

Una filiera di batterie a litio per veicoli elettrici. Re-industrializzazione e occupazione per l'Italia.

A cura di **Nicola M. Carnevali, Giulia I. Guerra, Gianluca Mancini e Gabriele Romeo**

Settembre 2023

Una pubblicazione di



Con il supporto scientifico di



Una filiera di batterie a litio per veicoli elettrici. Re-industrializzazione e occupazione per l'Italia.

Pubblicazione di
Orizzonti Politici

a cura di
Nicola M. Carnevali, Giulia I. Guerra, Gianluca Mancini e Gabriele Romeo

Per informazioni: info@orizzontipolitici.it

Settembre 2023 - Tutti i diritti riservati

Orizzonti Politici
Viale Premuda 27, 20129, Milano (MI)
www.orizzontipolitici.it

Prefazione

L'Accordo di Parigi sul clima ha contribuito a rafforzare le politiche di decarbonizzazione in molti paesi del mondo. Ha favorito un'accelerazione dello sviluppo di tecnologie pulite, dal solare all'eolico nella produzione di energia, per arrivare a pompe di calore, veicoli elettrici e batterie. Parliamo di una trasformazione radicale dell'architettura del sistema energetico globale, con importanti ripercussioni sulle economie dei paesi coinvolti.

I paesi che sapranno cogliere la sfida dell'innovazione potranno beneficiare di questa trasformazione, generando crescita economica e occupazione. Nei prossimi anni, la domanda di mercato delle *clean energy technologies* è destinata a crescere in modo esponenziale, e con questa la richiesta dei materiali necessari alla loro produzione, quali litio, cobalto, nichel, grafite, manganese e platino, terre rare. Materiali considerati critici, sia perché indispensabili nella produzione di queste tecnologie, sia per i rischi di approvvigionamento, data l'elevata frammentazione geografica dell'estrazione delle materie prime e il sostanziale dominio asiatico nelle fasi di trasformazione. Questa situazione è causa di forti tensioni geoeconomiche e richiede un progressivo riordinamento delle catene del valore, in un'ottica di riequilibrio competitivo globale.

Come per tutti i settori coinvolti nella transizione energetica, anche l'evoluzione del settore automotive dipende fortemente dagli sviluppi di questi aspetti. Per questo, parlare di veicoli elettrici e batterie non significa soltanto confermare la necessità di un cambio di paradigma tecnologico per la decarbonizzazione della mobilità, ma equivale ad affrontare dinamiche economiche strategiche, presenti e future, in un quadro geopolitico in profondo mutamento.

Il lavoro dei ricercatori di Orizzonti Politici coglie la portata di questa sfida e propone un approfondimento sui molteplici aspetti chiave, e le opportunità per l'Italia, dello sviluppo di filiere di produzione di batterie per veicoli elettrici, integrate a monte con una strategia di approvvigionamento di materiali critici e a valle da un solido ecosistema del riciclo.

La valenza di una nuova economia dell'energia basata sulle rinnovabili e sui materiali che la rendono possibile, sta nel fatto che questi ultimi possono essere riutilizzati, moltiplicando nel tempo il loro valore strategico ed economico. Il contrario di un'economia basata sui combustibili fossili, il cui valore va in fumo con la loro combustione.

Massimiliano Bienati

Responsabile del programma trasporti

ECCO
THE ITALIAN CLIMATE CHANGE THINK TANK

Abstract

Il presente report ha l'obiettivo di mettere in luce le principali criticità e opportunità della trasformazione che il settore automotive italiano ed europeo affronterà nei prossimi decenni, in particolare per ciò che concerne la filiera di produzione delle batterie al litio.

L'analisi condotta evidenzia tre aspetti principali:

- ad oggi, **il continente europeo è sostanzialmente assente dalla fase di produzione midstream delle batterie a litio.**
- ridurre il divario produttivo rispetto all'Asia permetterebbe di raggiungere e superare gli obiettivi europei di manifattura LIBs domestica, creando 165.000 posti di lavoro e 120 miliardi di euro di ricavi al livello europeo, nonché **8.600 posti di lavoro e 6,5 miliardi di euro di ricavi in Italia al 2030.**
- nel contesto di una filiera integrata e resiliente di prodotti semilavorati, il **riutilizzo** e il **riciclo** delle batterie assumerà un ruolo sempre più centrale dal punto di vista economico, strategico e ambientale.

Indice

Sommario	5
Introduzione	6
1. Sfide e opportunità di una filiera industriale di batterie per veicoli elettrici	7
1.1. La produzione di batterie per veicoli elettrici nel mondo	7
1.2. Batterie per veicoli elettrici in Italia: sfide, opportunità e stato dei lavori	9
1.2.1. <i>Sfide</i>	9
1.2.2. <i>Opportunità occupazionali e di mercato</i>	11
2. I processi produttivi di una filiera industriale di batterie per veicoli elettrici ..	12
2.1. Processi manifatturieri	12
2.1.1. <i>Componenti e manifattura degli elettrodi</i>	13
2.1.2. <i>Assemblaggio delle celle e manifattura della batteria</i>	15
2.2. Una filiera circolare.....	15
Bibliografia	18
<i>Box 1</i>	20
<i>Box 2</i>	20

Sommario

Il presente report si pone un duplice obiettivo: da un lato, mettere in luce alcune delle criticità e delle opportunità portate dalla trasformazione che il settore automotive italiano ed europeo dovrà affrontare nei prossimi decenni, con un focus particolare sulle filiere di produzione delle batterie al litio; dall'altro, poiché fondamentale ai fini della transizione del settore automotive, il report presenta una panoramica dei processi manifatturieri di una filiera di produzione di batterie per VE, con uno sguardo alle relative opportunità di un'economia circolare.

La sezione 1.1 offre un'introduzione allo stato attuale della filiera delle batterie al litio nel mondo. Successivamente, nella sezione 1.2, si passano in rassegna alcune delle tematiche inerenti alla realizzazione di una filiera di produzione di LIBs per VE in Italia. Si affrontano: le sfide della realizzazione di una filiera integrata di batterie sul territorio (1.2.1) e le opportunità occupazionali e di crescita generate dalla filiera di LIBs per VE (1.2.2). La sezione 2.1 offre un quadro dei processi manifatturieri e della tecnologia alla base della creazione di celle per batterie. L'attenzione è posta sulle componenti e la manifattura degli elettrodi (2.1.1) e l'assemblaggio delle celle e la manifattura della batteria (2.1.2). Infine, data l'importanza della seconda vita delle LIBs e del loro riciclo, i principi di una filiera circolare sono presentati in 2.2 con un approfondimento sulle sfide e opportunità del riutilizzo e riciclo di LIBs.

L'analisi condotta evidenzia tre aspetti principali da considerare. Primo, ad oggi il blocco europeo è sostanzialmente assente dalla fase di produzione *midstream* delle batterie a litio. Secondo, realizzare i progetti di *gigafactories* annunciati permetterebbe di raggiungere e superare gli obiettivi europei di manifattura LIBs domestica, creando 165.000 posti di lavoro e 120 miliardi di euro di ricavi al livello europeo, nonché 8.600 posti di lavoro e 6,5 miliardi di euro di ricavi in Italia al 2030. Affermarsi nella fase *midstream* della filiera e ridurre il divario produttivo rispetto alla Cina, Giappone e Corea del Sud rappresenterebbe un'importante opportunità per l'economia italiana ed europea, fungendo da nuovo polmone occupazionale e mitigando gli effetti negativi della decrescita del settore *automotive* nazionale, con ricadute positive su ampie fasce del tessuto industriale. Terzo, nel contesto di una filiera integrata e resiliente di prodotti semilavorati, il riutilizzo e il riciclo delle batterie assumerà un ruolo progressivamente rilevante. Permetterebbe infatti di ridurre la domanda di importazione di materiali critici a fronte di una domanda in crescita di batterie, ammortizzando la dipendenza dai mercati internazionali.

