le più costose e meno sostenibili, dato che richiedono una grande quantità di cobalto e rame che da soli rappresentano i due terzi del costo totale, il quale si aggira intorno ai 37 €/kWh⁷⁵.

Nei seguenti grafici è possibile analizzare quanto l'approvvigionamento di materie prime e l'utilizzo di fonti energetiche green possa influire sulla quantità di anidride carbonica emessa e la quantità d'acqua utilizzata per la produzione di tali dispositivi. I casi elencati in questi primi due grafici sono quattro e rappresentano delle circostanze "tipo" basate sulle analisi fatte utilizzando il GREET Model:

N.B.: nei seguenti grafici "Other" rappresenta quella gamma di materie prime che da sole costituiscono una quantità al quanto esigua sul totale e che quindi vengono raggruppate in un'unica categoria per ragioni pratiche.⁷⁶

⁷² Si guardi il primo paragrafo del secondo capitolo "Le metodologie di studio".

⁷³ Canale, I. (2020). *Synthesis and characterization of MoS₂- PANI composite materials for electrochemical applications* [Master of Science Thesis, POLITECNICO DI TORINO]. <https://webthesis.biblio.polito.it/14819/1/tesi.pdf>.

⁷⁴ Kelly et al., Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 371–396 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>

⁷⁵ Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N., *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth*, EUR 29440 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97254-6, doi:10.2760/87175, JRC113360

⁷⁶ Kelly et al., Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 371–396 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>

Figura 7

GHG emissions associated with NMC111 LIB production via different supply chains, (Kelly et al., 2020, p.9).

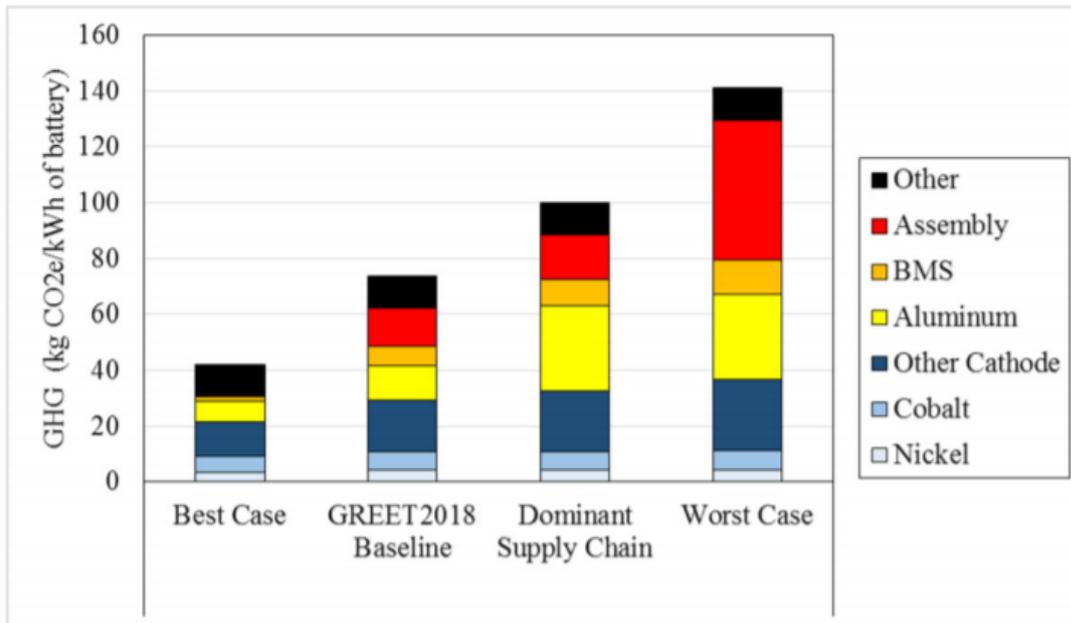
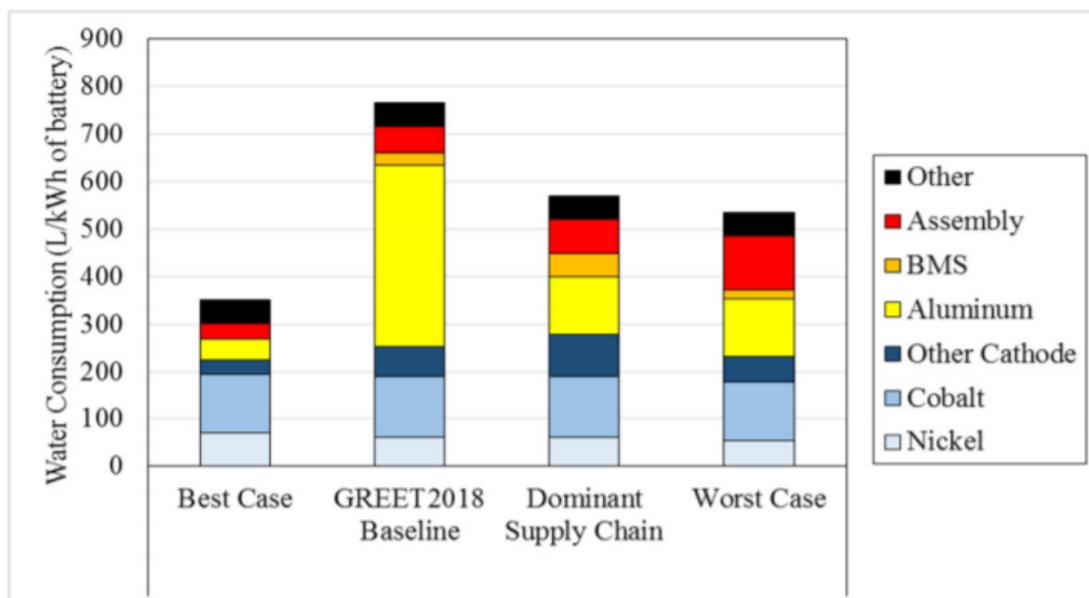


Figura 8

Water consumption associated with NMC111 LIB production via different supply chains, (Kelly et al., 2020, p.10).



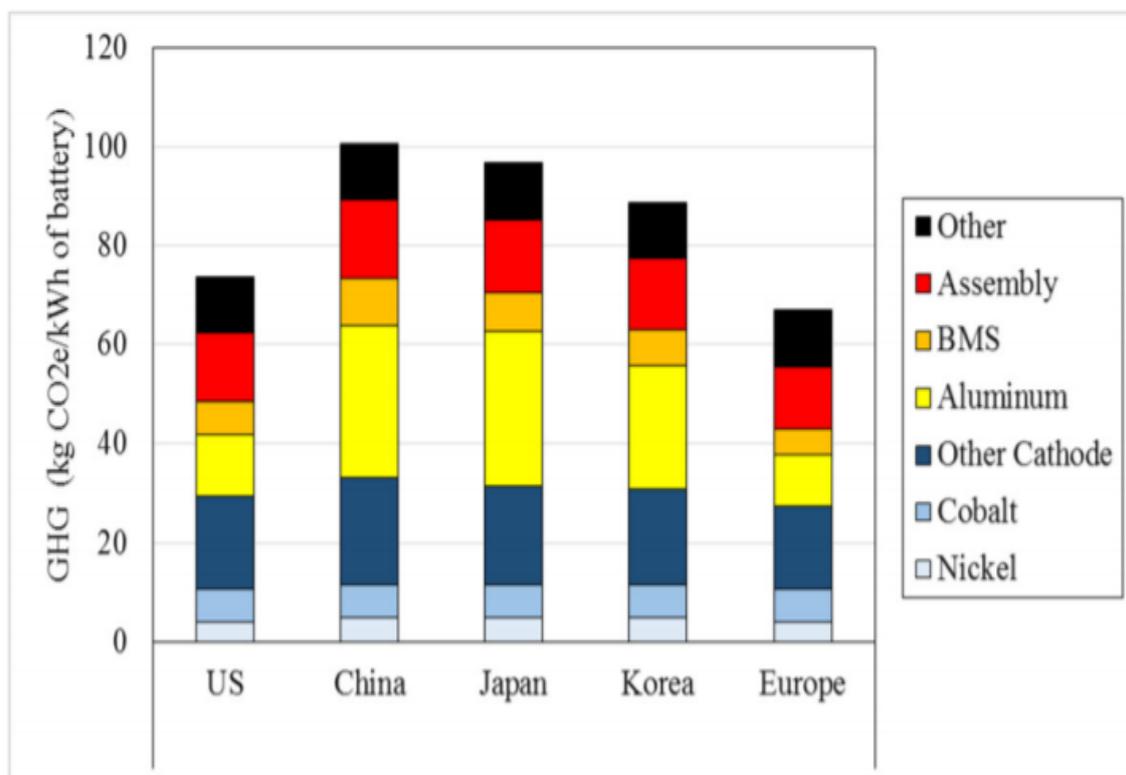
Nel “*Best Case*” vengono utilizzate materie prime estratte e raffinate in maniera sostenibile, ad esempio in questo caso il nichel proviene dal Canada e l’energia elettrica utilizzata durante le fasi di lavorazione proviene da fonti rinnovabili come impianti fotovoltaici o eolici che limitano anche il consumo idrico, portando ad emissioni molto contenute e ad un utilizzo minimale di acqua. Nel modello “*GREET2018 Baseline*” vediamo maggiori emissioni di CO₂ rispetto al “*Best Case*” ed è anche quello che si contraddistingue per il maggiore consumo idrico. Il “*GREET2018 Baseline*”, che in base allo studio riportato dovrebbe essere il modello da seguire, è stato sviluppato in base alle linee guida negli Stati Uniti in materia di sostenibilità e produzione di batterie agli ioni di litio per EVs. Il terzultimo caso, il “*Dominant Supply Chain*”, rappresenta il risultato della media di emissioni e consumo d’acqua della

produzione mondiale di batterie NMC-111, data la predominanza sinica nel settore il “*Dominant Supply Chain*” si basa in gran parte sulle batterie prodotte in Cina. E infine ci sta il caso peggiore, il “*Worst Uase*” che utilizza nichel e alluminio prodotti e raffinati rispettivamente in Russia e in Cina e che attinge a fonti di energia non rinnovabili ed elettricità proveniente da centrali alimentate a carburanti fossili, ovviamente questo è lo scenario da evitare⁷⁷.

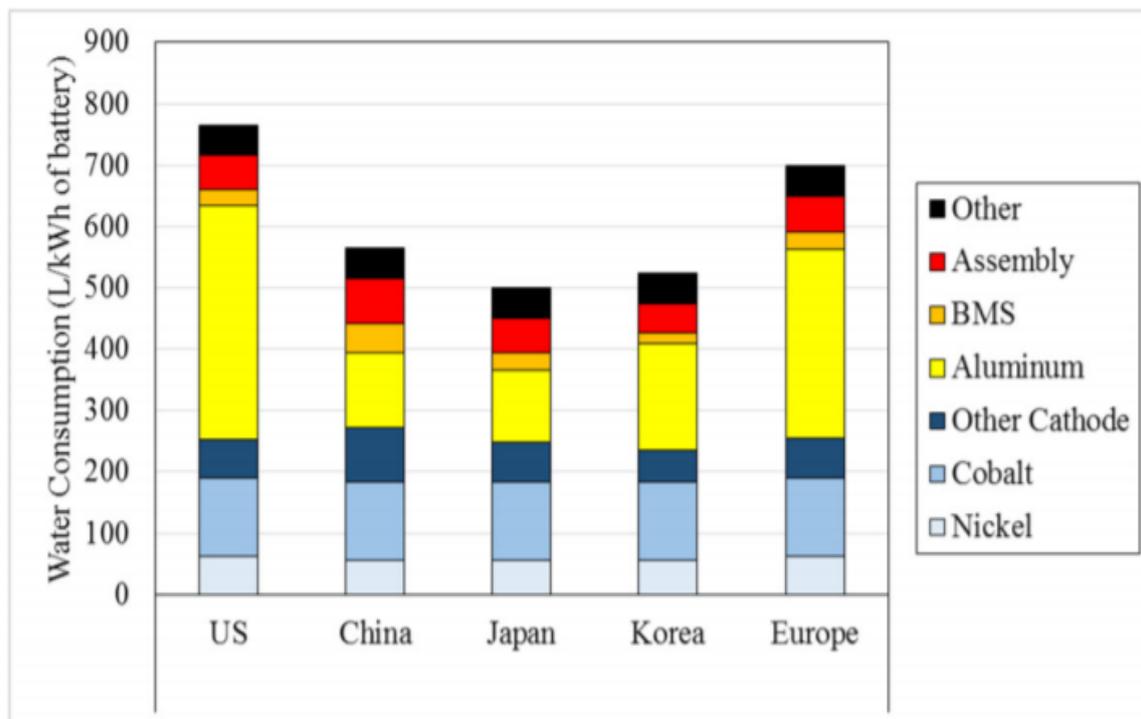
Analizzati i casi “tipo” nei seguenti grafici è possibile osservare l’impatto ambientale che ha la fabbricazione di una batteria agli ioni di litio NMC111 da 27 kWh nei maggiori paesi produttori. Ovviamente sempre in base al modello GREET che si discosta, per metodi di calcolo dell’impronta ambientale, dal modello PEF adottato nell’Unione Europea.

Figura 9

GHG emissions associated with NMC111 LIB production in five countries, (Kelly et al., 2020, p.11).



⁷⁷ Kelly et al., Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 371–396 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>



Come è possibile vedere dalle figure 9 e 10 i Paesi Membri con gli standard imposti dall'Unione sono quelli che inquinano di meno in materia di emissioni di CO₂, grazie all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile e a basse emissioni. Infatti, secondo lo studio dell'Argonne National Laboratory, mentre la produzione di una batteria LIB NMC-111 da 27 kWh in Europa produce una media di 65 kg CO₂e/kWh, la produzione della medesima batteria in Cina produce ben 100 kg CO₂e/kWh. Secondo il modello GREET, le prime fasi di vita di una batteria cinese inquinano il 35% in più rispetto a quelle di una batteria prodotta nell'Unione Europea. Tuttavia, l'utilizzo di energia "green", come quella idroelettrica, porta L'Unione Europea ad essere anche la seconda per consumo idrico⁷⁸.

2.2.3. Fase di utilizzo

Dopo che la batteria è stata prodotta è pronta per la fase di utilizzo; ovvero, quel momento della vita di una batteria durante la quale si ha l'applicazione di essa, durante la fase di utilizzo l'usura del caricatore, della batteria e fenomeni fisici (effetto Joule, efficienza della termodinamica) portano ad una progressiva perdita di performance della batteria andando così a compromettere l'efficienza del dispositivo, creando uno scarto tra energia iniziale prodotta ed energia erogata dalla batteria incidendo così sul calcolo della PEF. Questo perché servirà la stessa quantità di energia elettrica per caricare una LIB che ormai però ha prestazioni assai ridotte. Il consumo di energia durante la fase di utilizzo della

⁷⁸ Kelly et al., Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 371–396 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>

batteria è definito dalle perdite di energia legate alla diminuzione di efficienza della batteria e del caricabatterie durante la carica, la scarica e lo stoccaggio. L'energia totale trasmessa dalla batteria al dispositivo durante l'applicazione deve essere presa in considerazione dal fornitore, per definire la PEF. Per il calcolo dell'impatto ambientale di una batteria ricaricabile durante la sua fase di utilizzo è necessario conoscere il valore dell'Unità Funzionale (UF)⁷⁹. In generale considerata l'unità di riferimento nello studio, che “definisce qualitativamente e quantitativamente

la o le funzioni e la durata del prodotto allo studio. [...]. L'unità funzionale deve essere definita in base ai seguenti aspetti:

- funzioni o servizi forniti: "cosa"
- portata della funzione o del servizio: "quanto"
- livello di qualità atteso: "quale livello di qualità"
- durata/vita del prodotto: "per quanto tempo"

(Zampori et al., 2019, p.35).

Nel nostro caso l'Unità Funzionale indica l'energia totale media erogata in un'ora nel corso della vita utile della batteria. E in base agli aspetti sopracitati essa viene definita nel seguente modo:

Tabella 1

Key aspects of the Functional Unit, (Zampori et al., 2019, p.29).

<i>What?</i>	Electrical energy, measured in Wh or kWh (current and voltage during a unit of time).
<i>How much?</i>	1 kWh of the total energy delivered over service life (quantity of Wh, obtained from the number of cycles multiplied by the amount of delivered energy over each cycle).
<i>How well?</i>	Maximum specific energy (measured in Wh/kg). Specific product standards and technical properties of the high specific energy rechargeable batteries PEF shall be declared in the PEF documentation
<i>How long?</i>	The amount of cumulative energy delivered over service life of the high specific energy rechargeable batteries (quantity of Wh, obtained from the number of cycles multiplied by the amount of delivered energy over each cycle). The time required to deliver this total energy is not a significant parameter of the service.