Introduzione

Il settore automobilistico si trova oggi coinvolto in una sfida epocale: cambiare forma e adattarsi alle nuove sfide tecnologiche e di mercato poste dalla transizione verso economie a zero emissioni di gas climalteranti. Secondo la Commissione europea, tenendo conto di tutte le politiche pubbliche esistenti, rispetto ai livelli del 1990 le emissioni di anidride carbonica (CO₂) del trasporto su strada dovrebbero diminuire del 4% entro il 2030 e del 35% entro il 2050.¹ Questi dati sono distanti sia dagli obiettivi 2030 previsti dal pacchetto di misure 'Fit for 55' (FF55), sia dall'obiettivo di neutralità carbonica al 2050 fissato dalla European Climate Law. La risposta europea ai bisogni di decarbonizzazione del settore investe il trasporto su strada in modo comprensivo, senza tralasciare i processi manifatturieri delle tecnologie necessarie per permettere tale trasformazione. Infatti, in aggiunta alle direttive e regolamenti UE in ambito trasporto su strada, aggiornati alla luce del pacchetto FF55, la Commissione ha recentemente proposto l'adozione del Green Deal Industrial Plan, volto a potenziare la competitività industriale europea circa le cosiddette *net-zero technologies*.² Nel settore dei trasporti, il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione passa soprattutto dall'elettrificazione della mobilità passeggeri e merci su strada, tramite il superamento del motore a combustione interna.³ Il cuore pulsante dei veicoli elettrici (VE) è costituito dalle batterie agli ioni di litio (*Lithium-ion Batteries*, LIBs), che oggi rappresentano tra il 30 e il 40% del valore dell'intero veicolo.⁴ Cruciali per la produzione delle LIBs sono vari minerali critici, come litio, nichel e cobalto. Nel 2021-2022, l'aumento dei prezzi delle materie prime e dei componenti delle batterie ha determinato il primo aumento dei prezzi delle LIBs (+7%) da più di un decennio.⁵ Tale dinamica è stata causata da un aumento di domanda unito a limitazioni di offerta, come i colli di bottiglia logistici post pandemia da Covid 19, le preoccupazioni relative alla fornitura di nichel di classe 1 dalla Russia e la mancanza di investimenti in nuove capacità di approvvigionamento nei tre anni precedenti il 2021, quando si è assistito a una fase di bassi prezzi dei minerali per le LIBs.⁶ Storicamente, gli aumenti di prezzo sono stati seguiti da un'espansione dell'offerta attraverso lo sviluppo di nuove miniere o il prolungamento della durata di quelle esistenti. Tra il 2020 e il 2021, l'attività estrattiva di nichel è aumentata del 50%, mentre quella del litio è triplicata, suggerendo che la recente dinamica possa in ultima analisi favorire la futura offerta di minerali critici.⁷ Dal 2010, i prezzi delle batterie per VE sono diminuiti dell'87% e si avvicinano a livelli in cui i costi iniziali delle auto elettriche competono con i veicoli a combustione interna senza sussidi.⁸

¹ European Environment Agency, *Transport and Environment report 2021: Decarbonising road transport – the role of vehicles, fuels and transport demand* (Lussemburgo: Publications Office of the European Union, 2022).

² Commissione europea, *The Green Deal Industrial Plan: putting Europe's net-zero industry in the lead* (2023). Consultato il 30/06/2023 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_510

³ Il presente report non tratta il ruolo degli *advanced biofuels* nella decarbonizzazione dei trasporti.

⁴ International Energy Agency, *Global Supply Chains of EV Batteries* (Parigi: IEA Publications, 2022).

⁵ Bloomberg NEF, *Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh* (2022). Consultato il 30/06/2023 <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>

⁶ International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023* (Parigi: IEA Publications, 2023).

⁷ *Ibid.*

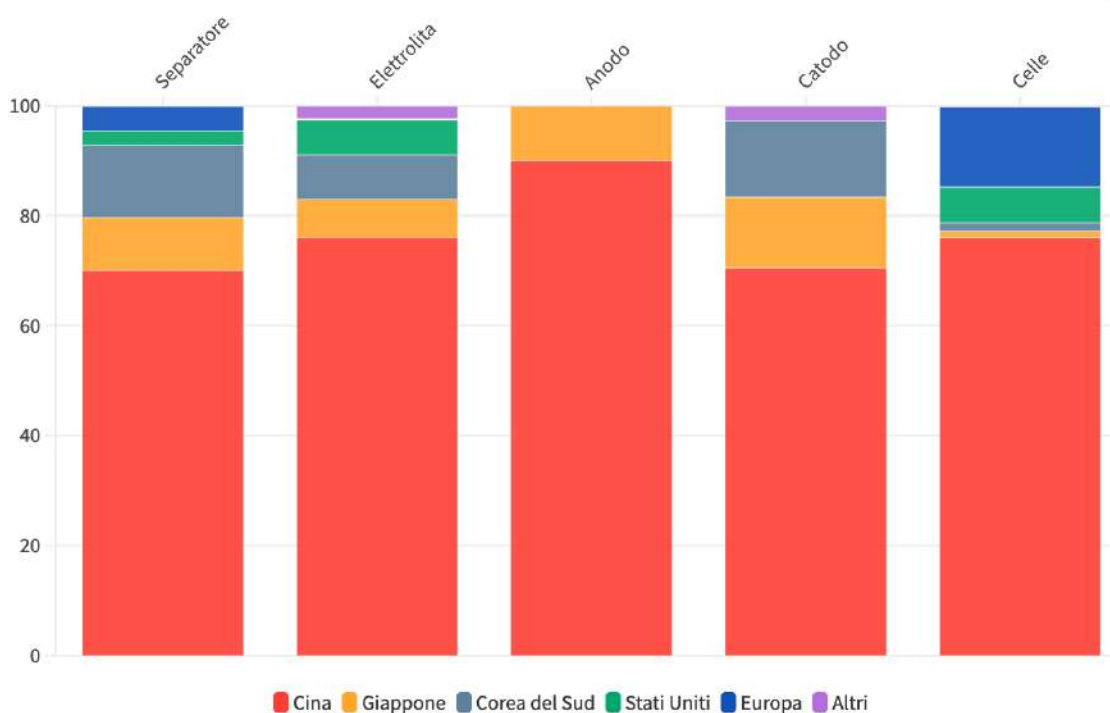
⁸ International Energy Agency, *Evolution of a Li-ion battery price, 1995-2019* (2020). Consultato il 30/06/2023 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-li-ion-battery-price-1995-2019>

1. Sfide e opportunità di una filiera industriale di batterie per veicoli elettrici

1.1. La produzione di batterie per veicoli elettrici nel mondo

Oggi, la filiera produttiva delle batterie a litio (LIBs) è concentrata nei paesi asiatici. Partendo dalla fase *upstream*, in Cina ha sede più del 50% del processamento e della raffinazione di materiali grezzi fondamentali per la tecnologia LIBs odierna come litio, cobalto e nickel. La Figura 1 mostra invece la concentrazione geografica dei cinque processi di produzione *midstream*, al centro della catena manifatturiera delle batterie a litio. Oltre alla Cina, che detiene più del 70% della capacità produttiva in ogni processo, solo il Giappone è presente lungo tutta la filiera *midstream*. A livello di aziende, la cinese CATL, la coreana LG Energy Solution e la giapponese Panasonic coprono il 65% della produzione globale di celle elettrochimiche per LIBs, grazie a filiere già sviluppate e ad alto fattore produttivo. La Corea del Sud detiene il 5% della quota produttiva globale di batterie, ed è responsabile del 15% del materiale catodico globale, mentre il Giappone, con il 4% di capacità produttiva globale di batterie, produce il 14% del materiale catodico e l'11% del materiale anodico.⁹ Gli Stati Uniti, che contano per il 10% della produzione globale di veicoli elettrici, raggiungono il 7% per quanto riguarda le batterie. Nonostante in Europa si producano oltre un quarto dei veicoli elettrici globali, il blocco partecipa solo marginalmente alla produzione di celle e separatori, mentre è assente da quella di elettroliti, anodi e catodi.

Figura 1 - Distribuzione dei processi di produzione midstream delle LIBs

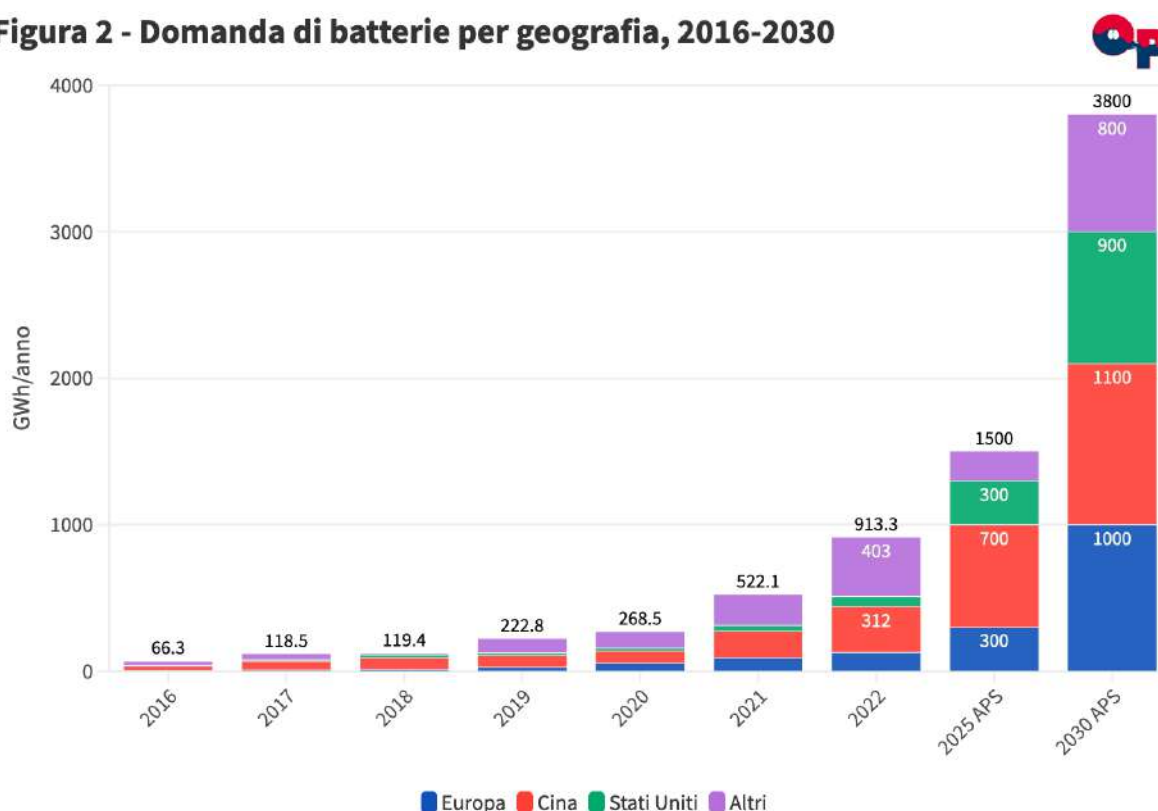


Fonte: elaborazione di Orizzonti politici su dati IEA, Global Supply Chains of EV Batteries (2022)

⁹ International Energy Agency, *Global Supply Chains of EV Batteries* (Parigi: IEA Publications, 2022).

La crescita della domanda di batterie registrata e prevista rende lo sviluppo di una filiera manifatturiera di LIBs prioritario. Nel 2022, la domanda globale di batterie per VE è aumentata del 65% rispetto all'anno precedente e potrebbe raggiungere i 3.8 TWh annuali nel 2030, secondo lo scenario Announced Policies Scenario della IEA (Figura 2).^{10,11}

Figura 2 - Domanda di batterie per geografia, 2016-2030



Fonte: elaborazione di Orizzonti Politici su dati IEA, Battery Demand by Region, 2016-2022 (2023)

L'espansione di questo mercato è stata resa possibile principalmente dall'introduzione dei sussidi all'acquisto di VE, i quali hanno stimolato indirettamente anche la produzione delle batterie apposite. Ciò ha innescato un forte aumento di competitività nei confronti dell'alternativo motore a combustione interna, portando le batterie dall'essere usate solo in modalità ibrida a comporre l'intero *powertrain*.¹² Nel 2022, la spesa globale in veicoli elettrici ha raggiunto i 425 miliardi di dollari, segnando un +50% rispetto al 2021. Ne consegue che lo sviluppo di una filiera di batterie al litio per VE in Europa assicurerebbe profitti per una fetta di mercato in grande crescita.¹³

¹⁰ International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023* (Parigi: IEA Publications, 2023).

¹¹ International Energy Agency, *Annual EV battery demand projections by region and scenario, 2020-2030* (2021). Consultato il 30/06/2023 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-ev-battery-demand-projections-by-region-and-scenario-2020-2030>

¹² International Energy Agency, *Global Supply Chains of EV Batteries* (Parigi: IEA Publications, 2022).

¹³ *Ibid.*

1.2. Batterie per veicoli elettrici in Italia: sfide, opportunità e stato dei lavori

La transizione del settore automotive dal motore a combustione interna a quello elettrico è perno centrale della strategia di decarbonizzazione del settore dei trasporti europeo.¹⁴ Allo stato attuale l'Italia non gode di un ecosistema integrato per la produzione di veicoli elettrici e dipende dall'estero per molte delle componenti necessarie alla realizzazione degli stessi, tra cui le batterie a litio. Per comprendere quali passi dovrà muovere l'Italia per la realizzazione di una filiera di produzione di batterie è necessario conoscere le sfide e le opportunità legate alla sua implementazione. Osserviamo di seguito in che modo questa filiera potrebbe svilupparsi sul territorio italiano e i potenziali effetti sul settore automotive tradizionale.

1.2.1. Sfide

Affinché l'Italia possa contribuire in misura maggiore alla produzione di batterie per VE all'interno di un evoluto tessuto produttivo europeo, è opportuno analizzare le necessità legate allo sviluppo della filiera. La creazione di una filiera di batterie al litio richiede impianti industriali ad hoc, le cosiddette *gigafactories*. Il Net Zero Industry Act, nella versione proposta dalla Commissione, mira a soddisfare il 90% della domanda UE di LIBs con produzione domestica entro il 2030.¹⁵ Questo obiettivo, sebbene non vincolante, implica un'aggiunta di 474 GWh agli attuali 75, corrispondenti a circa 70 miliardi di euro di investimenti in capacità manifatturiera aggiuntiva e circa 30 nuove *gigafactories*.¹⁶ Nonostante questa capacità aggiuntiva sia ad oggi interamente coperta da progetti pianificati e parzialmente finanziati o annunciati, rimane elevata incertezza circa la loro effettiva implementazione, specialmente alla luce della competizione di politiche industriali in paesi al di fuori dell'UE.