Per lo studio sulle batterie ricaricabili per EVs l'Unità Funzionale è espressa in 1 kWh.

L'energia totale erogata in media da una batteria agli ioni di litio per veicoli elettrici si calcola con la seguente formula:

⁷⁹ *PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications* (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

Equazione 1

Energia totale erogata, (Zampori et al., 2019, p.29).

$$QUa = Edc \times Nc \times Acc$$

Secondo gli standard della International Electrochemical Commission, nei test effettuati, l'energia totale erogata di una batteria per veicoli elettrici dovrebbe essere di 8000kWh. Nella formula Edc (energy delivered per cycle) indica l'energia consumata per ogni ciclo (kWh/cycle); Nc (number cycle) indica il numero dei cicli effettivi, generalmente il numero minimo di cicli richiesti nei test è 400; Acc (average capacity per cycle) capacità media per ciclo, che si aggira intorno all'80% dell'energia iniziale, i test sulle batterie si interrompono quando l'energia erogata arriva ad una soglia del 60% rispetto all'energia iniziale. Una volta che si è scesi sotto la soglia del 60% le batterie per EVs divengono poco efficienti e perciò o continuano ad essere impiegate per mansioni che richiedono una minore quantità di energia erogata oppure vengono riciclate⁸⁰.

Conoscere la quantità totale di energia erogata da una singola batteria ricaricabile ci permette di calcolare il cosiddetto Flusso di riferimento, ovvero “la quantità di prodotto necessaria a fornire la funzione definita” (Zampori et al., 2019, p.35). Nel caso che stiamo analizzando il flusso di riferimento è costituito dai Kg di batteria necessari per ottenere 1 kWh. Nella seguente tabella è possibile analizzare le caratteristiche standard di una batteria Li-ion “tipo”:

Tabella 2

Foglio Excel “BENCHMARK” allegato al PEFCR, (PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications, 2020).

e-mobility Li-ion	Valore	Unità
Batterie	225	Kg
Quantità di celle	250	number
Energia totale erogata durante la fase di utilizzo (QUa)	8000	kWh
Flusso di riferimento	0,028	kg/kWh

È importante soffermarci su queste specifiche tecniche in quanto il peso della batteria è uno dei fattori che più influisce sul calcolo dell'impronta ambientale. Questo perché una batteria più pesante non solo avrà una densità energetica minore ma inoltre comporterà un maggior consumo di elettricità per far muovere il veicolo e necessiterà di una quantità maggiore di componenti elettriche e di materie prime per la sua produzione.

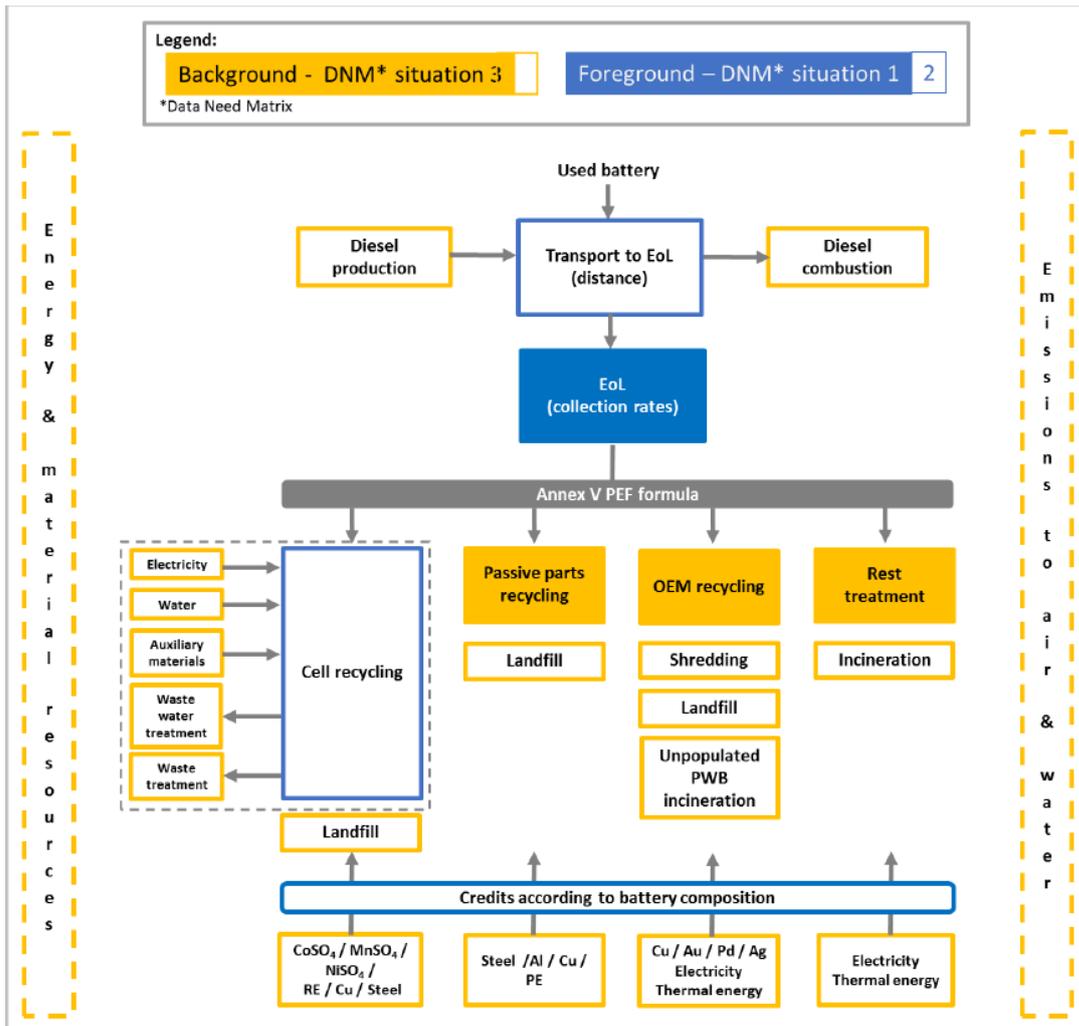
⁸⁰ PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

2.2.4. Fase di fine vita

Quando la batteria cessa di essere utile inizia la fase di fine vita, che vede lo smontaggio delle componenti della LIB, le quali se possibile vengono riciclate, oppure vengono smaltite in modo da avere il minor impatto ambientale possibile⁸¹. Nella seguente immagine è possibile osservare i processi che scandiscono la fase finale della vita delle batterie agli ioni di litio:

Figura 11

Dismantling and recycling processes, (PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications, 2020, p.38).



I vari processi che caratterizzano la fase di fine vita di una batteria ricaricabile verranno analizzati in maniera più approfondita nel capitolo successivo.

⁸¹ PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications (Version: 1.1). (2020). Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.

2.3. Impatto sulle varie categorie ambientali

Dopo aver elencato e descritto dettagliatamente quali sono i processi che scandiscono la vita di una batteria per EVs, nella seguente tabella è possibile analizzare quanto tali processi impattino sull'ambiente:

Tabella 3

Most relevant life cycle stages, (PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications, 2020, p.43).

e-mobility Li-ion battery					
Impact category	Raw Material acquisition	Production of the main product	Product distribution	Use stage	End-of-Life
Climate Change (fossil) [kg CO ₂ eq.]	45%	26%	0%	17%	12%
Resource use, energy carriers [MJ]	43%	29%	0%	18%	10%
Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]	65%	1%	0%	0%	34%
Respiratory inorganics [kg PM _{2.5} eq.]	66%	13%	0%	6%	41%

Come si evince dalla tabella la fase di utilizzo complessivamente ha un impatto ambientale minore rispetto alle altre, soprattutto se si guardano le prime due fasi di acquisizione delle materie prime e produzione delle componenti principali⁸², anche perché se l'energia elettrica utilizzata per alimentare la batteria durante la sua fase di vita utile provenisse da fonti green il suo impatto sarebbe minimale. È stato stimato che le emissioni di CO₂ di un veicolo elettrico in Svezia, dove gran parte dell'elettricità proviene da centrali nucleari e idroelettriche, è di 9 gCO₂ /km, mentre lo stesso veicolo in Lettonia, paese in cui l'elettricità proviene da centrali termoelettriche a carbone, è di 234 gCO₂ /km.⁸³

Analizzato l'impatto ambientale di ogni fase di vita la seguente tabella mostra l'impatto totale del ciclo di vita una batteria agli ioni di litio utilizzata per le autovetture elettriche sulle diverse categorie ambientali:

⁸² Vito, Fraunhofer & Viegand Maagøe. (2019). *Annex Analysis of available relevant performance standards&methods in relation to Ecodesign Regulation for batteries and identification of gaps.* (TASK 1 Scope). Publications Office of the European Union. https://ecodesignbatteries.eu/sites/ecodesignbatteries.eu/files/attachments/ED_Battery_Annex_Standards_V11_0.pdf.

⁸³ European Environment Agency. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* (No 13/2018). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi:10.2800/77428>.

Tabella 4

Most relevant impact categories, (PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications, 2020, p.42)

Impact category	Contribution to the total impact e-mobility Li-ion
Acidification terrestrial and freshwater	2%
Climate Change (biogenic)	0%
Climate Change (fossil)	32%
Climate Change (land use change)	0%
Eutrophication freshwater	0%
Eutrophication marine	1%
Eutrophication terrestrial	2%
Ionising radiation - human health	3%
Land Use	0%
Ozone depletion	0%
Photochemical ozone formation - human health	3%
Resource use, energy carriers	26%
Resource use, mineral and metals	20%
Respiratory inorganics	8%
Water scarcity	2%

In entrambe le tabelle le categorie evidenziate sono quelle caratterizzate da un impatto ambientale più intenso.

Secondo il rapporto RSE le emissioni di carbonio su kWh di una batteria possono variare dai 50 ai a 313 g CO₂ eq/kWh, tale intervallo è dovuto alla pluralità di tipologie di batterie e alla vasta differenziazione della produzione di esse⁸⁴.

Il ciclo di vita di una batteria agli ioni di litio come è stato scritto è complesso, caratterizzato da numerose fasi sulle quali non è sempre possibile applicare un controllo a trecentosessanta gradi e che quindi a volte potrebbero peccare di trasparenza. Tuttavia, nonostante un controllo assoluto sul LCA sia molto complicato è possibile intervenire in maniera mirata su alcuni processi cruciali che riguardano la fabbricazione della batteria per far sì che l'impronta ambientale abbia il minore impatto possibile. Per la fase dell'approvvigionamento delle materie prime l'utilizzo di materiali riciclati porterebbe ad un taglio netto delle emissioni di carbonio, senza contare poi che utilizzare materiali riciclati non arrecherebbe nessun danno alle popolazioni e agli ecosistemi dove generalmente vengono estratte. Anche l'utilizzo di fonti di

⁸⁴ Temporelli, A., Carvalho, M. L., & Girardi, P. (2020). Life Cycle Assessment of Electric Vehicle Batteries: An Overview of Recent Literature. *Energies*, 13(11), 2864. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13112864>.

energia rinnovabili, sia durante la fase di produzione che di utilizzo, al posto delle centrali termoelettriche porterebbe ad una drastica diminuzione delle emissioni di CO₂.

2.4. La posizione dell'Unione Europea

In linea all'articolo 73 della proposta di regolamento COM(2020) 798 final, tramite atti delegati la commissione imporrà l'obbligo di dichiarazione dell'impronta di carbonio partire dal primo luglio del 2024. Le modalità di calcolo di questa categoria ambientale, che più di tutte impatta sul cambiamento climatico verranno stabilite entro il primo luglio del 2023. Inoltre, nella proposta viene dichiarato che entro il primo luglio del 2027 verrà anche stabilita la soglia massima dell'impronta di carbonio che una batteria agli ioni di litio per veicoli elettrici con una capacità superiore ai 2 kWh dovrà rispettare⁸⁵.

Tuttavia, su modalità e tempi, come emerge dalla discussione fatta in seno al Consiglio Europeo "Sono state espresse opinioni diverse sulle prescrizioni relative all'impronta di carbonio (articolo 7, allegato II) e sulla tempistica proposta. Mentre alcuni Stati Membri hanno espresso il loro sostegno all'approccio proposto dalla Commissione, diversi Stati Membri hanno espresso preoccupazioni in merito all'impatto sull'industria e si sono dichiarati a favore di periodi più lunghi per l'adeguamento alle prescrizioni, in modo da accordare tempo sufficiente dopo l'adozione della metodologia di calcolo" (Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/1020, 2021, p.11)⁸⁶. Perciò la questione risulta ancora spinosa nonostante il parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «*Requisiti di sostenibilità per le batterie nell'UE*» spinga per affrettare i tempi per fissare una soglia massima di emissioni di carbonio durante la produzione di batterie ricaricabili per EVs e per stabilire metodi efficienti e rapidi di valutazione e controllo di tale soglia, criticando la scelta di stabilire la soglia massima entro il primo luglio del 2027, in quanto tale data viene considerata troppo tardiva. Il CESE preme in particolar modo sulla tempestività di tali azioni non solo perché la situazione climatica continua ad aggravarsi con il passare del tempo davanti al tergiversare dei Paesi Membri, ma anche perché più passa il tempo più l'Unione vede il consolidarsi della propria dipendenza tecnologica, energetica ed industriale da paesi terzi⁸⁷, allontanando il consolidamento di una Green Economy efficiente e la possibilità di avere un ruolo di leader nel settore delle LIBs.

⁸⁵ COM(2020) 798 final, 10 dicembre 2020.

⁸⁶ Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/1020, Relazione sullo stato di avanzamento dei lavori n. 9052/1/21 (2021) (Unione Europea). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CONSIL:ST_9052_2021_REV_1&from=EN.

⁸⁷ "Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «*Requisiti di sostenibilità per le batterie nell'UE*», OJ N. 220/128, 9.6.2021.

Capitolo 3

FASE DI FINE VITA

Sommario: 3.1. *Processi che precedono il riciclo; 3.1.1. Raccolta dall'utilizzatore finale; 3.1.2. Riutilizzo della batteria; 3.1.3. Rigenerazione delle componenti di una batteria; 3.2. Riciclo e smaltimento; 3.2.1 Smaltimento; 3.3. Costi del riciclo; 3.4. L'Unione Europea.*

3.1. Processi che precedono il riciclo

In questo capitolo vengono descritti i processi che caratterizzano la fase di fine vita (EOL, End of Life) di una batteria agli ioni di litio per EVs.

Innanzitutto, è opportuno porre l'accento sui benefit economici, sociali ed ambientali che potrebbero derivare da un corretto trattamento del dispositivo esausto. Economici, perché, il recupero di materiali critici dalle batterie esauste permetterebbe di diminuire la dipendenza dell'unione Europea dai paesi estrattori e raffinatori che esportano le materie prime utili per la fabbricazione delle batterie. Sociali, perché il calo della domanda di materie prime dalle miniere, teoricamente, dovrebbe portare ad una diminuzione dello sfruttamento dei lavoratori che operano nella catena di approvvigionamento; oltretutto, nel territorio comunitario grazie alla costruzione di impianti di riciclaggio, smaltimento e rigenerazione delle componenti delle batterie verranno a nascere anche nuovi posti di lavoro portando a benefici socio-economici non indifferenti, infatti “Secondo lo studio del CEPS lo sviluppo delle attività di raccolta e riciclaggio delle batterie avrà un impatto sulla creazione di occupazione diretta e indiretta: circa 850 posti di lavoro con un tasso di riciclaggio del 55 % e 5 500 posti di lavoro con un tasso del 75 %.” (Unione Europea, Parlamento Europeo, p.4)⁸⁸. Infine, i vantaggi ambientali, il riutilizzo delle batterie, i processi di riciclo, la rigenerazione delle componenti e delle materie prime utilizzate nelle batterie hanno impatti ambientali di gran lunga minori rispetto a quelli di estrazione e raffinazione.

Purtroppo, gli studi, le ricerche e la letteratura in generale relativi al trattamento delle batterie durante la fase EOL sono limitati se non quasi inesistenti. Nonostante questo ostacolo nel seguente capitolo si cercherà di analizzare nel modo più esaustivo possibile tutti i processi che accompagnano la batteria dalla separazione di essa dal veicolo fino al riciclo e allo smaltimento dei materiali che la compongono⁸⁹.

La EOL si differenzia dalle altre fasi del ciclo di vita di una batteria agli ioni di litio perché lo scopo non è solo quello di minimizzare gli impatti negativi dei processi che la compongono, ma anche minimizzare gli impatti negativi dei processi che caratterizzano le altre fasi (estrazione e raffinazione

⁸⁸ “Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Requisiti di sostenibilità per le batterie nell'UE», OJ N. 220/128, 9.6.2021.