Oltre alla realizzazione e alla gestione operativa degli impianti, bisogna garantire un approvvigionamento sicuro e costante nel tempo delle materie prime e dei semilavorati impiegati, oggi caratterizzati dai livelli di concentrazione geografica sopradescritti. Tale concentrazione della filiera potrebbe indurre dinamiche di coercizione economica, da un lato rendendo il comparto più vulnerabile a shock dell'offerta, e dall'altro innescando dinamiche geopolitiche dannose e ostili. Il comparto industriale europeo si trova davanti alla difficile sfida di recuperare un enorme *gap* tecnologico e di investimenti di settore. Il ruolo guida della Cina nella produzione globale di batterie elettriche è infatti il risultato diretto di oltre un ventennio di politiche che hanno dato priorità allo sviluppo di una catena di produzione interne altamente integrate.¹⁷

¹⁴ Commissione europea, *Veicoli a emissioni zero: il primo accordo "Pronti per il 55%" porrà fine entro il 2035 alla vendita in Europa di nuove autovetture che emettono CO₂"* (2022). Consultato il 30/06/2023

https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/veicoli-emissioni-zero-il-primo-accordo-pronti-il-55-porra-fine-entro-il-2035-alla-vendita-europa-di-2022-10-28_it

¹⁵ Commissione europea, *Legge sull'industria a zero emissioni nette* (2023). Consultato il 30/06/2023 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/net-zero-industry-act_it0zero%20emissioni%20nette&text=L%27obiettivo%20è%20che%20la,di%20diffusione%20entro%20il%202030

¹⁶ Commissione europea, *Investment needs assessment and funding availabilities to strengthen EU's Net-Zero technology manufacturing capacity* (Bruxelles: 2023), *staff working document*.

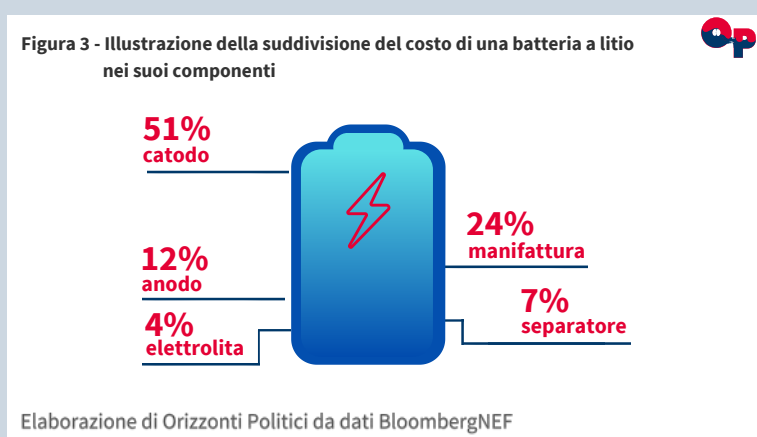
¹⁷ International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023* (Parigi: IEA Publications, 2023).

In base al tipo di materiale, alternative alle forniture asiatiche potrebbero venire dagli sviluppi tecnologici, ad esempio nella produzione di grafite sintetica, o dall'apertura di nuovi siti estrattivi domestici integrati con impianti di raffinazione: opzioni costose e impattanti ma comunque percorribili adottando opportuni standard di protezione ambientale.¹⁸ Ciò rende necessario un piano di politica industriale adeguato e innovativo.¹⁹ Puntare sul riciclo dei materiali da batterie a fine vita è un'opzione strategica per un continente che, come l'Europa, necessita di diminuire la propria dipendenza dall'estero per l'approvvigionamento di materie prime. Permetterebbe al contempo di trasformare una debolezza strategica, l'essere un importatore di LIBs, in opportunità, potendo far leva sui minerali critici già presenti nel mercato interno. I materiali disponibili in Europa per il riciclo - provenienti da batterie a fine vita - potrebbero soddisfare dall'8 al 12% del fabbisogno comunitario complessivo di materiali critici nel 2030, in particolare il 10% di cobalto, il 7% di nichel e il 6% di litio.²⁰ Queste percentuali potrebbero crescere esponenzialmente in proporzione all'espansione del mercato di VE. Il ruolo del riciclo è approfondito nel dettaglio nella sezione 2.2.

Box 1

Catturare il valore della filiera

Nell'approcciarsi allo sviluppo della filiera di LIBs è indispensabile conoscerne il valore e i costi. Come riassunto nella Figura 3, guardando al costo della singola cella, il 51% è costituito dalla produzione del catodo, che generalmente impiega litio, cobalto e i più economici manganese e nichel.



L'anodo, composto principalmente da grafite, rappresenta il 12% dei costi, mentre l'elettrolita il 4%. La manifattura delle celle, che include l'assemblaggio delle componenti, rappresenta il 24% dei costi totali.^a In termini assoluti, il costo delle batterie è diminuito di circa il 20% ad ogni raddoppio della capacità installata, da più di 6000 \$/kWh per 1,55 MWh di capacità installata cumulativa nel 1992 a 150 \$/kWh per 948000 MWh nel 2022.^b Nel lungo periodo, sarà probabile osservare cambiamenti sia nella distribuzione relativa dei costi delle LIBs che nella loro entità assoluta. La prima verrà probabilmente influenzata dai costi relativi delle chimiche utilizzate (riduzione dell'utilizzo di cobalto e quindi del costo del catodo) e dell'elettricità, utilizzata per la manifattura. L'entità assoluta dei costi si prevede che risentirà degli effetti positivi della *learning economy*, sebbene a ritmi progressivamente minori al maturare della tecnologia. Gli scenari più ottimisti indicano un prezzo di circa 70 \$/kWh per le LIBs nel 2050.^c

¹⁸ ECCO, *Lo Sviluppo di Standard Comuni e Condivisi per la Sicurezza e la Resilienza delle Filiere dei Minerali Critici* (2023).

¹⁹ Usai et al., *Analysis of the Li-ion battery industry in light of the global transition to electric passenger light duty vehicles until 2050* (Bristol: IOP Publishing, 2022).

²⁰ Transport&Environment, *A European Response to US IRA* (2023).

1.2.2. Opportunità occupazionali e di mercato

Colmare il *gap* presentato sopra tra progetti finanziati e annunciati determinerà l'effettivo impatto occupazionale del settore LIBs. Nel valutare il potenziale occupazionale è opportuno tenere conto della fase della catena del valore a cui si fa riferimento. Dei 400 lavoratori necessari in media per ogni GWh di batterie prodotto, infatti, solo 110 sono legati all'assemblaggio e alla produzione delle batterie e dei macchinari necessari per questi processi, escludendo dunque l'intera catena del valore *upstream*.²¹ In attesa degli sviluppi industriali legati alle previsioni del Critical Raw Material Act, utilizzare il secondo valore rispetto al primo appare oggi maggiormente realistico nel contesto italiano ed europeo, dove l'estrazione e raffinazione dei minerali per le LIBs è estremamente ridotta in proporzione alla fase *midstream*.²² Dati i progetti di *gigafactories* annunciati, pianificati o commissionati ad oggi entro il 2030, che ammontano a circa 80 GWh in Italia e a 1.500 GWh nel territorio europeo, il potenziale occupazionale riguarderebbe circa 8.600 e 165.000 posti di lavoro, rispettivamente. Occorre sottolineare che queste proiezioni sono condizionali alla completa esecuzione dei progetti annunciati, esistenti e in corso di implementazione.²³ Di contro, dato il rapido sviluppo che contraddistingue il mercato delle LIBs, non è da escludere che la quota aggregata di produzione possa aumentare ulteriormente, con le conseguenti ricadute occupazionali.

La formazione di nuove risorse e la crescente domanda di profili qualificati per una filiera manifatturiera di LIBs accompagnerà la riqualificazione e ricollocazione dei lavoratori attualmente occupati nel settore automobilistico italiano e coinvolti nella transizione. Nonostante i *trend* al 2030 suggeriscano una riduzione delle vendite di auto a motore endotermico a livello europeo fino al 60%, si stima che la maggior parte della filiera tradizionale possa convertirsi con successo alle nuove filiere del valore associate ai veicoli elettrici.²⁴ Nel contesto italiano, contraddistinto da un settore automobilistico in continua contrazione da più di due decenni, la transizione verso le auto elettriche potrebbe rappresentare un punto di svolta. Si stima infatti che nel prossimo decennio, a fronte di una perdita nel settore tradizionale, il saldo netto di crescita occupazionale complessivo sarà del +6%, corrispondente alla creazione di 15.000 nuovi posti di lavoro.²⁵

Investire nella manifattura delle batterie nel contesto dell'affermazione della mobilità elettrica ha un rationale economico per due motivi. Primo, come mostrato in Figura 2, il mercato europeo dal 2025 al 2030 sarà quello con la maggiore crescita di domanda. Secondo, la produzione delle LIBs rappresenta gran parte dei ricavi potenziali provenienti dalla produzione del *powertrain* elettrico (80% in Europa al 2030), stimati a 120 miliardi di euro in Europa alla fine del decennio.²⁶ Assumendo la piena implementazione dei progetti annunciati sul territorio nazionale, i ricavi potenziali per la manifattura di LIBs in Italia sono di circa 6,5 miliardi di euro al 2030. Ne consegue che investire in questo settore genererebbe ritorni

²¹ EIT RawMaterials & Fraunhofer, *Future Experts needs in the Battery Sector* (Berlin: 2021).

²² [Critical Raw Materials Act \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=CELEX%3A32023L0001)

²³ Bloomberg NEF, *1H 2023 Energy Storage Market Outlook* (2023), Consultato il 30/06/2023 <https://about.bnef.com/blog/1h-2023-energy-storage-market-outlook/>

²⁴ BCG, *Is E-mobility a Green Boost for European Automotive Jobs?* (2021).

²⁵ MOTUS-E, *Rapporto sulle trasformazioni dell'ecosistema automotive italiano* (2022).

²⁶ strategy&, *Digital Auto Report 2021/22, accelerating towards the «New Normal»* (PwC, 2022).

significativi per il tessuto produttivo italiano, con un impatto positivo sulla crescita dell'economia nazionale e sull'occupazione. Ciò sarebbe possibile puntando non solo sull'inserimento del Paese nel mercato globale dei veicoli elettrici in qualità di produttore di celle o fornitore di componentistica, ma anche creando ecosistemi di industrie verticalmente integrate che uniscano alla produzione di celle la fornitura dei materiali necessari e l'*expertise* per la distribuzione degli stessi.

2. I processi produttivi di una filiera industriale di batterie per veicoli elettrici

Come approfondito nel precedente capitolo, lo sviluppo di una filiera industriale di batterie per veicoli elettrici è cruciale per assicurare la transizione dell'*automotive*, ma anche per aumentare la resilienza di un settore produttivo strategico a livello geopolitico e con un alto potenziale economico.²⁷ Per sviluppare tale filiera è fondamentale formare profili con competenze specifiche e ad oggi carenti all'interno del mercato europeo.²⁸ La competitività della filiera, ad alta intensità di capitale, passa dalla capacità di progettare e operare le *gigafactories*.^{29,30} Questi impianti ospitano i complessi processi produttivi che compongono la catena del valore delle batterie. Il presente capitolo ne riporta i passaggi che interessano la produzione delle celle, componente fondamentale delle LIBs.

2.1. Processi manifatturieri

Negli ultimi anni i progressi tecnologici delle batterie agli ioni di litio hanno visto un forte sviluppo: il costo della tecnologia è diminuito da 1000 \$/kWh all'inizio degli anni 2000, ai circa 150 \$/kWh nel 2021.³¹ In aggiunta, la densità energetica è quasi raddoppiata nel decennio 2010-2020, passando da 150 Wh/kg a circa 300 Wh/kg.³² Gli odierni veicoli elettrici e ibridi utilizzano principalmente la tecnologia LIBs all'interno del loro sistema di propulsione.³³ Infatti, la forte diminuzione dei costi di produzione di tale tecnologia, la sua densità ed efficienza energetica e la possibilità di ottenere batterie con diversi rapporti di potenza erogabile e capacità energetica hanno fatto sì che le batterie a litio dominassero il settore *automotive*.³⁴

²⁷ MOTUS-E, *Rapporto sulle trasformazioni dell'ecosistema automotive italiano* (2022).

²⁸ Comitato economico e sociale europeo, *European companies increasingly struggle to get qualified workers* (2023). Consultato il 30/06/2023 <https://www.eesc.europa.eu/it/news-media/press-releases/european-companies-increasingly-struggle-get-qualified-workers>

²⁹ Gifford, "The gigafactory boom: the demand for battery manufacturing in the UK", *Farady Insights, Issue 2, aggiornamento luglio 2022*.

³⁰ MOTUS-E, *Rapporto sulle trasformazioni dell'ecosistema automotive italiano* (2022).

³¹ Bloomberg NEF, *Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh* (2022). Consultato il 30/06/2023 <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>

³² Liu *et al.*, *Current and future lithium-ion battery manufacturing* (Elsevier, 2021).

³³ Scrosati *et al.*, *Advances in battery technologies for electric vehicles* (Woodhead Publishing, 2015).

³⁴ Placke *et al.*, "Lithium ion, lithium metal, and alternative rechargeable battery technologies: the odyssey for high energy density.", *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21 (2017).

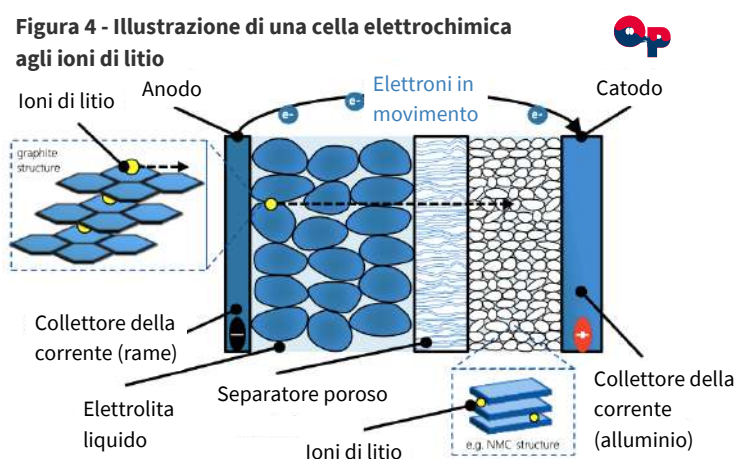
All'interno della famiglia delle LIBs, il catodo è l'elettrodo cardine delle celle (per la cui funzione si rimanda alla sezione 2.1.1) e i materiali utilizzati per la sua produzione influenzano le proprietà elettrochimiche della batteria, così come il suo costo e la sostenibilità ambientale.