⁸⁹ Melin, E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review*. The Swedish Energy Agency. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf>.

delle materie prime, fabbricazione, ecc.). Le materie prime riciclate possono parzialmente sostituire le materie prime vergini.

Parlando di fase di fine vita di una batteria agli ioni di litio per veicoli elettrici è facile incappare nell'errore di prendere in esame solamente il processo di riciclo e smaltimento della batteria. Un corretto utilizzo della batteria dopo che viene smontata dal veicolo non decreta la sua morte ma bensì l'inizio di un nuovo ciclo durante il quale essa viene impiegata in maniera differente da quella per cui era stata fabbricata; la questione è molto più articolata e complessa di come può inizialmente apparire e il riciclo e lo smaltimento sono solo due degli ultimi step che caratterizzano la EOL.⁹⁰

3.1.1. Raccolta dall'utilizzatore finale

A monte del processo, prima di ogni intervento sulla batteria, vi è la fase di raccolta. Ovvero il momento in cui il consumatore rimette la batteria, ormai non più utilizzabile, nelle mani dei centri di raccolta. La responsabilità della raccolta delle batterie esauste ricadrà, almeno nell'Unione Europea, sulle case di produzione; le quali dovranno assicurare la massima chiarezza al consumatore sul come smaltire le batterie che hanno terminato la propria fase di utilizzo.

3.1.2. Riutilizzo della batteria

Una volta raccolta la batteria, come già è stato detto, essa non viene subito smontata, riciclata e smaltita. Generalmente una batteria agli ioni di litio per EVs anche se non è più in grado di erogare una quantità di energia sufficiente a trainare una macchina può essere riutilizzata per compiti o mansioni meno onerose che richiedono una minore potenza (generalmente vengono smontate quando hanno ancora una potenza residua tra il 70-80% di quella iniziale). Nella sua seconda vita la batteria può essere utilizzata ad esempio come batteria nei sistemi di stoccaggio energetici fino al suo completo esaurimento⁹¹. Tale fase rappresenta un guadagno economico sia per il produttore che per il consumatore; come afferma Joe Romm su ThinkReport “se le batterie usate hanno un valore, allora i produttori possono caricare meno il costo per le loro auto, perché possono fare la differenza rivendendo la batteria in seguito, rendendole ancora più convenienti”. Agendo in questo modo si riuscirebbe ad allungare la vita di una batteria di 5/10 anni aggiungendo al guadagno economico anche quello ambientale. Un esempio prestigioso è l'accordo tra la Nissan e la Johan Crujff Arena (ex Amsterdam

⁹⁰ European Environment Agency. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* (No 13/2018). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi:10.2800/77428>.

⁹¹ European Environment Agency. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* (No 13/2018). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi:10.2800/77428>.

Arena), in base al quale le batterie delle Nissan Leaf che saranno inutilizzabili per la trazione dei veicoli verranno utilizzate come accumulatori stazionari di supporto per le luci dello stadio⁹². Anche in Cina il governo si è già mobilitato per dare una seconda vita alle batterie agli ioni di litio; tramite un accordo, firmato dalle le sedici più grandi aziende produttrici di batterie per EVs e l'operatore nazionale di torri di telecomunicazioni, le batterie ormai troppo usurate per trainare un veicolo verranno utilizzate come alimentazione di backup per le torri. Fino al 2019 sono state utilizzate ben 10.000t di batterie che hanno fornito una quantità di potenza di 800 MWh, pari al 2% del fabbisogno totale. Considerando che il numero totale di stazioni è di 1,9 milioni con un fabbisogno di 100KWh cadauna la Cina sembra già essere pronta a prevalere anche nel settore del riutilizzo delle batterie⁹³.

3.1.3. Rigenerazione delle componenti di una batteria

Uno degli ultimi processi che antecede il riciclo è la rigenerazione. Procedimento ancora non molto diffuso che aiuterebbe a snellire i processi di riciclo e smaltimento permettendo un minore uso di risorse ed energia. Questa fase consiste nel “ritorno dei materiali catodici e anodici attivi al loro stato originale per il riutilizzo in nuove celle della batteria agli ioni di litio” (Ramoni e Zhang, 2012; Hailey e Kepler, 2015; Gaustad, 2018) il tutto permetterebbe la creazione di “un circuito chiuso in cui i materiali di alto valore vengono rigenerati in nuove batterie, mentre i materiali rimanenti vengono immessi in flussi di riciclaggio” (Gaustad, 2018)⁹⁴.

Riutilizzo e rigenerazione sono passaggi che permetterebbero una circolarità ottimale delle batterie agli ioni di litio per veicoli elettrici, assicurando lo sfruttamento massimo della batteria fino alla sua definitiva morte e la minimizzazione degli scarti delle batterie. Tali prassi assicurerebbero il più alto grado di sostenibilità ambientale ed economica, portando al funzionamento di un'economia circolare a pieno regime dove i materiali e le materie prime necessarie per la fabbricazione delle batterie proverrebbero dalle batterie stesse. Permettendo così di attenuare la dipendenza da paesi terzi esterni all'Unione Europea artefici di pratiche ecologicamente e socialmente dannose nei processi di estrazione e lavorazione delle materie prime.

⁹² Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254.

www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

⁹³ Melin, E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review*. The Swedish Energy Agency. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf>.

⁹⁴ European Environment Agency. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* (No 13/2018). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi:10.2800/77428>.

3.2. Riciclo e smaltimento

Il trattamento industriale tramite il quale le componenti catodiche delle batterie vengono riciclate si articola in tre fasi:

- La fase di pretrattamento, durante la quale la batteria viene scaricata in maniera definitiva rendendola completamente inutilizzabile ma anche innocua durante la lavorazione. Il riciclo delle componenti inizia già dalla prima fase, infatti dopo aver messo in sicurezza la batteria, essa inizia ad esser smontata e i materiali da/di/con cui è composta la *case* come ferro, alluminio o rame vengono recuperati e riciclati⁹⁵.

- La seconda fase è caratterizzata dall'estrazione dei metalli. Durante tale fase si ha la trasformazione dei metalli utilizzati nella batteria esausta in materie prime ex-novo pronte ad essere riutilizzate. Il procedimento metallurgico che permette tale trasformazione è la causa della maggior parte delle emissioni di carbonio e consumo idrico di tutta la EOL di una LIB. Ovviamente il guadagno ambientale pende sempre verso il riciclo, il quale ha comunque un impatto inferiore rispetto all'estrazione e alla raffinazione delle materie prime. L'inquinamento della EOL può variare a seconda della tecnica metallurgica utilizzata per trattare i metalli da riciclare, generalmente i trattamenti più utilizzati sono quelli pirometallurgici e idrometallurgici, spesso i due vengono utilizzati assieme⁹⁶.

Oltre ad essere il procedimento più inquinante⁹⁷ la pirometallurgia è anche il più dispendioso dati gli elevati costi strutturali dovuti agli impianti di aereazione per lo smaltimento dei gas tossici prodotti durante il trattamento. Un ulteriore svantaggio di tale trattamento è dato dal fatto che la lavorazione pirometallurgica rende irrecuperabili molte componenti e molti materiali della batteria come alluminio, grafite o litio che a causa delle elevate temperature divengono scorie o gas. Infatti, con una temperatura che si aggira intorno ai 1500 °C i materiali catodici vengono fusi in un'unica lega di metalli preziosi. Tale lega viene poi scomposta dei metalli da recuperare tramite un trattamento idrometallurgico.⁹⁸

⁹⁵ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

⁹⁶ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

⁹⁷ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

⁹⁸ Beaudet et al., (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su12145837>.

Nonostante richieda ingenti quantità d'acqua per il recupero dei materiali il, trattamento idrometallurgico è molto meno inquinante rispetto a quello pirometallurgico; inoltre, l'idrometallurgia permette anche di recuperare il litio più facilmente.⁹⁹

Oltre ai trattamenti appena illustrati per recuperare i materiali catodici dalla batteria esausta è possibile ricorrere al riciclaggio diretto. Una tecnica di lavorazione del catodo della batteria che grazie ad una serie di interventi meccanici, termici chimici ed elettrochimici riesce a ripristinare le proprietà iniziali del catodo senza decomporlo, tale tecnica è ancora in fase di sviluppo.¹⁰⁰

Nella seguente tabella è possibile analizzare la comparazione tra i tre diversi tipi di trattamento:

Figura 12

Comparison of different LiB recycling methods, (Harper et al., 2019, p.83).

Comparison of different LiB recycling methods Best Worst

	Technology readiness	Complexity	Quality of recovered material	Quantity of recovered material	Waste generation	Energy usage	Capital cost	Production cost
Pyrometallurgy	*****	*****	*	***	**	*	*	*****
Hydrometallurgy	****	***	***	****	***	***	***	***
Direct recycling	**	*	**	*****	****	***	***	*

	Presorting of batteries required	Cathode morphology preserved	Material suitable for direct re-use	Cobalt recovered	Nickel recovered	Copper recovered	Manganese recovered	Aluminium recovered	Lithium recovered
Pyrometallurgy	*****	No	No	*****	*****	*****	**	No	*
Hydrometallurgy	****	No	No	*****	*****	****	***	*****	***
Direct recycling	*	*****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Esiste anche una terza tipologia di trattamento metallurgico, ovvero quello biometallurgico¹⁰¹, che grazie all'utilizzo di processi microbici permetterebbe il recupero delle materie prime garantendo un elevato grado di efficienza energetica ed un impatto ambientale minimo; tuttavia, tale tipologia è ancora poco utilizzata e in fase di sperimentazione

- La terza e ultima fase è quella di “*produzione dei prodotti*”. Questa fase vede i metalli estratti dal processo metallurgico essere rimpiegati in nuovi prodotti, garantendo così il funzionamento di un sistema economico circolare, alla base dello sviluppo della Green Economy¹⁰².

Nella seguente immagine è possibile osservare i processi appena descritti:

⁹⁹ Beaudet et al., (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su12145837>.

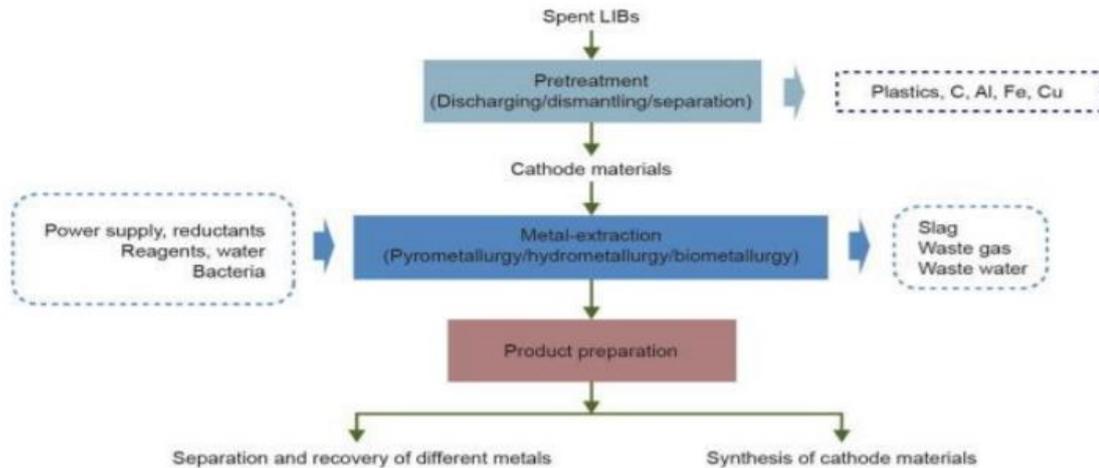
¹⁰⁰ Beaudet et al., (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su12145837>.

¹⁰¹ Enciclopedia Treccani Online, s.v. “Biometallurgia”, <https://treccani.it/enciclopedia/biometallurgia/>.

¹⁰² Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

Figura 13

Fasi di trattamento per il riciclo delle batterie esauste, (Cutaia et al.,2018, p.68).



3.2.1. Smaltimento

Una volta che tutti i materiali recuperabili sono stati riciclati ciò che rimane della batteria sono solo componenti che non possono essere riutilizzate e gli scarti dei processi industriali. Sali di sodio, residui ferrosi e acque reflue sono solo alcune delle scorie prodotte durante il ciclo finale di una batteria agli ioni di litio, affinché queste sostanze non nuocciano alla salute umana o all'ambiente è necessario che esse siano smaltite in totale sicurezza e trasparenza. Per il trattamento dei rifiuti si auspica che in futuro se ne possano occupare macchinari automatizzati, in modo da estromettere l'uomo da compiti altamente dannosi per la sua salute. Invece, per quanto riguarda lo smaltimento vero e proprio ad oggi purtroppo il metodo più accreditato è anche il più inquinante per l'atmosfera in quanto prevede l'incenerimento dei rifiuti.¹⁰³

3.3. Costi economici del riciclo

La questione riguardante la convenienza economica del riciclo è molto controversa. Come emerge dalle parole di Francisco Carranza, responsabile di energy service Nissan, il semplice riciclo delle batterie (senza la fase di riutilizzo e rigenerazione) è un procedimento antieconomico, il quale da solo, non riuscirebbe neanche ad ammortizzare i costi di costruzione degli impianti di riciclaggio. Nonostante tali parole, però, nel 2018 i dati di Bloomberg New Finance mostrano che la percentuale di batterie riutilizzate è solo del 27%.¹⁰⁴

Riciclare diviene conveniente qualora nelle batterie sia presente una quantità elevata di cobalto, almeno di 270 Kg recuperabili, la cui vendita, 30 dollari al Kg, può far fronte ai costi di riciclo che nel 2018 oscillavano tra i 900€ e i 1800€. L'Unione Europea mira a far scendere tali costi almeno fino a 300€, tuttavia, qualora le

¹⁰³ Buchert, Matthias, et al. Ökobilanz zum „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien“ (LithoRec). Bundesministerium für Umwelt, ott. 2011. Endbericht. www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1500/2011-068-de.pdf.

¹⁰⁴ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. ENEA, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

quantità di cobalto scendessero a livelli troppo bassi o addirittura qualora il metallo venisse rimpiazzato nella composizione catodica della batteria, tutto il processo diverrebbe antieconomico.¹⁰⁵

Il riciclo risulta antieconomico a causa dei lunghi e costosi processi metallurgici necessari per garantire un livello di purezza ottimale dei metalli lavorati. Per essere riutilizzato in una LIB il litio recuperato dovrebbe avere una purezza superiore al 99.5%, tale grado di purezza richiede processi di lavorazione molto onerosi e spesso conviene più estrarre direttamente la materia prima che riciclarla, secondo gli studi di Hans Eric Melin riciclare il litio a volte costa il triplo rispetto all'estrazione¹⁰⁶. Si pensi che nel 2018 solo il 3% del litio veniva riciclato e che quello proveniente dalle batterie era una parte infinitesimale, questo perché durante i processi metallurgici di riciclo, soprattutto quelli pirometallurgici, la lavorazione ne deteriora la purezza trasformandolo in scoria.¹⁰⁷

La situazione sembra abbastanza paradossale per il riciclo dei materiali catodici. Come si è appena scritto la lavorazione del litio necessita di nuove tecnologie, meno dispendiose, che ne permettano il riciclo ad un grado di purezza ottimale. Mentre, la presenza del cobalto, la cui catena di approvvigionamento è causa di numerosi problemi sociali, economici e ambientali, risulta essere essenziale quando si parla di riciclo; infatti, è prevalentemente grazie al suo elevato costo di rivendita e alla relativa facilità di lavorazione il motivo per cui il processo di riciclaggio diviene vantaggioso¹⁰⁸. Si stima che nel 2030 la quantità di cobalto riciclato in Europa potrebbe oscillare tra le 5000 e le 8500 tonnellate, riuscendo a soddisfare tra il 10% e il 15% della domanda Europea. Tali stime sono state fatte in un periodo antecedente alla realizzazione del Green Deal e di tutte quelle iniziative dell'Unione Europea volte a rendere i Paesi Membri più indipendenti riguardo all'approvvigionamento queste di materie prime critiche; tuttavia, nonostante si punti ad un sistema di riciclo che riesca a soddisfare maggiormente il fabbisogno europeo, resta indubbio il fatto che l'UE rimarrà in parte sempre legata economicamente ai paesi estrattori. Perciò è altrettanto essenziale che i Paesi Membri stipolino accordi commerciali per l'approvvigionamento di cobalto con stati rispettosi dei diritti umani e delle norme ambientali, come il Canada o l'Australia¹⁰⁹.

¹⁰⁵ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

¹⁰⁶ Melin, E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review*. The Swedish Energy Agency. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf>.

¹⁰⁷ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

¹⁰⁸ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

¹⁰⁹ Alves Dias P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N., *Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility*, EUR 29381 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-94311-9, doi:10.2760/97710, JRC112285.