Un recente report redatto dall'Agenzia Internazionale dell'Energia evidenzia come le LIBs che saranno più competitive in futuro, le tecnologie NMC 811 (nicel-manganese-cobalto) e LFP (litio-ferro-fosfato), si basano rispettivamente su un catodo che combina un'alta concentrazione di nichel a un basso utilizzo di cobalto e sulla completa sostituzione di tali materiali.³⁵ A causa del costo del cobalto e delle controversie etiche all'interno della sua catena di approvvigionamento, ci si aspetta che il mercato si orienterà verso una graduale sostituzione delle batterie ad alto contenuto di questo materiale (NCA).³⁶ Indipendentemente dal tipo di chimica o configurazione, i processi produttivi alla base della manifattura e assemblaggio delle batterie al litio, che racchiudono un'importante fetta del valore di una batteria (cfr. sezione 1.2), sono comuni a tutti i tipi di LIBs.³⁷

I paragrafi che seguono illustrano le fasi salienti che caratterizzano la produzione di celle per batterie a litio che potrebbero essere incluse all'interno della catena di una *gigafactory*.

2.1.1. Componenti e manifattura degli elettrodi

L'unità fondamentale di una batteria a litio per VE è caratterizzata dalla cella elettrochimica, composta da elettrodi (anodo e catodo), elettrolita, separatore e collettori di corrente. Le batterie che alimentano i motori dei veicoli elettrici odierni non sono altro che la composizione di più celle in serie.³⁸ La Figura 4 mostra una rappresentazione semplificata di una cella a ioni di litio.



Elaborazione di Orizzonti Politici di Illustrazione in Heimes, Heiner Hans, et al. Lithium-ion battery cell production process. PEM der RWTH Aachen University, 2018.

³⁵ International Energy Agency, *The role of critical minerals in clean energy transitions* (Parigi: IEA Publications, 2021).

³⁶ *Ibid.*

³⁷ Liu et al., *Current and future lithium-ion battery manufacturing* (Elsevier, 2021).

³⁸ Heimes et al., *Lithium-ion battery cell production process* (VDMA Battery Production, 2019).

Come si può vedere nell'illustrazione, il flusso di corrente durante la scarica della batteria è causato dal movimento degli elettroni dall'anodo al catodo in un circuito esterno, accompagnato dal corrispondente passaggio dall'anodo al catodo degli ioni di litio attraverso il separatore poroso che divide i due elettrodi. Il movimento degli ioni all'interno della cella è agevolato dall'elettrolita liquido, che facilita la conversione di energia chimica in energia elettrica. Le componenti fondamentali di una cella elettrochimica sono gli elettrodi ed è quindi capitale approfondire i laboriosi processi di manifattura dell'anodo e del catodo.

Mixing

Il processo di mixing, detto anche "*slurry mixing*", determina in larga parte le performance elettrochimiche della cella. Il materiale attivo è rappresentato per quanto riguarda l'anodo da grafite e per quanto riguarda il catodo dal composto chimico che caratterizza la tipologia specifica della batteria a litio (e.g. composto di LiNiMnCoO_2 per la tecnologia NMC). Entrambi i materiali sono arricchiti di nero di carbonio, binder e solventi. L'ingegnerizzazione del processo cambia a seconda del design e della tecnologia specifica della batteria e ha un impatto notevole sulle caratteristiche delle celle: per questo motivo, è fondamentale avvalersi di professionisti in grado di comprendere la relazione tra le caratteristiche del processo manifatturiero e quelle del prodotto.³⁹

Coating e drying

Una volta ottenuta la mistura, un foglio di alluminio o rame ne è ricoperto in modo "continuo" o "intermittente". Il foglio ricoperto passa poi al processo di asciugatura. I solventi presenti nella mistura sono rimossi e recuperati tramite evaporazione e conseguente distillazione: quest'ultimo passaggio è fortemente intensivo a livello energetico. Eliminando l'utilizzo di solventi, tutto il processo può essere reso meno inquinante. In generale il *Coating e Drying* è il processo più costoso (20% del costo totale) di tutta la catena di produzione.^{40,41}

Calandratura e taglio

I fogli di alluminio o rame ricoperti nel precedente passaggio sono compressi per assicurarsi che il materiale degli elettrodi aderisca completamente ai collettori di corrente, per poi venire arrotolati in "rotoli madre". Una volta pronti, questi ultimi sono tagliati: se il *coating* è stato effettuato in modo "continuo" i rotoli assumono una configurazione prismatica, mentre se il *coating* è stato effettuato in modo "intermittente" assumono una configurazione "a pouch".⁴²

Asciugatura sottovuoto

L'asciugatura sottovuoto dei rotoli rappresenta un altro processo energivoro. I rotoli devono essere asciugati per un tempo che va dalle 12 alle 30 ore, in modo tale da rimuovere le ultime tracce di solventi.⁴³

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ Liu *et al.*, *Current and future lithium-ion battery manufacturing* (Elsevier, 2021).

⁴¹ Nelson *et al.*, *Modeling the performance and cost of lithium-ion batteries for electric-drive vehicles* (Chicago: Argonne National Laboratory, 2011).

⁴² Heimes *et al.*, *Lithium-ion battery cell production process* (VDMA Battery Production, 2019).

⁴³ *Ibid.*

2.1.2. Assemblaggio delle celle e manifattura della batteria

La produzione degli elettrodi e l'assemblaggio finale delle celle avvengono solitamente all'interno della medesima *gigafactory*.⁴⁴ Per questo motivo i processi trattati nella sezione 2.1.1 devono essere logisticamente e meccanicamente ben integrati a quelli descritti in questa sezione.⁴⁵

Separazione e impilaggio

Il foglio di alluminio continuo è diviso negli elementi principali di una cella: anodo, catodo e separatori. Una volta divisi, i componenti della cella vengono impilati uno sull'altro in modo continuo e l'aggiunta dei collettori di corrente dà vita allo stato primordiale della cella. I macchinari necessari per compiere tale processo sono - insieme a quelli coinvolti nel *mixing, coating e drying* - tra quelli coi costi in conto capitale più alti, richiedendo un investimento tra i 16 e i 23 milioni di euro per una produzione di 45 milioni di celle all'anno.⁴⁶

Confezionamento, aggiunta dell'elettrolita e finissaggio

Infine, le celle devono essere confezionate e l'elettrolita deve essere aggiunto in un processo che garantirà agli ioni di litio di muoversi facilmente tra anodo e catodo. L'ultimo e fondamentale passaggio della catena di produzione è la formazione della *Solid Electrolyte Interface* (SEI). Questo strato, che si trova sul separatore delle celle ed è fondamentale per il suo corretto funzionamento, si forma in seguito al primo caricamento e scaricamento della batteria in un processo che può durare fino a 24 ore.⁴⁷

2.2. Una filiera circolare

La crescita del mercato dei veicoli elettrici è funzionale alla riduzione di emissioni di gas serra e al miglioramento della qualità dell'aria, nonché dei consumi di energia primaria, data la loro elevata efficienza. L'aumento di vendite di veicoli elettrici introduce tuttavia una crescente sfida per quanto riguarda lo smaltimento e la seconda vita delle batterie. Sia il riutilizzo sia il riciclo di batterie di veicoli elettrici rappresentano passaggi fondamentali per garantire la sostenibilità e la circolarità di tutta la catena del valore delle batterie.

Prendendo a riferimento le vendite globali di VE del 2017 (oltre un milione di unità), e considerando un peso medio di 250 kg per un singolo pacco batteria, i materiali da recuperare a fine vita sarebbero pari a 250.000 tonnellate, per un volume complessivo di circa mezzo milione di metri cubi.⁴⁸ La crescita esponenziale del mercato di veicoli elettrici, 10 milioni di unità vendute solo nel 2022, rende la gestione del fine vita delle batterie e il recupero delle risorse critiche contenute una sfida sempre più necessaria e significativa.⁴⁹

⁴⁴ Gifford, "The gigafactory boom: the demand for battery manufacturing in the UK", *Farady Insights, Issue 2, aggiornamento luglio 2022*.

⁴⁵ Heimes *et al.*, *Lithium-ion battery cell production process* (VDMA Battery Production, 2019).

⁴⁶ *Ibid.*

⁴⁷ *Ibid.*

⁴⁸ Harper *et al.*, "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles", *Nature*, 575 (2019), 75-86.

⁴⁹ International Energy Agency, *Electric car sales, 2016-2023* (2023). Consultato il 30/06/2023 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023>

Le caratteristiche chimiche delle batterie agli ioni di litio impongono requisiti specifici per i sistemi di smantellamento e riciclaggio, al fine di garantire la sicurezza e la sostenibilità della filiera.

Figura 5 - Illustrazione della Waste Management Hierarchy



Elaborazione di Orizzonti Politici del concetto di Waste Management Hierarchy o "Lansink's Ladder" utilizzato

Adottando il quadro di riferimento europeo per il trattamento dei rifiuti raffigurato in Figura 5, che classifica le azioni di gestione rifiuti in ordine decrescente di efficacia dal punto di vista ambientale, il riutilizzo delle batterie da VE deve precedere qualsiasi attività di riciclo.⁵⁰ Quando diventano inadatte all'uso su un veicolo, le batterie sono infatti riutilizzate in altre applicazioni per sfruttarne appieno la capacità residua in applicazioni di storage e stabilizzazione delle reti elettriche con rinnovabili, come approfondito nel Box seguente.⁵¹ Questa pratica è auspicabile secondo le linee guida europee della *Waste Management Hierarchy* e cruciale da un punto di vista economico, poiché permette di aumentare il fattore *energy stored on electrical energy invested* (ESOI_e). Questo parametro stabilisce il rapporto tra l'energia che viene immagazzinata durante la vita di una batteria e quella necessaria alla sua produzione.

Una volta che la batteria è giunta al reale fine vita, i processi di riciclo necessari per il suo corretto smaltimento sono fondamentali per la creazione di una filiera circolare, strategica dal punto di vista economico e di resilienza delle catene di fornitura, poiché riducono la dipendenza da attori terzi per quanto riguarda l'approvvigionamento dei materiali critici contenuti al suo interno.⁵²

⁵⁰ Direttiva 75/442/CEE del Consiglio del 15 luglio 1975, "relativa ai rifiuti".

⁵¹ Ahmadi *et al.*, "A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22 (2017), 111-124.

⁵² Transport&Environment, *Lithium Recycling in the Battery Regulation* (2022).

Box 2

Seconda vita e riciclo di batterie per veicoli elettrici

Riutilizzo / Seconda Vita

Sulla base di accurati test di cicli di carica e scarica di batterie NMC532 si può stimare che, nel contesto del loro utilizzo in un VE, il loro fine vita è raggiunto ^g dopo un numero di chilometri potenziale stimato tra i 600.000 e 1.200.000 a seconda del veicolo, ovvero quando la loro capacità è circa l'80% della capacità iniziale.^h Di conseguenza, poiché il fine vita di un'auto è solitamente inferiore a tale chilometraggio, il riutilizzo di tali batterie rappresenta una concreta opportunità. Inoltre, le applicazioni diverse dalla mobilità sono svariate: dall'utilizzo stazionario per servizi alla rete elettrica, all'applicazione in contesti aeroportuali e marittimi.ⁱ

Le normative sul trasporto e la gestione delle batterie dei veicoli elettrici a fine vita devono essere aggiornate e standardizzate, stabilendo norme sulla durata delle batterie, sulla sicurezza e sull'accessibilità alle informazioni.^j L'offerta di batterie di "seconda vita" potrebbe raggiungere circa 647 GWh in Europa al 2050, di cui circa 77 GWh in Italia, evidenziando così l'importanza per le aziende di essere in grado di garantire una seconda vita a questi asset.^k Ciò passa anche dalla capacità di tracciare le batterie durante il proprio ciclo di vita e uniformare le metriche sul loro stato di salute, al fine di permettere decisioni informate sulle possibili applicazioni di seconda vita. Infine, i requisiti obbligatori di durata delle batterie possono incentivare la produzione di batterie di lunga durata, mentre la definizione di standard di sicurezza può ridurre i rischi operativi.^l

Riciclo

Al 2023 ci sono 27 impianti di pretrattamento in Europa in grado di processare 145 kt di celle di batteria, e 7 impianti di recupero materiali con una capacità combinata di 16,6 kt, insufficienti per arrivare a quantità di riciclo che coprano almeno la metà degli scarti provenienti dalle batterie esauste in previsione della crescente produzione. Secondo le stime del Circular Energy Storage Research and Consulting (CES), la creazione di 16 impianti integrati in Europa potrebbero garantire il 54% delle capacità di pre-elaborazione di batterie in Europa e il 78% dei volumi di materiale recuperato di celle.^m I volumi destinati al riciclo raggiungeranno nel 2050 circa 3,4 Mton in Europa, di cui 0,4 Mton in Italiaⁿ, e saranno costituiti da batterie a fine prima vita danneggiate, batterie alla fine della propria "seconda vita" e scarti di produzione. Esistono principalmente tre processi per il riciclo di batterie a litio per VE: processi pirometallurgici, processi idrometallurgici e riciclo diretto delle componenti delle batterie. I primi due processi, allo stato attuale, possono essere sviluppati su scala industriale. Mentre la prima tecnologia è relativamente semplice e utilizzabile per batterie di diversa chimica, la seconda permette un riciclo maggiore dei preziosi minerali contenuti in una batteria a litio e una minore impronta energetica. Il processo di riciclo è composto da numerose fasi e la sua complessità impone di avere una visione di tali passaggi integrata con i processi di produzione e assemblaggio delle batterie dei veicoli elettrici.^o Per stimolare il comparto industriale del riciclo, il regolatore potrebbe introdurre tassi di recupero obbligatori per tutti i principali materiali delle batterie. La competitività economica del riciclaggio dipende, con le attuali normative, dal contenuto dei materiali più costosi come cobalto, nichel o litio. La produzione di batterie a basso contenuto di questi materiali – come le litio-ferro-fosfato (LFP) – potrebbe quindi mettere in discussione la redditività del riciclo agli attuali equilibri di mercato.

Infine, per garantire un'elevata purezza del riciclo, potrebbero essere introdotte quote minime specifiche di materiale riciclato nella produzione di nuove batterie, differenziate per elemento.^p

Bibliografia

Ahmadi *et al.*, "A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22 (2017), 111-124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0959-7>

Bartoli *et al.*, "Che cosa c'è al di là delle batterie al litio ione?". *La chimica e l'industria online* 4, no.2 (2020). Doi: <http://dx.medra.org/10.17374/CI.2020.102.2.27>

Bloomberg NEF, *1H 2023 Energy Storage Market Outlook* (2023), Consultato il 30/06/2023 <https://about.bnef.com/blog/1h-2023-energy-storage-market-outlook/>

Bloomberg NEF, *Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh* (2022). Consultato il 30/06/2023 <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>

Comitato economico e sociale europeo, *European companies increasingly struggle to get qualified workers* (2023). Consultato il 30/06/2023 <https://www.eesc.europa.eu/it/news-media/press-releases/european-companies-increasingly-struggle-get-qualified-workers>

Commissione europea, *Investment needs assessment and funding availabilities to strengthen EU's Net-Zero technology manufacturing capacity* (Bruxelles: 2023), *staff working document*.