La situazione è diversa invece per tutte quelle componenti che vengono riciclate durante la fase di pretrattamento; infatti, i materiali recuperati durante tale fase portano ad un guadagno netto. Una tonnellata di alluminio riciclato richiede all'incirca una quantità di energia venti volte inferiore rispetto ad una tonnellata di alluminio primario. Perciò oltre a risparmiare soldi sui processi lavorativi si dà anche un taglio netto alle emissioni di gas serra e al consumo idrico.

Come vedremo nel caso studio che verrà analizzato nel seguente capitolo, il riciclo di batterie prive di cobalto però non risulta sempre antieconomico, soprattutto se l'impresa insieme ai costi economici include anche quelli sociali ed ambientali.

3.4. L'unione europea

La strada che l'Unione Europea deve percorrere per raggiungere gli obiettivi proposti dal Green Deal e dai vari progetti comunitari che prevedono il funzionamento di un'economia circolare a pieno regime è tanta. In particolar modo, l'obiettivo di divenire leader mondiale nel settore del riciclo delle batterie agli ioni di litio si va a scontrare con la dura realtà dei fatti che ancora una volta vede la Cina prevalere su tutti. Il gigante orientale riesce a riciclare più batterie al litio da solo che tutti gli altri paesi messi insieme¹¹⁰. Utilizzando principalmente trattamenti idrometallurgici per la lavorazione delle componenti catodiche il guadagno del riciclo cinese proviene dal recupero di prodotti chimici derivati come solfato di cobalto, solfato di nichel e dal recupero delle materie prime che vengono riutilizzate per la produzione di batterie agli ioni di litio NMC e NCA. Contrariamente agli altri paesi la Cina con le sue trenta aziende che operano nel settore, riesce a ricavare guadagno dal riciclo di qualsiasi tipologia di batteria, anche dalle LFP che sono prive di cobalto, tanto che i riciclatori cinesi pagano per ottenere del materiale.¹¹¹

In Europa invece a capitanare il settore del riciclo è la Volkswagen che con il suo impianto a Salzgitter (Germania) è in grado di riciclare fino a 3.600 batterie¹¹². Come affermato da Thomas Tiedje, Responsabile della pianificazione tecnica di Volkswagen Group Components "Il nostro obiettivo è avere un processo circolare in cui oltre il 90% dei componenti di una batteria viene riciclato. Non vogliamo affidare questo compito all'esterno e preferiamo formare i nostri specialisti affinché siano pronti per il futuro"¹¹³.

I paesi dell'Unione Europea quindi rispetto ad altri come Cina e Corea del Sud si trovano in una situazione di svantaggio. La proposta di legge numero 798 fatta in seno alla Commissione Europea propone

¹¹⁰ Caprotti, Alberto. "Auto. La seconda vita delle batterie, un affare non solo ecologico". *Avvenire*, 30 giu. 2020, www.avvenire.it/economici/pagine/la-seconda-vita-delle-batterie-un-affare-non-solo-ecologico. 2021.

¹¹¹ Melin, E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review*. The Swedish Energy Agency. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf>.

¹¹² Caprotti, Alberto. "Auto. La seconda vita delle batterie, un affare non solo ecologico". *Avvenire*, 30 giu. 2020, www.avvenire.it/economici/pagine/la-seconda-vita-delle-batterie-un-affare-non-solo-ecologico.

¹¹³ Redazione ANSA. "Volkswagen, al via riciclo batterie a ioni di litio". ANSA, 3 mar. 2021, www.ansa.it/canale_motori/notizie/eco_mobilita/2021/03/03/volkswagen-al-via-riciclo-batterie-a-ioni-di-litio_e2b28cb7-7df4-4d02-b6a3-371b9ce73d17.html.

una serie di soluzioni che possano portare l'UE ad avere un ruolo di spicco nel settore del riutilizzo e del riciclo delle batterie agli ioni di litio per veicoli elettrici. Tra queste soluzioni vi è quella di estendere la responsabilità della raccolta e del trattamento delle batterie esauste al produttore. Secondo la proposta di legge 798 quindi il produttore dovrà occuparsi di una serie di compiti che vanno “dalla raccolta, al trattamento e al riciclaggio di tutte le batterie raccolte, alla comunicazione di informazioni sulle batterie e sui rifiuti di batterie e alla fornitura agli utilizzatori finali e ai gestori di rifiuti di informazioni sulle batterie e sul riutilizzo e la gestione adeguati dei rifiuti di batterie.” (COM(2020) 798 final, p.22). il produttore, o chi ne fa le veci, non dovrà solo finanziare i servizi elencati ma dovrà anche assicurarne l'effettivo funzionamento.

Le Istituzioni Europee fissano inoltre come obiettivo prioritario, per assicurare un'economia circolare all'avanguardia, il potenziamento dei sistemi di raccolta delle batterie agli ioni di litio non più adatte alla trazione di veicoli. Per incrementare l'azione e la capienza dei centri di raccolta è necessario un corpo di norme armonizzato che li regoli e un alto grado di collaborazione tra il produttore, l'utilizzatore finale, il centro di raccolta e il paese membro dove esso è situato. Per assicurare il pieno rispetto delle norme relative al trattamento dei rifiuti è necessario che i Paesi Membri detengano un registro di informazioni utili al fine di “controllare l'adempimento degli obblighi da parte dei produttori” (COM(2020) 798 finale p.21). Tali registri, supervisionati dalle Istituzioni Europee dovranno garantire il più alto grado di trasparenza e armonia nella gestione dei rifiuti. Per assicurare la realizzazione degli ambiziosi obiettivi della proposta di regolamento e del Green Deal in materia di riciclo è necessario che la rete di raccolta sia organizzata in maniera capillare, che tenga conto della densità della popolazione e del volume previsto di batterie per EVs da raccogliere, con il fine di coinvolgere tutti i distributori e in modo da facilitare il più possibile la raccolta agli operatori e agli utilizzatori finali. La capillarità dei centri di raccolta e lavorazione diviene particolarmente importante dal momento in cui i costi di trasporto influiscono enormemente sui costi complessivi; il riciclaggio interno, ovvero il trattamento delle batterie esauste all'interno del paese membro porterebbe ad una diminuzione dei costi di trasporto di circa il 70% ed anche ad una diminuzione delle emissioni di carbonio¹¹⁴.

I produttori hanno il compito di promuovere e organizzare la raccolta delle batterie, tale servizio sarà gratuito per l'usufruttore finale, il quale sarà libero da qualsiasi responsabilità legata alla batteria e/o vincolo che lo leghi al produttore una volta che questa viene consegnata agli operatori che si occupano della raccolta. L'unico compito che l'utilizzatore finale ha è quello di separare le batterie agli ioni di litio dalle altre tipologie di rifiuti e di portarle presso i centri di raccolta secondo le modalità stabilite dal produttore che ha il compito di facilitare il più possibile questo ultimo passaggio all'utilizzatore finale.

Sulla responsabilità del produttore interviene anche il CESE (Comitato Economico e Sociale Europeo), il quale commentando la proposta di legge COM(2020) 798 final dichiara che è “necessario introdurre una responsabilità del produttore che si concili con lo stimolo alla progettazione ecocompatibile, in particolare

¹¹⁴ Lander, Laura, et al. "Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling". *iScience*, vol. 24, n. 7, lug. 2021, doi:10.1016/j.isci.2021.102787.

incoraggiando una progettazione di batterie che favorisca il retrofit, la rifabbricazione e il reimpiego delle batterie. Tale necessità è legata alla seconda vita delle batterie, che occorre promuovere. [...] Una volta raggiunto il presunto fine vita della batteria o dell'apparecchio su cui questa è montata, spetterà al produttore dimostrare che alla batteria dev'essere attribuito lo status di rifiuto e dovrà farlo eseguendo una valutazione o prove sulla batteria e comprovando con un documento l'impossibilità tecnica — tenuto conto delle tecnologie attuali e delle filiere che potrebbero fungere da sbocco — di reimpiegare la batteria con operazioni di retrofit o di rifabbricazione compatibili con le condizioni del mercato.” (Unione Europea, Parlamento Europeo, p.6)¹¹⁵.

I trattamenti a cui le batterie verranno sottoposte al momento del riciclo e dello smaltimento dovranno rispettare le norme vigenti in materia di rispetto ambientale e sfruttamento del lavoro. A disciplinare gran parte delle attività industriali legate al trattamento dei rifiuti è la direttiva 2010/75/UE. Tuttavia, nel caso ci siano attività legate al trattamento dei rifiuti non previste o non contemplate dalle norme e dalle direttive europee, la proposta di legge delega alla Commissione il potere di adottare atti conformemente all'articolo 290 del TFUE¹¹⁶.

Una volta garantito un sistema di raccolta regolamentato ed efficiente è opportuno stabilire gli obiettivi e le soglie minimo di riciclo per le batterie e per i materiali contenuti in esse. In base alla proposta di legge 798 del 2020 fatta alla Commissione Europea la percentuale di batterie riciclate sul totale sarà del:

- “45% entro la fine del 2023

- 65% entro la fine del 2025

- 70% entro la fine del 2030”

(COM(2020) 798 final, p.50).

Per ogni batteria la percentuale di materie prime riciclate dal 2026 sarà:

- “90% di cobalto.

- 90% di nichel.

- 90% di piombo.

- 35% di litio.

- 90% rame.”

(COM(2020) 798 final, p.84).

Che aumenteranno nel 2030 a:

- “95% di cobalto.

- 95% di nichel.

¹¹⁵“Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Requisiti di sostenibilità per le batterie nell'UE”, OJ N. 220/128, 9.6.2021.

¹¹⁶ COM(2020) 798 finale, 10 dicembre 2020.

- 95% di piombo.

- 70% di litio.

- 95% rame.”

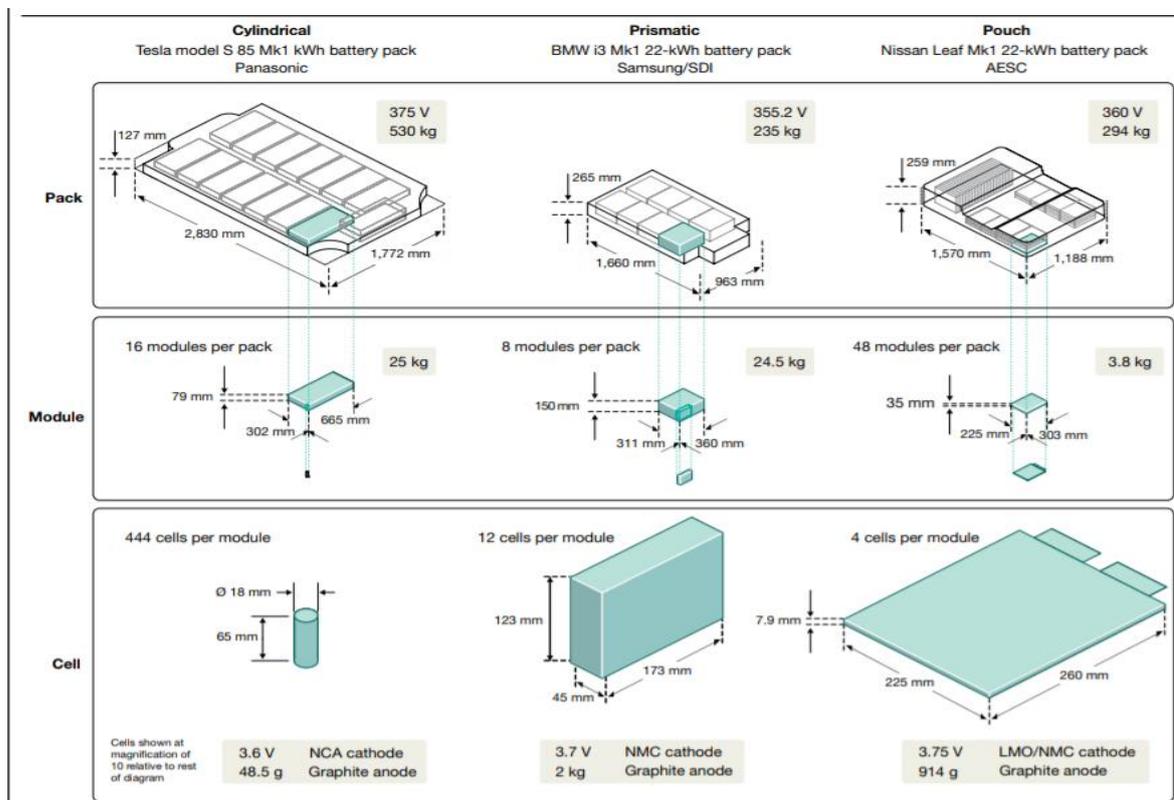
(COM(2020) 798 final, p.50).

Raccogliere la stessa percentuale di materiale catodico da più batterie è un compito molto complesso data la molteplicità di tipologie di batterie che si differenziano per composizione catodica, peso e dimensione la situazione si fa ancora più drammatica; tale varietà di batterie rappresenta un grande ostacolo per l’armonizzazione degli obiettivi di riciclo. Facendo un esempio più pratico mentre smontare una batteria di una Nissan Leaf può richiedere fino due ore di lavoro; lo stesso processo sulle celle di energia di una Tesla, senza i trattamenti chimici e meccanici adeguati risulta essere impossibile, sia per il rivestimento poliuretano che le rende quasi indistruttibili sia per la loro forma cilindrica, unica tra tutte le celle in commercio. Perciò senza gli strumenti adeguati spesso ai produttori conviene più acquistare materie prime vergini che riciclate¹¹⁷.

Nella seguente immagine è illustrata la composizione fisica delle tre principali tipologie di batterie agli ioni di litio per veicoli elettrici:

Figura 14

Examples of three different battery packs and modules (cylindrical, prismatic and pouch cells) in use in current electric cars, (Harper et al., 2019, p.78).



¹¹⁷ Caprotti, Alberto. "Auto. La seconda vita delle batterie, un affare non solo ecologico". Avvenire, 30 giu. 2020, www.avvenire.it/economiacivile/pagine/la-seconda-vita-delle-batterie-un-affare-non-solo-ecologico. 2021.

La soluzione come afferma Linda Gaines¹¹⁸, analista presso l'Argonne National Laboratory sarebbe quella di fabbricare “delle batterie standardizzate e progettate per il riciclaggio” (Cutaia et al. p.67). Tuttavia, in un mercato vario e soggetto ad una continua evoluzione scientifica come quello delle batterie per veicoli elettrici una standardizzazione risulta impossibile e nociva per l'innovazione.

Ulteriori incentivi al riciclo che potrebbero potenziare il ruolo dell'Unione Europea in tale settore potrebbero essere l'applicazione di una tassa sulle materie prime vergini, in modo da rendere il prezzo dei materiali riciclati più competitivo. Oppure, previa regolamentazione sull'etichettatura delle batterie, applicare delle tasse sull'impronta di carbonio della batteria, favorendo in tal modo quei dispositivi che sono stati prodotti con materiale riciclato¹¹⁹. Intanto, sono diversi i progetti di finanziamento diretti verso questo settore (IPCEI Batterie1 e IPCEI Batterie2) che mirano allo sviluppo e alla ricerca di nuove tecnologie che possano farlo fiorire, investimenti diretti verso società e imprese che operano nel campo della produzione e del riciclo come la FAAM, che verrà analizzata nel prossimo capitolo.

¹¹⁸ Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

¹¹⁹ Beaudet et al., (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su12145837>.

Capitolo 4

IL CASO STUDIO

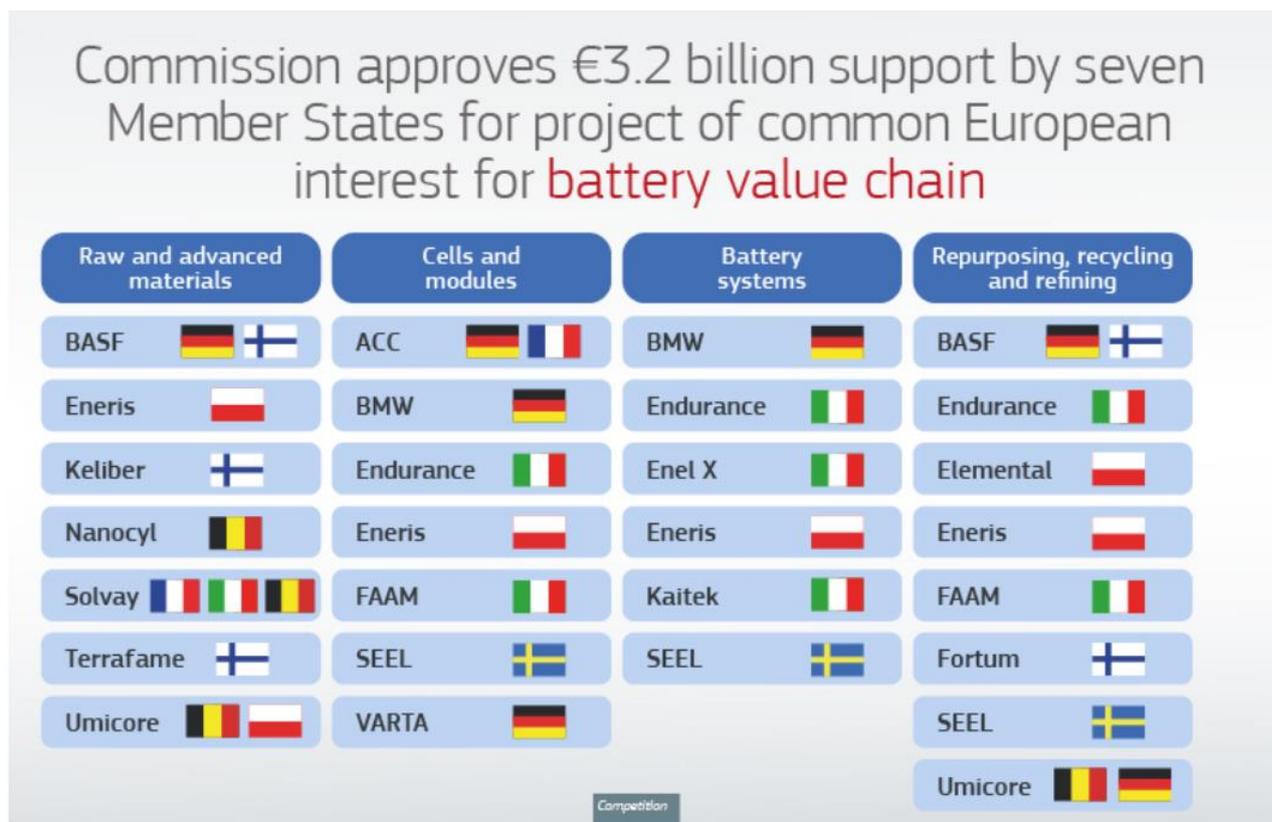
Sommario: 4.1. La FAAM e il gruppo Seri Industrial; 4.2. Analisi della FAAM integrata con l'intervista al Cav. Vitali; 4.3. Conclusioei sul caso studio.

4.1. La FAAM e il gruppo Seri Industrial

Il caso studio che viene riportato in questo capitolo riguarda una delle cinque aziende italiane, la FAAM, incluse nel progetto europeo IPCEI Batterie¹. Questo progetto, approvato grazie alla Decisione della Commissione europea COM(2019) 8823 final del 9 dicembre 2019, prevede il finanziamento di diciassette imprese europee provenienti da Italia, Belgio, Francia, Svezia, Polonia, Finlandia e Germania attive nel campo degli accumulatori agli ioni di litio¹²⁰.

Figura 15

Aziende coinvolte nel progetto europeo IPCEI Btterie1, (IPCEI Batterie 1, s.d.).



¹²⁰ IPCEI Batterie 1. (s.d.-a). Mise. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/impresa/ipcei-batterie-1>.

È inutile sottolineare nuovamente quanto siano importanti la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione per tale settore, verso il quale sono diretti investimenti pari 3.2 miliardi di euro¹²¹.

Come è possibile vedere dalla precedente immagine l'azione della FAAM (o Fib) riguarderebbe la produzione di celle e moduli degli accumulatori e il riciclo delle batterie agli ioni di litio; queste attività sono svolte nello stabilimento industriale di Teverola (CE). Tale stabilimento ha una superficie coperta di 38.000 mq. e circa 112.000mq. di aree esterne¹²². La capacità produttiva è di “300MWh/annui di accumulatori al litio per applicazioni Motive Power, navali, veicoli elettrici e storage. (*RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020*, 2020, p.28). Inoltre, “Nella medesima area è in fase di sviluppo un secondo sito produttivo, con l'obiettivo di incrementare l'attuale capacità produttiva e installare un impianto altamente innovativo per la produzione di celle, moduli e accumulatori, in grado di soddisfare la crescente domanda del mercato. In aggiunta, è previsto lo sviluppo di una linea pilota per il riciclo degli accumulatori esausti al litio ed il recupero del materiale attivo. L'area di Teverola sarà il primo cluster tecnologico per la produzione di batterie al litio in Italia ed in Sud Europa.” (*RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020*, 2020, p.28).

La FAAM nasce nel 1974 come impresa individuale e si trasforma nel 1982 in una società per azioni¹²³, fino a diventare nel 2013 parte del gruppo Seri Industrial¹²⁴.

La holding controllata dalla Seri Industrial Spa è costituita da imprese che, in maniera più o meno diretta, sono quasi tutte collegate al settore della produzione e del riciclo delle batterie agli ioni di litio e al piombo¹²⁵:

¹²¹ *IPCEI Batterie 1*. (s.d.-a). Mise. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/impresa/ipcei-batterie-1>.

¹²² *RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020 (BILANCIO CONSOLIDATO, BILANCIO DI ESERCIZIO)*. (2020). Seri Industrial Group. <http://seri-industrial.it/index.php/bilancio-2020>.

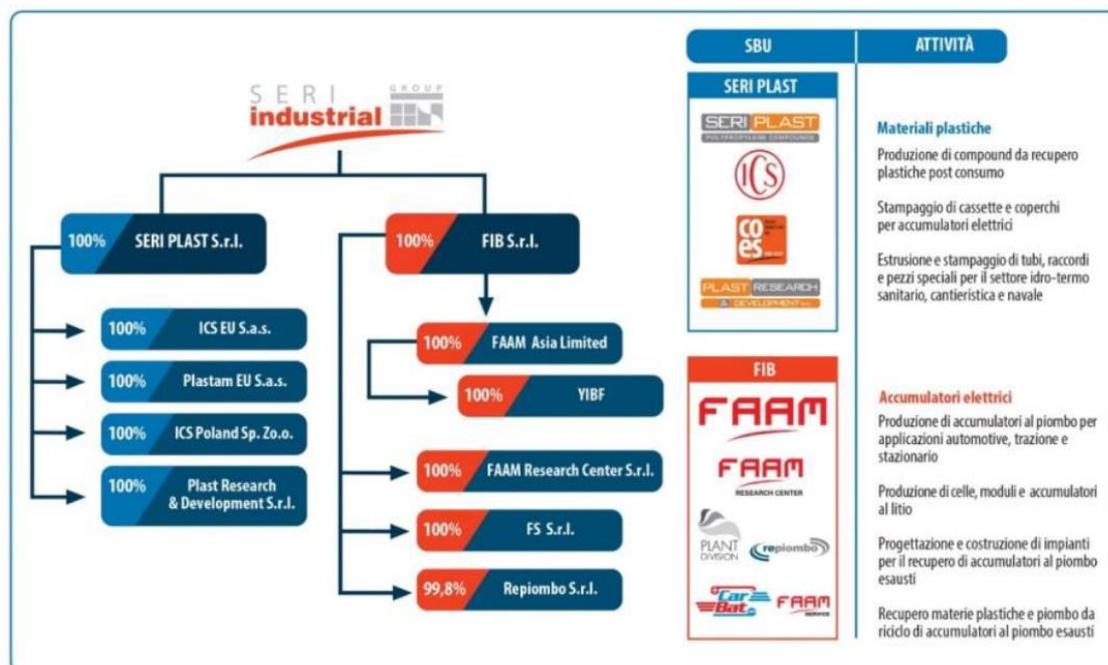
¹²³ *IL BILANCIO SOCIALE FAAM*. (2003). FAAM SpA.

¹²⁴ Storia. (s.d.). FAAM. <http://FAAM.com/company/storia>.

¹²⁵ *RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020 (BILANCIO CONSOLIDATO, BILANCIO DI ESERCIZIO)*. (2020). Seri Industrial Group. <http://seri-industrial.it/index.php/bilancio-2020>.

Figura 16

Gruppo Seri Industrial, (RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020, 2020, p.3).



Com'è possibile vedere quindi la Seri Industrial Spa è costituita da due società industriali:

- Seri plast Srl (Seri Plast), che opera nel campo della produzione e del riciclo di materiali plastici per il mercato degli accumulatori elettrici.
- FIB Srl (Fib o FAAM) attiva nel campo della produzione e del riciclo di batterie agli ioni di litio e al piombo¹²⁶.

Il gruppo Seri Industrial grazie al suo operato e alle sue *policies* sembra rispondere appieno ai requisiti di sostenibilità ambientale, riciclando oltre il 90% dei rifiuti prodotti e riuscendo a diminuire drasticamente nell'anno passato la quantità di gas serra emessi e di energia elettrica consumata¹²⁷:

¹²⁶ RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020 (BILANCIO CONSOLIDATO, BILANCIO DI ESERCIZIO). (2020). Seri Industrial Group. <http://seri-industrial.it/index.php/bilancio-2020>.

¹²⁷ RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020 (BILANCIO CONSOLIDATO, BILANCIO DI ESERCIZIO). (2020). Seri Industrial Group. <http://seri-industrial.it/index.php/bilancio-2020>.

Figura 17

Innovazione, salute, sicurezza e ambiente, (RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020, 2020, p.14).

DIPENDENTI (numero)	2020	2019
Divisione FIB - accumulatori elettrici	352	311
Divisione Seri Plast - materiali plastici	315	316
Corporate e altre attività	52	44
Gruppo	719	671
INNOVAZIONE, SALUTE, SICUREZZA E AMBIENTE	2020	2019
Recupero rifiuti in tonnellate	14.755	7.826
Recupero rifiuti (%)	93%	91%
Infortuni totali registrati	21	13
Emissioni dirette di GHG (Scope 1)	1.844	2.259
Consumo energia elettrica (kWh)	51.682.680	56.183.699
Consumo energia elettrica (GigaJoule)	186.058	202.261

Inoltre, l'aumento dei dipendenti nel settore degli accumulatori elettrici mostra come tale campo, nonostante la pandemia, sia in continua crescita e come riesca ad assorbire i lavoratori in esubero dagli altri settori in crisi (nello stabilimento di Teverola lavorano 75 ex operai Whirpool).

La sostenibilità è uno dei tre principali obiettivi perseguiti dalle imprese facenti parte del gruppo Seri Industrial. Gli altri sono:

- La decarbonizzazione, tramite prodotti a basse emissioni.
- La digitalizzazione, “da implementare mediante lo sviluppo di tecnologie innovative per la gestione dei sistemi accumulatori-convertitori di energia-fonte di energia rinnovabile per implementare le blockchain, favorendo scambi energetici in sistemi di cumulo diffuso.” (RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020, 2020, p.6)

Anche la FAAM come parte del gruppo condivide appieno gli obiettivi di sostenibilità, decarbonizzazione e digitalizzazione. Già agli inizi della sua storia l'impresa marchigiana, nata a Monterubbiano, ha mostrato di essere particolarmente attenta alla sostenibilità diventando, nel 1998, la prima azienda profit a presentare il bilancio sociale. Nel quale viene affermato che “Il nostro fine, ripreso dalla Mission che la Società ha predisposto, è quello di produrre e proporre il massimo della tecnologia e della qualità con il miglior rapporto qualità/prezzo [...]. Alla FAAM siamo certi che questo obiettivo può essere raggiunto solo se accanto al rendimento economico, prestiamo pari attenzione alla qualità del servizio reso, alla cura dell'ambiente, al massimo rispetto dei diritti di tutti i collaboratori, nonché all'onorevole comportamento etico da tenere nel mondo degli affari moderno, in una parola alla massimizzazione del rendimento sociale aziendale.” (IL BILANCIO SOCIALE FAAM, 2003, p.4).

4.2. Analisi della FAAM integrata con l'intervista al Cav. Vitali

In questo paragrafo vengono riassunti e riportati alcuni spezzoni dell'intervista da me effettuata al Cav. Federico Vitali, Vicepresidente business development presso FIB - FAAM Brand, sulla produzione degli accumulatori agli ioni di litio prodotti dalla FAAM e sul processo di riciclo di tali accumulatori.

Innanzitutto, le batterie agli ioni di litio prodotte a Teverola hanno un catodo a composizione litio-ferro-fosfato. L'assenza di cobalto nella miscela catodica elimina a monte gran parte dei problemi socio-ambientali legati all'estrazione di questo metallo. Inoltre, come affermato dal Cav. Vitali per assicurare la massima trasparenza e per conoscere i processi lavorativi delle materie prime utilizzate, la FAAM, utilizza già un sistema di tracciamento che verrà implementato con un sistema MES (Manufacturing Execution System) e un sistema ERP (Enterprise Resource Planning)¹²⁸.

Questi due software forniti dalla SAP oltre a migliorare l'efficienza operativa, riducendo i tempi di produzione e migliorando le prestazioni aziendali permetteranno anche il controllo e il tracciamento dei prodotti in circolazione e dei materiali utilizzati per la fabbricazione. Perciò l'ERP aiuta a gestire l'azienda in modo efficiente¹²⁹:

Figura 18

Components of an enterprise resource planning system, (What is ERP?, s.d.).



¹²⁸ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹²⁹ What is ERP? (s.d.). SAP Insights. <https://insights.sap.com/what-is-erp/>.

E il MES si occupa del controllo e del monitoraggio degli operatori economici e dei processi produttivi coinvolti lungo la catena di valore. Inoltre, una volta messo in commercio il prodotto il sistema MES ne permette il tracciamento durante il suo ciclo vitale. Nella seguente tabella sono elencati le principali funzionalità del MES¹³⁰:

Figura 19

Tabella funzionalità MES, (SAP Insights, s.d.).

Allocazione e stato delle risorse	Utilizza i dati in tempo reale per tenere traccia e analizzare lo stato delle risorse, tra cui macchine, materiali e manodopera, per apportare modifiche all'allocazione.
Operazioni/Programmazione dettagliata	Ottimizza le prestazioni pianificando, cronometrando e sequenziando le attività in base alle priorità e alla capacità delle risorse.
Unità di produzione di dispacciamento	Gestisci il flusso dei dati di produzione in tempo reale per effettuare facilmente regolazioni rapide e calcolate nel dispacciamento della produzione.
Controllo dei documenti	Gestisci e distribuisci documenti, tra cui istruzioni di lavoro, disegni, procedure operative standard, record batch e altro ancora, in modo che siano accessibili e modificabili.
Raccolta e acquisizione dati	Tieni traccia e raccogli dati in tempo reale su processi, materiali e operazioni e utilizzalo per prendere decisioni migliori e aumentare l'efficienza.
Gestione del lavoro	Tieni traccia dei programmi, delle qualifiche e delle autorizzazioni dei lavoratori per ottimizzare la gestione del lavoro con un minore investimento di tempo e risorse da parte della direzione.
Gestione della qualità	Tieni traccia delle deviazioni di qualità e delle eccezioni per migliorare la gestione e la documentazione del controllo qualità.
Gestione dei processi	Gestisci l'intero processo produttivo dal rilascio dell'ordine ai prodotti finiti. Ottieni informazioni dettagliate sui colli di bottiglia e sui punti che influiscono sulla qualità, creando al contempo la tracciabilità completa della produzione.
Gestione della manutenzione	Utilizza i dati del tuo MES per identificare potenziali problemi delle apparecchiature prima che si verifichino e regola i programmi di manutenzione di apparecchiature, utensili e macchine per ridurre i tempi di fermo e aumentare l'efficienza.
Monitoraggio e genealogia del prodotto	Tieni traccia dei progressi dei tuoi prodotti e della loro genealogia per un processo decisionale informato. Avere i dati della storia completa di un prodotto è estremamente utile per i produttori che devono rispettare le normative governative o di settore.
Analisi delle prestazioni	Confronta i risultati e gli obiettivi per identificare i punti di forza e di debolezza nel processo complessivo e utilizzare tali dati per rendere i sistemi più efficienti.

¹³⁰ SAP Insights. (s.d.). What Is an MES (Manufacturing Execution System)? | SAP Insights. <https://insights.sap.com/what-is-mes-manufacturing-execution-system/>.

Tornando alla composizione chimica delle batterie agli ioni di litio della FAAM, ho chiesto all'intervistato perché fosse stata fatta proprio quella scelta, ovvero, quella di utilizzare una miscela al litio-ferro-fosfato che a confronto con altre tipologie di miscele catodiche ha una densità energetica minore.

Le motivazioni fornitemi dal Cav. Vitali sono diverse, innanzitutto partendo da un piano puramente pratico, gli accumulatori agli ioni di litio LFP risultano essere più sicuri, rispetto ad altre miscele, quando vengono utilizzati per lavori particolarmente onerosi, dato che le batterie FAAM vengono utilizzate per la trazione di veicoli pesanti ed industriali¹³¹.

Inoltre, a determinare tale scelta sono stati i fattori ambientali e sociali; infatti, la volontà di utilizzare batterie agli ioni di litio LFP è dovuta anche all'assenza di nichel e cobalto all'interno di questa tipologia di accumulatori¹³². Come è stato scritto sia nel bilancio sociale che in quello consolidato, la FAAM fa della sostenibilità il proprio vessillo; tale orientamento in favore dei lavoratori, dell'ambiente e della società circostante è stato confermato anche dalle parole del Cav. Vitali "Non solo l'economia deve guidare le nostre azioni. Una finanza focalizzata solamente sul reddito finanziario [...] va guardata con particolare attenzione [...]. Produrre guadagno a discapito del benessere delle persone non è affatto impresa" (Comunicazione personale, 27 agosto, 2021).

La perseveranza della FAAM nell'utilizzare diverse miscele al litio-ferro-fosfato è radicata nel tempo; l'azienda sin dagli albori ha creduto nella tecnologia agli ioni di litio investendo già venti anni fa tempo e denaro nelle ricerche del Professor. Scrosati dell'Università La Sapienza di Roma, della Professoressa Rossi dell'Università di Bologna e del Professor. Marassi dell'Università di Camerino sulle batterie agli ioni di litio e sull'efficienza della tecnologia LFP. Tale perseveranza alla fine sembra essere ripagata, infatti oltre ad avere la consapevolezza di non aver contribuito al peggioramento di gravi situazioni sociali, sembra che la miscela LFP, grazie allo sviluppo tecnologico, stia raggiungendo i livelli di prestazione al pari delle altre tipologie di batterie contenenti nichel e cobalto, sopperendo così a quello scarto di densità energetica di cui è stato scritto prima. Tanto che le più grandi multinazionali produttrici di batterie e veicoli elettrici come l'americana Tesla e la cinese BYD stanno volgendo la propria attenzione verso lo sviluppo delle batterie al litio-ferro-fosfato¹³³. Secondo delle stime fatte dalla Kaitek (un'altra azienda coinvolta nell'IPCEI Batterie1) sembra che il prossimo decennio sarà caratterizzato dalla rivincita delle batterie LFP, le quali entro il 2030 riusciranno ad eguagliare in numero le batterie a composizione catodica NMC¹³⁴.

¹³¹ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹³² F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹³³ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹³⁴ Guaraldi, Francesco, "Battery data storage una strategia efficace per allungare il ciclo di vita delle batterie", 5 mar. 2021, presentazione in PowerPoint.

Per quanto riguarda il riciclo invece, anche se nel progetto IPCEI Batterie1 è presente solo la FAAM tra le società del gruppo Seri Industrial, è opportuno menzionare anche le aziende che fanno parte della holding in quanto più o meno tutte contribuiscono alla fabbricazione delle batterie agli ioni di litio per veicoli elettrici marchiate FAAM. Ad esempio, la Seri Plast SrL fornisce la plastica di origine riciclata con cui viene assemblata la *case* delle batterie¹³⁵.

Senza dubbio il gruppo Sei Industrial è da tempo entrato nell'ottica della circolarità economica; infatti, la plastica e il piombo utilizzati durante la fabbricazione delle batterie è di origine riciclata e si punta nei prossimi anni a raggiungere gli stessi obiettivi anche con il litio. Le batterie una volta esauste verranno riciclate presso lo stabilimento di Teverola con un trattamento idrometallurgico. La FAAM entro il 2025 punta a riciclare tutti i metalli utilizzati nella produzione del litio-ferro-fosfato¹³⁶.

Davanti alla domanda se il riciclo delle batterie LFP fosse antieconomico a causa dell'assenza di cobalto, il Cav. Vitali mi ha risposto che il profitto economico non è l'unico fattore essenziale per un'impresa "guardare solamente al profitto economico rende tale impresa una semplice attività economica". Ovviamente però senza soldi l'impresa non può andare avanti e quindi la via per essere competitivi sul mercato è da trovare nello sviluppo tecnologico, nel caso FAAM, nella ricerca di nuove miscele al litio-ferro-fosfato che possano dare agli accumulatori elettrici LFP prestazioni uguali o superiori rispetto alle altre LIBs contenenti cobalto. Oppure nel campo del riciclo, sviluppare trattamenti metallurgici (nei laboratori FAAM è stata sperimentata anche la biometallurgia) che, con il minore impatto possibile, possano garantire un adeguato recupero di materie prime¹³⁷.

Lo sviluppo gioca e giocherà un ruolo fondamentale in questo settore che, fatta eccezione per particolari scoperte o avvenimenti, dovrebbe dominare il settore dei trasporti per i prossimi 40 anni. E davanti agli obiettivi dell'Unione Europea sulla percentuale di batterie riciclate e di materie prime per ogni batteria il Cav. Vitali si esprime ottimista, soprattutto data la grande cassa di risonanza che il tema della transizione ecologica sta avendo¹³⁸.

¹³⁵ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹³⁶ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹³⁷ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

¹³⁸ F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), "Intervista al Cav. Federico Vitali", comunicazione personale, 27 agosto 2021.

4.3. Conclusione sul caso studio

La FAAM è la concretizzazione della figura ideale di azienda attiva nel campo degli accumulatori agli ioni di litio, che è stata delineata in questa tesi. Garantisce un alto grado di trasparenza e tracciabilità dei processi lavorativi e delle materie prime utilizzate durante la fabbricazione. È attenta alle dinamiche ambientali e sociali, elimina dai propri prodotti i materiali di dubbia provenienza etica come il cobalto e opta per processi di lavoro a basso impatto ambientale come l'idrometallurgia. Inoltre, come è stato precedentemente osservato nell'ultimo anno il gruppo Seri Industrial ha anche quasi dimezzato le proprie emissioni di gas serra, aumentando la quantità di materiale riciclato mostrando anche di poter sostenere senza alcun problema un sistema economico circolare.

Invece di far ricorso a processi lavorativi economicamente convenienti per l'azienda ma dannosi per l'ambiente e per l'uomo, la FAAM fa della ricerca e dello sviluppo tecnologico le sue armi sul mercato. Una strategia sostenibile, che oltre a dare lustro all'azienda, ha portato anche a risultati concreti confermati dall'inversione di rotta di Tesla e BYD verso il mercato delle batterie LFP e dalle previsioni della Kaitek. Ricerca che rende i prezzi dei prodotti FAAM anche più competitivi, infatti, se nel 2004 una batteria veniva venduta a 6000€ al kWh oggi il prezzo è sui 300-400€ al kWh.

Conclusioni

Il cambiamento climatico ed i suoi effetti sono stati a lungo messi in secondo piano, soprattutto quando gli interessi ambientali andavano a scontrarsi con quelli economici. Oggi, purtroppo, tale fenomeno non può essere più ignorato e la transizione ecologica risulta essere una scelta obbligata. Rendendo così la crescita del settore della mobilità elettrica inevitabile.

La necessità di diminuire le emissioni di gas serra, eliminando i veicoli a combustibile fossile, spinge gli Stati, le multinazionali e gli investitori a cercare mezzi di trasporto alternativi che possano sopperire a quel vuoto che gli ICEVs stanno lasciando; per tale motivo il settore della produzione e della distribuzione di accumulatori agli ioni di litio assume importanza strategica nell'Unione Europea, soprattutto per gli impatti ambientali e sociali che ne conseguono.

Il problema è che spesso in tale corsa all'alternativa per superare i competitors in prestazioni, quantità e convenienza del prodotto, gli attori economici in gara, ricorrono a metodi poco rispettosi della dignità umana e contraddittori per il perseguimento del proprio interesse. Poco rispettosi della dignità, perché, come è stato scritto la produzione di batterie agli ioni di litio spesso comporta gravi violazioni dei diritti umani e dei lavoratori. Contraddittori perché alcuni operatori economici per rendere più convenienti certe fasi di lavorazione non si curano dell'impatto ambientale di quest'ultime, vanificando così i benefici prodotti dall'uso delle batterie.

Con questo studio si è cercato non solo di analizzare i problemi legati alla produzione di accumulatori agli ioni di litio per EVs, ma anche di indicare le possibili strade per risolvere tali problemi, cercando di portare esempi concreti e formulando ipotesi.

Ritengo che la più volte menzionata proposta di regolamento COM(2020) 798 final con la quale si cerca di introdurre una regolamentazione unitaria europea in materia di batterie per EVs, sia utile e necessaria. È importante che tutti gli Stati Membri siano uniti nel far rispettare determinati standard e regole in materia di sfruttamento del lavoro, impronta ambientale e di diritti umani a qualsiasi operatore economico che voglia immettere i propri prodotti nel mercato comune.

Un corpo di norme armonizzato è essenziale per garantire la diffusione e la sostenibilità delle batterie agli ioni di litio in circolazione nell'Unione Europea anche se, tali norme, possono rappresentare un ostacolo alla competitività europea. Infatti, stati come la Cina, con una regolamentazione del lavoro meno garantista, possono permettersi di muoversi con maggiore dinamicità sul mercato dato che i soldi e il tempo che non vengono utilizzati per la prevenzione e la salvaguardia di ambiente e uomo, vengono investiti per lo sviluppo del settore.

L'Unione Europea se vuole diventare la leader mondiale nel campo della mobilità elettrica, a mio parere, deve puntare sullo sviluppo tecnologico senza cedere di un passo sul piano morale. La sola convenienza

economica è fine a se stessa se poi i tuoi prodotti vengono fabbricati dalle mani di bambini sfruttati oppure se i processi industriali a cui sono sottoposti avvelenano l'aria e il terreno. Questo è l'obiettivo dell'EBA (European Battery Alliance) ovvero quello di sviluppare nuove tipologie di batterie per veicoli elettrici che abbiano alte prestazioni, con un basso impatto ambientale, economicamente vantaggiose e socialmente sostenibili; un obiettivo ambizioso ma realizzabile, visto gli enormi passi da gigante che la scienza sta facendo in tale settore¹³⁹. Perciò l'UE, anche a costo di risultare meno competitiva, deve impegnarsi a rispettare gli standard dettati dalla proposta di regolamento fatta in seno alla Commissione Europea COM(2020) 798 final in materia di sostenibilità.

Un altro elemento a sfavore della competitività dell'unione Europea rispetto ai competitors asiatici ed in particolar modo rispetto alla Cina, egemone nel settore, è la carenza di gran parte delle materie prime utili alla produzione di accumulatori al litio. Anche per questo problema il caso studio riportato mostra una via alternativa alle classiche miscele catodiche a base di nichel e cobalto; soluzione che ovvierebbe al problema della dipendenza da materie prime e da tutti quei problemi legati alla loro catena di approvvigionamento. La FAAM ha sempre creduto nella chimica al litio-ferro-fosfato ed i vantaggi in tale scelta sono diversi:

- È una tipologia di batterie molto più sicura e con la miscela giusta potrebbe avere le stesse prestazioni delle altre tipologie di batterie.
- Utilizza materie prime, a parte il litio, che possono essere reperite facilmente nel territorio europeo senza alcuna complicazione sociale ed ambientale.
- Diminuirebbe la dipendenza da paesi terzi per l'approvvigionamento di materie prime.

Ovviamente un certo grado di dipendenza rimarrebbe sempre sia per la grafite contenuta nell'anodo che per il litio nel catodo. tuttavia, per quest'ultimo le soluzioni per aggirare i problemi legati alla sua estrazione sono principalmente due ad oggi:

- Sviluppare un sistema di riciclo che possa assicurare una considerevole quantità di litio recuperato, tramite trattamenti metallurgici a basso impatto ambientale, come progettato dalla FAAM.
- Assicurarsi forniture di litio sostenibile da partner commerciali affidabili, come il Canada o l'Australia.

A garantire la provenienza sicura delle proprie batterie dovranno essere le stesse case di produzione, o chi per loro opera nel mercato comunitario. Tale garanzia verrà fornita dall'utilizzo di software di controllo e tracciamento con tecnologia blockchain grazie ai quali si potrà sapere tutto sul ciclo vitale delle batterie.

¹³⁹ *European Battery Alliance - Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - European Commission.* (s.d.). Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - European Commission. https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-battery-alliance_en.

Questo software dovrà essere obbligatorio e i dispositivi che non ne saranno in possesso non potranno essere messi in commercio nel mercato comune.

Per quanto riguarda invece le emissioni di carbonio, Nox, SO₂, è necessario guardare ai processi di lavorazione ed in particolare alle fonti di energia da cui la fabbrica attinge. Come è stato visto con l'analisi del GREET MODEL le batterie caratterizzate da un minore impatto ambientale sono quelle che vengono prodotte in fabbriche che utilizzano come fonti di energia impianti eolici, fotovoltaici, centrali idroelettriche ed altre forme di energie rinnovabili. La soluzione sarebbe quella di costruire gli stabilimenti produttori di accumulatori di litio in territori che già ospitano strutture in grado di fornire energia rinnovabile, oppure in territori che potrebbe ospitarne.

Le stesse considerazioni valgono per la fase di utilizzo, se l'energia elettrica utilizzata per ricaricare il veicolo proviene da fonti rinnovabili è ovvio che durante la sua vita utile la batteria avrà un impatto minore rispetto ad un veicolo ricaricato con elettricità proveniente da centrali termoelettriche.

Un'ulteriore soluzione per diminuire costi e impatti durante la produzione degli accumulatori di litio sarebbe quella di promuovere un'economia circolare che veda lo sfruttamento completo della batteria e l'ottimizzazione delle fasi di recupero delle materie prime. Per sfruttamento completo si intende dare una seconda via alla batteria, la quale ormai non più in grado di erogare la potenza richiesta per alimentare un veicolo elettrico, viene impiegata in compiti meno onerosi che richiedono solo il 60-70% della sua potenza iniziale. Nel capitolo¹⁴⁰ dedicato a questo tema sono stati fatti diversi esempi virtuosi, grazie al riutilizzo la vita della batteria si allungherebbe, permettendo di spalmare il costo della sua fabbricazione su un periodo di tempo maggiore.

Una volta che la batteria è completamente esausta si procede con il riciclo delle componenti. Uno dei grandi problemi riscontrati nel riciclo delle batterie, è che il processo risulta antieconomico nel caso in cui le batterie da riciclare non abbiano un'elevata quantità di cobalto al loro interno. La vendita del metallo costituisce gran parte del guadagno e la sua assenza non permette di rientrare dei costi di riciclo. Tuttavia, non è soltanto il guadagno economico che dovrebbe guidare gli orientamenti di stati e delle aziende quando si parla di riciclo, i benefici sociali e ambientali dovrebbero essere, ponderati, e considerati al pari di quelli economici.

L'Unione Europea dovrebbe promuovere progetti che sviluppino trattamenti metallurgici che siano il meno inquinanti possibili, come l'drometallurgia o la biometallurgia. Inoltre, la proposta di regolamento, qualora passasse, fisserebbe delle regole e degli standard di riciclo che permetterebbero la nascita di un nuovo settore lavorativo, con conseguenti vantaggi economici, ambientali, geopolitici e socioeconomici.

E proprio sui vantaggi socio economici, come la creazione di nuovi posti di lavoro che il CESE si è espresso: "Per quanto riguarda le sfide connesse all'occupazione e alle competenze necessarie per attuare le

¹⁴⁰ Si veda Capitolo 3 "Fase di fine vita", paragrafo 3.1.2. "Riutilizzo della batteria".

misure del regolamento volte a favorire lo sviluppo di una filiera industriale europea delle batterie sostenibili, il CESE propone di ampliare e rafforzare il ruolo del Cedefop in questo campo, nonché il ruolo dei comitati europei di dialogo sociale settoriale interessati (elettricità, metallurgia, industria chimica, industria estrattiva ecc.), in un percorso di transizione giusta integrato nel Green Deal europeo. Gli istituti di istruzione professionale degli Stati Membri dovranno realizzare progetti di formazione simili nei programmi di studio destinati agli studenti, allo scopo di garantire la disponibilità di lavoratori qualificati per un'industria europea sostenibile nel settore delle batterie.” (Unione Europea, Parlamento Europeo, p.5) ¹⁴¹.

Per i cittadini il passaggio alla mobilità elettrica non sarà così traumatico come per stati o imprese. Infatti, a parte l'iniziale differenza di prezzo tra veicoli a combustione e veicoli elettrici dove i primi saranno più convenienti dei secondi, i vantaggi per il cittadino sono innumerevoli.

Innanzitutto, il taglio alle emissioni di carbonio migliorerà la qualità dell'aria respirata, soprattutto nei centri abitati, portando benefici non indifferenti alla salute umana. Inoltre, la diminuzione dei gas serra abbasserà le temperature globali arginando gli effetti del cambiamento climatico.

Per quanto riguarda i costi per il cittadino, come già detto, secondo alcune stime fino al 2030 il prezzo degli EVs sarà superiore a quello degli ICEVs. I veicoli elettrici riusciranno ad eguagliare il prezzo di un veicolo a combustione entro quella data solamente se saranno soddisfatte due condizioni, la prima è che gli stati, tramite aiuti e sovvenzioni, favoriscano il mercato dell'elettrico; la seconda è che la quantità di cobalto all'interno degli accumulatori al litio diminuisca.

In base al Powder Steel Consultant LV è previsto che le case automobilistiche investiranno circa cento miliardi di dollari nel mercato del cobalto¹⁴², facendo schizzare il suo prezzo; inoltre, si deve considerare il progressivo aumento delle royalties dei paesi estrattori imposte alle imprese che lavorano nel settore minerario, ad esempio le royalties applicate dalla Repubblica Democratica del Congo hanno aumentato il prezzo di vendita del cobalto del 10%¹⁴³.

Mantenendo la situazione attuale, senza diminuire la quantità di cobalto all'interno delle batterie agli ioni di litio, il prezzo dei veicoli elettrici crescerà esponenzialmente. Inoltre, è difficile predire le variazioni dei prezzi del cobalto, dato che possono essere influenzati da fattori esogeni (es. inasprimento dei conflitti interni alla Repubblica Democratica del Congo) che rendono la catena di approvvigionamento di questo

¹⁴¹ Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Requisiti di sostenibilità per le batterie nell'UE», OJ N. 220/128, 9.6.2021.

¹⁴² *Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili* (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali. https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTkEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.

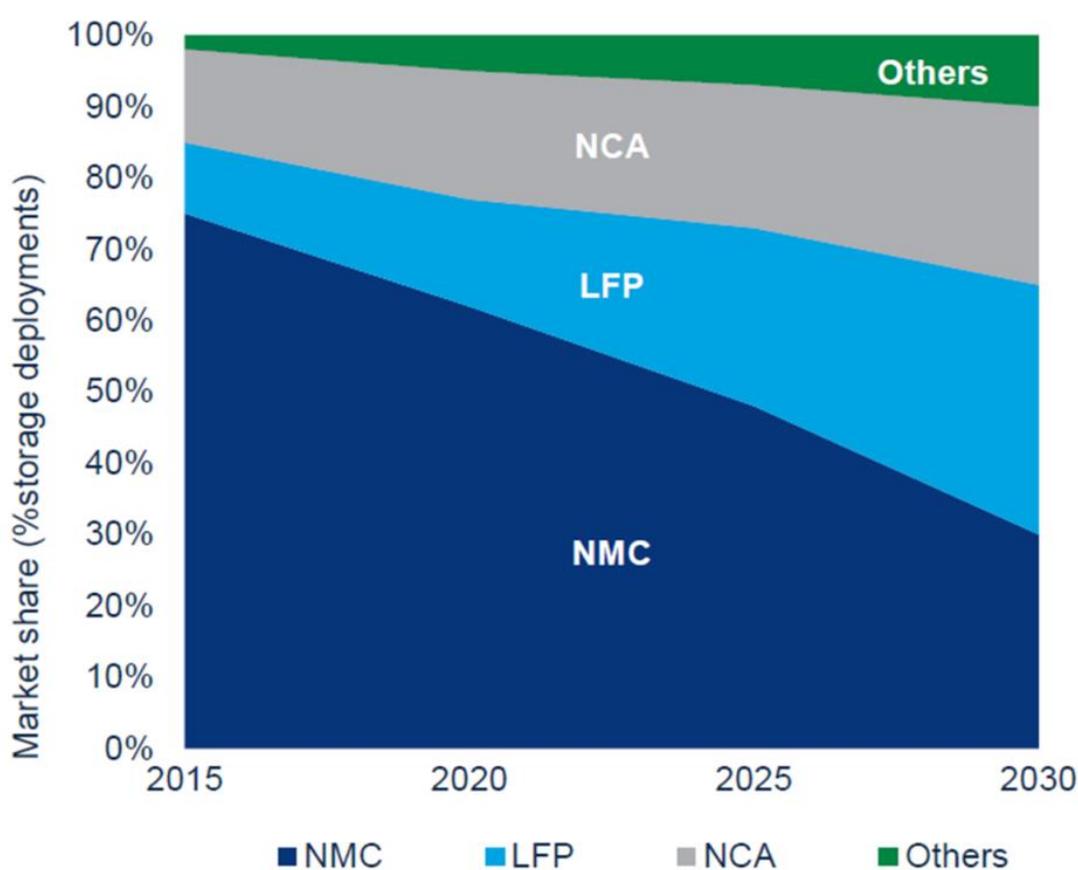
¹⁴³ *Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili* (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali. https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTkEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.

elemento instabile e soggetta a repentine variazioni di disponibilità. Tutto questo spinge alla ricerca di nuove tecnologie che portino ad un progressivo abbandono del cobalto ed a efficienti impianti di riciclo che permettano un minore grado di dipendenza dalle miniere.

Attualmente, alcune alternative al momento ci sono, come le batterie NCA, prodotte da Panasonic e montate sulle Tesla utilizzano il 65% in meno di cobalto delle batterie NMC, oltretutto secondo l'AIE (Agenzia internazionale dell'energia) una batteria NCA sosterebbe circa il 5% in meno di una batteria NMC¹⁴⁴. Numerosi sono i progetti di nuove batterie che fanno ben sperare in tecnologie meno dispendiose ma soprattutto più sostenibili e tra queste ricordiamo le potenzialità delle batterie LFP e sulle quali si nutrono grandi aspettative, come mostra il seguente grafico:

Figura 20

Battery data storage una strategia efficace per allungare il ciclo di vita delle batterie”, (Guaraldi, 2021, p.8).



Perciò grazie all'impiego di accumulatori agli ioni di litio privi di cobalto o comunque con una quantità molto limitata è prevista una futura diminuzione dei costi e di conseguenza anche del prezzo. Dal 2017 al 2030

¹⁴⁴ Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N., *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth*, EUR 29440 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97254-6, doi:10.2760/87175, JRC113360.

si stima che l'utilizzo di cobalto scenderà del 29%¹⁴⁵. Secondo le stime del JRC i costi delle batterie potrebbero scendere fino al 50% nel 2030 raggiungendo un'ulteriore diminuzione del 75% nel 2040¹⁴⁶.

Nell'attesa che i prezzi degli EVs scendano è anche opportuno ricordare che il consumatore potrà ripagarsi il costo del veicolo grazie al denaro risparmiato sul carburante; infatti, l'energia elettrica utilizzata per alimentare il veicolo elettrico sarà sempre più conveniente di qualsiasi carburante attualmente a disposizione per ICEVs.

Alla luce delle analisi fatte e delle conclusioni date, i veicoli elettrici sono una realtà inevitabile, parte di una transizione obbligata, il mercato delle batterie agli ioni di litio dominerà il settore dei trasporti nei prossimi decenni, considerando che “Tra il 2020 e il 2040 il numero di batterie al litio si moltiplicherà di 700 volte” %.” (Unione Europea, Parlamento Europeo, p.4)¹⁴⁷. Gli obiettivi da raggiungere per l'Unione Europea sono ardui, soprattutto se considerata la forte concorrenza estera. Credo che il ruolo di leader mondiale in tale settore sia quasi impossibile da raggiungere, tuttavia, continuando con gli scopi prefissati e rispettando le scadenze prestabilite i Paesi Membri riusciranno ad acquisire un alto grado d'indipendenza e autonomia nella produzione di LIBs, riuscendo anche ad aggiudicarsi un'importante fetta di mercato. Nel conseguimento di tali obiettivi è necessario che Paesi Membri ed istituzioni europee garantiscano la massima trasparenza e sostenibilità nella produzione, vendita e trattamento di fine vita delle LIBs. Assicurandosi di essere sempre competitivi tramite lo sviluppo tecnologico, in particolar modo investendo sulla ricerca di batterie agli ioni di litio prive di materie prime che possano compromettere l'indipendenza e i valori etici dell'Unione Europea.

¹⁴⁵ Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali. https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTkEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.

¹⁴⁶ Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N., *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth*, EUR 29440 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97254-6, doi:10.2760/87175, JRC113360.

¹⁴⁷ Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Requisiti di sostenibilità per le batterie nell'UE», OJ N. 220/128, 9.6.2021.

Bibliografia

- (Intervista fatta al Cav. Federico Vitali Vicepresidente business development presso FIB - FAAM Brand). F. Vitali (intervistato) & A. Pascucci (intervistatore), “*Intervista al Cav. Federico Vitali*”, comunicazione personale, 27 agosto 2021.
- “Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Requisiti di sostenibilità per le batterie nell’UE”, OJ N. 220/128, 9.6.2021.
- Alves Dias P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N., *Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility*, EUR 29381 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-94311-9, doi:10.2760/97710, JRC112285.
- Beaudet et al., (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su12145837>.
- Brown, Lemay, Bursten, Murphy, Woodward, Stoltzfus. (2018). *Fondamenti di chimica*. (4 ed.) Edises.
- Canale, I. (2020). *Synthesis and characterization of MoS₂- PANI composite materials for electrochemical applications* [Master of Science Thesis, POLITECNICO DI TORINO]. <https://webthesis.biblio.polito.it/14819/1/tesi.pdf>.
- Commissione Europea, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità. COM(2020) 474 final, 3 agosto 2020.
- Commissione Europea, Proposta di regolamento del parlamento europeo e del consiglio relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/2020. COM(2020) 798, finale, 10 dicembre 2020.
- Commissione Europea, RELAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO, AL COMITATO DELLE REGIONI E ALLA BANCA EUROPEA PER GLI INVESTIMENTI relativa all'attuazione del piano d'azione strategico sulle batterie: creare una catena del valore strategica delle batterie in Europa. COM(2019) 176, final, 9 maggio 2019.
- Cutaia, L., et al. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. *ENEA*, set. 2018. Report RdS/PAR2017/254. www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/report-2017/rds-par2017-254.pdf.

- European Environment Agency. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* (No 13/2018). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi:10.2800/77428>.
- Guaraldi, Francesco, “*Battery data storage una strategia efficace per allungare il ciclo di vita delle batterie*”, 5 mar. 2021, presentazione in PowerPoint.
- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature* 575, 75–86 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.
- IL BILANCIO SOCIALE FAAM. (2003). FAAM SpA.
- International Labour Organization, (2017) *Dichiarazione tripartita di principi sulle imprese multinazionali e la politica sociale*. 5a. ed. Ginevra: Consiglio di Amministrazione dell’Ufficio Internazionale del Lavoro. ISBN: 978-92-2-830887-7.
- Kelly et al., M. Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 371–396 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>.
- Kwade, A., & Diekmann, J. (2018). *Recycling of Lithium-Ion Batteries: The LithoRec Way*. Springer.
- Lander, Laura, et al. "Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling". *iScience*, vol. 24, n. 7, lug. 2021, doi:10.1016/j.isci.2021.102787.
- Mancini L., Vidal Legaz B., Vizzarri M., Wittmer D., Grassi G. Pennington D., *Mapping the Role of Raw Materials in Sustainable Development Goals. A preliminary analysis of links, monitoring indicators, and related policy initiatives.*, EUR 29595 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019 ISBN 978-92-76-08385-6, doi: 10.2760/026725, JRC112892.
- Moro, C. (2019b). *Sviluppo di un algoritmo per la stima della degradazione di batterie al litio* [Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell’Energia Elettrica, UNIVERSITA’ DEGLI STUDI DI PADOVA]. http://tesi.cab.unipd.it/62722/1/Moro_Cristian_1157219.pdf.
- N. Andreanacci, et al. Stato dell'arte dei modelli di invecchiamento per le celle litio-ione. Applicazione al caso di studio delle celle NMC invecchiate in ENEA. *Enea*, set. 2017. Report Rds/PAR2016/163.
- OECD (2016), *OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas: Third Edition*, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264252479-en>.
- Pelloni, S. (2017). *Modellazione termica di batterie ad alta tensione con tecnologia Li-Ion per veicoli ibridi* [MasterThesis, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna]. AMS Laurea. <http://amslaurea.unibo.it/13616/>.
- Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/1020, Relazione sullo stato di avanzamento dei lavori n. 9052/1/21 (2021) (Unione Europea). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CONSIL:ST_9052_2021_REV_1&from=EN.

- Temporelli, A., Carvalho, M. L., & Girardi, P. (2020). Life Cycle Assessment of Electric Vehicle Batteries: An Overview of Recent Literature. *Energies*, 13(11), 2864. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/en13112864>.
- Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N., *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth*, EUR 29440 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97254-6, doi:10.2760/87175, JRC113360.
- Valverde, V, et al. *Joint Research Centre 2018 light-duty vehicles emissions testing -Contribution to the EU market surveillance: testing protocols and vehicle emissions performance* EUR29897 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-12333-0, doi:10.2760/289100, JRC117625
- Vito, Fraunhofer & Viegand Maagøe. (2019). *Annex Analysis of available relevant performance standards&methods in relation to Ecodesign Regulation for batteries and identification of gaps.* (TASK 1 Scope). Publications Office of the European Union. https://ecodesignbatteries.eu/sites/ecodesignbatteries.eu/files/attachments/ED_Battery_Annex_Standards_V11_0.pdf.
- Zampori, L. e Pant, R ., *Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2019, ISBN 978-92-76-00653-4, doi: 10.2760/265244, JRC115959.

Sitografia

- *Agenda 2030*. (s.d.). ONU Italia. <https://unric.org/it/agenda-2030/>.
- Bellis, M. (2018, 23 settembre). In Congo tra i baby minatori alla ricerca di cobalto: “Viviamo nella polvere, pieni di ferite”. *Fanpage.it*. <https://www.fanpage.it/esteri/in-congo-tra-i-baby-minatori-alla-ricerca-di-cobalto-viviamo-nella-polvere-pieni-di-ferite/>.
- Bellomo, S. (2019, 18 dicembre). Apple e Tesla sotto accusa per il cobalto insanguinato. *Il sole24ore*. <https://www.ilsole24ore.com/art/apple-e-tesla-sotto-accusa-il-cobalto-insanguinato-ACb9ir6>.
- Buchert, Matthias, et al. Ökobilanz zum „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien“ (LithoRec). Bundesministerium für Umwelt, ott. 2011. Endbericht. www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1500/2011-068-de.pdf.
- Caprotti, Alberto. "Auto. La seconda vita delle batterie, un affare non solo ecologico". *Avvenire*, 30 giu. 2020, www.avvenire.it/economici/pagine/la-seconda-vita-delle-batterie-un-affare-non-solo-ecologico.
- *Che cosa è il PNRR*. (2021, 7 luglio). OpenBDAP | I dati della Finanza Pubblica. <https://openbdap.mef.gov.it/it/Home/PNRR>

- *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. (s.d.). Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/>.
- *Cos'è la tecnologia blockchain? - IBM Blockchain*. (s.d.). IBM - Deutschland | IBM. <https://www.ibm.com/it-it/topics/what-is-blockchain>.
- Dianda, M. (2019, 16 marzo). Il costo dei cambiamenti climatici. *Starting Finance*. <https://www.startingfinance.com/approfondimenti/cambiamenti-climatici-costo/>.
- Enciclopedia Treccani Online, s.v. “Biometallurgia”, <https://treccani.it/enciclopedia/biometallurgia/>.
- *European Battery Alliance - Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - European Commission*. (s.d.). Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - European Commission. https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-battery-alliance_en.
- Franceschini, E. (2021, 7 maggio). Le emissioni di gas serra della Cina superano quelle di Usa e Paesi sviluppati. *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/green-and-blue/2021/05/07/news/i_gas_serra_della_cina_superano_quelle_di_usa_e_paesi_sviluppati-299816466/.
- Gaita, L. (2021, 30 aprile). Recovery plan, dai fondi per le comunità energetiche agli obiettivi (poco chiari) sulle rinnovabili: cosa c'è davvero per la transizione ecologica. I dubbi degli ambientalisti. *Il Fatto Quotidiano*. <https://www.ilfattoquotidiano.it/2021/04/30/recovery-plan-dai-fondi-per-le-comunita-energetiche-agli-obiettivi-poco-chiari-sulle-rinnovabili-cosa-ce-davvero-per-la-transizione-ecologica-i-dubbi-degli-ambientalisti/6181889/>.
- *Global Commission on Adaptation Launches “Year of Action” to Accelerate Climate Adaptation - Global Center on Adaptation*. (2019, 24 settembre). Global Center on Adaptation. <https://gca.org/news/global-commission-on-adaptation-launches-year-of-action-to-accelerate-climate-adaptation/>.
- Il cambiamento climatico costa 133 miliardi di ricavi alle aziende, che però non si assicurano. (2021, 3 maggio). *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/economia/2021/05/03/news/il_cambiamento_climatico_costa_133_miliardi_di_ricavi_alle_aziende_che_pero_non_si_assicurano-299096040/.
- Industry Chemistry. (2020, 24 febbraio). In Cile, dal lago Salar de Atacama si estrae il litio “in salamoia”. *Industry Chemistry*. <https://www.industrychemistry.com/in-cile-dal-lago-salar-de-atacama-si-estrae-il-litio-in-salamoia/>.
- Infodata. (2019, 5 ottobre). Cambiamenti climatici e salute globale: cosa dicono i dati e la letteratura scientifica. *Il sole24ore*. <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2019/10/05/cambiamenti-climatici-salute-globale-cosa-dicono-dati-la-letteratura-scientifica/>.
- Internazionale. (2020, 12 maggio). L'estrazione del litio minaccia il deserto salato del Cile. Internazionale. <https://www.internazionale.it/video/2020/05/12/litio-deserto-cile>.

- Introduzione. (s.d.). Home. <https://www.globalcompactnetwork.org/it/il-global-compact-ita/i-dieci-principi/introduzione.html>.
- *IPCEI Batterie 1*. (s.d.-a). Mise. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/impresa/ipcei-batterie-1>.
- Joy, P., & Azzopardi, T. (2021, 31 dicembre). Water Use in Atacama Salt Flat Trips Up Chilean Lithium Miner. *Bloomberg Law*. <https://news.bloomberglaw.com/environment-and-energy/water-use-in-atacama-salt-flat-trips-up-chilean-lithium-miner>.
- Melin, E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review*. The Swedish Energy Agency. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf>.
- *PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules for High Specific Energy Rechargeable Batteries for Mobile Applications*. Recharge The Advanced Rechargeable & Lithium Batteries Association, feb. 2020, ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_Batteries_Feb%202020-2.pdf.
- *Powder Steel Consultant LV Considerazioni sui maggiori Paesi estrattori dei vari metalli che servono, in parte, a produrre gli acciai da utensili* (Approfondimenti Tecnici sulla Siderurgia in generale). (2019). Boncato Acciai Speciali. https://www.boncato.it/res/files/informations/20200715_181051_RBkBzOWXntrnzACKF6NPEvk7TEZfTtKEUDp0nkRDuduZpYhiJgZ.pdf.
- Redazione ANSA. "Volkswagen, al via riciclo batterie a ioni di litio". ANSA, 3 mar. 2021, www.ansa.it/canale_motori/notizie/eco_mobilita/2021/03/03/volkswagen-al-via-riciclo-batterie-a-ioni-di-litio_e2b28cb7-7df4-4d02-b6a3-371b9ce73d17.html.
- RELAZIONE FINANZIARIA ANNUALE AL 31 DICEMBRE 2020 (BILANCIO CONSOLIDATO, BILANCIO DI ESERCIZIO). (2020). Seri Industrial Group. <http://seri-industrial.it/index.php/bilancio-2020>.
- SAP Insights. (s.d.). What Is an MES (Manufacturing Execution System)? | SAP Insights. <https://insights.sap.com/what-is-mes-manufacturing-execution-system/>.
- SAPERE.IT By De AGOSTINI, s.v. “abiotico”, <https://www.sapere.it/sapere/dizionari/dizionari/Italiano/A/AB/abiotico.html>.
- *Share of transport greenhouse gas emissions*. (2019, 17 dicembre). European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-transport-ghg-emissions-2/#tab-googlechartid_chart_12googlechartid_chart_12.
- Simoncelli, M. (2016, 27 gennaio). Congo, bambini in miniera ad estrarre cobalto per cellulari, tablet, computer e auto. *La Repubblica*. https://www.repubblica.it/solidarieta/diritti-umani/2016/01/27/news/miniere_di_cobalto-132142114/.
- Storia. (s.d.). FAAM. <http://FAAM.com/company/storia>.

- Ufficio Stampa. (2019, 27 marzo). Il Parlamento approva i nuovi limiti sulle emissioni di CO2 per auto e furgoni. *Parlamento Europeo*. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20190321IPR32112/il-parlamento-approva-i-nuovi-limiti-sulle-emissioni-di-co2-per-auto-e-furgoni>.
- *Un Green Deal europeo*. (s.d.). Commissione europea - European Commission. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it.
- *Vantaggi delle batterie al litio vs batterie al piombo | Flash Battery*. (s.d.). Flash Battery. <https://www.flashbattery.tech/perche-passare-da-una-batteria-al-piombo-ad-una-batteria-al-litio/>.
- What is ERP? (s.d.). SAP Insights. <https://insights.sap.com/what-is-erp/>.

Abstract

Climate change is the very burning issue of our times and the biggest challenge we, as well as the next generations, are called to rise to.

Global warming, the root cause of Climate change due to increase of greenhouse gas emissions since the 1850s, is taking a toll not only on environment and human health but also economy: from the monetary losses incurred in areas hit by extreme meteorological events, to the destruction of crops and to the increasing pressure on healthcare systems. The Stern report estimates that Global warming could lead to losses up to 5-15% of World's GDP in the long term and 2-3% in the short term, while acting to address the issue will cost 1 to 2% of World's GDP, but this effort rises any minute we wait. Therefore, it is not anymore, a matter of if Ecological transformation is going to happen, but when and the sooner the better.

The European Union is the fourth responsible of greenhouse gas emissions, the root causes of Global warming, and is acknowledging that advanced economies who move faster in the crucial battlefield of their reduction will enjoy the highest advantages: the EU Green Deal places in this frame and pushes Member Countries to reach zero emissions by 2050.

This dissertation will analyse how the EU is performing in a specific instance of Ecological transformation, that of reducing vehicle emissions, and also its actual state-of-art with the support of a case study.

Road transport is responsible of around 20% of EU emissions and, out of it, more than 40% are due to vehicle emission, to eliminate this problem the world's largest economies commit to the complete replacement of internal combustion engine vehicles (ICEVs) in favour of electric vehicles (EVs).

Lithium-ion batteries (LIBs) are the motor of electric vehicles and there are several economic interests and social and environmental issues that revolve around these batteries. The first three chapters are dedicated to examining such problems for any step of the battery life cycle and indicating the most sustainable and economically efficient solutions available and to assessing if the European Union is working to become one of the leaders in this field, in compliance with human rights, even workers' conditions, and in respect of the environment. The last chapter presents the case study of an Italian company, FAAM, active in the production and recycling of LIBs.

The life cycle of a lithium-ion accumulator starts with the extraction of the raw materials: special focus is put on the sourcing of lithium and cobalt as the former is the critical component of the battery and the latter is the one providing for the highest performances. Moreover, their extraction is subject to many controversies and that is why the analysis will focus mainly on them: the Member States are almost entirely dependent on

other states outside the Union to supply these elements. In a strategically important sector such as electric transport, this lack of autonomy puts the European Union at a disadvantage in geo-economic terms compared to its competitors. Consequently, one of the main objectives set out in the proposal for a regulation COM(2020) 798 final is to reduce this dependence as much as possible and, above all, to develop new technologies that will enable the EU to become the world leader in this sector. This latter objective, however, I think is very unlikely given the cumbersome Chinese presence, which occupies a position of hegemony in almost all economic activities related to the life cycle of a LIB, from the extraction and processing of raw materials to the production and recycling of lithium-ion accumulators for electric vehicles.

The scarcity of lithium and cobalt in EU subsoil implies not only a commercial weakness but also social and environmental issues related to their provision. In the Democratic Republic of Congo, from which 60% of the global supply of cobalt comes, men, women and children are exploited in artisanal mines. The working conditions under which they are forced are inhuman and highly harmful for their health, both for respiratory pathologies caused by toxic powders and for the risk of collapse of the tunnels they dig with their bare hands.

Instead, as far as the impact on the environment is concerned, to give a significant example, the extraction of lithium in brine from the Chilean subsoil is desertifying the Antofagasta region. The extraction technique involves the drainage of huge quantities of water, rich in minerals and metals, that are then placed in artificial basins where the extracted water evaporates to leave on the bottom only metal residues such as lithium. This technique is responsible for 65% of water consumption in the area.

In order to address these issues, the European institutions in their proposal for a regulation COM(2020) 798 final present several solutions:

- enforcing compliance with the ten principles of the United Nations Global Compact, enforcing the OECD Guide on Duty of Diligence for Responsible Corporate Conduct and the International Labour Organization's Tripartite Declaration of Principles on Multinational Enterprises and Social Policy

- investing in transparency and traceability of sourcing: blockchain technology comes in handy to this purpose as allows to integrate into the batteries a software that tracks any data related to each component of the product, from the origin in the mines to the installation and use on the vehicle and subsequent recycle.

- developing a recycling system that ensures optimal recovery of raw materials in order to achieve greater autonomy in their supply.

In the same way, a possible solution at the root would be to replace, where possible, raw materials that come from doubtful sources. It is a viable alternative for cobalt for instance if traditional lithium-ion batteries are superseded by lithium-ion accumulators with cathodic lithium-iron-phosphate (LFP) composition. Some of the largest multinationals active in this field such as Tesla and BYD are investing in developing LFP batteries that have the same performance as batteries that use cobalt. Not applicable to the case of lithium

instead, for the clean supply the solution would be to stipulate commercial contracts with sustainability-committed countries, such as Canada or Australia.

The second chapter deals with the issues related to the environmental footprint of a lithium ion battery, measured through calculation methods used in the EU and the US, respectively the PEF model and the GREET model. These models show that, depending on the work processes that characterize the manufacture of an accumulator and the origin of the electricity employed when using a battery, a LIB can become an environmental paradox. The paradox lies in the fact that a tool aimed at reducing greenhouse gas emissions in the world such as the battery could instead be responsible for equal or even greater levels of pollution if, for example, during production or use electricity is derived from thermoelectric power plants. The solution to this problem would mainly be to use renewable energy with low environmental impact to power both the work processes and the LIB itself during the use phase. To avoid the realization of this paradox and therefore the circulation of anti-ecological lithium-ion batteries, the European Union has established that by 2024 all batteries will have to declare their carbon footprint, in view of 2027, the year in which the maximum carbon emission threshold for the lithium-ion accumulator must be set.

The last phase of the life of a lithium-ion battery is the end-of-life phase (EOL). Proper treatment of the battery during its EOL would allow the implementation of a circular economy with all the economic, social and environmental benefits.

It's important to point out that in addition to recycling and disposal, EOL is also composed of other processes. First, the exhausted battery, once the end-user ceases to use it, must be collected and brought to the processing plants. This step is of crucial importance and to ensure efficient collection the European Union in the draft law COM(2020) 798 final proposes to give the responsibility to recover exhausted batteries to manufacturers. Therefore, once a dense network of collection centres will be developed in Europe, it will be the producers of lithium-ion batteries who will have to take care, with their own resources, to make it work optimally.

Once it has been taken to the collection centre, the battery stage is analysed, and depending on the state of health it can be recycled or reused. This phase consists in giving a second life to the lithium-ion battery by now too worn to tow a vehicle (generally they are disassembled from the vehicles when they start to reach performances equal to 70-80% of their initial power) but in any case, with sufficient power to perform less onerous tasks, such as stationary accumulators; for example, in China they are used as backup power for telecommunication towers. The reuse phase would allow the battery life to be extended by 5/10 years, thus reducing costs for producers and cascading prices for consumers; in addition, the environmental impact of the battery would also decrease.

After the re-use phase there are some intermediate phases, such as regeneration, which aim to further optimize the recovery of the materials of the lithium-ion accumulator. However, these processes are still under testing and therefore they are merely quoted in my dissertation.

The proper recycling of components begins with the decomposition of the case containing the battery cells; generally, almost all the materials of the case, such as plastic and aluminium, are recycled. Next step is the metallurgical treatments to recover cathode-ray materials that can happen in two ways: pyro-metallurgic treatment, the most popular but highly polluting and from restricted revenue in terms of material recovery, and hydro-metallurgic one, with a lower environmental impact and better results for material recovery.

The main controversies related to the recycling process concern the economic trade-off of the recovery of cathode-ray materials: the costs of these processes are high and often the gains are limited. The main source of income of LIB recycling derives from the sale of recycled cobalt; so, on the one hand, an objective of the European Union is to reduce its dependence from foreign suppliers on cobalt, even replacing it with alternative materials as explained before, on the other hand its absence would make the process of recycling very uneconomic, thus precluding economic circularity and the whole system of the green economy that should be based on it.

Even more demanding is the recycling process of lithium; pyrometallurgical treatments with their high temperatures destroy this metal reducing it to a waste, while hydrometallurgical treatments that allow partial recovery of the metal, on the other hand, need to be perfected as they are not yet able to provide a sufficiently pure lithium to be reused in batteries.

It is therefore necessary to invest in research and technological development of metallurgical treatments and sustainable recycling processes that obtain the maximum return with the lowest economic effort. In this regard, it is worth mentioning the European partnerships IPCEI Batterie1 and IPCEI Batterie2, two projects that provide for a series of investments in the field of LIBs.

Equally important is the development of an extensive network of recycling and treatment centres for exhausted batteries that facilitate the collection of end-of-life devices. It is essential that these centres have a widespread and strategic distribution on European soil to make the process efficient.

To stress the cruciality of recycling, the proposed COM(2020) regulation sets the minimum percentages of recycled raw materials that must be obtained from each battery (90% cobalt, 90% nickel, 90% lead, 35% lithium, 90% copper by 2026) and also minimum percentages of total batteries that must go in recycling (45% by the end of 2026, 65% by the end of 2025, 70% by the end of 2030).

An existing example of sustainability and innovation in the field of batteries is the case study reported in the final chapters. FAAM is an Italian company active in the production and recycling of lithium-ion batteries for electric vehicles. A virtuous example that indicates to the European Union the correct path to

follow; FAAM produces lithium-ion batteries with a cathodic composition lithium-iron-phosphate and even if this chemical mixture has a lower energy density than cobalt and nickel batteries (Nickel-Magnesium-Cobalt or Nickel-Cobalt-Aluminium) it is perfect in terms of safety for carrying out works subject to particular stresses, the FAAM LIBs indeed are used for traction of heavy and industrial vehicles.

For decades, FAAM has supported the electric mobility sector by investing time and money. This commitment has been rewarded over time under various aspects: the company has been included in the, above mentioned, European project IPCEI Batterie1 through which the businesses involved will receive European funds for research and development to invest in this sector. Research and technological development are FAAM's leading light, in fact, their laboratories are trying to develop new LFP blends, alternatives already discussed in this thesis, which could achieve the same performance as cobalt and nickel-based blends; they are also developing hydrometallurgical treatments capable of recovering a high quantity of reusable lithium for batteries and they strive to achieve this goal within three years.

In order to carry out my case study, I had the opportunity to interview Cav. Federico Vitali, Vice President of Business Development at FAAM, and he well explained how the choice to produce cobalt or nickel-free batteries and the choice of using metallurgical treatments that have the least possible impact is due to the strong attention that FAAM and the holding to which it belongs, Seri Industrial Group, have for social and environmental issues. Even if a company cannot go on without profit, the economic return is not the only goal it must aim for, of equal importance are the social and environmental impacts that economic activity entails.

The example of FAAM has helped me also in drawing the conclusions of my dissertation; the solutions indicated as viable in this thesis, among the ones examined, to solve the problems related to the economic, environmental, and social sustainability of lithium-ion batteries for electric vehicles are the followings:

- Eliminating or at least drastically reducing the cobalt inside the LIBs. The extraction and processing of this metal are at the origin of serious violations of human rights, moreover, being present in rather limited quantities in Europe, its supplying places the Member States in a position of dependence on other states.

- Developing an operational and efficient recycling system that guarantees greater resilience for the supply of raw materials and that allows to reduce the environmental impact of the life cycle of a battery. Furthermore, the construction of recycling and treatment plants for end-of-life batteries will create new jobs and generate significant economic benefits: the Teverola FAAM plant is a practical example: it employs 75 former Whirlpool workers and in 2020, despite the pandemic, employment increased by 11%.

- Closing commercial contracts for purchase of raw materials not available in Europe, such as lithium, with countries or companies able to guarantee the highest degree of transparency and sustainability.

- Using renewable energy sources for the electricity employed both for the production of LIBs and during the usage phase and demand that Member Countries set the maximum pollution thresholds relating to the environmental footprint of the product as soon as possible.

- Developing a system for the traceability of raw materials used and production processes to produce lithium-ion batteries for electric vehicles. Also in this case, we can take FAAM as example since it already uses a tracking software, which will be even enhanced in the near future.

The European targets to produce lithium-ion batteries are very ambitious and I don't think they can all be achieved as they have to face the reality of China, which is already a world leader in this sector and well ahead in the projects that are still in development in the Union. However, Member Countries can aim to conquer an important slice of the market, first becoming almost totally independent from non-EU States and then trying to create a LIBs market characterized by the highest degree of transparency and sustainability. It goes without saying, the commitment of all EU Countries and Institution is critical for the success of this strategy in the established time frame and we will see very soon if we are on track.