Commissione europea, *Legge sull'industria a zero emissioni nette* (2023). Consultato il 30/06/2023 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/net-zero-industry-act_it0zero%20emissioni%20nette&text=L%27obiettivo%20è%20che%20la,di%20diffusione%20entro%20il%202030

Commissione europea, *The Green Deal Industrial Plan: putting Europe's net-zero industry in the lead* (2023). Consultato il 30/06/2023 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_510

Commissione europea, *Veicoli a emissioni zero: il primo accordo "Pronti per il 55%" porrà fine entro il 2035 alla vendita in Europa di nuove autovetture che emettono CO2"* (2022). Consultato il 30/06/2023 https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/veicoli-emissioni-zero-il-primo-accordo-pronti-il-55-porra-fine-entro-il-2035-alla-vendita-europa-di-2022-10-28_it

Direttiva 75/442/CEE del Consiglio del 15 luglio 1975, "relativa ai rifiuti".

ECCO, *Lo Sviluppo di Standard Comuni e Condivisi per la Sicurezza e la Resilienza delle Filiere dei Minerali Critici* (2023).

EIT RawMaterials & Fraunhofer, *Future Experts needs in the Battery Sector* (Berlin: 2021).

European Environment Agency, *Transport and Environment report 2021: Decarbonising road transport – the role of vehicles, fuels and transport demand* (Lussemburgo: Publications Office of the European Union, 2022). Doi: <https://doi.org/10.2800/68902>

Gifford, "The gigafactory boom: the demand for battery manufacturing in the UK", *Farady Insights, Issue 2, aggiornamento luglio 2022*.

Harper *et al.*, "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles", *Nature*, 575 (2019), 75-86. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>

Heimes *et al.*, *Lithium-ion battery cell production process* (VDMA Battery Production, 2019). Doi: <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0107-2>

International Energy Agency, *Annual EV battery demand projections by region and scenario, 2020-2030* (2021). Consultato il 30/06/2023 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-ev-battery-demand-projections-by-region-and-scenario-2020-2030>

International Energy Agency, *Electric car sales, 2016-2023* (2023). Consultato il 30/06/2023 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023>

International Energy Agency, *Evolution of a Li-ion battery price, 1995-2019* (2020). Consultato il 30/06/2023 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-li-ion-battery-price-1995-2019>

International Energy Agency, *Global EV Outlook 2022* (Parigi: IEA Publications, 2022).

International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023* (Parigi: IEA Publications, 2023).

International Energy Agency, *Global Supply Chains of EV Batteries* (Parigi: IEA Publications, 2022).

International Energy Agency, *The role of critical minerals in clean energy transitions* (Parigi: IEA Publications, 2021).

Liu *et al.*, *Current and future lithium-ion battery manufacturing* (Elsevier, 2021). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102332>

MOTUS-E, *Rapporto sulle trasformazioni dell'ecosistema automotive italiano* (2022).

Nelson *et al.*, *Modeling the performance and cost of lithium-ion batteries for electric-drive vehicles* (Chicago: Argonne National Laboratory, 2011). Doi: <https://doi.org/10.2172/1503280>

Placke *et al.*, "Lithium ion, lithium metal, and alternative rechargeable battery technologies: the odyssey for high energy density.", *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21 (2017). Doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-017-3610-7>

Scrosati *et al.*, *Advances in battery technologies for electric vehicles* (Woodhead Publishing, 2015).

strategy&, *Digital Auto Report 2021/22, accelerating towards the «New Normal»* (PwC, 2022).

The Guardian, *Toyota claims battery breakthrough in potential boost for electric cars* (2023). Consultato il 15 luglio 2023 <https://www.theguardian.com/business/2023/jul/04/toyota-claims-battery-breakthrough-electric-cars>

Transport&Environment, *Lithium Recycling in the Battery Regulation* (2022).

Transport&Environment, *A European Response to US IRA* (2023).

Usai *et al.*, *Analysis of the Li-ion battery industry in light of the global transition to electric passenger light duty vehicles until 2050* (Bristol: IOP Publishing, 2022).

Box 1

^a Buthada, "Breaking down the cost of an EV Battery Cell", *Visual Capitalist* (2022). Consultato il 30/06/2023. <https://www.visualcapitalist.com/breaking-down-the-cost-of-an-ev-battery-cell/>

^b International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023* (Parigi: IEA Publications, 2023).

^c Mauler *et al.*, "Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050.", *Energy & Environmental Science, Issue 9* (2021). DOI: <https://doi.org/10.1039/D1EE01530C>

Box 2

^g Bieker, *A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars* (Berlin: International Council on Clean Transportation, 2021)

^h Harlow *et al.* "A wide range of testing results on an excellent lithium-ion cell chemistry to be used as benchmarks for new battery technologies.", *Journal of The Electrochemical Society*, 166 (2019). DOI: [10.1149/2.0981913jes](https://doi.org/10.1149/2.0981913jes)

^l Tankou *et al.*, *Scaling up Reuse and Recycling of Electric Vehicle Batteries: Assessing Challenges and Policy Approaches* (Berlin: International Council on Clean Transportation, 2023).

^j *Ibid.*

^k MOTUS-E, strategy&, Politecnico di Milano, *Il riciclo delle batterie dei veicoli elettrici @2050: scenari evolutivi e tecnologie abilitanti* (2023).

^l Tankou *et al.*, *Scaling up Reuse and Recycling of Electric Vehicle Batteries: Assessing Challenges and Policy Approaches* (Berlin: International Council on Clean Transportation, 2023).

^m *Ibid.*

ⁿ MOTUS-E, strategy&, Politecnico di Milano, *Il riciclo delle batterie dei veicoli elettrici @2050: scenari evolutivi e tecnologie abilitanti* (2023).

^o Harper *et al.*, "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles", *Nature*, 575 (2019), 75-86. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>

^p Tankou *et al.*, *Scaling up Reuse and Recycling of Electric Vehicle Batteries: Assessing Challenges and Policy Approaches* (Berlin: International Council on Clean Transportation, 2023).

Orizzonti Politici

Chi siamo?

Orizzonti Politici (o OriPo) è un think tank giovanile italiano impegnato nell'analisi di politica internazionale, politiche pubbliche ed economia. Composto interamente da studenti universitari e giovani professionisti, affronta e spiega argomenti complessi attraverso strumenti e format innovativi e interattivi, adottando un linguaggio semplice e inclusivo. In qualità di "think tank della generazione Z" si propone anche come luogo di formazione, crescita, confronto e sviluppo di nuove idee e proposte di politiche che riguardano e interessano i giovani e non solo.

I nostri valori

- Indipendenti: il processo di realizzazione dei contenuti segue un approccio basato sul criterio di oggettività e *data driven*, distante da ideologie di parte
- Costruttivi: l'obiettivo è stimolare il lettore a comprendere in maniera più approfondita temi complessi
- Accessibili: lo scopo è dare ai lettori, che siano già informati su un argomento o meno, strumenti per interpretare sempre la realtà circostante

Orizzonti Politici è un'associazione senza scopo di lucro:
sostieni le attività del think tank con una donazione sul sito <https://www.orizzontipolitici.it/sostieni/>

Settembre 2023 – Tutti i diritti riservati

Pubblicazione a cura di Orizzonti Politici.
Hanno contribuito a vario titolo: Roberto Raimondi, Marcello Orecchia, Massimiliano Bienati.

Per informazioni: info@orizzontipolitici.it

Foto di copertina: Al Jazeera English, CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons