

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE POLITICHE, GIURIDICHE E
STUDI INTERNAZIONALI

Corso di laurea *Triennale* in
Scienze politiche,
Relazioni Internazionali,
Diritti Umani



VERSO L'AUTOMOBILE ELETTRICA: SFIDE E OPPORTUNITA' NELLA
PRODUZIONE E RIUSO DELLE BATTERIE

Relatore:

Prof. ARRIGO OPOCHER

Laureando:

VINCENZO CUCCARO

matricola N. 2020089

A.A. 2023/2024

INDICE

Introduzione.....	5
-------------------	---

Capitolo 1 - Le automobili elettriche nella strategia per il contrasto al cambiamento climatico

1.1 Dal Protocollo di Kyoto all'Agenda 2030 e il Green Deal europeo.....	7
1.2 L'elettrico come strumento chiave nella strategia per il superamento della dipendenza energetica.....	13
1.3 Breve storia delle automobili elettriche.....	17
1.4 Mercato e caratteristiche delle automobili elettriche.....	18
1.5 Accessibilità dei servizi per la ricarica delle automobili elettriche: il caso italiano.....	21

Capitolo 2 – La corsa al litio

2.1 Il litio e i minerali critici contesi.....	29
2.2 Litio cercasi: la strategia europea	35
2.3 L'estrazione del litio in America Latina.....	42

Capitolo 3 - Il riciclo delle batterie delle automobili elettriche

3.1 Le componenti tecniche e materiali delle batterie agli ioni di litio.....	53
3.2 La produzione delle batterie.....	54
3.3 Le batterie <i>second life</i> : le diverse tipologie di riuso.....	57
3.4 I processi del riciclo e del recupero dei materiali.....	60
3.5 I costi economici del riciclo.....	65

Considerazioni conclusive.....	69
--------------------------------	----

Riferimenti bibliografici.....	71
--------------------------------	----

Introduzione

Il cambiamento climatico è, senza ombra di dubbio, la sfida più complessa e importante che la nostra specie deve affrontare nell'immediato futuro. Rendere tollerabile l'impatto dell'attività umana per il pianeta è imperativo, poiché il cambiamento climatico è fra le cause principali dei disastri ambientali che colpiscono le popolazioni del globo, delle carestie e, di conseguenza, dei movimenti migratori. Uno dei settori maggiormente responsabili delle massicce emissioni di gas serra degli ultimi decenni è il settore dei trasporti: rendere sostenibile la mobilità di persone e merci è una delle principali sfide ingegneristiche lanciate dal cambiamento climatico. Le automobili elettriche sono al centro di questa rivoluzione *green*, tuttavia la loro produzione in massa nasconde insidie e problematicità sul piano del mercato, degli equilibri internazionali e del rispetto dei diritti umani. Dopo aver presentato l'evoluzione del quadro normativo internazionale ed europeo concernente il contenimento del riscaldamento globale, nel primo capitolo saranno presentate le diverse tipologie di automobili *green* e si analizzeranno le opportunità offerte dall'emergente mercato dell'auto elettrica; sarà fatto anche il punto sullo stato delle infrastrutture dei servizi di ricarica in Italia, indispensabili affinché i consumatori possano sentirsi incentivati ad acquistare ed utilizzare un'autovettura elettrica. Nel secondo capitolo si discuterà della competizione globale per l'approvvigionamento delle materie prime che costituiscono le batterie delle automobili elettriche; in particolare si analizzerà la posizione dell'Unione europea, degli Stati Uniti e della Cina. Sarà affrontato anche il tema dell'estrazione del litio in America del Sud e delle conseguenze che il settore estrattivo ha nella politica interna ed estera di Cile, Argentina e Bolivia. Il terzo capitolo, infine, verterà sul riciclo delle batterie agli ioni di litio e sulle opportunità economiche e ambientali annesse.

Capitolo 1 – Le automobili elettriche nella strategia per il contrasto al cambiamento climatico

1.1 Dal Protocollo di Kyoto all’Agenda 2030 e il Green Deal europeo

L’impatto antropico negli ultimi due secoli è stato così violento da causare su scala globale stravolgimenti climatici degni di uno scenario da estinzione di massa; il cambiamento climatico, infatti, pone pressanti sfide economiche, sociali e politiche ai Paesi e ai popoli di tutto il globo. La società contemporanea può definirsi “energivora” perché necessita di copiosi afflussi di energia per soddisfare non solo i bisogni primari della persona, difatti l’accesso ad una fonte energetica è considerato un diritto umano, ma anche per i processi produttivi. Tale energia storicamente è stata ricavata da fonti non rinnovabili quali il carbone e il petrolio: secondo il Rapporto annuale sullo stato attuale delle energie rinnovabili del 2019 il 10,6% dell’energia è prodotta da fonti di energia rinnovabili, il 7,5% dalle biomasse e il 2,2% dal nucleare; rimane, tuttavia, ancora prevalente l’utilizzo di fonti di energia fossile (79,7%)¹. Il medesimo report sostiene che nel 2018 la quota delle fonti rinnovabili nelle aggiunte nette di capacità di generazione energetica si attesta al 64%.

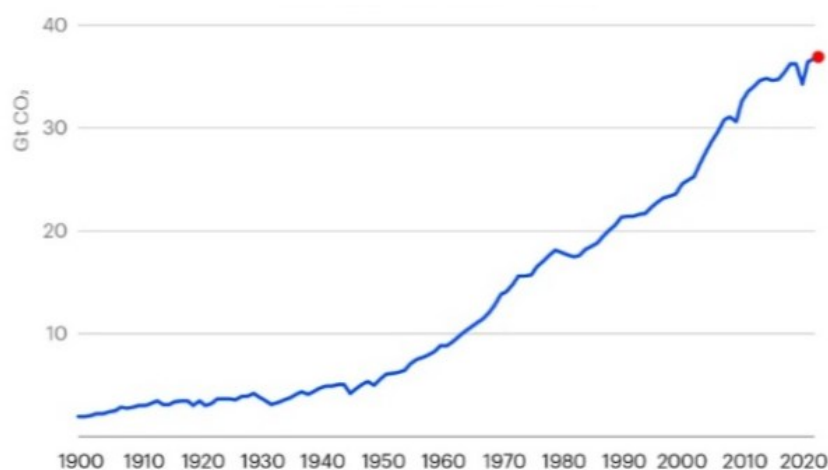


Figura 1- Emissioni globali di CO2 derivanti dalla produzione di energia e dai processi industriali
FONTE: Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA)

¹ Renewables 2019 Global status report. *A comprehensive annual overview of the state of renewable energy*. 2019. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>.

L'International Panel in Climate Change del 2018 (IPCC 2018) afferma che c'è un'alta probabilità che l'innalzamento della temperatura globale raggiungerà o sorpasserà 1.5°C fra il 2021 e il 2040², arrivando a 3.3°C alla fine del secolo. Per scongiurare tale scenario sarebbe necessario raggiungere il picco di emissioni di gas serra nel 2025 e ridurle del 43% entro il 2030 e del 60% entro il 2035, rispetto ai livelli del 2019. Molti studi stimano che i costi per la riduzione delle emissioni e la conversione ecologica dell'economia si aggirino fra l'1 e il 2% del PIL globale a fronte di una spesa fra il 5 e il 15% del PIL dovuta al peggioramento delle condizioni climatiche³. La transizione ecologica potrebbe rappresentare un fondamentale impulso all'economia mondiale, in quanto, secondo un rapporto del *Global Center of Adaptation*, un investimento di 1,8 trilioni di dollari, dilazionato nel tempo fino al 2030, potrebbe avere un ritorno netto di 7,1 trilioni di dollari⁴.

Quantunque ciascuno di noi sia chiamato a prendere parte alla radicale rivoluzione dei propri stili di vita, appare imprescindibile l'intervento diretto degli Stati e delle Organizzazioni internazionali nella gestione a trecentosessanta gradi dell'emergenza climatica.

Il Protocollo di Kyoto (Convenzione quadro delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico, UNFCCC) ha rappresentato un primo tentativo in seno all'ONU, in occasione della COP3, di trovare un piano comune di riduzione delle emissioni di gas serra⁵ nell'atmosfera, che per i Paesi industrializzati non poteva essere inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 nel periodo 2008-2012 (art.3 par.1 del Protocollo)⁶. Il testo fu elaborato nel 1997 ed entrò in vigore solo nel 2005 successivamente alla ratifica della Russia e del Canada; l'Italia procedette a ratificarlo

² International Panel in Climate Change. *Global Warming of 1.5 °C*. 2018. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

³ Dianda, Mario. "Il costo dei cambiamenti climatici." *Starting Finance*, 16 marzo 2019. <https://startingfinance.com/approfondimenti/cambiamenti-climatici-costi/>.

⁴ Global Center on Adaptation. *Global Commission on Adaptation Launches "Year of Action" to Accelerate Climate Adaptation*. 24 settembre 2019. <https://gca.org/news/global-commission-on-adaptation-launches-year-ofaction-to-accelerate-climate-adaptation/>.

⁵ Il Protocollo indica come gas serra: il biossido di carbonio (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), gli perfluorocarburi (PFC), l'esafluoro di zolfo (SF₆).

⁶ L'Italia ha assunto un impegno di riduzione dell'emissione di gas serra del 6,5% rispetto ai livelli del 1990. La quantità di emissioni, pertanto, non potrà eccedere nel periodo 2008-2012 il valore di 487,1 Mt CO₂ eq. <https://www.mase.gov.it/pagina/litalia-ed-il-protocollo-di-kyoto>.

attraverso la legge di ratifica del 1 giugno 2002, n.120. Il Protocollo di Kyoto per raggiungere i propri obiettivi proponeva il rafforzamento e l'istituzione di politiche nazionali di riduzione delle emissioni nette e una cooperazione fra le Parti contraenti mediante i cosiddetti "Meccanismi Flessibili"; questi ultimi sono:

- a) *Emission Trading* (ET): un sistema che consente lo scambio di crediti di emissione, tra Paesi industrializzati e ad economia in transizione, qualora un Paese abbia conseguito una diminuzione delle proprie emissioni superiore al proprio obiettivo cedendo, poi, tali "crediti" a un Paese che, al contrario, non ha adempiuto ai propri impegni (art.17 del Protocollo).
- b) *Joint implementation* (JI): un'implementazione congiunta attraverso la quale un Paese, investendo in progetti volti alla riduzione delle emissioni presso un altro Paese, può beneficiare di quote di emissioni supplementari (art.6).
- c) *Clean Development Mechanism* (CDM): meccanismo che consente ai Paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti nei Paesi in via di sviluppo, affinché producano benefici per l'ambiente in termini di riduzione delle emissioni e di sviluppo socio-economico dei Paesi ospiti, generando, così, crediti di emissione per i Paesi promotori degli interventi (art.12).

I Meccanismi Flessibili svolgono un ruolo strategico per l'Italia perché ci permettono di raggiungere gli obblighi contratti con il Protocollo di Kyoto e di proteggere la competitività della nostra economia. L'abbattimento della produzione di emissioni di gas serra risulta essere molto costoso per un'economia come quella italiana, caratterizzata da una bassa intensità energetica e da una grande dispersione delle attività produttive. Gli investimenti in progetti di riforestazione e afforestamento, ossia la trasformazione in zone forestali di territori non ricoperti di foreste da almeno 50 anni, realizzata per opera diretta di specialisti attraverso piantumazione e semina,⁷ sono fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti a Kyoto, poiché la riduzione delle emissioni deve essere intesa come un calo delle emissioni nette, vale a dire di quanto si sia immesso nell'atmosfera e quanto si sia sottratto (art.3 par.3 del Protocollo di Kyoto). Gli obiettivi poco ambiziosi e la mancanza di efficaci meccanismi sanzionatori sono fra i fattori che hanno contribuito al naufragio del Protocollo a cui

⁷ Enciclopedia Online Treccani (s.v.). "Afforestamento".
[https://www.treccani.it/enciclopedia/afforestamento_\(Dizionario-di-Economia-e-Finanza\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/afforestamento_(Dizionario-di-Economia-e-Finanza)/).

bisogna aggiungere la mancata ratifica degli Stati Uniti, da soli responsabili del 14,6% delle emissioni globali di anidride carbonica, e la sottostima del contributo di Cina e India all'inquinamento atmosferico, le quali negli anni '90 e primi anni Duemila erano considerati ancora Paesi in via di sviluppo ma che oggi ne costituiscono rispettivamente il 27,2% e il 6,8%⁸.

L'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, adottata dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite il 25 settembre 2015, rappresenta una naturale evoluzione del già discusso Protocollo di Kyoto. Essa consiste in 18 obiettivi piuttosto ambiziosi, fra cui “incentivare una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva ed un lavoro dignitoso per tutti” (obiettivo 8) e “promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico” (obiettivo 13). L'obiettivo 7 incita ad assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni raddoppiando entro il 2030 il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica e rafforzando la cooperazione internazionale per facilitare l'accesso alla ricerca e alle tecnologie legate all'energia pulita e promuovere gli investimenti nelle infrastrutture energetiche e nelle tecnologie dell'energia pulita. L'Italia per attuare gli obiettivi dell'Agenda 2030 ha elaborato la Strategia nazionale di sviluppo sostenibile 2017-2030 per creare ed implementare un nuovo modello di sviluppo economico basato sull'economia circolare e basse emissioni di CO₂ e resiliente alle altre sfide annesse al cambiamento climatico, come la perdita di biodiversità. La Strategia nazionale di sviluppo sostenibile (SNSvS) si articola in cinque pilastri (Persone, Pianeta, Prosperità, Pace e Partnership) e si basa sull'intervento delle istituzioni centrali e regionali, della società civile e del mondo della ricerca in fase di formulazione e attuazione della strategia stessa.

L'Unione europea (UE) ha aderito al progetto dell'Agenda 2030 e, in aggiunta, ha adottato una propria strategia per combattere le conseguenze del cambiamento climatico: il Green Deal europeo. Questo progetto è stato approvato dal Parlamento europeo il 24 giugno 2021, rendendo giuridicamente vincolante l'obiettivo di ridurre le emissioni di almeno il 55% entro il 2030 e di raggiungere la neutralità climatica entro il

⁸ Iman, Ghosh. “All the world's carbon emissions in one chart.” *Visual Capitalist*, 31 maggio 2019. <https://www.visualcapitalist.com/all-the-worlds-carbon-emissions-in-one-chart/>.

2050. Nel 1990 l'Unione europea era responsabile del 15,5% delle emissioni di gas serra arrivando poi nel 2019 a contribuirne solo per il 7,3%, posizionandosi quarta⁹.

L'Unione europea nell'ambito del Green Deal ha implementato politiche specifiche per ogni settore. Poiché il 77% delle emissioni di gas serra europee derivano dal settore dell'energia, è stato istituito il primo mercato delle emissioni attraverso il quale le aziende devono acquistare permessi per inquinare, pertanto sono incentivate a tagliare le proprie emissioni.

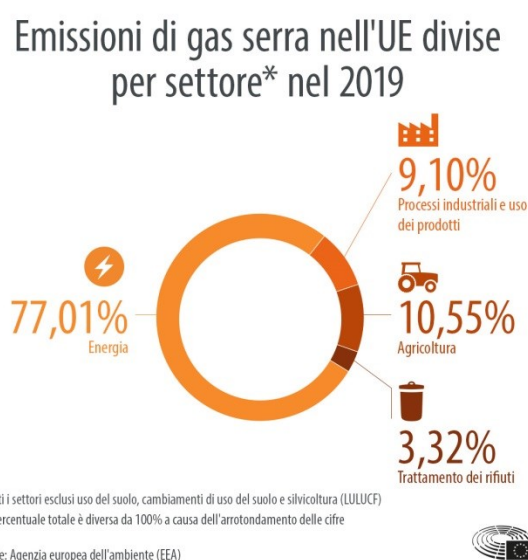


Figura 2: Emissioni di gas serra nell'UE divise per settore nel 2019
FONTE: Parlamento europeo "Emissioni di gas serra nell'UE per paese e settore: Infografica" (pag.3), basato su Agenzia europea dell'ambiente (EEA)

Il Parlamento europeo ha votato a favore per l'estensione del sistema dell'ETS anche al settore dell'aviazione civile, responsabile del 13% delle emissioni totali di CO₂ del settore dei trasporti, per tutti i voli in partenza dallo Spazio economico europeo. I voli che partono e atterrano fuori dal SEE fanno parte del programma volontario di compensazione e riduzione del carbonio per l'aviazione internazionale (CORSIA). Per i settori dell'edilizia, dell'agricoltura e dei rifiuti la riduzione delle emissioni dovrebbero

⁹ Eurostat. *Key figures on the EU in the world, 2023 edition*. 2023.
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15216629/16118334/KS-EX-23-001-EN-N.pdf/d4413940-6ef7-2fa8-d6f1-a60cdc4b89f3?version=1.0&t=1676459907834>.

aumentare dal 29 al 40% entro il 2030. Nella primavera del 2023 sono state riformate le norme per la deforestazione e il cambiamento di destinazione del suolo (LULUCF), che comporteranno un aumento del 15% dei pozzi di carbonio dell'UE entro il 2030. Il Parlamento europeo ha, inoltre, approvato l'attuazione a partire dal 2026 dello strumento per la fuga di carbonio, chiamato CBAM (*Carbon Border Adjustment Mechanism*), che porrà un prezzo sul carbonio per i beni importati dalle industrie ad alta intensità di carbonio al di fuori dell'UE, per contrastare la delocalizzazione in Paesi con obiettivi climatici meno ambiziosi. Il sistema dell'ETS (*Emission Trading System*) copre il 40% delle emissioni inquinanti di tutta l'Unione europea ed è stato riformato per aggiornarlo agli obiettivi del Green Deal, rendendolo operativo anche per i settori dell'edilizia, dei trasporti su strada e del trasporto marittimo. Il settore dei trasporti vale un quinto delle emissioni totali di CO₂ e ha registrato un aumento di emissioni di oltre il 25% rispetto al 1990. Nel 2021 il trasporto stradale ha contribuito al 72% delle emissioni totali del settore¹⁰, in particolare, le autovetture e i furgoni (“veicoli commerciali leggeri”) sono responsabili del 15% delle emissioni di anidride carbonica dell'UE¹¹.

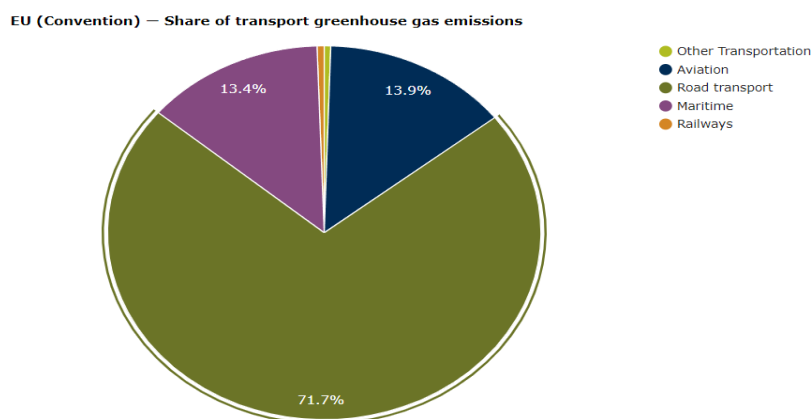


Figura 3: Quota delle emissioni di gas serra derivanti dai trasporti nell'UE
FONTI: Agenzia Europea dell'energia (EEA), basato sui dati riportati dall'UNFCCC e dal meccanismo di monitoraggio delle emissioni di gas serra dell'UE

¹⁰ Commissione europea, Direzione generale della Mobilità e dei trasporti. *EU transport in figures: statistical pocketbook 2021*. 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/27610>.

¹¹ *Attualità Parlamento europeo*. “Auto, furgoni e inquinamento: i nuovi obiettivi per le emissioni.” 27 settembre 2019. (Ultimo aggiornamento: 23 luglio 2023). <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180920STO14027/auto-furgoni-e-inquinamento-i-nuovi-obiettivi-per-le-emissioni>.

Il Parlamento europeo ha appoggiato la proposta della Commissione europea di azzerare le emissioni di CO2 dei veicoli commerciali leggeri con l'obiettivo di ridurle del 55% e del 50%, per le auto e i furgoni rispettivamente, entro il 2030. Questi obiettivi ambiziosi sono stati accompagnati da ulteriori norme quali l'obbligo di vendita esclusivamente di automobili a emissioni zero dal 2035 e l'installazione lungo le principali strade europee di un'area di ricarica elettrica per auto ogni 60 chilometri entro il 2026 e di una stazione di rifornimento d'idrogeno ogni 100 chilometri entro il 2028¹².

1.2 L'elettrico come strumento chiave nella strategia per il superamento della dipendenza energetica

Il tema dello "sviluppo sostenibile" è il principale assioma per l'impostazione teorica delle strategie per il contrasto al cambiamento climatico appena delineate. È importante perciò darne una definizione. Per sviluppo sostenibile si intende uno sviluppo in grado di assicurare "il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri"¹³. Il concetto di sostenibilità è strettamente connesso alla compatibilità fra sviluppo delle attività economiche e salvaguardia dell'ambiente, infatti, lo stesso Rapporto Brundtland chiede ai Paesi ad economia avanzata di adottare stili di vita e modelli di produzione che permettano alla biosfera di rigenerarsi. Questo nuovo punto di vista mette in discussione il pensiero economico neoliberista, che osserva la crescita di un Paese solo in termini di accumulo di capitale e, di conseguenza, aumento del Prodotto Interno Lordo (PIL);

Sustainable development involves more than growth. It requires a change in the content of growth, to make it less Material- and energy-intensive and more equitable in its impact. These changes are required in all countries as part of a package of measures to maintain the stock of

¹² Ufficio stampa Parlamento europeo. "Fit for 55": più stazioni di ricarica e carburanti marittimi più ecologici." 11 luglio 2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20230707IPR02419/fit-for-55-piu-stazioni-di-ricarica-e-carburanti-marittimi-piu-ecologici>.

¹³ Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo. *Our common future*. 1987. file:///C:/Users/Utente/Downloads/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf.

*ecological capital, to improve the distribution of income, and to reduce the degree of vulnerability to economic crises*¹⁴.

Nella valutazione dello sviluppo di qualsivoglia Paese è, a questo punto, doveroso prendere in considerazione anche altri indici come lo *Human Development Index*, che prende in considerazione l'aspettativa di vita, istruzione e il reddito nazionale lordo pro-capite, o il Coefficiente di Gini, che misura la distribuzione della ricchezza nazionale lorda nei percentili della popolazione. I lunghi periodi di siccità e gli eventi climatici estremi sono sempre più frequenti, perciò sono auspicabili misure sempre più incisive e in linea con quanto detto già dalla Commissione Mondiale ONU per l'ambiente e lo sviluppo.

Le automobili elettriche sono un elemento imprescindibile alla lotta contro il cambiamento climatico e rispondono a due problematiche ben precise.

Innanzitutto l'elettrico potrebbe rappresentare uno strumento di primaria importanza nel progressivo affrancamento dell'Unione europea e, con essa, dell'Italia dai Paesi extra-UE produttori di petrolio. Il tema dell'indipendenza energetica è ormai preminente nel dibattito pubblico italiano ed europeo a causa delle vicende geopolitiche, che hanno coinvolto più o meno indirettamente i Paesi dell'UE. Prima della guerra in Ucraina, la Russia da sola contava il 26,9% dell'import di petrolio per l'Unione europea¹⁵, seguita da Iraq, Nigeria, Arabia Saudita e Norvegia; la Federazione russa rappresentava anche il 41,1% dell'import di gas. La dipendenza energetica dei Paesi membri è in realtà cresciuta negli ultimi vent'anni (2000-2020), passando dal 56,3% al 57,5%; l'Italia è in controtendenza passando dall'86,5% al 73,5%. La pericolosità di tale dipendenza verso le fonti fossili russe è amplificata dall'impalcatura del settore estrattivo della Russia, essendo principalmente nelle mani di Gazprom e Rosneft, ossia due grandi aziende di proprietà statale. A fronte delle imponenti sanzioni inflitte alla

¹⁴ Ibid. - pag.42. "Lo sviluppo sostenibile implica qualcosa di più della crescita. Richiede un cambiamento nel concetto di crescita, rendendolo meno dispendioso in termini di materiali ed energia e più equo nel suo impatto. Questi cambiamenti sono necessari in tutti i Paesi come parte di un pacchetto di misure per mantenere lo stock di capitale ecologico, per migliorare la distribuzione del reddito e per ridurre la vulnerabilità alle crisi economiche"

¹⁵ Lu, Marcus. "Visualizing the EU's Energy Dependency." *Visual Capitalist*, 22 marzo 2022.
<https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-eus-energy-dependency/>.

Federazione russa, sia la Commissione europea sia l’Agenzia Internazionale per l’Energia (IEA) hanno elaborato diverse strategie per risolvere il problema della dipendenza energetica nel Vecchio continente. Alla vigilia della presentazione del quinto pacchetto di sanzioni la Commissaria per l’energia Kadri Simson affermò che

*The Russian aggression against Ukraine has radically changed the geopolitical context of Europe's energy security. We have decided to end our dependence on Russian fossil fuels and need to partly replace them with alternative sources of supply. To succeed in this task, the EU must use its collective political and market power on global gas markets. With the EU Energy Platform, we build on the experience gained over the past months to ensure a coordinated European approach to securing gas imports at the best possible conditions.*¹⁶

La Commissione europea ha presentato a tale proposito il piano REPowerEU, che mira a rendere l’Unione europea indipendente dal punto di vista energetico mediante “il risparmio energetico, la diversificazione dell’approvvigionamento energetico e una più rapida diffusione delle energie rinnovabili per sostituire i combustibili fossili nelle case, nell’industria e nella generazione di energia elettrica”¹⁷. Gli investimenti volti per la creazione di un sistema energetico più resiliente alle crisi internazionali non si limitano al solo affrancamento nei confronti della Russia: prediligere l’elettrico non solo può aiutare a prenderci maggior cura del futuro del nostro Pianeta, ma anche rispettare e salvaguardare i diritti umani non andando a foraggiare, più o meno direttamente, Paesi non democratici. Tenendo conto del *Democracy Index*¹⁸, infatti, solo Canada, Stati Uniti, Norvegia e Brasile sono considerabili almeno “*flawed democracies*” fra i Paesi compresi nella classifica dei venti maggiori produttori di greggio nel mondo.

¹⁶ “L’aggressione della Russia nei confronti dell’Ucraina ha radicalmente cambiato il contesto geopolitico della sicurezza energetica europea. Abbiamo deciso di porre fine alla nostra dipendenza dai combustibili fossili russi e dobbiamo sostituirli in parte con fonti di approvvigionamento alternative. L’UE deve utilizzare il proprio potere politico e di mercato collettivo sui mercati globali del gas. Con la Piattaforma energetica dell’UE ci basiamo sull’esperienza maturata negli ultimi mesi per garantire un approccio europeo coordinato per garantire le importazioni di gas alle migliori condizioni possibili” . *European Commission*. “Energy Security: Commission hosts first meeting of EU Energy Purchase Platform to secure supply of gas, LNG and hydrogen.” 8 aprile 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2387.

¹⁷ *Comunicato stampa Commissione europea*. “REPowerEU: un piano per ridurre rapidamente la dipendenza dai combustibili fossili russi e accelerare la transizione verde”. 18 maggio 2022. https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/repowereu-un-piano-ridurre-rapidamente-la-dipendenza-dai-combustibili-fossili-russi-e-accelerare-la-2022-05-18_it.

¹⁸ L’Indice di democrazia viene calcolato dal *The Economist* tenendo conto dei processi elettorali e pluralismo, libertà civili, funzionamento del governo, partecipazione politica e cultura politica.

Il processo estrattivo del petrolio, nonché il suo trasporto, è molto invasivo e mette a serio rischio di contaminazione gli ecosistemi coinvolti. Il greggio attualmente viene estratto attraverso una tecnica, utilizzata per la prima volta negli Stati Uniti nel 1947 dalla compagnia Halliburton, chiamata fratturazione idraulica o *fracking*, che consiste nella creazione di fessure in determinati strati di roccia che avvolgono il petrolio o il gas naturale; queste sono allargate mediante gettiti d'acqua ad altissima pressione e tenute aperte con sabbia, ghiaia e granuli di ceramica¹⁹. Il *fracking* è un procedimento piuttosto cruento per l'ambiente rendendosi responsabile della contaminazione delle falde acquifere e dell'aria, causata dal mix di agenti chimici e liquidi inquinanti utilizzati, contaminazione da sostanze radioattive, diffusione di malattie e anche della generazione di micro-sismi. Nell'Unione europea questa pratica è illegale ma viene impiegata da alcuni Paesi come la Cina e il Canada. La fratturazione idraulica rappresenta un'occasione irresistibile per molti: gli Stati Uniti sono diventati autosufficienti riuscendo a coprire gran parte del proprio fabbisogno interno²⁰ grazie ai pozzi ricavati con essa.

L'elettrico, in secondo luogo, risponde alla necessità di limitare le emissioni di gas serra soprattutto nei centri urbani più trafficati. Le automobili elettriche, infatti, producono decisamente meno emissioni rispetto alle auto a combustione interna (*ICEV*), secondo lo studio pubblicato da Hawkins et al. nel 2013²¹ un'automobile a batteria elettrica (*BEV*) produce il 29% di gas serra in meno rispetto ad una a benzina e il 20% in meno rispetto alle diesel²². Le *ICEV* emettono in media il doppio rispetto alle macchine elettriche, tuttavia, a quest'ultime vengono attribuite 30g di emissioni di CO2 equivalenti in più²³. Il consumo di elettricità è responsabile nelle *BEV* del 53% delle emissioni complessive, mentre la produzione e smaltimento della batteria del 17% delle emissioni. Nelle *ICEV* la fase di combustione del carburante è responsabile del 75-78%

¹⁹ Facciolla, Erika. "Fracking: che cos'è e che rischi ambientali comporta." *Tuttogreen.it*, 21 novembre 2017. <https://www.tuttogreen.it/fracking-cose/>.

²⁰ ISPI. "USA: il futuro è nero (petrolio)?" 29 settembre 2023. <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/usa-il-futuro-e-nero-petrolio-145571>.

²¹ Hawkins, Troy R., et al. "Corrigendum to: Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*." *Journal of Industrial Ecology*. 2013. <https://doi.org/10.1111/jiec.12011>.

²² Danielis, Romeo. "Le emissioni di CO2 delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l'Italia tramite l'analisi del ciclo di vita." Working Paper, SIET, 2016. <http://sietitalia.org/wpsiet/Danielis%20-%20WPSIET%202017.pdf>.

²³ Ibid. pag-10

delle emissioni totali²⁴. Questi dati, però, tengono in conto anche delle emissioni di tutta la catena di produzione delle automobili, infatti, ciò che pesa maggiormente sulle performance delle *BEV* sono le modalità di estrazione delle materie prime per le batterie come il litio e il cobalto e l’approvvigionamento di energia per la ricarica, ancora ricavata da fonti fossili. Grazie all’avanzamento tecnologico nel settore delle batterie, attualmente le emissioni, così calcolate dal professore Danielis nel 2016, sarebbero decisamente inferiori.

Tabella 1- Una stima per l’Italia (2016)

	BEV	ICEV - diesel	ICEV - benzina	HEV
Veicolo di base	34,0	34,0	34,0	34,0
Motore	2,7	4,0	4,0	4,0
Altre componenti	4,8	5,5	5,5	5,5
Batteria	31,0	0,6	0,6	0,6
Fase di uso, non legate al carburante	7,2	8,9	8,9	8,9
Carburante\elettricità	51,0	108	111	92
Smaltimento\riuso	4,7	3,4	3,4	3,4
Totale	135,4	164,4	167,4	148,4

Stima delle emissioni complessive di gas serra in grammi di CO2 equivalenti

FONTE: Le emissioni di CO2 delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l’Italia tramite l’analisi del ciclo di vita (pag.10)

1.3 Breve storia delle automobili elettriche

I primi modelli di automobili a trazione elettrica risalgono agli anni '30 dell'Ottocento ed erano alimentati da un accumulatore elettrico costituito da una combinazione di elettrodi di piombo e acido solforico. Il primo modello fu presentato all'Esposizione Internazionale di Parigi del 1867 da Franz Kavogl, mentre nel 1901 Ferdinand Porsche ha creò la prima automobile ibrida. Le automobili elettriche non ressero la competizione dei modelli a combustione interna e alimentati a benzina, avendo costi di produzione elevati e la scoperta dei giacimenti di petrolio.

²⁴ Danielis, Romeo. “Le emissioni di CO2 delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l’Italia tramite l’analisi del ciclo di vita.” Working Paper, SIET, 2016. <http://sietitalia.org/wpsiet/Danielis%20-%20WPSIET%202017.pdf>.

A causa dell'embargo petrolifero ad opera dei Paesi dell'OPEC nel 1973, come risposta al supporto verso Stato di Israele nella guerra dello Yom Kippur, nei Paesi occidentali ci si rese conto per la prima volta della propria vulnerabilità energetica. La tecnologia dei motori elettrici, tuttavia, non era ancora così sviluppata da poter competere con le auto tradizionali, decretando, così un'altra battuta di arresto nella loro produzione. Le batterie a litio sono di più recente invenzione, infatti, furono fabbricate per la prima volta da Gilbert Lewis nel 1912, però, le prime pile ricaricabili furono inventate negli anni Settanta; fu la Sony nel 1991 a creare la prima versione commerciale.

La Toyota nel 1997 presenta la Prius che nel 2000 ha riscosso un successo mondiale, diventando la prima auto ibrida di massa. Nel 2003 Martin Eberhard e Marc Tarpenning fondano la *Tesla Motors*; l'anno successivo Elon Musk entra a far parte della società come investitore principale.

Nel 1801 il Conte Giuseppe Carli di Castelnuovo di Garfagnana realizzò assieme all'ingegnere Francesco Boggio la prima auto elettrica italiana, successivamente negli anni '90 la FIAT fa uscire sul mercato la Panda Elettra, i cui primi prototipi risalivano al 1963, alimentata da batterie al piombo acido.

1.4 Mercato e caratteristiche delle automobili elettriche

La pandemia di Covid-19 ha messo a dura prova il settore automobilistico mondiale, il quale nel 2020 ha subito una contrazione del 13,8% di vendite sull'anno precedente. Secondo quanto emerge dal report dell'Osservatorio sulla componentistica automotive italiana 2021²⁵, il mercato europeo (EU27, EFTA e Regno Unito) e quello nord americano sono stati i più colpiti avendo registrato una riduzione rispettivamente del 23,6% e del 16,6%. La Cina è il primo Paese produttore di autoveicoli, nonché il primo produttore di batterie per le auto "green", seguita da Usa, Giappone, India, Corea

²⁵ Moretti, Anna, Francesco Zirpoli. "La filiera automotive italiana nel segno della transizione ecologica." *Osservatorio sulla componentistica automotive italiana 2021*. Università Ca' Foscari, Venezia. 2021. <https://dx.doi.org/10.30687/978-88-6969-564-3>.

del Sud e Germania²⁶. Il ramo delle automobili ad alimentazione alternativa è in controtendenza, infatti guadagna importanti fette di mercato: nell'Unione europea le automobili ibride hanno costituito il 11,9% delle vendite totali, mentre le automobili elettriche il 10,5%. Nei cinque *major markets*²⁷ europei sono state vendute 2 milioni di autovetture ad alimentazione alternativa con una crescita del 76% rispetto al 2019 valendo, così, il 25% del mercato complessivo di questi Paesi. Le auto a batteria, in particolare, nel 2020 hanno costituito il 5,6% del mercato delle automobili ad alimentazione alternativa. Il dibattito pubblico sulla transizione ecologica concernente il settore automobilistico pone al centro diverse perplessità sull'autonomia, la durata del ciclo di vita e i tempi di ricarica delle automobili elettriche. Il mercato è in forte espansione, infatti, nel 2021 le vendite globali di automobili elettriche sono raddoppiate, raggiungendo le 6.6 milioni di unità²⁸. Le batterie di queste auto sono preposte all'accumulo e rilascio di energia elettrica, permettendo al motore di ottenere l'alimentazione necessaria per trasformarla, poi, in energia meccanica. Il principio fisico alla base delle batterie è l'ossidazione, ovvero una reazione chimica che permette la generazione di corrente elettrica attraverso l'interazione fra due specie chimiche e lo sprigionamento di un flusso di elettroni, che passano da un polo cedente, chiamato anodo, ad uno ricevente, chiamato catodo. La tecnologia odierna assicura un'autonomia fra i 400 e i 1000 chilometri con una sola ricarica completa e alcuni modelli permettono di recuperarne centinaia di chilometri in pochi minuti. Attualmente sono in commercio diverse tipologie di batterie:

- a) Batterie al piombo (Pb): vengono utilizzate nei muletti e nei transpallet e non più nelle automobili, data la loro pesantezza, voluminosità e lentezza nel ricaricamento. Raggiungono un'autonomia garantita non superiore ai 100km.
- b) Batterie al nichel-metallo idruro (NiMH): oggi sono impiegate soprattutto nelle automobili ibride ed elettriche per il loro durevole ciclo di vita, calcolato fra gli otto e i dieci anni, piuttosto che per il loro rendimento.

²⁶ Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica. *Osservatorio sulla componentistica automotiva italiana 2022*. 2022.

https://www.anfia.it/allegati_contenuti/DOC/302_STUDIO_OSSERVATORIO_COMPONENTISTICA_2022_DEF.PDF.

²⁷ Con la dicitura "major markets europei" si intende raggruppare Regno Unito, Italia, Francia, Spagna e Germania.

²⁸ Dickert, Chris. "On the Road to Electric Vehicles." *Visual Capitalist*, 1 marzo 2023.

<https://www.visualcapitalist.com/sp/on-the-road-to-electric-vehicles/>.

- c) Batterie agli ioni di litio (Li-Ion): sono le batterie più moderne a nostra disposizione e sono le più utilizzate. La loro densità energetica è altissima e sono molto leggere e compatte, inoltre, non necessitano di essere ricaricate completamente per funzionare e hanno un'autonomia di 380km.
- d) Batterie al litio-ferro-fosfato (LFP oppure LiFePO₄): sono ancora in sviluppo ma promettono una densità energetica ed autonomia maggiori rispetto alle batterie precedenti. Vengono chiamate anche batterie allo stato solido perché il flusso di elettroni si muove in una soluzione solida anziché liquida.

L'autonomia delle auto elettriche è una delle principali preoccupazioni dei consumatori, tuttavia, i sistemi di ricarica assicurano una notevole affidabilità e le dimensioni delle batterie si sono drasticamente ridotte, assicurando lo spazio adeguato per bagagli e passeggeri. Le batterie attuali hanno un ciclo di vita di almeno 8 anni o 160mila chilometri, garantita dal miglioramento delle componenti dei rivestimenti di anodo e catodo, risolvendo, così, il problema principale della diminuzione in termini di accumulo della capacità di ricarica. Le batterie, tuttavia, incidono tra il 25 e il 40% sul costo complessivo dell'automobile a causa dei materiali impiegati per la costruzione dell'anodo e del catodo²⁹. In commercio, inoltre, esistono diverse categorie di autovetture “green” classificate a seconda del grado di ibridazione del motore:

- a) *Battery Electric Vehicles (BEVs)*: automobili dal motore completamente elettrico, per cui il grado di ibridazione è al 100%. Esempari di questa categoria sono la Tesla 3 (645mila vendute) e la Nissan Leaf (490mila vendute)³⁰.
- b) *Hybrid Electric Vehicles (HEVs)*: vetture alimentate da un motore a combustione e da uno elettrico, che funge da generatore. Il motore elettrico, inoltre, integra la potenza del motore a combustione in fase di accelerazione riducendo, così, i consumi. Le batterie sono soprattutto al litio e al NiMH. Questa tipologia si divide ancora in “*Series HEVs*” e in “*Parallel HEVs*”. Il grado di ibridazione può essere definito come “*mild hybrid*” (GI= 10-30% circa) oppure come “*full-hybrid*” (GI= 30-50%).

²⁹ Godi, Gianluca. “Come funzionano le batterie delle auto elettriche e quali sono i limiti di questa tecnologia.” *Geopop*, 20 ottobre 2022. <https://www.geopop.it/come-funzionano-le-batterie-delle-auto-elettriche-e-quali-sono-i-limiti-di-questa-tecnologia/https://www.geopop.it/>.

³⁰ Kane, Mark. “See The Best Selling Battery Electric Cars Of All-Time Here.” *Insideevs*, 4 ottobre 2020. <https://insideevs.com/news/447165/see-best-selling-battery-electric-cars/>.

- c) *Plug-in hybrid electric vehicles (PHEV)*: sono un particolare modello di *HEVs* perché possiedono batterie più capienti (8kWh in confronto a 1kWh); queste consentono alle auto di percorrere circa 50 chilometri senza usare carburante. Le automobili plug-in hanno un grado di ibridazione superiore al 50%. Nel 2022 sono state vendute quasi 3 milioni di modelli *PHEV* nel mondo.

1.5 Accessibilità dei servizi per la ricarica delle automobili elettriche: il caso italiano

In Italia le *PHEV* hanno assunto un ruolo di primo piano nel mercato automobilistico italiano, infatti, nel 2022 ne sono state vendute 65mila; sono da considerare anche le 49mila unità di automobili *BEV*. Nel mese di settembre 2023 i modelli di automobili elettriche più venduti³¹ sono stati:

1. Tesla model Y a partire da 46.990 euro (803 esemplari);
2. Smart EQ fortwo a partire da 25.210 euro (412);
3. Volkswagen ID.3 a partire da 41.900 euro (282);
4. Fiat 500 a partire da 29.950 euro (281);
5. Cupra Born a partire da 40.266 euro (203);
6. Ford Mustang Mach-E a partire da 89.200 euro (165);
7. Audi Q4 e-tron a partire da 81.500 euro (165);
8. Mercedes EQA a partire da 55.670 euro (149);
9. Hyundai Kona EV a partire da 25.350 euro (149);
10. BMW iX1 a partire da 102.200 euro (135).

Secondo quanto riportato dal report dell'ACEA (*European Automobile Manufacturers Association*) ad agosto 2023 il mercato delle auto a batteria ha superato la quota del 20% di mercato, mentre le auto ibride si stabilizzano al 24%³².

L'avanzamento di questo nuovo settore del mercato automobilistico ha imposto un'azione legislativa primamente europea attraverso la Direttiva 2014/94/UE "Sulla

³¹ Cardone, Pietro. "Le auto elettriche più vendute in Italia a settembre 2023." *Insideev.it*, 2 ottobre 2023. <https://insideevs.it/news/689499/auto-elettriche-vendute-italia-settembre-2023/>.

³² Inghirami, Silvia. "L'auto elettrica trascina il mercato. Boom di immatricolazioni." *Agi.it*, 20 settembre 2023. <https://www.agi.it/economia/news/2023-09-20/boom-mercato-auto-elettrico-immatricolazioni-europa-23118370/>.

realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi" (DAFI), la quale è stata recepita dall'Italia con il Decreto Legislativo del 16 dicembre 2016, n.257. L'Italia ha elaborato anche una strategia nazionale per lo sviluppo della rete di infrastrutture di ricarica per le automobili elettriche: il Piano Nazionale Infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica (PNIRE).

La ricarica delle auto plug-in avviene può avvenire su suolo pubblico, attraverso una colonnina di ricarica ad accesso libero, oppure su suolo privato, mediante "wall-box" e colonnine in residenza privata, in sede condominiale, nei supermercati e nei pressi dei posti di lavoro. I principali operatori che gestiscono il settore della ricarica pubblica³³ sono Enel X, A2A, Be Charge, Duferco, Neogy ed Hera Comm. Secondo il report di Motus-E nel 2022 i punti di ricarica sono cresciuti di circa 10mila unità, registrando un aumento del 41% rispetto all'anno precedente; sono incrementate del 46% le infrastrutture di ricarica rispetto al 2021, contando circa 6mila nuove unità³⁴. In Italia i punti di ricarica ad uso pubblico rappresentano il 72% delle infrastrutture di ricarica totali e il restante 28% è su suolo privato a uso pubblico³⁵. Rispetto al 2021 si registra un incremento del 7% della quota di infrastrutture collocate su suolo privato, che è necessaria per sviluppare il servizio in modo capillare ed omogeneo. Circa il 19% delle infrastrutture installate risulta non utilizzabile per gli utenti finali³⁶, perché non è stato possibile da parte del distributore di energia collegarle alla rete elettrica oppure perché sono sopravvenuti problemi di natura autorizzativa.

In termini di potenza di ricarica, l'88% dei punti di ricarica installati è in corrente alternata (AC), mentre il 12% in corrente continua (DC)³⁷. Bisogna, inoltre, far notare che la quota dei punti in DC è raddoppiata, passando dal 6% nel 2021 al 12%³⁸, e che la quota dei punti ultraveloci è triplicata: questi investimenti per l'aumento della potenza dei punti installati vogliono venire incontro alle esigenze della lunga

³³ Suri, Ashvin. "Colonnine di ricarica pubbliche: guida ai principali operatori per l'Italia." *Ezoomed.it*, 10 aprile 2023. <https://www.ezoomed.it/blog/sistemi-di-ricarica/operatori-colonnine-pubbliche/>.

³⁴ Motus-E report. *Le Infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia – dicembre 2022*. 2023. <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2023/02/Report-Infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-Italia-quarta-edizione.pdf>.

³⁵ Ibid. pag-12

³⁶ Ibid. pag-12

³⁷ Ibid. pag-13

³⁸ Ibid. pag-14

percorrenza. Si registra anche un incremento nel numero di operatori presenti in Italia che installano punti di ricarica ad elevata potenza; un esempio è proprio Tesla che ha aperto alcuni dei suoi punti di ricarica riservati ai suoi clienti all'uso pubblico, contribuendo al grande balzo appena menzionato della quota di punti con potenza superiore ai 150kW. È necessario tener presente l'importanza di avere a disposizione una rete infrastrutturale diversificata, poiché ciascuna potenza di ricarica assolve a particolari compiti e fini:

- a) Ricarica standard (fino a 22kw): privilegiata in corrispondenza della sosta su strada per il ricaricamento durante la notte, di parcheggi di interscambio per permettere a lavoratori, che non dispongono di parcheggi aziendali attrezzati, di usufruire del servizio, e in corrispondenza dei punti di interesse che il centro urbano offre.
- b) Ricarica rapida ad alta potenza (fino a 100kW): si predilige in corrispondenza di punti di interesse, come centri commerciali o ristoranti, e di stazioni ferroviarie, aeroporti e altri nodi di trasporto pubblici extraurbani.
- c) Ricarica rapida ad alta potenza (oltre i 100kW): preferibile in aree di servizio autostradali e in prossimità dei caselli autostradali, presso strade ad alto scorrimento e nelle vicinanze di aree di carico e scarico merci e nodi logistici.

Nel 2022 risultano 496 punti di ricarica ad uso pubblico in autostrada, dei quali circa l'85% ricarica in DC, dunque a potenze superiori ai 43 kW, e il 15% in AC ha una potenza di ricarica inferiore o uguale ai 43kW³⁹. Il 64% delle installazioni in DC ha una potenza pari o superiore a 150 kW. La presenza di punti di ricarica in autostrada, seppur ancora fortemente limitata, registra una crescita rilevante rispetto al 2021: in un anno i punti di ricarica in autostrada sono più che quadruplicati (+378 punti di ricarica). La rete autostradale italiana si estende per 7.317 chilometri, come riportato dall'Autorità di regolazione dei trasporti (ART), perciò si contano 6,8 punti di ricarica ogni 100 chilometri, di cui 5,3 sono punti di ricarica veloci ed ultraveloci⁴⁰. La media totale italiana è di circa 6 punti di ricarica ogni 10.000 abitanti.

³⁹ Motus-E report. *Le Infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia – dicembre 2022*. 2023. <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2023/02/Report-Infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-Italia-quarta-edizione.pdf>.

⁴⁰ Ibid. pag-16

La distribuzione dei punti di ricarica è piuttosto disomogenea, in quanto il 58% è situato al Nord a fronte del 22% al Centro e il 20% al Sud⁴¹. Circa i tre quarti delle regioni italiane, tuttavia, registra un numero inferiore rispetto alla media italiana, mentre Piemonte, Lombardia, Veneto, Lazio, Emilia-Romagna e Toscana presentano valori ben più alti della media nazionale. Questo sviluppo asimmetrico, come dimostrato dai tassi di crescita, persiste anche nel 2022: Friuli-Venezia-Giulia (+96,95% rispetto al 2021), Veneto (+58,6%), Sardegna (+58,2) e Marche (+55,2%)⁴². A livello provinciale il divario fra Nord e Sud è ancora più evidente, infatti, le Province italiane, escludendo però le città metropolitane⁴³, con il più alto numero di punti di ricarica sono Brescia, Pordenone, Bergamo e Treviso; chiudono la lista Prato, Trieste, Vibo Valentia, Crotona ed Isernia.

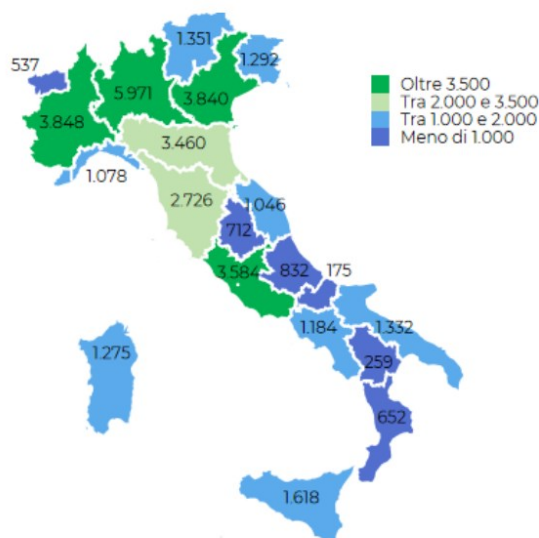


Figura 4- Punti di ricarica installati per Regione
FONTE: Motus-E Report 2022 (pag.18)

Il 33% dei punti di ricarica della Penisola si trovano, in realtà, nelle quattordici città metropolitane: Roma primeggia con 2.751 punti di ricarica e seguono Milano,

⁴¹ Motus-E report. *Le Infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia – dicembre 2022*. 2023. <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2023/02/Report-Infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-Italia-quarta-edizione.pdf>.

⁴² Ibid. pag-19

⁴³ Le città metropolitane sono state istituite con la legge del 7 aprile 2014, n.56 e consistono in un'area molto vasta che comprende la città principale e tutti i Comuni limitrofi. L'elevata densità demografica richiede, dunque, una pianificazione strategica articolare.

Torino, Venezia e Firenze. In termini assoluti, però, Milano conquista la vetta della classifica per il numero di punti di ricarica ad alta potenza, seguita da Roma e Bologna; ancora una volta le città meridionali chiudono la lista (Messina con 289, Cagliari con 250 e Reggio Calabria con 123). Se rapportiamo il numero di abitanti delle città metropolitane al numero di punti di ricarica, otteniamo una nuova classifica: Venezia (circa 16 punti ogni 10mila abitanti), Firenze (9 punti ogni 10mila abitanti) e Bologna (8 punti ogni 10mila abitanti)⁴⁴.

La disarmonica distribuzione della rete infrastrutturale per la ricarica delle automobili elettriche è ancor più evidente a livello comunale: il 58% dei Comuni italiani non ha punti di ricarica sul proprio territorio e la maggior parte di questi si trovano al Centro-Sud Italia⁴⁵. Si stima che le installazioni si concentrano per circa il 32% nei Capoluoghi di Provincia mentre il restante 68% nel resto del territorio provinciale⁴⁶. Nonostante il quadro appena descritto possa apparire non soddisfacente, è importante sottolineare che in Italia, secondo le stime di Motus-E report per il 2022, un utente ha disposizione almeno un punto di ricarica ad uso pubblico nel raggio di 30 chilometri indipendentemente da dove si trovi. Anche riducendo il raggio di riferimento i risultati sono apprezzabili: il 99% del territorio italiano ha almeno un punto di ricarica in un raggio di 20 chilometri e l'86% in un raggio di soli 10 chilometri⁴⁷.

⁴⁴ Motus-E report. *Le Infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia – dicembre 2022*. 2023. <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2023/02/Report-Infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-Italia-quarta-edizione.pdf>.

⁴⁵ Ibid. pag-22

⁴⁶ Ibid. pag-21

⁴⁷ Ibid. pag-24

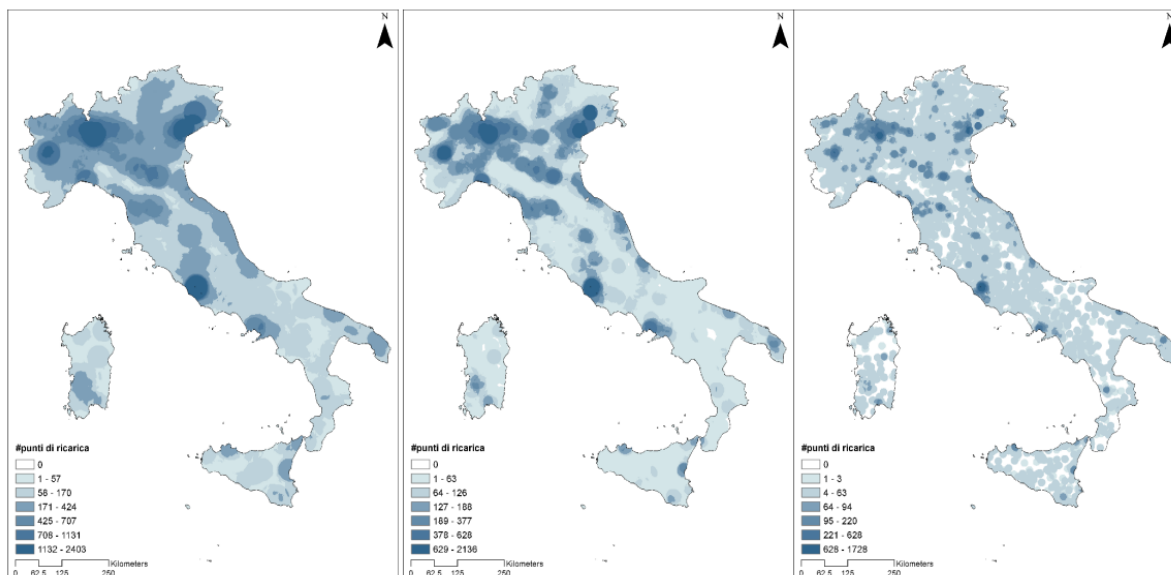


Figure 5- 6- 7: Numero di punti di ricarica nel raggio di 30km, 20km e 10km
FONTI: Motus-E 2022 (pag.26)

Il report di Motus-E per il 2022 prende brevemente in esame anche Francia, Germania, Norvegia, Regno Unito, Belgio e Paesi Bassi. In termini assoluti l'Italia sembra essere in linea con gli altri Paesi europei. Il nostro Paese viene superato da Paesi Bassi e Belgio in termini di rapporto tra punti di ricarica e veicoli elettrici circolanti, tuttavia, i modelli di ricarica di questi tre Stati sono piuttosto diversi: le infrastrutture dei Paesi Bassi e del Belgio, infatti, sono focalizzate sulle ricariche a potenze più basse (la percentuale di punti di ricarica con potenza superiore a 22 kW nel primo è pari al 2,9%, nel secondo è pari al 4,5%, mentre in Italia è pari al 12%)⁴⁸. La Norvegia, invece, ha seguito una pianificazione diversa per le infrastrutture di ricarica affidandosi soprattutto ai privati. La rete ad uso pubblico italiana si è sviluppata a una velocità superiore rispetto alla crescita delle *BEV*.

Il nostro Paese rimane purtroppo fanalino di coda fra i grandi Paesi europei sull'immatricolazione delle automobili elettriche e nel 2022 è l'unico ad aver visto un calo (più del 20%) delle immatricolazioni *BEV* rispetto all'anno precedente, sebbene offra una serie di agevolazioni ed incentivi economici per i consumatori desiderosi di

⁴⁸ Motus-E report. *Le Infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia – dicembre 2022*. 8 febbraio 2023. <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2023/02/Report-Infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-Italia-quarta-edizione.pdf>.

acquistare veicoli elettrici al fine di sostenerne il mercato. I veicoli elettrici sono esentati dalla tassa di proprietà annuale per un periodo di 5 anni dal momento dell'immatricolazione e, passati questi anni, in alcune regioni godono di una riduzione del 75% della tassa di proprietà applicata ai veicoli a benzina. A partire dal 2020 per le auto frange benefit⁴⁹ che emettono fino a 60 g/km CO₂ è prevista una tassa (25%) minore rispetto alla tassazione precedente⁵⁰, inoltre, a seconda delle emissioni prodotte dall'automobile sono state previste diverse soglie di tassazione:

- a) 30% per le automobili che emettono fra 61 e 160 g/km di CO₂;
- b) 50% per le automobili che emettono fra 161 e 190 g/km di CO₂;
- c) 60% per le automobili che emettono più di 191 g/km di CO₂.

La normativa vigente garantisce un credito d'imposta per l'installazione di infrastrutture fino a 22 kW per la ricarica delle auto elettriche; questo ammonta fino al 50% del costo dell'acquisto della colonnina e dei costi di installazione entro i 3000 euro, da dividere in dieci rate eguali. Alcuni governi regionali, soprattutto al Nord, hanno introdotto ulteriori incentivi per l'acquisto di veicoli fino alle 7-12 tonnellate a combustibili alternativi. In molti centri urbani le automobili elettriche ed ibride godono di libera circolazione nelle zone a traffico limitato (ZTL) e parcheggio gratuito.

⁴⁹ I frange benefit sono dei compensi in natura, detti anche benefit accessori, che vanno ad aggiungersi alla retribuzione ordinaria e che possono essere concessi singolarmente – per esempio le auto aziendali – o a un numero ristretto di persone.

⁵⁰ Commissione europea. European Alternative Fuels Observatory. <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/italy/incentives-legislations>.

Capitolo 2- La corsa al litio

2.1 Il litio e i minerali critici contesi

Il litio è un metallo bianco argenteo e fa parte dei cosiddetti “metalli rari”⁵¹. I metalli rari sono largamente impiegati nella tecnologia “green”, infatti, è evidente che risorse come il litio e il cobalto, in un mondo che si incammina verso una mobilità sempre più sostenibile nelle modalità descritte nel precedente capitolo, sono destinate ad assumere un ruolo centrale nel mercato delle materie prime. Non è un caso, infatti, che l’invenzione e il perfezionamento delle batterie agli ioni di litio abbia attribuito il Nobel per la Chimica del 2019 a Stanley Whittingham, John Goodenough e Akira Yoshino. Le terre rare⁵² appartengono al gruppo dei minerali strategici, proprio come il litio e gli altri metalli strategici, e vengono adoperate sia nell’industria tradizionale sia nell’industria “green” emergente. Le terre rare possono classificarsi come terre rare leggere (*light rare-earth elements*, LREE) e terre rare pesanti (*heavy rare-earth elements*, HREE); quest’ultime sono le più pregiate e le più abbondanti. Nelle batterie agli ioni di litio vengono impiegati diversi materiali, quali litio, cobalto, nichel, manganese, alluminio, rame, silicone, stagno, titanio e grafite; questi sono considerati “critical raw materials” a causa della rischiosità del loro approvvigionamento, della loro rilevanza economica, della concentrazione delle risorse e dei bassi livelli di sostenibilità.

Il mercato mondiale del litio ha attualmente un volume pari all’incirca a 185.000 tonnellate l'anno, per un valore di mercato di 2,5 miliardi di dollari⁵³. In termini relativi questo mercato pare essere dalle dimensioni piuttosto ridotte, tuttavia, è destinato ad assumere un ruolo maggiore. I principali attori privati si astengono dal rendere pubblico il prezzo spot, infatti, il litio tuttora non è quotato in borsa. La nebulosità del mercato del litio è indicativo di quanto conteso e ancora contendibile sia. Nel 2018 i principali acquirenti di litio sono state grandi aziende del Giappone, della Cina, degli Stati Uniti e

⁵¹ In letteratura si utilizzano “metalli strategici, tecnologici o minori” come sinonimi di “metalli rari”

⁵² Le terre rare sono scandio, ittrio, lantanio, cerio, praseodimio, neodimio, promezio, samario, europio, gadolino, terbio, disprosio, olmio, erbio, tulio, itterbio e lutezio.

⁵³ Cutaia, Laura, 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.” *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA RdS/PAR2017/254*. 2018.

della Germania⁵⁴, ossia di tutti quei Paesi leader nella ricerca e nella produzione di batterie ricaricabili, del industria automobilistica, dei notebook e dei cellulari. Nel 2016 le maggiori società produttrici di litio sono state la cilena Sociedad Química y Minera (SQM), le americane Albemarle e Fmc Lithium e le cinesi Tianqui Lithium e Jiangxi Gangfeng Lithium⁵⁵.

I minerali strategici si trovano soprattutto in America meridionale, Cina, India, Africa e Australia. Secondo la Banca Mondiale i Paesi in via di sviluppo detengono il 91% delle riserve di litio e il 52% della sua produzione; se escludiamo la Cina da questo gruppo le percentuali si attestano rispettivamente al 68% e al 45%⁵⁶. Quantificare la disponibilità effettiva di questi minerali è piuttosto arduo perché molti Paesi in via di sviluppo non dispongono di dati geologici adeguati. Nel 2021 sono state prodotte 540mila tonnellate di litio e si prevede una produzione sei volte maggiore entro il 2030; Australia (52%), Cile (25%), Cina (15%) e Argentina (6%) sono i maggiori produttori di litio al mondo⁵⁷.

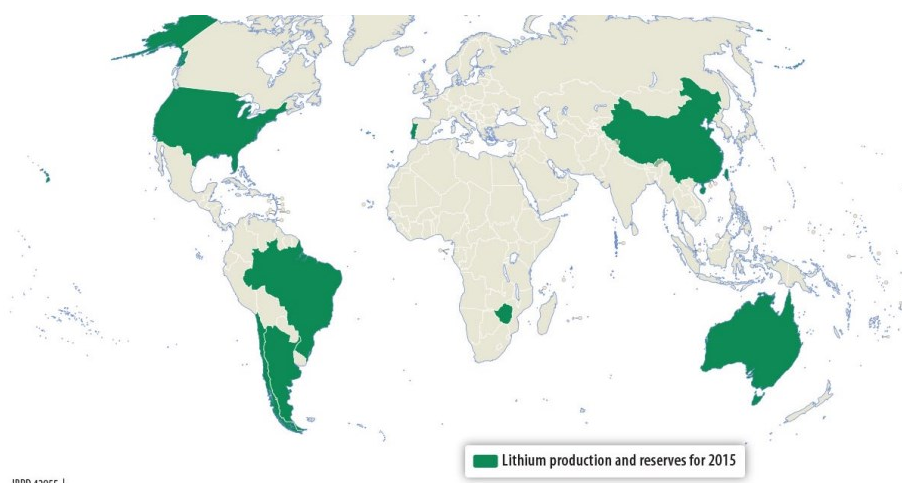


Figura 8 – Principali Paesi per riserve e produzione di litio FONTE: The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future, World Bank (pag.43) , basato su USGS 2016, 101

⁵⁴ Cutaia, Laura, 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.” *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA RdS/ PAR2017/254*. 2018.

⁵⁵ Ibid. pag-28

⁵⁶ The World Bank. *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*. 2017. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf>.

⁵⁷ Butanda, Govind. “Visualizing 25 Years of Lithium Production, by Country.” *Visual Capitalist*, 26 dicembre 2022. <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-25-years-of-lithium-production-by-country/>.

La Repubblica Popolare Cinese, in particolare, continuerà ad esercitare un ruolo di primo piano, secondo alcuni di monopolio, nell'estrazione e nella lavorazione di ogni tipologia di metallo necessario per la rivoluzione verde⁵⁸. A partire dagli anni Novanta il gigante asiatico è riuscito ad ottenere il controllo del 97% dell'industria delle terre rare grazie ad una produzione a basso costo, alti dazi sulle esportazioni e limitazioni artificiali dell'offerta. Pechino, infatti, ha intessuto una fitta rete di acquisizioni e investimenti nei Paesi ricchi di metalli strategici e terre rare attraverso le sue *State-owned enterprises* (SOEs) arrivando a controllare l'80% della processazione globale di cobalto e più della metà della sua produzione nella Repubblica democratica del Congo, nel cui territorio giace il 69% della produzione globale di cobalto⁵⁹. La Cina, inoltre, esercita un controllo sostanziale della proprietà dei giacimenti e sugli stadi di processazione del litio anche in America Latina e Australia.

Il dominio esercitato dalle compagnie cinesi nel mercato dei metalli strategici e delle terre rare preoccupa gli Stati Uniti, i quali temono che Pechino possa farne un'arma geopolitica escludendoli, *de facto*, dalla *supply chain* globale. I *policymaker* americani sono, inoltre, preoccupati che il posizionamento della Cina, capace di manipolare a proprio piacimento i prezzi, possa minacciare l'intero sistema globale⁶⁰. Emily De La Bruyère di *Horizon Advisory*, una nota azienda di consulenza statunitense, afferma in un articolo di *Epoch Times*⁶¹

*On the African continent [...] this means that Beijing works not just to grab, but rather to control resource reserves, markets, industrial supply chains, and standards. Beijing translates control over Africa's markets, resources, and standards to influence over the world's. China regularly overplays its hand in relations with Africa and disregards international norms as it expands its commercial interests*⁶².

⁵⁸ *The World Bank*. "Minerals and Metals to Play Significant Role in a Low-Carbon Future." 18 luglio 2017. <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/minerals-and-metals-to-play-significant-role-in-a-low-carbon-future>.

⁵⁹ *ISPI*. "Terre rare sempre più strategiche." 5 novembre 2020.

<https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/terre-rare-sempre-piu-strategiche-28154>.

⁶⁰ Cerai, Alberto P. "Terre rare, la Cina è pronta a farne un'arma geopolitica?." *Formiche.net*, 13 luglio 2020. <https://formiche.net/2020/07/terre-rare-usa-cina/>.

⁶¹ McDonnell, Alan. "US Vulnerable to China Rare-Earth Monopoly, Researchers Find." *Epoch Times*, 7 luglio 2020. <https://www.theepochtimes.com/us/us-vulnerable-to-china-rare-earth-monopoly-researchers-find-3408972>.

I timori geopolitici di Washington si sono già avverati nel settembre del 2010 quando la Cina impose il blocco delle esportazioni di terre rare al Giappone a causa di un incidente marittimo al largo delle Isole Senkaku, un arcipelago appartenente al Giappone ma la cui sovranità sull'area è contestata da Pechino. Questa mossa non riuscì nel suo intento, inoltre, la *World Trade Organization* (WTO) condannò l'embargo cinese. Da quel momento il mercato delle terre e dei metalli rari ha cominciato a diversificarsi: maggiori quote sono state occupate da Australia, Myanmar, Madagascar, Vietnam e Malesia.

Gli Stati Uniti, almeno fino agli anni '80, erano il Paese leader nel mercato dei metalli strategici e delle terre rare grazie all'enorme miniera californiana di Mountain Pass, tornata a pieno regime nel 2018 dopo aver subito una bancarotta nel 2015; nel 2020 ha rappresentato da sola quasi il 16% dell'offerta mondiale di terre rare⁶³. Sia Trump che Biden hanno riconosciuto l'importanza di investire nell'offerta interna di queste risorse, infatti sono stati aperti nuovi siti estrattivi in Alaska, Nebraska, Texas e Wyoming. Nel 2017 un gruppo di ricercatori della Lithium Americas Corporation ha scoperto un importante giacimento di litio nei pressi della Caldera McDermitt al confine fra l'Oregon e il Nevada; secondo le stime questo sito potrebbe essere il più grande al mondo⁶⁴.

Il Giappone, che, come precedentemente detto, ha subito un blocco delle esportazioni di terre rare da parte di Pechino, ha reso pubblica la presenza di un importante deposito naturale di terre rare al largo dell'isola di Minamitorishima. Questo sito giace a più di 5 chilometri di profondità e conterrebbe circa 16 milioni di tonnellate di terre rare, in particolare potrebbe sostenere la richiesta globale di diprosio per 730

⁶² Ibid. “ Nel continente africano [...] ciò vuol dire che Pechino opera non solo per accaparrarsi, bensì per controllare le riserve, il mercato e le catene di approvvigionamento industriali delle risorse e gli standard. Pechino traduce il controllo sui mercati, sulle risorse e sugli standard dell’Africa per influenzare quelli del mondo. La Cina va oltre i propri limiti regolarmente nelle relazioni con l’Africa e ignora le norme internazionali mentre espande i propri interessi commerciali.”

⁶³ Carboni, Tommaso. “Le terre rare saranno il petrolio del nostro secolo. E sono in mano alla Cina”. *Forbes Italia*, 6 maggio 2021. <https://forbes.it/2021/05/06/terre-rare-petrolio-nostro-secolo-mano-cina/>.

⁶⁴ Bignami, Luigi. “Scoperto in Usa un importante giacimento di litio (forse il più grande al mondo)” *Focus*, 23 settembre 2023. <https://www.focus.it/scienza/scienze/scoperto-un-importante-giacimento-di-litio-negli-stati-uniti-fara-da-concorrenza-alla-cina>.

anni, di ittrio per 780 anni, di europio per 620 anni e infine di terbio per 420 anni⁶⁵. Il Giappone ratificò la Convenzione di Montego Bay (*United Nations Convention on the Law Of the Sea*, UNCLOS) e la Parte XI della Convenzione nel 1996 e attualmente possiede l'ottava zona economica esclusiva (ZEE) più estesa del mondo. La ZEE è “una zona al di là e adiacente al mare territoriale” (art.55 dell'UNCLOS), inoltre “la zona economica esclusiva non si estende oltre le 200 miglia nautiche dalle linee di base da cui si misura la larghezza del mare territoriale” (art.57). La Convenzione di Montego Bay garantisce all'art.56 par.1 una serie di diritti esclusivi allo Stato costiero:

- a) Diritti sovrani ai fini dell'esplorazione e dello sfruttamento, della conservazione e della gestione delle risorse naturali, viventi e non viventi, delle acque sovrastanti il fondo marino e del fondo marino e del suo sottosuolo, nonché per quanto riguarda altre attività di sfruttamento economico e esplorazione della zona, come la produzione di energia dall'acqua, dalle correnti e dai venti;
- b) diritto di stabilimento ed uso di isole artificiali, installazioni e strutture.
- c) diritto di ricerca scientifica marittima;
- d) diritto di protezione e preservazione dell'ambiente marino.

Per quanto riguarda gli altri Stati la Convenzione afferma che

In the exclusive economic zone, all States, whether coastal or land-locked, enjoy, subject to the relevant provisions of this Convention, the freedoms referred to in article 87 of navigation and overflight and of the laying of submarine cables and pipelines, and other internationally lawful uses of the sea related to these freedoms, such as those associated with the operation of ships, aircraft and submarine cables and pipelines, and compatible with the other provisions of this Convention⁶⁶.

Gli Stati, nell'esercizio di questi diritti, “devono osservare i diritti e i doveri dello Stato costiero e devono conformarsi alle sue norme” (art.58 par.3). Il sito rilevato nei pressi dell'isola di Minamitorishima, dunque, è a piena disposizione delle autorità giapponesi:

⁶⁵ Spalletta, Alessandra. “Il Giappone scopre un maxi giacimento di terre rare e sfida la supremazia di Pechino.” *Agi.it*, 11 aprile 2018.

https://www.agi.it/estero/maxi_giacimento_terre_rare_sfida_giappone_cina-3758836/news/2018-04-11/#:~:text=Il%20Giappone%20scopre%20un%20maxi%20giacimento%20di%20terre%20rare%20e%20sfida%20la%20supremazia%20di%20Pechino.

⁶⁶ “Nella zona economica esclusiva, tutti gli Stati, siano essi costieri o senza sbocco sul mare, godono, fatte salve le disposizioni pertinenti della presente Convenzione, delle libertà di navigazione e di sorvolo e di posa di cavi e condotte sottomarini, di cui all'articolo 87, e di altre libertà usi del mare leciti a livello internazionale legati a tali libertà, come quelli associati all'esercizio di navi, aerei e cavi e condotte sottomarini, e compatibili con le altre disposizioni della presente Convenzione” (art.58 par.1 UNCLOS)

questa scoperta conta di cambiare profondamente gli equilibri regionali e mondiali del già competitivo mercato delle terre rare e di rivoluzionare l'economia nipponica.

Un ruolo chiave nel grande gioco strategico delle terre rare e dei metalli tecnologici è ricoperto dall'Australia, infatti, nel 2019 è stato il maggior produttore al mondo di litio, con 45mila tonnellate, e nel 2020 di cobalto, con 5,7mila tonnellate⁶⁷. L'Australia è considerata dai più come un'utile nicchia per la produzione e l'estrazione di queste risorse destinandole a quei Paesi, spesso alleati, in chiara necessità di diversificazione della loro catena di fornitura. Le ambizioni australiane, però, vengono ridimensionate dalla mancanza di verticalizzazione necessaria per il controllo della propria *supply chain*, inoltre, supplire a tale carenza potrebbe risultare controproducente, se non proibitivo, a causa dell'elevato costo del lavoro: dopo il grande exploit registrato prima della pandemia molte società australiane non sono riuscite a ristrutturare il loro debito e hanno subito pesantemente le conseguenze della guerra commerciale fra Cina e Stati Uniti. Gli Stati Uniti sono uno dei partner strategici più importanti per l'Australia, mentre la Cina è il suo primo partner commerciale; Canberra così si presta a diventare una terra contesa fra le due superpotenze del Ventunesimo secolo. Le relazioni sino-australiane si trovano ai loro minimi storici in seguito alla campagna intrapresa da Canberra per aprire un'inchiesta internazionale sulle origini del coronavirus; tale intraprendenza non è stata gradita da Pechino, la quale, sulle false righe di quanto già accaduto con il Giappone nel 2010, ha "ufficiosamente" interrotto le importazioni di carbone australiano⁶⁸. Le società australiane ricoprono un ruolo molto importante in Europa, come si vedrà successivamente, nelle diverse strategie di emancipazione dalla Cina.

In questo contesto anche l'Unione europea ha adottato una serie di strategie per garantirsi l'approvvigionamento di terre rare e metalli strategici.

⁶⁷ Kalantzakos, Sophia. *Terre Rare La Cina e la geopolitica dei minerali strategici*. Università Bocconi Editore, 2021.

⁶⁸ Ibid. pag-19

2.2 Litio cercasi: la strategia europea

Il Vecchio continente si ritrova ad essere dipendente dalle importazioni data la scarsità di risorse proprie: secondo la Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni l'Unione europea dipende, per la maggior parte dei metalli, dalle importazioni per una percentuale compresa tra il 75 % e il 100 %⁶⁹. In aggiunta si legge nella comunicazione che "l'Europa perseguirà un modello di autonomia strategica aperta. Si tratterà di dar forma al nuovo sistema di *governance* economica globale e di sviluppare relazioni bilaterali reciprocamente vantaggiose, proteggendosi nel contempo da pratiche sleali e abusive"⁷⁰. Nel documento viene fornito anche un elenco di quelle materie che l'UE ritiene essere critiche per lo sviluppo e implementazione delle tecnologie necessarie per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e digitalizzazione fissati per il 2050. La Commissione europea auspica che gli investimenti relativi alla *European Battery Alliance* possano sviluppare il settore estrattivo sul continente per fare in modo che entro il 2025 l'80% della domanda di litio sia soddisfatta da fonti europee. È evidente che soprattutto nel medio periodo l'Unione europea sarà ancora importatrice netta di questi materiali, perciò la diplomazia economica continua ad essere lo strumento principe per garantirsi un posto nell'attuale sistema globale; l'incontro trilaterale annuale Unione Europea-Stati Uniti-Giappone è un esempio eloquente di questa strategia. La Commissione prevede, inoltre, la stipulazione di diversi accordi di libero scambio bilaterali con i Paesi fornitori e promette un ruolo più decisivo nelle conferenze internazionali come il G20.

⁶⁹ Comunicazione della Commissione europea 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 finale.

⁷⁰ Ibid. pag-1

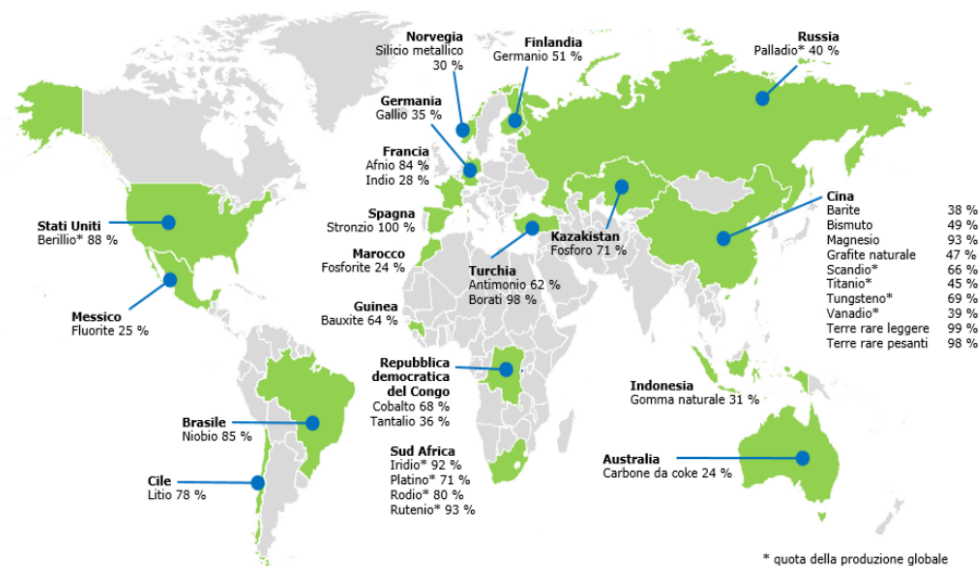


Figura 9 - Principali paesi fornitori di materie prime critiche all'UE
FONTI: COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità (pag.4)

Il Parlamento europeo ha accolto positivamente l'intenzione in seno alla Commissione di tessere una fitta rete di partenariati strategici con i Paesi fornitori, tuttavia, auspica un maggiore controllo sulle ricadute ambientali del processo estrattivo delle materie strategiche ritenendo che le emissioni connesse alle attività estrattive e le importazioni debbano essere soggette al meccanismo di adeguamento del carbonio alla frontiera (CBAM). Per il Parlamento europeo, comunque, rimane imprescindibile il ricorso al riciclo dei dispositivi contenenti terre rare e metalli strategici, come le batterie agli ioni di litio. Il settore del riciclaggio andrebbe sostenuto mediante ingenti investimenti pubblici e privati e la concessione più rapida di licenze in aggiunta a incentivi per il recupero delle materie prime critiche, al fine di garantire un accesso affidabile, sicuro e sostenibile alle stesse⁷¹.

La Commissione europea nell'ottobre del 2017 ha presentato la *European Battery Alliance* (EBA), ossia una piattaforma che mira a costruire le infrastrutture industriali necessarie per la fabbricazione delle batterie attraverso una cooperazione multilivello fra le industrie interessate, le istituzioni europee e gli enti locali degli Stati membri. Lo sviluppo della filiera immaginato dall'EBA dovrà muoversi nel senso della

⁷¹ Strategia europea per le materie prime critiche. Risoluzione del Parlamento europeo del 24 novembre 2021 su una strategia europea per le materie prime critiche (2021/2011(INI)).

sostenibilità ambientale, per esempio utilizzando fonti di energia rinnovabili nel processo produttivo e sfruttando materie prime già riciclate in Europa⁷². L'EBA conta più di 440 attori. Questo progetto, dunque, vuole trasformare l'Unione europea in un *hub* d'importanza globale soprattutto nel settore delle batterie agli ioni di litio. La Commissione riconosce l'importanza del potenziamento delle *skill* dei lavoratori europei impiegati nel settore automobilistico, infatti, esorta gli Stati membri ad investire nella loro formazione per colmare tale gap con gli altri Paesi. L'EBA ha attratto anche diversi investitori extraeuropei come la *Contemporary Amperex Technology Company Limited* (CATL), una società cinese specializzata nella produzione di batterie agli ioni di litio. La CATL ha aperto un suo stabilimento nel *Länder* della Turingia in Germania in collaborazione con il colosso automobilistico tedesco BMW in seguito ad un investimento di 240 milioni di euro⁷³; è prevista l'apertura di un ulteriore stabilimento in Ungheria, che sarà il più grande in tutt'Europa. Gli investimenti cinesi, però, sono diminuiti nel tempo e nel 2022 si aggiravano attorno agli 8 miliardi di euro, registrando un calo del 22% rispetto all'anno precedente; questo rallentamento è dovuto principalmente al riposizionamento dell'UE nelle sue relazioni con la RPC dopo lo scoppio della pandemia di Coronavirus⁷⁴. Dal 2022 la *European Battery Alliance* lavora assieme alla *U.S Li-Bridge Alliance*⁷⁵ per accelerare lo sviluppo del settore delle batterie rafforzando la catena di valore che corre fra le due sponde dell'Atlantico⁷⁶.

Il 3 settembre 2020 è stata annunciata la *European Raw Materials Alliance* (ERMA) ovvero una piattaforma aperta a molteplici tipologie di attori con il fine di assicurare all'Unione europea un approvvigionamento resiliente e sostenibile delle

⁷² Allegato della Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni l'Europa in movimento Una mobilità sostenibile per l'Europa: sicura, interconnessa e pulita, COM(2018)293, finale.

⁷³ Preisinger, Irene and Victoria Bryan. "China's CATL to build its first European EV battery factory in Germany." *Reuters*, 9 luglio 2018 <https://www.reuters.com/article/idUSKBN1JZ160/>.

⁷⁴ Eddy, Melissa. "Battery Factories Are Driving Chinese Investment in Europe." *New York Times*, 8 maggio 2023. <https://www.nytimes.com/2023/05/08/world/europe/battery-factories-china-evs.html?hpgroup=ar-abar&smid=url-share>.

⁷⁵ La U.S Li-Bridge Alliance è una piattaforma pubblica-privata statunitense che si preme di creare una robusta e sicura supply-chain domestica per le batterie a litio.

⁷⁶ *Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*. "European Commission and U.S. Department of Energy support collaboration between the European Battery Alliance and U.S. Li-Bridge Alliance to strengthen supply chain". 14 marzo 2022. https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/european-commission-and-us-department-energy-support-collaboration-between-european-battery-alliance-2022-03-14_en.

materie critiche per la rivoluzione *green* in piena coerenza con i criteri di trasparenza, cooperazione e diversità. L'ERMA, che è attualmente il consorzio più grande del mondo nel settore delle materie prime, vuole raggiungere il suo scopo attraverso la diversificazione dei Paesi fornitori, la creazione di nuovi posti di lavoro investendo nella catena di valore di tali materiali, nella promozione dell'innovazione e nello sviluppo del *know-how* di processo. Il Commissario per le relazioni interistituzionali e le prospettive strategiche Maroš Šefčovič al momento della presentazione dell'ERMA afferma che

*Our strategic foresight shows clearly that the demand for critical raw materials is only going to rise, especially given the ongoing transition towards a green and digital economy. [...] The European Alliance on Raw Materials will mobilise industrial and innovation actors, Member States, regions, the EIB, investors and civil society - to help build our capacities and investment cases along the entire value chain, from extraction to processing and recycling. This will in turn strengthen our resilience and boost our open strategic autonomy*⁷⁷.

Nel maggio 2023 l'Alleanza europea per i materiali critici ha elaborato l'Action plan per le tecnologie di accumulo e conversione energetica. In questo documento sono stati rintracciati 50 progetti di investimento per un totale di 15 miliardi di euro, i quali, se portati a termine, potranno aiutare l'UE a raggiungere gli obiettivi posti entro il 2030. Gli investimenti di ERMA puntano ad assicurare che il 50% della domanda europea possa essere raggiunto con forniture domestiche entro il 2030, puntando anche sul potenziale riciclo di batterie a fine vita. Il compito dell'Alleanza non sarà solo incrementare la produzione di materiali critici ma anche contribuire alla costruzione di un'economia circolare. Gli investimenti in questa filiera saranno particolarmente strategici, considerando l'elevato consumo di materie prime di un'industria europea delle batterie, e non si può escludere l'attivazione di un ente europeo che possa agire similmente al JOGMEC giapponese, ossia un'agenzia a controllo statale che investe per conto delle industrie di punta nipponiche su approvvigionamenti energetici e di metalli

⁷⁷ “La nostra previsione strategica mostra chiaramente che la domanda di materie prime essenziali non potrà che aumentare, soprattutto se si considera la transizione in corso verso un'economia verde e digitale. [...] L'Alleanza europea per le materie prime mobilerà gli attori dell'industria e dell'innovazione, gli Stati membri, le regioni, la BEI, gli investitori e la società civile, per contribuire a sviluppare le nostre capacità e i casi di investimento lungo l'intera catena del valore, dall'estrazione alla lavorazione e al riciclaggio. Ciò a sua volta rafforzerà la nostra resilienza e aumenterà la nostra autonomia strategica aperta.”

non ferrosi. A tal proposito la Commissione europea ha avviato accordi bilaterali con Argentina, Australia, Cile, Congo, Namibia, Norvegia, Kazakistan e Ucraina⁷⁸. L'azione dell'UE, e conseguentemente dell'ERMA, è limitata primamente dalla mancanza di un fondo europeo comune per i materiali critici impedendole, dunque, di esercitare la stessa forza negoziale di altri attori più centralizzati, come gli Stati Uniti o la Cina.

Uno dei problemi principali dello sviluppo dell'industria mineraria nei confini dell'Unione europea è sicuramente l'iter burocratico per il rilascio delle licenze; l'impianto normativo, dato il gravoso impatto ambientale di tale attività, è molto cauto nel concedere a queste industrie il lasciapassare per lo sfruttamento delle miniere europee. Un'ulteriore difficoltà è rappresentata dalla forte opposizione delle associazioni di società civile: lo sfruttamento da parte di Savannah Resources della miniera di litio di Barroso, nel Nord-Est del Portogallo, ha suscitato proteste nel Paese posticipando l'apertura del sito, prevista per il 2020, al 2026⁷⁹. Lo stesso è accaduto in Serbia, un Paese ancora fuori dal blocco europeo ma con chiare aspettative di entrarci, dove la popolazione ha bloccato il progetto da 2,4 miliardi di euro della multinazionale mineraria anglo-australiana Rio Tinto per l'estrazione di litio⁸⁰. Il rilancio del settore estrattivo europeo potrebbe rappresentare un'interessante occasione di crescita per molti Paesi. Il Portogallo, per esempio, da solo ha contribuito nel 2016 all'1,3% della produzione mondiale di litio grazie ad ingenti giacimenti di spodumene, un minerale che contiene alta concentrazione di litio; in Finlandia, precisamente a Nikula nella regione dell'Ostrobotnia centrale, è noto dal 1959 un importante deposito di spodumene e la compagnia locale Keliber Oy punta ad una produzione annua di 15 milioni di tonnellate di litio. Attualmente in Europa si registra un vivace interesse per l'estrazione di terre rare da parte di numerose compagnie australiane. Negli anni Novanta è stato scoperto nella regione spagnola dell'Extremadura il secondo deposito di litio di rocce

⁷⁸ Cerai, Alberto P. "Rinnovabili e batterie, gli investimenti europei lungo la filiera. Ma basterà?." *Formiche.net*, 17 maggio 2023. <https://formiche.net/2023/05/rinnovabili-e-batterie-gli-investimenti-europei-lungo-la-filiera-ma-bastera/>.

⁷⁹ Cerai, Alberto P. "Litio, l'autonomia strategica passa per le miniere europee (e non solo)." *Formiche.net*, 3 febbraio 2023. <https://formiche.net/2023/02/litio-miniere-europee/>.

⁸⁰ Gandini, Debora. "Serbia, la miniera della discordia. Cresce la rabbia tra gli abitanti della "Jadar Valley"." *Euronews*, 10 dicembre 2021. <https://it.euronews.com/2021/12/10/serbia-la-miniera-della-discordia-cresce-la-rabbia-tra-gli-abitanti-della-jadar-valley>.

più grande d'Europa; la compagnia australiana Infinity Lithium ha programmato un investimento di 532 milioni di dollari statunitensi nello sfruttamento della miniera di San José Valdaflores. La società European Metals, anch'essa australiana, è impegnata nell'esplorazione e sfruttamento del giacimento di litio di Cínovec, al confine fra Germania e Repubblica ceca; la European Lithium ha ottenuto i permessi da parte del governo austriaco per lo sfruttamento del deposito di litio in Carinzia dove conta di estrarre 720mila tonnellate per anno per dieci anni, a fronte di un valore attuale netto di 332,4 milioni di dollari. Nell'alta valle del Reno, in Germania, è in progetto la costruzione di un sito di estrazione di litio dalle acque geotermiche; lo stabilimento sorgerà nei pressi di Francoforte⁸¹.

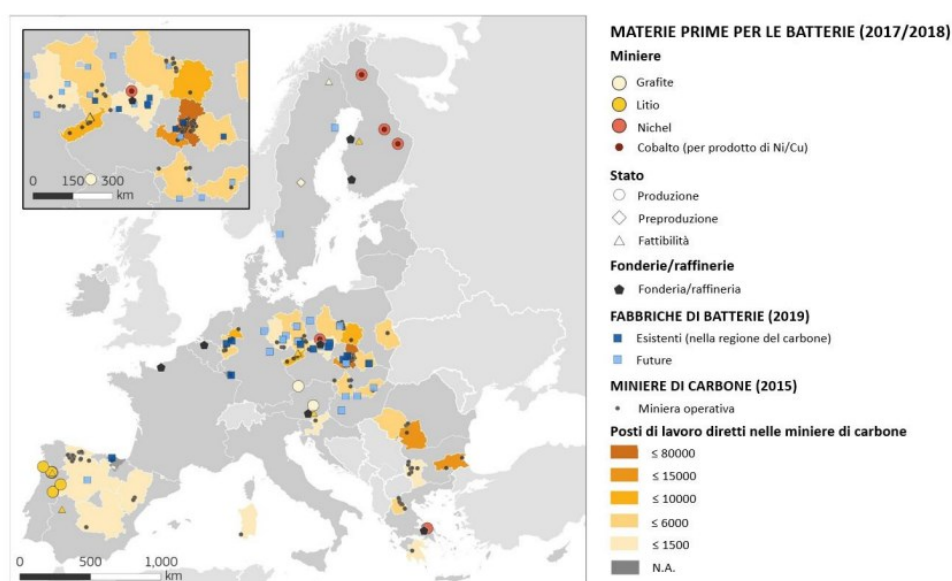


Figura 10 - Miniere di materie prime per le batterie, fabbriche di batterie e miniere di carbone
FONTI: COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità (pag.14), basato su Centro comune di ricerca

L'Unione europea sta lavorando ad un sistema di *blockchain*, cioè un meccanismo di database avanzato che permette la condivisione trasparente di informazioni all'interno di una rete aziendale, al fine di garantire ai produttori di automobili che i materiali impiegati nella produzione dei magneti per le *EV* non siano

⁸¹ Zorloni, Luca. "La mappa delle future miniere di litio in Europa." *Wired*, 24 febbraio 2022. <https://www.wired.it/article/litio-miniery-europa-mappa/>.

correlati a problematiche d'inquinamento⁸². Questo software si chiamerà CSyARES (*Circular System for Assessing Rare Earth Sustainability*) e “monitorerà e seguirà la fornitura di minerali critici e certificherà la sostenibilità dei prodotti minerari necessari per la transizione energetica. Integrerà gli standard di prestazione sostenibile della *Rare Earth Industry Association* (REIA) e lo strumento di valutazione del ciclo di vita della società mineraria *Minviro* per tracciare e misurare l'impatto ambientale di queste catene di approvvigionamento⁸³.” Un sistema di tracciamento per garantire un approvvigionamento sostenibile e rispettoso della dignità umana è stato previsto già per lo stagno, il tantalio, il tungsteno, nonché i loro minerali, e l'oro mediante il Regolamento 2017/821, le cui norme vengono applicate dal 1 gennaio 2021. Questo regolamento impone alle imprese di rispettare una serie di obblighi di *due diligence* nella loro catena di approvvigionamento, soprattutto nel caso in cui questi materiali provengano da zone di conflitto o ad alto rischio. Il Regolamento si è ispirato alla *Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas* dell'OCSE, la quale fornisce un elenco dettagliato di raccomandazioni per aiutare le imprese a rispettare i diritti umani ed evitare che contribuiscano ai conflitti attraverso le loro pratiche e le estrazioni minerarie stesse⁸⁴.

Nel dicembre del 2020 l'Unione europea e la Repubblica Popolare Cinese hanno concluso il *Comprehensive Agreement on Investment* (CAI) ovvero “l'accordo più ambizioso che la Cina abbia mai concluso con un Paese terzo”⁸⁵. Il CAI prende atto del colossale volume di investimenti che i due attori hanno messo in atto negli ultimi vent'anni: l'UE ha investito più di 140 miliardi di euro in Cina, a fronte di un investimento di circa 120 miliardi da parte di quest'ultima. Questo accordo permette agli investitori europei di accedere con più facilità al mercato interno cinese, mettendo

⁸² Onstad, Eric. “Blockchain rare earth scheme to certify sustainable output for EVs.” *Reuters*, 8 febbraio 2022. <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/blockchain-rare-earth-scheme-certify-sustainable-output-evs-2022-02-07/>.

⁸³ Agenzia Internazionale per l'Energia. “Blockchain based Circular System for Assessing Rare Earth Sustainability.” 12 dicembre 2023. <https://www.iea.org/policies/16652-blockchain-based-circular-system-for-assessing-rare-earth-sustainability>.

⁸⁴ Agenzia Internazionale per l'Energia. “EU Regulation 2017/821 Supply chain due diligence for minerals from conflict-affected and high-risk areas.” 11 ottobre 2022. <https://www.iea.org/policies/15682-eu-regulation-2017821-supply-chain-due-diligence-for-minerals-from-conflict-affected-and-high-risk-areas>.

⁸⁵ Commissione europea. “Key elements of the EU-China Comprehensive Agreement on Investment.” 30 dicembre 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_2542.

in chiaro le condizioni d'accesso al mercato stesso e le politiche interne cinesi. L'accordo comprende vari settori economici come l'energia, l'agricoltura e i trasporti ed è previsto anche un meccanismo interno di risoluzione delle controversie. Il CAI impone alla Cina di rispettare i principi di trasparenza e non discriminazione e di ratificare le convenzioni fondamentali dell'Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO) per la protezione dei lavoratori e la garanzia di condizioni lavorative soddisfacenti. Firmando questo accordo, la Cina palesa l'intenzione di implementare efficacemente quanto stabilito dall'Accordo di Parigi; lo spirito "ecologista" di questo programma è testimoniato dal testo che recita

In contrast to other agreements concluded by China, the CAI binds the parties into a valuebased investment relationship grounded on sustainable development principles⁸⁶.

Le reazioni americane sono state piuttosto dure: prima della conclusione dell'accordo l'amministrazione Biden, infatti, avrebbe voluto ricucire le relazioni fra USA ed UE, deteriorate in seguito alla guerra commerciale iniziata da Trump anche nei confronti delle imprese europee.

2.3 L'estrazione del litio in America Latina

Mediante le attuali tecnologie è economicamente fattibile estrarre litio da due fonti: le acque salate (*brines*) e le rocce pegmatitiche (*hard rock*). Le risorse numericamente più importanti si trovano nei *salares* sudamericani: nel cosiddetto Triangolo del litio si trovano il 56% delle risorse, il 52% delle riserve e circa un terzo della produzione mondiali⁸⁷. Il Triangolo del litio ospita più di settanta saline e le più importanti sono la *Salar de Uyuni* (Bolivia), la *Salar de Atacama* (Cile) e le *Salinas Grandes* (Argentina). Secondo lo *U.S Geological Survey* in Bolivia giacciono 21 milioni di tonnellate di litio, mentre in Argentina e Cile 19,3 milioni e 9,6 milioni di

⁸⁶ Ibid. "A differenza di altri accordi conclusi dalla Cina, il CAI vincola le parti in un rapporto di investimento basato sul valore fondato sui principi dello sviluppo sostenibile"

⁸⁷ Sanchez-Lopez, Maria D. "Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America." *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285>.

tonnellate rispettivamente⁸⁸. I derivati del litio si prestano a moltissimi usi, ad esempio il cloruro di litio (LiCl) è impiegato nell'industria dei sistemi di aria condizionata mentre l'idrossido di litio (LiOH) nelle batterie delle automobili elettriche. L'estrazione del metallo avviene per evaporazione dagli stagni, che elimina tutti gli elementi ad eccezione del litio. Questo processo richiede una grande quantità di acqua e suolo, nonché di tempo, a fronte di un tasso di recupero del 50%⁸⁹. Nonostante questo procedimento possa apparire eccessivamente prolisso e dispendioso per l'impiego di ulteriori risorse naturali, attualmente è il più diffuso e il meno costoso.



Figura 10 - Il Triangolo del litio FONTE: Kodami.it

In America settentrionale si sta sperimentando un nuovo metodo che prevede l'estrazione diretta del litio (Dle) dalle rocce impiegando macchinari che estraggono l'acqua salata dal terreno e, grazie a dei filtri, separano il litio dalla miscela (il tasso di recupero del litio si aggira all'80%). Teoricamente questa modalità risulta essere più economica e veloce e promette di sprecare meno acqua dolce. Gli impianti Dle hanno

⁸⁸ U.S Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries 2021*. 2021. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>.

⁸⁹ Dell'Aguzzo, Marco. "L'idea per rendere sostenibile l'estrazione del litio." *Wired*, 5 agosto 2023. <https://www.wired.it/article/litio-estrazione-sostenibile-ambiente-cina-europa/#:~:text=Il%20litio%20si%20estrae%20soprattutto,in%20Cile%2C%20Argentina%20e%20Bolivia>.

già attirato importanti investimenti da parte delle filiere automobilistiche nordamericane ed europee per contrastare il predominio asiatico nel settore. Il problema principale dell'estrazione diretta del litio è la difficile standardizzazione dei macchinari necessari: i solventi chimici preposti alla separazione del litio all'acqua cambiano a seconda delle caratteristiche geologiche del sito estrattivo.

L'intensificazione delle relazioni Sud Globale-Cina ha attirato l'attenzione di moltissimi accademici e il Triangolo del litio non è avulso da questo contesto, in particolare, l'attuale guerra commerciale fra Cina e Stati Uniti ha coinvolto anche quest'area geopolitica. Le filiere estrattive e manifatturiere del litio mostrano delle pratiche ed una struttura organizzativa multi-scalari modellate da relazioni di sia cooperazione sia competizione fra gli stakeholder principali, quali le imprese e gli Stati. I Paesi dell'America latina hanno preso coscienza del peso che il litio è destinato a prendere nello scacchiere commerciale e geopolitico del Ventunesimo secolo, infatti, alla Conferenza delle comunità caraibiche e sudamericane, tenutasi a Buenos Aires nel luglio del 2022, Brasile, Argentina, Bolivia e Cile hanno espresso la volontà di creare un'organizzazione internazionale per l'oro bianco simile all'OPEC; anche il Messico, che ospita importanti giacimenti di litio, ha provato interesse nella formazione di questo nuovo cartello⁹⁰. La verticalizzazione del settore minerario è una strategia necessaria per assicurarsi l'accesso alle risorse, in questo senso, Pechino vuole garantirsi una posizione leader nelle filiere a valle (*downstream industries*) e anche il controllo delle filiere a monte (*upstream industries*). L'influenza cinese in America Latina si sviluppa in tre elementi: la crescita trainata dalle esportazioni di materie prime verso la Cina, l'espansione del capitale cinese e la diversificazione dei finanziamenti con minori restrizioni rispetto a quelli erogati dalle istituzioni finanziarie mondiali a guida occidentale, come la *World Bank* o l'*International Monetary Fund*; la Cina dal 2005 ha concesso approssimativamente 86 miliardi di dollari statunitensi in prestiti ai Paesi dell'America Latina, più di quanto hanno fatto la Banca Mondiale e la Banca interamericana per gli investimenti messe insieme. Benché nel 1981 Cuba fosse l'unico

⁹⁰ Cerai, Alberto P. "Una Opec del Litio. Il Sud America (e non solo) pensa a un cartello." *Formiche.net*, 8 marzo 2023. [https://formiche.net/2023/03/litio-sud-america-cartello-industriale/#:~:text=Argentina%20\(19%20milioni%20di%20tonnellate,delle%20riserve%20di%20litio%20conosciuto](https://formiche.net/2023/03/litio-sud-america-cartello-industriale/#:~:text=Argentina%20(19%20milioni%20di%20tonnellate,delle%20riserve%20di%20litio%20conosciuto).

Paese latinoamericano ad avere come primo partner commerciale la Cina e non gli Stati Uniti, oggi ne sono nove: nel 2021, escludendo il Messico, gli scambi commerciali fra Cina e Paesi latinoamericani hanno raggiunto i 247 miliardi di dollari, sorpassando quelli con gli Stati Uniti di 73 miliardi di dollari⁹¹. Il miracoloso sviluppo della Cina, inoltre, si presta ad essere un efficace strumento di *soft-power* perché permette a Pechino di ergersi come modello di sviluppo alternativo, ed ora, sotto la presidenza di Xi Jinping, concorrenziale, a quello euro-americano. Nella regione, ad eccezione della Bolivia, sono attive imprese statunitensi, cilene, canadesi, cinesi e australiane per l'estrazione di litio; le principali sono l'Abemarle (USA), la Ganfeng Lithium (Cina), la SQM (Cile), la Tianqi (Cina) e la Livent Corp (USA)⁹². La Ganfeng Lithium, in particolare, è lo stakeholder più importante perché opera in tutti i livelli della catena di approvvigionamento, dall'estrazione alla manifattura delle batterie e, infine, al loro riciclo.

Prima di analizzare i diversi gradi di dipendenza dei Paesi del Triangolo del litio nei confronti della Cina, è necessario fornirne una definizione. All'alba dell'imperialismo in salsa capitalista del Diciannovesimo e Ventesimo secolo Lenin distingueva varie sfaccettature di dipendenza: non solo riconosceva il legame fra le potenze coloniali e colonie nello sforzo delle prime di dividere economicamente e politicamente il mondo e modellarlo a loro beneficio, ma anche le condizioni di tutti quei Paesi, formalmente indipendenti, che a loro malgrado erano invischiati in una rete di dipendenza finanziaria e diplomatica con gli imperi capitalisti. Gli accademici dell'America Latina, partendo proprio dai postulati marxisti e leninisti, hanno grandemente contribuito alla formulazione della "teoria della dipendenza", cioè una "teoria che illustra le conseguenze economiche di una eccessiva subordinazione dei Paesi sottosviluppati ai Paesi sviluppati: tale dipendenza non permette ai primi di creare le condizioni ideali per promuovere il proprio sviluppo economico"⁹³. Un'interpretazione più recente e post-coloniale della dipendenza è stata fornita dal

⁹¹ Ang, Carmen. "China's Growing Trade Dominance in Latin America." *Visual Capitalist*, 15 agosto 2022. <https://www.visualcapitalist.com/cp/chinas-growing-trade-dominance-in-latin-america/>.

⁹² Sanchez-Lopez, Maria D. "Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America." *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285>.

⁹³ Dizionari Simone Online (s.v.). "Teoria della dipendenza". <https://dizionari.simone.it/6/teoria-della-dipendenza>.

sociologo brasiliano Dos Santos per cui “la relazione di interdipendenza tra due o più economie, e tra queste e il commercio mondiale, assume la forma di dipendenza quando alcuni paesi (quelli dominanti) possono espandersi e autosostentarsi, mentre altri paesi (quelli dipendenti) possono farlo solo come riflesso di quell’espansione”⁹⁴. L’economista cileno Osvaldo Sunkel osserva la struttura dopo la Seconda guerra mondiale del commercio globale, nel quale i Paesi periferici esportano materie prime, ed importano beni finali determinando in questi una condizione di sottosviluppo, che si traduce successivamente nella disgregazione degli assetti istituzionali nazionali⁹⁵. I teorici della dipendenza mettono in discussione quanto affermano David Ricardo nella teoria del vantaggio comparato e Rostow nella teoria della crescita a stadi: ai Paesi non industrializzati viene precluso lo sviluppo economico in quanto non dispongono dei capitali, della tecnologia e dei profili professionali necessari per lo sfruttamento delle loro risorse interne. Secondo Young Namkoon è necessario distinguere la *dependence* dalla *dependency*

*Dependence is the pattern of external reliance of well-integrated nation-states on one another; whereas dependency is a more complex set of relations centering on the incorporation of less developed, less homogeneous societies into the global division of labour.*⁹⁶

In quest’ottica la crescente competizione per le materie prime presenta una dicotomia, in virtù della quale, da un lato, ci sono Paesi dipendenti alla ricerca di forniture sicure e, dall’altro, Paesi ricchi delle risorse richieste che tentano di acquisire reddito e di ritagliarsi uno spazio nella catena di valore globale. Il caso del settore estrattivo del litio non differisce da quanto precedentemente affermato, infatti, la produzione delle batterie agli ioni di litio è, attualmente, terreno conteso fra la Cina e le potenze industriali occidentali tradizionali lasciando, però, poco spazio ai Paesi produttori per generare profitto dalle estrazioni di litio ed industrializzarsi: i processi di estrazione e raffinazione rappresentano solo il 2% del valore, mentre i processi elettrochimici, la produzione delle celle delle batterie e l’assemblaggio delle batterie

⁹⁴ Santos, Theotonio Dos. “The Structure of Dependence.” *The American Economic Review* 60, no. 2 (1970): 231-36. <http://www.jstor.org/stable/1815811>.

⁹⁵ Namkoong, Young. “Dependency Theory: Concepts, Classifications, and Criticisms.” *International Area Review* 2, no. 1 (1999): 121-50. <https://doi.org/10.1177/223386599900200106>.

⁹⁶ Ibid. pag-125 “La *dependence* è il modello di dipendenza esterna degli Stati-Nazione ben integrati gli uni negli altri; laddove la *dependency* è un insieme più complesso di relazioni incentrate sull’incorporazione delle società meno sviluppate e meno omogenee nella divisione globale del lavoro.”

sono il 46% della creazione di valore⁹⁷. Nonostante alcuni studiosi sottolineino un cambiamento nel pensiero geopolitico delle principali potenze mondiali verso il controllo della tecnologia, dei brevetti e delle conoscenze e non più delle risorse materiali e delle vie commerciali, il mercato del litio sembra ereditare le caratteristiche del mercato delle fonti fossili⁹⁸.

L'influenza della Cina nella regione deve fare, però, i conti con gli assetti industriali e istituzionali dei Paesi del Triangolo del litio; ciascuno di essi, infatti, è dotato di forme di governo e strumenti di *governance* del litio propri. Gli Stati Uniti continuano, comunque, ad essere il principale partner securitario di Cile, Argentina e Bolivia e svolgono un ruolo importante nelle dinamiche interne di questi Stati.

Il Cile considera il litio una risorsa strategica ed è stato dichiarato di proprietà statale con il Decreto n.2886 del *Ministerio de Minería* nel 1979 escludendolo da tutti i regimi estrattivi agevolati, ad eccezione per quelle entità che avevano ottenuto tali regimi (*pertenencias mineras*) prima dell'emanazione del decreto. La *governance* cilena del litio è, dunque, basata su una gestione statale centralizzata però il Codice minerario del 1983 stabilisce che le imprese private possono sfruttare le risorse di litio in tre modi: direttamente attraverso le imprese pubbliche, grazie a concessioni amministrative o mediante contratti speciali chiamati *contratos especiales de operación* (CEOL). In questo quadro l'estrazione di litio in Cile per 25 anni è stata esclusivamente ad appannaggio di due società: la statunitense Albemarle e la cilena SQM (*Chemical & Mining Co. of Chile Inc.*) nelle saline dell'Atacama. Il governo del Cile ha preso atto della crescita della rilevanza del litio nel commercio globale e nel 2014 ha creato la Commissione nazionale per il litio (CNL) che svolge tre compiti fondamentali:

1. Assicurare la partecipazione degli enti statali COLDECO, ENAMI e CORFO nel mercato senza intralciare l'apertura del settore alle imprese private;
2. Rivedere i contratti pluridecennali con SQM e Albemarle;

⁹⁷ Sanchez-Lopez, Maria D. "Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America." *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285>.

⁹⁸ Ibid. pag-34

3. Riconoscere i diritti delle comunità locali a godere di compensazioni e di benefici in termini economici dalle estrazioni di litio sul loro territorio.

Dal 2016 il CNL sta rinegoziando i contratti con SQM e Albemarle, i quali si estingueranno rispettivamente nel 2030 e nel 2043, al fine di innovare la *governance* del litio nel Paese in un senso che sia più attenta ai bisogni e alla sicurezza delle popolazioni locali. Il governo di Gabriel Boric ha annunciato l'inizio di nuovi progetti estrattivi, temendo che le politiche ultraliberiste del neo-eletto presidente argentino Javier Milei possano mettere a repentaglio il settore del litio in Cile⁹⁹. La regione del deserto dell'Atacama è una delle zone più aride del mondo ed è abitata prevalentemente da amerindi, cioè abitanti indigeni delle Ande. A causa dell'intensificazione delle attività estrattive, si è registrato un forte crollo delle riserve acquifere nell'area al punto di aver spinto gli attivisti a percorrere un sentiero di 350 chilometri nel deserto verso la capitale regionale Antofagasta in segno di protesta¹⁰⁰. Attualmente Santiago mira a rafforzare il suo controllo sul litio attraverso la nazionalizzazione del settore e anche creare un tessuto industriale capace di produrre batterie; la casa automobilistica cinese BYD Co Ltd ha espresso la volontà di costruire una fabbrica di catodi a base di litio da 290 milioni di dollari nella regione di Antofagasta¹⁰¹. Grazie al controllo statale delle miniere di litio, il Cile riesce a mitigare le influenze esterne nel mercato e nell'estrazione del metallo perciò, secondo quanto elaborato da Sanchez-Lopez, ha una dipendenza medio-bassa nei confronti della Cina¹⁰². Nel tentativo di ristrutturare l'industria mineraria, il governo cileno mira a diversificare anche i propri partner commerciali. L'accordo siglato fra Von der Leyen e Boric solidifica i rapporti commerciali fra Cile ed Unione europea, che è già il principale investitore straniero (26% degli investimenti diretti esteri) e prevede una crescita di dodici volte della sua domanda di litio¹⁰³.

⁹⁹ Solomon, Daina B. and Fabian Cambero. "Chile mining body says new lithium projects needed beyond SQM, Albemarle." *Reuters*, 28 novembre 2023. <https://www.reuters.com/markets/commodities/chile-mining-body-says-new-lithium-projects-needed-beyond-sqm-albemarle-2023-11-28/>.

¹⁰⁰ *Internazionale*. "L'estrazione del litio minaccia il deserto salato del Cile." 12 maggio 2020. <https://www.internazionale.it/video/2020/05/12/litio-deserto-cile>.

¹⁰¹ Villegas, Alexander and Ernest Scheyder. "Chile bid to boost state control over lithium spooks investors." *Reuters*, 22 aprile 2023. <https://www.reuters.com/markets/commodities/sqm-albemarle-shares-slide-chile-lithium-nationalization-plan-2023-04-21/>.

¹⁰² Sanchez-Lopez, Maria D. "Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America." *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285>.

¹⁰³ Cerai, Alberto P. "Materie prime critiche, tutti gli accordi per aggirare la Cina." *Formiche.net*, 16 giugno 2023. <https://formiche.net/2023/06/materie-prima-accordi-occidente-cina/>.

L'Argentina non considera il litio una risorsa strategica e nel Paese sono attive molte imprese straniere, in particolare, le compagnie statunitensi estraggono litio da più di vent'anni. Negli ultimi dieci anni il governo argentino ha finanziato più di 38 progetti per lo sfruttamento del litio, più di qualsiasi Paese dell'America latina. Il quadro regolamentare del settore estrattivo si basa principalmente sulla Costituzione nazionale, il Codice minerario e la Legge per le attività estrattive; l'Argentina è una Repubblica federale, per cui le autorità locali godono di ampi poteri regolativi e giurisdizionali e possono concedere sia ad attori privati sia statali concessioni per lo sfruttamento delle risorse minerarie. La Costituzione argentina, infatti, dichiara che le risorse minerarie sono di proprietà degli enti subnazionali, i quali sono responsabili della gestione delle attività estrattive, dei regimi di concessione e della distribuzione delle *royalties*. Un quadro di *decision making* così decentralizzato incentiva le imprese private a investire nel settore del litio, infatti, l'Argentina, secondo quanto affermato da Sanchez-Lopez, si trova in una situazione di alto rischio per la sua dipendenza nei confronti della Cina¹⁰⁴. I siti d'estrazione più attivi sono il *Salar de Olaroz* nella provincia di Jujuy, dove sono attive Sales de Jujuy SA., Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (una compagnia di proprietà sia statale sia della provincia dello Jujuy) e la compagnia giapponese Toyota Tsusho Corporation (TTC), e il *Salar del Hombre Muerto* nella provincia di Catamarca, dove è attiva la compagnia privata Minera del Altiplano S.A. Fra la provincia di Jujuy e la Provincia di Salta si trovano le *Salinas Grandes*, uno dei depositi di litio più ricchi del mondo. Le *Salinas Grandes* si estendono per 600 chilometri quadrati e lo sfruttamento intensivo del litio ha portato ad un repentino disastro ecologico: questa regione è molto arida e l'estrazione del cosiddetto oro bianco richiede grandi quantità di acqua (2000 litri di acqua per una tonnellata di litio). L'impatto ambientale ha anche messo in crisi il settore turistico della regione, essendo le *Salinas* un luogo particolarmente interessante anche per questo settore. Nel gennaio 2023, alla notizia di nuove concessioni, le comunità indigene che abitano la regione delle *Salinas Grandes* hanno invaso le strade di San Salvador de Jujuy, la capitale provinciale¹⁰⁵.

¹⁰⁴ Sanchez-Lopez, Maria D. "Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America." *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285>.

¹⁰⁵ Piemontese, Antonio. "In Argentina scoppiano proteste contro le miniere di litio." *Wired*, 4 febbraio 2023. <https://www.wired.it/article/litio-miniere-argentina-manifestanti/>.

Simili scenari si ripropongono nella provincia di Catamarca, in particolare nella regione della Puna argentina, dove interi villaggi trovano impiego nelle miniere di litio; questo è il caso di El Penon, un villaggio di poco più di 400 abitanti situato a 500 chilometri dalla capitale provinciale, dove la popolazione locale ha protestato già nell'estate del 2023 per le difficili condizioni igieniche delle scuole del villaggio a causa della mancanza di acqua potabile¹⁰⁶. La Puna argentina ospita nelle sue lagune naturali diverse colonie di fenicotteri rosa, che hanno subito un importante crollo demografico proprio a causa dell'intensività delle attività estrattive nell'area. La scarsità d'acqua ha messo in crisi anche il settore dell'allevamento di lama ed ovini, caratteristico di questa regione. La popolazione locale vorrebbe indirizzare la propria economia verso il turismo, approfittando delle bellezze naturali dell'area, sebbene l'appena insediato governo di Javier Milei abbia promesso l'espansione del settore estrattivo del litio¹⁰⁷.

La Bolivia, nonostante posseda il deposito di litio più grande del mondo, non è ancora entrata appieno nel mercato mondiale di litio; il suo quadro istituzionale riconosce il litio come risorsa strategica e stabilisce una *governance* centralizzata grazie all'apporto della compagnia statale Yacimientos del Litio Boliviano (YLB). La strategia del governo di La Paz si è concentrata sullo sviluppo di infrastrutture a monte e a valle per la catena del valore della fornitura batterie a litio, ottenendo, però, risultati piuttosto modesti. Nel dicembre 2018 la Bolivia aveva concluso un accordo di joint venture con la compagnia tedesca ACI System GmbH per un complesso industriale volto alla produzione di idrossido di litio; il governo di Evo Morales ha, poi, reciso tale accordo a causa delle proteste della comunità indigena nel dipartimento di Potosí. Nel 2019 Morales chiuse un nuovo accordo di joint venture con il consorzio cinese Xinjiang TBEA Group-Baocheng per l'esplorazione e l'estrazione di litio dalle saline di *Coipasa* e *Pastos Grandes*. La Bolivia ha inoltre siglato un accordo da un miliardo di dollari con tre aziende cinesi, fra cui la già citata CATL, e mira a pompare 50.000 tonnellate in un

¹⁰⁶ Talignani, Giacomo. "Nelle terre del litio. "Le miniere ci danno lavoro, ma la natura muore"." *La Repubblica*, 20 ottobre 2023. https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/10/20/news/litio_miniere-417624093/.

¹⁰⁷ *Il Sole 24 ore*. "Argentina: Massa avanti, sarà ballottaggio con Milei." 23 ottobre 2023. <https://www.ilssole24ore.com/art/argentina-massa-avanti-sara-ballottaggio-milei-AFvLcvLB>.

primo periodo e fino a 100.000 tonnellate entro il 2028 dalle vaste saline di Uyuni¹⁰⁸. La strategia boliviana di un controllo statale sulle filiere sia a monte sia a valle per il litio e le batterie non ha ancora portato il Paese a ricavare un spazio per sé nel mercato mondiale o ad una maggiore industrializzazione del settore, anzi, nei confronti della Repubblica popolare cinese la Bolivia ha sviluppato un forte legame di dipendenza¹⁰⁹. Bisogna, inoltre, non trascurare il fattore dell'impurità delle risorse boliviane: il litio della Bolivia è più difficile da ricavare rispetto a quello cileno ed argentino, ciò ne fa lievitare il prezzo e il Paese non possiede né la tecnologia né il *know-how* per questo tipo d'estrazione, dovendosi, di conseguenza, rivolgere a Paesi più avanzati come la Cina¹¹⁰.

¹⁰⁸ Pisciotta, Ivana. "Per il futuro la Bolivia punta al litio." *Agi.it*, 7 maggio 2023.

<https://www.agi.it/economia/news/2023-05-07/bolivia-litio-produzione-estrazione-21273125/> .

¹⁰⁹ Sanchez-Lopez, Maria D. "Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America." *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285> .

¹¹⁰ Cerai, Alberto P. "Litio, la Cina (via Catl) si prende le riserve boliviane." *Formiche.net*, 20 giugno 2023. <https://formiche.net/2023/06/litio-cina-bolivia-catl/#:~:text=Secondo%20le%20stime%20dello%20US,carbonato%20di%20litio%20nel%202022.>

Capitolo 3 – Il riciclo delle batterie delle automobili elettriche

3.1 Le componenti tecniche e materiali delle batterie agli ioni di litio

Come affermato già nel primo capitolo, attualmente le batterie più efficienti sul mercato, in termini di durata, densità energetica e velocità di carica, sono le batterie agli ioni di litio. Le *Ion-lithium batteries* sono composte da una serie di celle, ciascuna delle quali a sua volta costituita da un anodo (elettrodo negativo), da un catodo (elettrodo positivo) e un elettrolita che li unisce. In una tipica cella commerciale il materiale catodico è costituito da una pasta di litio cobalto ossido (LiCoO_2) posta sopra ad una lamina di alluminio, mentre quello anodico è principalmente composto da una pasta di grafite posta sopra una lamina di rame. L'elettrolita è un sale di litio di elevata purezza disciolto in un solvente organico aprotico dipolare come una miscela di alchil carbonati. I due elettrodi sono separati l'uno dall'altro da una membrana di polimeri plastici che permette lo scambio di ioni di litio e non di elettroni. Durante il processo di carica gli elettrodi sono connessi ad un generatore di corrente attraverso un circuito esterno: questo fa in modo che gli ioni di litio e gli elettroni si muovano nella stessa direzione, ossia dal catodo verso l'anodo, rendendo possibile lo stoccaggio nella batteria dell'energia elettrica sotto forma di energia chimica nei materiali catodici e anodici. Nel processo di scarica avviene il contrario: gli elettroni si muovono dall'anodo al catodo tramite il circuito esterno, mentre gli ioni di litio si spostano dal catodo verso l'anodo attraverso il separatore. Per poter funzionare, le celle devono essere connesse ad un driver, ovvero un chip, che si occupa di controllare la temperatura, la tensione, la corrente e la carica di ciascuna cella; il driver elabora questi dati e previene che venga superato il voltaggio massimo e, dunque, che si generino incendi.

Le batterie litio-ione in commercio vengono assemblate in tre geometrie diverse: cilindriche, prismatiche e "a sacchetto". Le celle cilindriche sono formate da un rivestimento metallico dalla forma cilindrica, contenente una sola cella elettrochimica

formata da anodo, catodo e separatore arrotolati fra di loro; questa tipologia comporta una densità d'assemblaggio minore, a fronte di un raffreddamento del modulo più semplice¹¹¹. Le celle prismatiche sono formate da anodo, catodo e separatore arrotolati fra di loro, però, in un contenitore rettangolare. Le celle “a sacchetto” hanno una struttura più semplice rispetto alle precedenti perché sono formate da lamine di anodo, catodo e separatore inserite in un rivestimento plastico; questa struttura permette la densità di energia massima, tuttavia, è meno stabile termicamente rispetto alle altre e, dunque, necessitano di sistemi di controllo per la formazione di gas all'interno delle celle durante il funzionamento¹¹².

3.2 La produzione delle batterie

Si prevede che il mercato mondiale delle batterie per le automobili elettriche nel 2030 raggiungerà il valore di 95 miliardi di dollari, tuttavia, la produzione delle batterie si concentra soprattutto in Asia, particolarmente nelle mani di compagnie cinesi, coreane e giapponesi. La Cina domina non solo il mercato delle terre rare e del litio, come esplicito già nel capitolo precedente, ma anche quello delle batterie, infatti, le compagnie cinesi controllano il 56% del mercato globale¹¹³. La sola CATL controlla più di un terzo di tale mercato anche grazie a degli accordi con compagnie occidentali come Tesla, BMW e la Volkswagen. Le batterie agli ioni di litio vengono costruite in appositi stabilimenti industriali chiamati “*Gigafactories*” e il loro processo produttivo richiede un importante apporto di energia, per tale motivo molti accademici ne hanno sottolineato i gravosi costi ambientali e suggeriscono alle case automobilistiche di scegliere accuratamente il luogo in cui aprire uno stabilimento di questo tipo. Nel 2021 i cinque maggiori produttori di *ion-lithium batteries* sono Cina, Stati Uniti, Ungheria, Polonia e Corea del Sud¹¹⁴ e, secondo S&P Global Market Intelligence¹¹⁵, questa

¹¹¹ Maiser, Eric. “Battery packaging - Technology review.” *AIP Conference Proceedings*, 1597 (2014): 204-218. <https://doi.org/10.1063/1.4878489>.

¹¹² Ibid.

¹¹³ Venditti, Bruno. “The Top 10 EV Battery Manufacturers in 2022.” *Visual Capitalist*, 5 ottobre 2022. <https://www.visualcapitalist.com/the-top-10-ev-battery-manufacturers-in-2022/>.

¹¹⁴ Buthada, Govind. “Mapped: EV Battery Manufacturing Capacity, by Region.” *Visual Capitalist*, 28 febbraio 2022. <https://www.visualcapitalist.com/sp/mapped-ev-battery-manufacturing-capacity-by-region/>.

classifica potrebbe cambiare a causa dell'esponenziale potenziamento generale della capacità manifatturiera, misurata in gigawattora (GWh), previsto per il 2025: la Cina continuerà ad esercitare un ruolo centrale nella produzione delle batterie ma gli USA e i Paesi europei continueranno ad accrescere la propria capacità produttiva. Nel Vecchio continente le prime *gigafactories* sono state aperte in Polonia (LG Chem) e in Ungheria (Samsung e SK Innovation), ad oggi l'asse produttivo sembrerebbe spostarsi verso l'Europa centro-settentrionale, in particolare in Svezia, Norvegia e Germania. La distribuzione di questi impianti industriali sta acquisendo sempre più un accento geopolitico: lo sforzo degli Stati Uniti e dei Paesi europei di sviluppare un proprio apparato industriale per la produzione di batterie agli ioni di litio fa parte della più ampia strategia di affrancamento delle economie e delle manifatture occidentali dal colosso cinese. La Banca europea per gli Investimenti sta finanziando da settembre 2023 la costruzione di una *gigafactory* a Douai, nella Francia centro-settentrionale, con 333.7 milioni di euro in prestiti diretti e altri 112.8 milioni in prestiti indiretti; lo stabilimento verrà ampliato tre volte fino al 2030 quando raggiungerà la capacità annuale di produzione di batterie al litio compresa fra i 24 e i 30 GWh¹¹⁶.

Il primo step della fabbricazione degli elettrodi è la miscelazione dei materiali attivi degli elettrodi con dei leganti e additivi: in un primo momento si effettua un *dry mixing* (miscelazione secca), segue, poi, l'aggiunta del solvente (*wet mixing*), tipicamente NMP (1-metil-2-pirrolidone), THF (tetraidrofurano) oppure acqua¹¹⁷. La miscelazione avviene attraverso l'impiego di *shear mixers* e dura fra i 15 minuti e le 5 ore con temperature comprese fra i 20 e i 40°C. L'impasto ottenuto viene fatto rivestire su di un foglio di collettore di energia elettrica, cioè un foglio di alluminio per il catodo e di rame per l'anodo. Il foglio rivestito, prima di passare alla fase di essiccazione, viene

¹¹⁵ Yu, Alice, Mitzi Sumangil "Top electric vehicle markets dominate lithium-ion battery capacity growth." *S&P Global Market Intelligence*, 16 febbraio 2020.
<https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/top-electric-vehicle-markets-dominate-lithium-ion-battery-capacity-growth>.

¹¹⁶ Fusiek, Dawid A. "Charging up France." *European Investment Bank*, 28 novembre 2023.
<https://www.eib.org/en/stories/france-gigafactory-lithium-battery-mobility>.

¹¹⁷ Wood, David L., et al. "Technical and economic analysis of solvent-based lithium-ion electrode drying with water and NMP." *Drying Technology*. 36, no.2 (2017): 234–244.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2017>.

sottoposto ad un rigido controllo tramite la calibrazione laser¹¹⁸ e la radiografia a raggi x¹¹⁹; il processo di essiccazione è continuo, cioè il foglio viene fatto trasportare da una serie di rulli in diversi forni dalla temperatura variabile (50-60°C). Lo step successivo è la fase di calandratura, dove il foglio rivestito viene pressato da una coppia di rulli rotanti finché non viene raggiunto lo spessore desiderato; alla fine di questo processo il foglio viene controllato tramite calibrazione laser. Successivamente il foglio rivestito verrà tagliato nei cosiddetti rotoli “figlia” mediante l’utilizzo di lamine rotanti; i nuovi fogli verranno, poi, puliti, arrotolati ed essiccati in forni sottovuoto per almeno 12-30 ore a temperature comprese fra i 50 e i 150°C.

Le fasi di assemblaggio e finitura delle celle variano a seconda della geometria della cella, perciò si prenderà come caso solo quello delle celle “a sacchetto”.

Nella fase di assemblaggio i fogli “figlia” vengono separati in lamine sottili e, successivamente, vengono impilate all’interno del separatore, al quale viene data la forma di una Z; gli elettrodi sono inseriti nelle anse del separatore e questo procedimento prende il nome di *Z-folding*. Questa fase iniziale dura circa due minuti per ciascuna cella che comporrà la batteria. Le estremità del catodo e dell’anodo vengono, poi, saldate ai poli della batteria. La cella, a questo punto, viene riposta in un rivestimento di alluminio, poliammide o polipropilene, il quale verrà sigillato su tre lati; attraverso il lato non sigillato verrà inserito l’elettrolita grazie ad un ago che permette dosaggi ad altissima precisione¹²⁰.

Le celle vengono caricate nella fase di finitura. Nel caso delle celle “a sacchetto” è prevista una fase anteriore che consiste nella pressatura della cella per evitare la creazione di zone elettrochimicamente inattive, permettendo alla cella di raggiungere la sua massima capacità. Le celle vengono, poi, collegate alla rete elettrica tramite perni di

¹¹⁸ Mohanty, Debasish, et al. “Non-destructive evaluation of slot-die-coated lithium secondary battery electrodes by in-line laser caliper and ir thermography methods.” *Analytical Methods*, 6 (2014): 674–683. <https://doi.org/10.1039/c3ay41140k>.

¹¹⁹ Etiemble, Aurelien, et al. “Quality control tool of electrode coating for lithiumion batteries based on X-ray radiography,” *J. Power Sources* 298 (2015): 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.08.030>.

¹²⁰ Benedetti Luca. “La produzione delle batterie Li-ione” Tesi triennale, Università degli Studi di Ferrara, 2020. https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2020/07/Luca-Benedetti_Tesi-Digitale.pdf.

tensione a molla: in questa fase avvengono i primi cicli di carica e scarica e dura fino a 24 ore. Le celle “a sacchetto” durante questo periodo producono molto gas interno, che viene raccolto in apposite sacche all’interno del rivestimento (*gas bag*) e poi aspirato via in una camera sottovuoto. Dopo essere state svuotate, le *gas bag* vengono sigillate nuovamente ed ogni eventuale estremità sporgente della cella viene ripiegata¹²¹. A questo punto le celle vengono poste nelle torri di invecchiamento per almeno tre settimane e, in questo lasso di tempo, verranno monitorate e controllate le loro prestazioni.

I processi di fabbricazione delle batterie al litio, come si è appena visto, richiedono l’apporto di moltissimi agenti chimici rendendo necessario una più ampia analisi della sostenibilità ambientale della produzione. La tecnologia attuale non permette opzioni di sostituzione ugualmente efficaci ed efficienti rispetto ai prodotti che impiegano terre rare e metalli tecnologici e, di conseguenza, processi chimici così intensi; un esempio sono i magneti prodotti usando il neodimio, che rimangono i migliori sul mercato nonostante le molteplici varietà in commercio. La sostituzione non risolverà nemmeno i problemi dell’offerta delle materie prime dato che le tecnologie *green* richiedono una grande varietà di materiali, al di là dei minerali critici, da tutto il mondo. Il riuso, la rigenerazione, la rifunzionalizzazione e il riciclaggio delle batterie sono tutte valide strategie per ridurre l’impatto ambientale delle batterie nel loro ciclo di fine vita (*end of life*).

3.3 Le batterie *second life*: le diverse tipologie di riuso

In ambito eurocomunitario il fine vita delle batterie prodotte e immesse nell’Unione europea è regolato dalla direttiva europea 2006/66/CE¹²², la quale fornisce un dettagliato quadro normativo agli Stati membri per l’etichettatura e il riciclo di pile ed accumulatori nonché per la standardizzazione dei metalli pesanti contenuti in questi dispositivi. Nell’articolo 8 della direttiva viene stabilito che gli Stati membri debbano

¹²¹ Benedetti Luca. “La produzione delle batterie Li-ione” Tesi triennale, Università degli Studi di Ferrara, 2020. https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2020/07/Luca-Benedetti_Tesi-Digitale.pdf.

¹²² Direttiva 2006/66/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 6 settembre 2006, relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori e che abroga la direttiva 91/157/CEE.

munirsi di adeguati sistemi di raccolta, i quali “consentono agli utilizzatori finali” - cioè i consumatori- “di disfarsi dei rifiuti di pile o accumulatori portatili in punti di raccolta loro accessibili nelle vicinanze, tenuto conto della densità della popolazione”; tali sistemi “esigono che i distributori, quando forniscono pile o accumulatori portatili, siano tenuti a recuperarne gratuitamente i rifiuti, a meno che una valutazione dimostri che i regimi alternativi esistenti siano almeno di uguale efficacia al fine del conseguimento degli obiettivi ambientali della presente direttiva” (art.8 par.1). Nell’articolo 10 vengono posti gli obiettivi di raccolta, dopodiché si afferma che “gli Stati membri provvedono affinché i produttori o i terzi che agiscono a loro nome finanzino tutti i costi netti derivanti dalle operazioni di raccolta, trattamento e riciclaggio di tutti i rifiuti di pile e accumulatori portatili e operazioni di raccolta, trattamento e riciclaggio di tutti i rifiuti di pile e accumulatori, sia industriali che per autoveicoli” (art.16 par.1). Inoltre sono a carico dei produttori, o dei terzi che agiscono per loro conto, anche i costi netti delle campagne pubbliche d’informazione sulla raccolta e il riciclo di tutti i rifiuti derivanti da pile e accumulatori. L’Italia ha recepito questa direttiva mediante il Decreto legislativo 20 novembre 2008 n.188, in virtù del quale viene anche istituito il Centro di Coordinamento Nazionale Pile ed Accumulatori (CDCNPA) con il compito di coordinare le attività dei diversi consorzi attivi nel settore e operanti nel territorio nazionale.

Il riutilizzo delle batterie al litio, in particolare, potrebbe risultare piuttosto interessante economicamente: alla fase di raccolta, infatti, tali batterie non sono più in grado di generare una quantità di energia sufficiente a trainare un’automobile, tuttavia, conservano ancora una potenza del 70-80% di quella iniziale permettendo loro di poter essere impiegate per compiti e mansioni meno onerose. La duttilità delle batterie al litio permette loro di essere impiegate come sistemi di stoccaggio d’energia, riducendo il rischio da parte degli operatori economici nell’investire in applicazioni più piccole per lo stoccaggio di energia per le abitazioni e lo stoccaggio per l’energia rinnovabile; rappresenta, inoltre, un’opportunità per l’integrazione nella rete (*grid integration*) dell’energia rinnovabile¹²³. L’approccio “*second life*” permette di allungare la vita di

¹²³ Agenzia europea dell’ambiente. “*Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives : TERM 2018 : Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report.*” 2018. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/77428>.

una batterie di almeno 5/10 anni e di abbattere i costi, poiché il produttore di auto vedrà un ulteriore ritorno economico nel caso in cui vendesse una batteria già usata. Prima che una batteria possa essere riutilizzata, è necessario verificarne lo stato di salute (SOH, *State of Health*); questa verifica permette di fare una cernita delle batterie effettivamente riutilizzabili in un nuovo contesto sicuramente meno esigente in termini di potenza. Non esiste una definizione univoca di SOH perché ognuna si concentra su un parametro specifico della batteria, che può essere la potenza (resistenza), l'energia (capacità) e le capacità elettrochimiche delle interfasi elettrodiche (impedenza). Una definizione, in formula, potrebbe essere

$$SOH = \frac{R_{eol} - R_i}{R_{eol} - R_0} * 100$$

dove R_0 è la resistenza iniziale, R_i quella attuale, mentre R_{eol} è il valore atteso a fine vita (*end of life*) delle celle¹²⁴. Lo stato di salute non è necessariamente legato al numero di cicli di vita delle batterie e al tipo di cicli a cui sono state sottoposte, bisogna considerare anche i possibili abusi come l'esposizione ad alte temperature o procedure di carica e scarica troppo drastiche. Dopo la valutazione dello stato di salute, si possono delineare due strategie di riuso¹²⁵: il *direct reuse*, che prevede il riutilizzo delle batterie subito dopo l'indagine sul loro *State of Health*, e il *battery repurposing* (oppure *cascade reuse*), che prevede lo smantellamento della batteria in moduli per poi ricomporli nuovamente in un nuovo prodotto. Altri campi d'uso delle batterie *second life* potrebbero essere¹²⁶:

- a) *Self-consumption*: le batterie delle *EV* vengono utilizzate per immagazzinare l'energia prodotta dai pannelli solari ad uso privato e civile;

¹²⁴ Pasquali, Manilo, Francesco Vellucci. "Second Life, approfondimento sullo studio dei criteri di ritiro delle celle" *Accordo di programma Ministero dello sviluppo economico – ENEA (2017), Report RdS/PAR2016/164*.

¹²⁵ Canals Casals, Lluç, B. Amante García. "Assessing Electric Vehicles Battery Second Life Remanufacture and Management." *Journal of Green Engineering* 6, no.1 (2016): 77-98. <http://dx.doi.org/10.13052/jge1904-4720.614>.

¹²⁶ Canals Casals, Lluç, B. Amante García, and Camille Canal. "Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis." *Journal of Environmental Management* 232 (2019): 354-363. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.046>.

- b) *Area regulation*: si basa sulla precedente funzione, però la batteria agisce anche come uno stabilizzatore della rete;
- c) *Transmission deferral*: la batteria viene impiegata come supporto per fornire alimentazione ad un trasformatore di quartiere quando la richiesta di energia eccede le capacità del trasformatore;
- d) *Fast EV Charge*: per la carica veloce delle automobili elettriche potrebbe rendersi necessaria una potenza di ricarica superiore rispetto a quanto consentito dall'alimentatore, dunque, invece di aumentarne la potenza, il surplus può essere fornito direttamente da batterie *second life*.

In termini di impatto ambientale un riutilizzo diretto delle batterie comporterebbe una riduzione del 70-80% di emissioni di gas serra nella produzione del catodo, anche usando componenti riciclate, e un taglio del 75-100% delle emissioni di ossidi di zolfo nella fabbricazione del catodo da componenti riciclate, generando anche un impatto positivo indiretto sia per la salute umana sia per la tenuta dell'ecosistema riducendo, di fatto, il bisogno di estrarre nuove materie prime¹²⁷. Il *cascade reuse* riduce la necessità di procurarsi nuove materie prime e tarda i processi di *end of life*, inoltre, le emissioni delle batterie *second life* delle EV, utilizzate ora come supporto alla rete delle rinnovabili, si riducono del 42%, se considerate su base chilometrica; il *cascade reuse* potrebbe incrementare la vita delle batterie fino al 72% e contribuire ad abbassare il prezzo delle automobili elettriche¹²⁸.

3.4 I processi del riciclo e del recupero dei materiali

Il riciclo delle batterie delle automobili elettriche è un processo molto complesso e si articola in quattro fasi distinte, ciascuna delle quali a sua volta si compone di due fasi di processo; queste sono¹²⁹:

- a) Preparazione: logistica dei rifiuti e preselezione;
- b) Pretrattamento: smontaggio e naturalizzazione;

¹²⁷ Agenzia europea dell'ambiente. "Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives : TERM 2018 : Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report." 2018. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/77428>.

¹²⁸ Ibid.

¹²⁹ Werner, Denis, Urs Alexander Peuker, and Thomas Mütze. "Recycling Chain for Spent Lithium-Ion Batteries." *Metals* 10, no. 3 (2020): 316. <https://doi.org/10.3390/met10030316>.

- c) *Processing*: liberazione e separazione;
- d) Metallurgia: estrazione e recupero.

Nella fase di preparazione le batterie al litio esauste sono raccolte in appositi sistemi di raccolta (*waste logistics*). Questi sistemi sono stati previsti dalla direttiva europea 2006/66/CE ed alcuni sono ancora in fase di attuazione, infatti, in questo campo è molto importante la cooperazione fra le case automobilistiche e le compagnie locali che gestiscono materialmente il riciclo. Una volta nei centri di raccolta, le batterie vengono trattate e immagazzinate, poi, vengono trasportate direttamente all'impianto successivo. Nonostante il grande potenziale della raccolta di batterie al litio esaurite, in alcuni Paesi il tasso di raccolta è insoddisfacente: in Germania, per esempio, sono raccolte solo il 45% delle batterie per sistemi portabili (come cellulari e laptop). Poiché le batterie esauste sono considerate un rifiuto speciale essendo potenzialmente soggette ad un sversamento dell'elettrolita o ad un rischio di cortocircuito, il trasporto di questi oggetti richiedono contenitori ed imballaggi e specifici facendo alzare, purtroppo, il costo complessivo della procedura di riciclaggio¹³⁰. Una volta giunte all'impianto, le batterie al litio vengono smistate a seconda della loro tipologia: attualmente non si dispone della tecnologia adeguata per poter recuperare nello stesso procedimento tutte le tipologie di batterie, ne consegue che il riciclo delle batterie è un settore altamente specializzato. La preselezione (*presorting*) è un processo che avviene mediante l'impiego di personale formato o sensori in percorsi automatizzati.

La penetrazione delle auto elettriche nel mercato dell'automobile ha fatto lievitare la quantità di batterie al litio da dover riciclare rendendo la fase di smontaggio (*dismantling*) più profittevole e, talvolta, proprio necessaria. I macchinari impiegati nelle fasi successive, come i forni e i dispositivi di frantumazione, sono limitati nella dimensione e nella massa del materiale che possono trattare: alcuni processi di bonifica, per esempio, devono intervenire direttamente sui moduli delle batterie o sulle celle. Lo smantellamento della batteria genera parti metalliche, plastiche e componenti elettroniche di grandezza inferiore che, poi, seguono un proprio processo di riciclo indipendente (riciclo diretto). Questa fase contribuisce ad abbattere i costi dell'intro

¹³⁰ Werner, Denis, Urs Alexander Peuker, and Thomas Mütze. "Recycling Chain for Spent Lithium-Ion Batteries." *Metals* 10, no. 3 (2020): 316. <https://doi.org/10.3390/met10030316>.

processo di riciclaggio¹³¹. La fase di smontaggio può essere manuale, semiautomatica (ibrida) oppure completamente automatizzata.

Dopo aver separato la batteria nelle sue componenti più piccole, comincia la fase di neutralizzazione (*depollution*). Lo scopo principale di questa fase è quello di non permettere alle sostanze pericolose che albergano nelle componenti ottenute di passare alle fasi successive evitando, dunque, il rilascio di emissioni nocive per l'ambiente. A seconda del particolare processo di riciclo la fase di neutralizzazione avviene mediante diversi metodi come il processo di scarica, il trattamento criogenico e / o il trattamento termico¹³². La scarica (*discharging*) è un metodo che riduce il contenuto di energia elettrochimica delle batterie e viene impiegato specialmente in quei processi di riciclo che richiedono una fase di smontaggio e la separazione meccanica. Le batterie da scaricare sono generalmente immerse in salamoie di cloruro di sodio (NaCl) oppure in polveri di grafite o di conduttori metallici. L'impiego delle salamoie nel processo di scarica può portare a delle reazioni collaterali indesiderate come la corrosione dei contatti elettrici e il rilascio di idrogeno ed altri gas, perciò questo metodo viene utilizzato per le batterie a bassa intensità¹³³. Il trattamento criogenico (*cryogenic treatment*) è un procedimento che impedisce reazioni esotermiche durante il processo successivo di liberazione. Le batterie sono esposte ad una temperatura di -200°C, riducendo così la mobilità degli ioni. Per il trattamento criogenico è indispensabile prendere apposite misure di sicurezza come l'impiego di unità di trasportatori molto resistenti al calore e sistemi di purificazione per gas di scarico, siccome le reazioni chimiche avvengono successivamente rispetto a quanto accade per i trattamenti a temperatura normale. I trattamenti termici (*thermic methods*) come la pirolisi e la calcinazione rimuovono le parti infiammabili dell'elettrolita e separano i componenti elettrolitici decomponendo i composti organici termochimicamente; durante questo processo si scompongono parzialmente anche alcuni componenti come il separatore e il legante dei rivestimenti metallici degli elettrodi. I trattamenti termici vengono eseguiti in forni a induzione sotto vuoto, forni rotativi o altoforni¹³⁴.

¹³¹ Werner, Denis, Urs Alexander Peuker, and Thomas Mütze. "Recycling Chain for Spent Lithium-Ion Batteries" *Metals* 10, no. 3 (2020): 316. <https://doi.org/10.3390/met10030316>.

¹³² Ibid. pag-6

¹³³ Ibid. pag-6

¹³⁴ Ibid. pag.6

Nella fase del *processing* vengono rotti i legami tra i singoli componenti della batteria, cioè i materiali, ed è costituita dalla liberazione (*liberation*) e dalla separazione (*separation*). La liberazione delle batterie può avvenire meccanicamente e chimicamente. La *liberation* meccanica si realizza principalmente mediante meccanismi di lenta o veloce compressione, che sono più efficaci nell'intrappolare il materiale o nel creare nuovi composti; la batteria viene frantumata sotto un gas protettivo, che può essere diossido di carbonio, nitrogeno, argon o elio, oppure in una sostanza liquida come l'acqua o soluzione salina. I metodi di liberazione termica e chimica, invece, servono per delaminare il materiale di rivestimento dai fogli metallici del collettore di corrente: la pirolisi, che è un processo termico, decompone il legante, mentre i processi chimici sciolgono in soluzione l'alluminio, privando così il materiale catodico del suo foglio protettivo¹³⁵. La separazione (*separation*) è un procedimento meccanico che principalmente separa i componenti e i materiali appena liberati, a seconda delle proprietà elettromagnetiche, elettrostatiche, granulometriche e della densità. Questo tipo di separazione avviene soprattutto attraverso la separazione magnetica, la separazione per gravità, dei tavoli pneumatici oscillanti o ancora tramite flottazione. Al fine di ottenere prodotti ad alta purezza, è necessario raffinare ulteriormente la miscela ottenuta mediante un processo metallurgico. La combinazione delle fasi di separazione, tuttavia, è estremamente specifica per materiale e procedimento¹³⁶.

Il processo di raffinazione metallurgica (*metallurgy*) è lo step finale del processo di riciclo delle batterie agli ioni di litio; questo passaggio si compone ulteriormente di un processo pirometallurgico ed uno idro-metallurgico. Nei processi industriali di pirometallurgia vengono raggiunte temperature piuttosto elevate e vengono recuperati materiali metallici. La fusione dei metalli produce una lega d'acciaio, composta da rame, cobalto, nichel e ferro, che viene successivamente venduta come materia prima seconda. Altri componenti delle batterie come il litio, il manganese e l'alluminio non sono facilmente recuperabili durante questo processo e, infatti, sono generalmente impiegati come materiali di riempimento nella costruzione di strade o nel calcestruzzo

¹³⁵ Werner, Denis, Urs Alexander Peuker, and Thomas Mütze. "Recycling Chain for Spent Lithium-Ion Batteries" *Metals* 10, no. 3 (2020): 316. <https://doi.org/10.3390/met10030316>.

¹³⁶ Ibid. pag-8

oppure vengono depositati in discarica. Il recupero di litio nello specifico non è particolarmente vantaggioso né economicamente né da punto di vista di efficienza energetica, infatti, solo l'1% del litio viene riciclato¹³⁷. La pirometallurgia è il procedimento più inquinante del riciclo delle batterie ed è anche quello più costoso perché necessita di impianti di aereazione per lo smaltimento dei gas tossici prodotti. Il processo idro-metallurgico prevede il recupero dei materiali dalle batterie Li-ione mediante lisciviazione con acidi e basi, cioè un processo chimico che utilizza acido solforico, cloridrico o nitrico con temperature moderate. Nonostante sia impiegata acqua, il processo idro-metallurgico inquina decisamente di meno rispetto al pirometallurgico, inoltre permette di recuperare il litio più facilmente¹³⁸.

Esiste, inoltre, un'altra tipologia di trattamento metallurgico, da poco impiegata nel processo di recupero e riciclo delle batterie agli ioni di litio ma già adoperato con successo nell'industria mineraria: il trattamento biometallurgico. Questo trattamento metallurgico è complementare ai precedenti e si contraddistingue per l'utilizzo di processi microbici¹³⁹, questo fa in modo che il processo sia poco inquinante e abbia un'elevata efficienza energetica. La biometallurgia si divide in due aree: il bioassorbimento e la biolisciviazione. Con la tecnologia ad oggi disponibile, è attualmente fattibile ricavare tramite biolisciviazione solo oro e rame in proporzioni significative, mentre il bioassorbimento è un processo in cui possono essere adoperati organismi sia viventi, come funghi e batteri, sia disattivati sotto forma di biomasse¹⁴⁰.

Lo smaltimento delle scorie e delle componenti non riciclabili, come i sali di sodio, i residui ferrosi e le acque reflue, è un punto ancora critico dell'intero processo di

¹³⁷ Dominish, Elsa, Nick Florin, and Rachael Wakefield-Rann. "Reducing new mining for electric vehicle battery metals: responsible sourcing through demand reduction strategies and recycling." *Report prepared for Earthworks by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney*, 2021.

¹³⁸ Beaudet, Alexandre, et al. "Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials." *Sustainability*, 12, no.14 (2020): 5837. <https://doi.org/10.3390/su12145837>.

¹³⁹ Enciclopedia Treccani Online (s.v) "Biometallurgia". <https://www.treccani.it/vocabolario/biometallurgia/?search=biometallurg%C3%ACa>.

¹⁴⁰ De Angelis, Doina. "Rapporto sugli aspetti ambientali rilevanti dei nuovi processi di tipo idrometallurgico per il recupero di materiali da batterie al litio a fine vita." *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Report RdS/PAR2013/198*. 2014.

riciclo delle batterie Li-ione dal punto di vista ambientale: attualmente il metodo più accreditato è l'incenerimento dei rifiuti¹⁴¹.

3.5 I costi economici del riciclo

Attualmente il riciclo dei materiali contenuti nelle batterie Li-ione risulta essere ancora troppo costoso e non permette un recupero significativo delle materie più pregiate. Il litio, per esempio, può essere riciclato per un numero illimitato di volte, tuttavia la tecnologia ad oggi a disposizione non permette in termini quantitativi di recuperare litio puro sufficiente per un secondo utilizzo nelle batterie EV: si ritiene che per ogni 20 tonnellate di batterie agli ioni di litio esauste producano una tonnellata di litio¹⁴². Il riciclo può essere un utile assistente alla catena di fornitura, ma potrebbe risultare più costoso rispetto all'estrazione di nuovo materiale date le grandi disponibilità in natura.

I materiali maggiormente interessati dal processo di riciclaggio sono soprattutto quelli catodici, poiché rispetto ai materiali anodici hanno un valore economico maggiore. Il recupero delle materie impiegate nella costruzione dell'anodo non è ancora pienamente fattibile sia da un punto di vista tecnico sia da un punto di vista economico: il recupero della grafite nei processi di riciclo delle batterie è possibile solo nel processo di separazione meccanico.

Affinché il riciclo delle batterie agli ioni di litio si possa considerare sufficientemente redditizio per giustificare i costi di investimento dell'impianto, si stima che sia necessario trattare almeno 4000 tonnellate di batterie esauste all'anno. Attualmente il costo fisso per riciclare una tonnellata di batterie è compreso fra i 900 e i 1800 euro¹⁴³; l'Unione Europea vorrebbe contenere i costi per tonnellata fino a circa 300

¹⁴¹ Buchert, Matthias, et al. Ökobilanz zum "Recycling von Lithium-Ionen-Batterien" (LithoRec). Darmstadt: Öko-Institut, 2011. <https://www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1500/2011-068-de.pdf>.

¹⁴² Cutaia, Laura, 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" *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA RdS/PAR2017/254*. 2018.

¹⁴³ Ibid. pag-77

euro e sta pianificando la costruzione di piccoli impianti di riciclaggio in posizioni strategiche per ridurre il più possibile l'impatto dei costi di trasporto delle batterie.

Il vantaggio economico generato dal riciclo delle batterie delle automobili elettriche dipende principalmente dal valore del cobalto e del litio, nonché dalla loro quantità nelle batterie stesse. Il riciclo delle batterie risulta economicamente conveniente quando una tonnellata di batterie contiene più 270 chili di cobalto recuperabile che valga almeno 40 dollari al chilogrammo¹⁴⁴: se il cobalto dovesse essere eliminato dalle batterie il processo diventerebbe inesorabilmente antieconomico. Il prezzo del cobalto è in forte ascesa, ciò fa in modo che una quota compresa fra il 25 e il 50% del cobalto viene recuperata¹⁴⁵. Affinché il riciclaggio del litio possa ritenersi conveniente, si dovrebbe poter produrre carbonato di litio ad un costo massimo di 6000 euro a tonnellata. Solitamente il litio finisce nelle scorie, tuttavia ciò potrebbe mutare a causa dell'aumento dei prezzi del litio stesso: secondo alcune stime nel 2050 circa il 25% del litio arriverà dal riciclo¹⁴⁶. Un ulteriore elemento di problematicità che rende difficoltoso la progettazione di una linea di processo per il riciclo è la grande varietà dei modelli di batterie agli ioni di litio presenti sul mercato.

Il riciclo, invece, risulta conveniente soprattutto per quei materiali recuperati nella fase di pretrattamento: una tonnellata di alluminio riciclato richiede una quantità di energia venti volte inferiore a quella necessaria per produrre una tonnellata di alluminio primario, tagliando le spese dei processi lavorativi e diminuendo le emissioni di gas serra e il consumo idrico.

Secondo il Regolamento proposto alla Commissione europea del 10 dicembre 2020¹⁴⁷ la percentuale di batterie riciclate sul totale dovrà raggiungere il 65% entro il dicembre del 2025 e il 70% entro la fine del 2030 (art.48 par.4). La medesima proposta

¹⁴⁴ Cutaia, Laura, 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." *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA RdS/PAR2017/254*. 2018.

¹⁴⁵ Ibid. pag-78

¹⁴⁶ Ibid. pag-78

¹⁴⁷ 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, COM(2020)789, finale.

di Regolamento all'art.8 par.2 afferma che a decorrere dal 1 gennaio 2030 le batterie di nuova produzione dovranno contenere una percentuale minima di cobalto, piombo, litio o nichel recuperata dai rifiuti:

- a) 12% di cobalto;
- b) 85% di piombo;
- c) 4% di litio;
- d) 4% di nichel.

Secondo quanto disposto dall'art.8 par.3, a decorrere dal 1 gennaio 2035 le batterie di nuova produzione dovranno contenere una percentuale minima di cobalto, piombo, litio o nichel recuperata dai rifiuti che dovrà attestarsi al:

- a) 20% di cobalto;
- b) 85% di piombo;
- c) 10% di litio;
- d) 12% di nichel.

La seguente tabella è stata estratta dall'elaborazione di una panoramica delle diverse sottomisure previste dalle opzioni strategiche presenti all'interno della proposta di regolamento; le opzioni evidenziate in verde sono state ritenute le soluzioni preferibili in seguito alle opportune valutazioni di impatto.

Tabella 2 – Tassi di riciclaggio e recupero dei materiali strategici contenuti nelle batterie

Misure	Opzione 2 - Livello di ambizione medio	Opzione 3 - Livello di ambizione elevato	Opzione 4 - Livello di ambizione molto elevato
5. Efficienze di riciclaggio e recupero dei materiali	<u>Batterie agli ioni di litio e Co, Ni, Li, Cu:</u> Efficienza di riciclaggio delle batterie agli ioni di litio: 65 % entro il 2025. Tassi di recupero dei materiali per Co, Ni, Li, Cu: risp. 90 %, 90 %, 35 % e 90 % nel 2025.	<u>Batterie agli ioni di litio e Co, Ni, Li, Cu:</u> Efficienza di riciclaggio delle batterie agli ioni di litio: 70 % entro il 2030. Tassi di recupero dei materiali per Co, Ni, Li, Cu: risp. 95 %, 95 %, 70 % e 95 % nel 2030.	/
	<u>Batterie al piombo-acido e piombo:</u> Efficienza di riciclaggio delle batterie al piombo-acido: 75 % entro il 2025. Recupero dei materiali per il piombo: 90 % nel 2025.	<u>Batterie al piombo-acido e piombo:</u> Efficienza di riciclaggio delle batterie al piombo-acido: 80 % entro il 2030. Recupero dei materiali per il piombo: 95 % entro il 2030.	

Opzioni preferite per le quote di riciclo di cobalto, piombo, litio e nichel da raggiungere FONTE: 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, COM(2020)789, finale. (pag-10)

Considerazioni conclusive

In questo elaborato si è cercato di fare chiarezza sull'importanza della mobilità sostenibile, senza perdere di vista le implicazioni socio-politiche ed economiche che lo sviluppo di questo nuovo mercato del settore automobilistico comporta. La competizione per le risorse ha sempre caratterizzato la storia dell'umanità e l'approvvigionamento di litio, cobalto e terre rare non è avulso da questi meccanismi. Il dominio cinese nella produzione della tecnologia *green* rappresenta un problema di sicurezza nazionale per le potenze occidentali ed è paradossale come gli obiettivi di decarbonizzazione e il contrasto al cambiamento climatico siano diventati terreno di scontro, nonostante questi siano intrinsecamente problemi globali e possano essere un'area di cooperazione. La contraddizione della rivoluzione ecologica si misura anche nei confronti delle popolazioni residenti nelle regioni in cui vengono estratte le materie prime necessarie: per salvaguardare gli equilibri climatici del pianeta si violano i diritti fondamentali di interi popoli, i quali non vengono compensati per lo sfruttamento delle loro risorse naturali e per il depauperamento ecologico dei territori. Il riciclo delle batterie agli ioni di litio rappresenta un'alternativa interessante per rendere meno contraddittorio e, dunque, più sostenibile la transizione ecologica nel settore dei trasporti. L'elaborato non vuole costituire una soluzione a queste criticità, bensì vuole esserne un'analisi quantomeno esaustiva e auspica che il nuovo modello economico "verde" sia effettivamente sostenibile per tutti, facendo proprio il messaggio dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

Riferimenti bibliografici

Agenzia europea dell'ambiente. *“Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives: TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report.”* 2018. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/77428>.

Agenzia Internazionale per l'Energia. “EU Regulation 2017/821 Supply chain due diligence for minerals from conflict-affected and high-risk areas.” 11 ottobre 2022. <https://www.iea.org/policies/15682-eu-regulation-2017821-supply-chain-due-diligence-for-minerals-from-conflict-affected-and-high-risk-areas>.

Agenzia Internazionale per l'Energia. “Blockchain based Circular System for Assessing Rare Earth Sustainability.” 12 dicembre 2023. <https://www.iea.org/policies/16652-blockchain-based-circular-system-for-assessing-rare-earth-sustainability>.

Allegato della Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni l'Europa in movimento Una mobilità sostenibile per l'Europa: sicura, interconnessa e pulita, COM(2018)293, finale.

Ang, Carmen. “China’s Growing Trade Dominance in Latin America.” *Visual Capitalist*, 15 agosto 2022. <https://www.visualcapitalist.com/cp/chinas-growing-trade-dominance-in-latin-america/>.

Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica. *Osservatorio sulla componentistica automotive italiana 2022*. 2022. https://www.anfia.it/allegati_contenuti/DOC/302_STUDIO_OSSERVATORIO_COMPONENTISTICA_2022_DEF.PDF.

Attualità Parlamento europeo. “Auto, furgoni e inquinamento: i nuovi obiettivi per le emissioni.” 27 settembre 2019. (Ultimo aggiornamento: 23 luglio 2023).

<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180920STO14027/auto-furgoni-e-inquinamento-i-nuovi-obiettivi-per-le-emissioni>.

Beaudet, Alexandre, et al. “Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials.” *Sustainability*, 12, no.14 (2020): 5837.

<https://doi.org/10.3390/su12145837>.

Benedetti Luca. “La produzione delle batterie Li-ione” Tesi triennale, Università degli Studi di Ferrara, 2020. https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2020/07/Luca-Benedetti_Tesi-Digitale.pdf.

Bignami, Luigi. “Scoperto in Usa un importante giacimento di litio (forse il più grande al mondo).” *Focus*, 23 settembre 2023. <https://www.focus.it/scienza/scienze/scoperto-un-importante-giacimento-di-litio-negli-stati-uniti-fara-da-concorrenza-alla-cina>.

Buchert, Matthias, et al. Ökobilanz zum “Recycling von Lithium-Ionen-Batterien” (LithoRec). Darmstadt: Öko-Institut, 2011.

<https://www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1500/2011-068-de.pdf>.

Buthada, Govind. “Mapped: EV Battery Manufacturing Capacity, by Region.” *Visual Capitalist*, 28 febbraio 2022. <https://www.visualcapitalist.com/sp/mapped-ev-battery-manufacturing-capacity-by-region/>.

Buthanda, Govind. “Visualizing 25 Years of Lithium Production, by Country”. *Visual Capitalist*, 26 dicembre 2022. <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-25-years-of-lithium-production-by-country/>.

Canals Casals, Lluç, B. Amante García. “Assessing Electric Vehicles Battery Second Life Remanufacture and Management.” *Journal of Green Engineering* 6, no.1 (2016): 77-98. <http://dx.doi.org/10.13052/jge1904-4720.614>.

Canals Casals, Lluc, B. Amante García, and Camille Canal. “Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis.” *Journal of Environmental Management* 232 (2019): 354-363. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.046>.

Carboni, Tommaso. “Le terre rare saranno il petrolio del nostro secolo. E sono in mano alla Cina.” *Forbes Italia*, 6 maggio 2021. <https://forbes.it/2021/05/06/terre-rare-petrolio-nostro-secolo-mano-cina/>.

Cardone, Pietro. “Le auto elettriche più vendute in Italia a settembre 2023.” *Insideev.it*, 2 ottobre 2023. <https://insideevs.it/news/689499/auto-elettriche-vendute-italia-settembre-2023/>.

Cerai, Alberto P. “Litio, l’autonomia strategica passa per le miniere europee (e non solo).” *Formiche.net*, 3 febbraio 2023. <https://formiche.net/2023/02/litio-miniere-europee/>.

Cerai, Alberto P. “Litio, la Cina (via Catl) si prende le riserve boliviane.” *Formiche.net*, 20 giugno 2023. <https://formiche.net/2023/06/litio-cina-bolivia-catl/#:~:text=Secondo%20le%20stime%20dello%20US,carbonato%20di%20litio%20ne l%202022>.

Cerai, Alberto P. “Materie prime critiche, tutti gli accordi per aggirare la Cina.” *Formiche.net*, 16 giugno 2023. <https://formiche.net/2023/06/materie-prima-accordi-occidente-cina/>.

Cerai, Alberto P. “Rinnovabili e batterie, gli investimenti europei lungo la filiera. Ma basterà?” *Formiche.net*, 17 maggio 2023. <https://formiche.net/2023/05/rinnovabili-e-batterie-gli-investimenti-europei-lungo-la-filiera-ma-bastera/>.

Cerai, Alberto P. “Terre rare, la Cina è pronta a farne un’arma geopolitica?” *Formiche.net*, 13 luglio 2020. <https://formiche.net/2020/07/terre-rare-usa-cina/>.

Cerai, Alberto P. “Una Opec del Litio. Il Sud America (e non solo) pensa a un cartello.” *Formiche.net*, 8 marzo 2023. [https://formiche.net/2023/03/litio-sud-america-cartello-industriale/#:~:text=Argentina%20\(19%20milioni%20di%20tonnellate,delle%20riserve%20di%20litio%20conosciuto](https://formiche.net/2023/03/litio-sud-america-cartello-industriale/#:~:text=Argentina%20(19%20milioni%20di%20tonnellate,delle%20riserve%20di%20litio%20conosciuto).

Commissione europea, Direzione generale della Mobilità e dei trasporti. *EU transport in figures: statistical pocketbook 2021*. 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/27610>.

Commissione europea. European Alternative Fuels Observatory. <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/italy/incentives-legislations>.

Commissione europea. “Key elements of the EU-China Comprehensive Agreement on Investment.” 30 dicembre 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_2542.

Commissione europea. “REPowerEU: un piano per ridurre rapidamente la dipendenza dai combustibili fossili russi e accelerare la transizione verde.” 18 maggio 2022. https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/repowerEU-un-piano-ridurre-rapidamente-la-dipendenza-dai-combustibili-fossili-russi-e-accelerare-la-2022-05-18_it.

Commissione mondiale sull’ambiente e lo sviluppo. *Our common future*. 1987. file:///C:/Users/Utente/Downloads/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf.

Comunicato stampa Commissione europea. “REPowerEU: un piano per ridurre rapidamente la dipendenza dai combustibili fossili russi e accelerare la transizione verde.” 18 maggio 2022. https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/repowerEU-un-piano-ridurre-rapidamente-la-dipendenza-dai-combustibili-fossili-russi-e-accelerare-la-2022-05-18_it.

Comunicazione della Commissione europea 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 finale.

Convention on the Law of the Sea, Dec. 10, 1982, 1833 U.N.T.S. 397.

Cutaia, Laura, 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.” *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA RdS/PAR2017/254*. 2018.

Danielis, Romeo. “Le emissioni di CO2 delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l’Italia tramite l’analisi del ciclo di vita.” Working Paper, SIET, 2016. <http://sietitalia.org/wpsiet/Danielis%20-%20WPSIET%202017.pdf>.

De Angelis, Doina. “Rapporto sugli aspetti ambientali rilevanti dei nuovi processi di tipo idrometallurgico per il recupero di materiali da batterie al litio a fine vita.” *Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Report RdS/PAR2013/198*. 2014.

Dell’Aguzzo, Marco. “L’idea per rendere sostenibile l’estrazione del litio.” *Wired*, 5 agosto 2023. <https://www.wired.it/article/litio-estrazione-sostenibile-ambiente-cina-europa/#:~:text=Il%20litio%20si%20estrae%20soprattutto,in%20Cile%2C%20Argentina%20e%20Bolivia>.

Dianda, Mario. “Il costo dei cambiamenti climatici.” *Starting Finance*, 16 marzo 2019. <https://startingfinance.com/approfondimenti/cambiamenti-climatici-cost/>.

Dickert, Chris. “On the Road to Electric Vehicles.” *Visual Capitalist*, 1 marzo 2023. <https://www.visualcapitalist.com/sp/on-the-road-to-electric-vehicles/>.

Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.

“European Commission and U.S. Department of Energy support collaboration between the European Battery Alliance and U.S. Li-Bridge Alliance to strengthen supply chain.”

14 marzo 2022. https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/european-commission-and-us-department-energy-support-collaboration-between-european-battery-alliance-2022-03-14_en.

Direttiva 2006/66/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 6 settembre 2006, relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori e che abroga la direttiva 91/157/CEE.

Dizionari Simone Online (s.v.). “Teoria della dipendenza”.

<https://dizionari.simone.it/6/teoria-della-dipendenza>.

Dominish, Elsa, Nick Florin, and Rachael Wakefield-Rann “Reducing new mining for electric vehicle battery metals: responsible sourcing through demand reduction strategies and recycling.” *Report prepared for Earthworks by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney*, 2021.

Eddy, Melissa. “Battery Factories Are Driving Chinese Investment in Europe.” *New York Times*, 8 maggio 2023.

<https://www.nytimes.com/2023/05/08/world/europe/battery-factories-china-evs.html?hpgrp=ar-abar&smid=url-share>.

Enciclopedia Online Treccani (s.v.). “Afferestamento”.

[https://www.treccani.it/enciclopedia/afforestamento_\(Dizionario-di-Economia-e-Finanza\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/afforestamento_(Dizionario-di-Economia-e-Finanza)/).

Enciclopedia Treccani Online (s.v) “Biometallurgia”.

<https://www.treccani.it/vocabolario/biometallurgia/?search=biometallurg%C3%ACa>.

Etiemble, Aurelien, et al. “Quality control tool of electrode coating for lithium-ion batteries based on X-ray radiography.” *J. Power Sources* 298 (2015): 285–291.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.08.030>.

European Commission. “Energy Security: Commission hosts first meeting of EU Energy Purchase Platform to secure supply of gas, LNG and hydrogen.” 8 aprile 2022.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2387.

Eurostat. *Key figures on the EU in the world, 2023 edition*. 2023.
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15216629/16118334/KS-EX-23-001-EN-N.pdf/d4413940-6ef7-2fa8-d6f1-a60cdc4b89f3?version=1.0&t=1676459907834>.

Facciolla, Erika. “Fracking: che cos’è e che rischi ambientali comporta.” *Tuttogreen.it*, 21 novembre 2017. <https://www.tuttogreen.it/fracking-cose/>.

Fusiek, Dawid A. “Charging up France.” *European Investment Bank*, 28 novembre 2023. <https://www.eib.org/en/stories/france-gigafactory-lithium-battery-mobility>.

Gandini, Debora. “Serbia, la miniera della discordia. Cresce la rabbia tra gli abitanti della "Jadar Valley".” *Euronews*, 10 dicembre 2021.
<https://it.euronews.com/2021/12/10/serbia-la-miniera-della-discordia-cresce-la-rabbia-tra-gli-abitanti-della-jadar-valley>.

Global Center on Adaptation. *Global Commission on Adaptation Launches “Year of Action” to Accelerate Climate Adaptation*. 24 settembre 2019.
<https://gca.org/news/global-commission-on-adaptation-launches-year-ofaction-to-accelerate-climate-adaptation/>.

Godi, Gianluca. “Come funzionano le batterie delle auto elettriche e quali sono i limiti di questa tecnologia.” *Geopop*, 20 ottobre 2022. <https://www.geopop.it/come-funzionano-le-batterie-delle-auto-elettriche-e-quali-sono-i-limiti-di-questa-tecnologia/https://www.geopop.it/>.

Hawkins, Troy R., et al. "Corrigendum to: Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*." *Journal of Industrial Ecology*. 2013. <https://doi.org/10.1111/jiec.12011>.

Il Sole 24 ore. "Argentina: Massa avanti, sarà ballottaggio con Milei." 23 ottobre 2023. <https://www.ilsole24ore.com/art/argentina-massa-avanti-sara-ballottaggio-milei-AFvLcvLB>.

Iman, Ghosh. "All the world's carbon emissions in one chart." *Visual Capitalist*, 31 maggio 2019. <https://www.visualcapitalist.com/all-the-worlds-carbon-emissions-in-one-chart/>.

Inghirami, Silvia. "L'auto elettrica trascina il mercato. Boom di immatricolazioni." *Agi.it*, 20 settembre 2023. <https://www.agi.it/economia/news/2023-09-20/boom-mercato-auto-elettrico-immatricolazioni-europa-23118370/>.

International Panel on Climate Change. *Global Warming of 1.5 °C*. 2018. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

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

ISPI. "Terre rare sempre più strategiche." 5 novembre 2020. <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/terre-rare-sempre-piu-strategiche-28154>.

ISPI. "USA: il futuro è nero (petrolio)?." 29 settembre 2023. <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/usa-il-futuro-e-nero-petrolio-145571>.

Kalantzakos, Sophia. *Terre Rare La Cina e la geopolitica dei minerali strategici*. Università Bocconi Editore, 2021.

Kane, Mark. “See The Best Selling Battery Electric Cars Of All-Time Here.” *Insideevs*, 4 ottobre 2020. <https://insideevs.com/news/447165/see-best-selling-battery-electric-cars/>.

Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dec. 10, 1997, 2303 U.N.T.S. 162.

Lu, Marcus. “Visualizing the EU’s Energy Dependency.” *Visual Capitalist*, 22 marzo 2022. <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-eus-energy-dependency/>.

Maiser, Eric. “Battery packaging - Technology review.” *AIP Conference Proceedings*, 1597 (2014): 204-218 <https://doi.org/10.1063/1.4878489>.

McDonnell, Alan. “US Vulnerable to China Rare-Earth Monopoly, Researchers Find.” *Epoch Times*, 7 luglio 2020. <https://www.theepochtimes.com/us/us-vulnerable-to-china-rare-earth-monopoly-researchers-find-3408972>.

Mohanty, Debasish, et al. “Non-destructive evaluation of slot-die-coated lithium secondary battery electrodes by in-line laser caliper and ir thermography methods.” *Analytical Methods*, 6 (2014): 674–683. <https://doi.org/10.1039/c3ay41140k>.

Moretti, Anna, Francesco Zirpoli. “La filiera automotive italiana nel segno della transizione ecologica.” *Osservatorio sulla componentistica automotive italiana 2021*. Università Ca’ Foscari, Venezia. 2021. <https://dx.doi.org/10.30687/978-88-6969-564-3>.

Motus-E report. *Le Infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia – dicembre 2022*. 2023. <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2023/02/Report-Infrastrutture-di-ricarica-uso-pubblico-Italia-quarta-edizione.pdf>.

Namkoong, Young. “Dependency Theory: Concepts, Classifications, and Criticisms.” *International Area Review* 2, no. 1 (1999): 121-50. <https://doi.org/10.1177/223386599900200106>.

Onstad, Eric. “Blockchain rare earth scheme to certify sustainable output for EVs.” *Reuters*, 8 febbraio 2022. <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/blockchain-rare-earth-scheme-certify-sustainable-output-evs-2022-02-07/> .

Pasquali, Manilo, Francesco Vellucci. “Second Life, approfondimento sullo studio dei criteri di ritiro delle celle.” *Accordo di programma Ministero dello sviluppo economico – ENEA (2017), Report RdS/PAR2016/164*.

Piemontese, Antonio. “In Argentina scoppiano proteste contro le miniere di litio.” *Wired*, 4 febbraio 2023. <https://www.wired.it/article/litio-miniere-argentina-manifestanti/>.

Pisciotta, Ivana. “Per il futuro la Bolivia punta al litio.” *Agi.it*, 7 maggio 2023. <https://www.agi.it/economia/news/2023-05-07/bolivia-litio-produzione-estrazione-21273125/>.

Preisinger, Irene and Victoria Bryan. “China's CATL to build its first European EV battery factory in Germany”. *Reuters*, 9 luglio 2018 <https://www.reuters.com/article/idUSKBN1JZ160/>.

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, COM(2020)789, finale.

Renewables 2019 Global status report. *A comprehensive annual overview of the state of renewable energy*. 2019. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>.

Sanchez-Lopez, Maria D. “Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America.” *Latin America Policy* 14, no.1 (2023): 22-45. <https://doi.org/10.1111/lamp.12285>.

Santos, Theotonio Dos. "The Structure of Dependence." *The American Economic Review* 60, no. 2 (1970): 231-36. <http://www.jstor.org/stable/1815811>.

Solomon, Daina B. and Fabian Cambero. "Chile mining body says new lithium projects needed beyond SQM, Albemarle." *Reuters*, 28 novembre 2023. <https://www.reuters.com/markets/commodities/chile-mining-body-says-new-lithium-projects-needed-beyond-sqm-albemarle-2023-11-28/>.

Spalletta, Alessandra. "Il Giappone scopre un maxi giacimento di terre rare e sfida la supremazia di Pechino." *Agi.it*, 11 aprile 2018. https://www.agi.it/estero/maxi_giacimento_terre_rare_sfida_giappone_cina-3758836/news/2018-04-11/#:~:text=Il%20Giappone%20scopre%20un%20maxi%20giacimento%20di%20terre%20rare%20e%20sfida%20la%20supremazia%20di%20Pechino.

Strategia europea per le materie prime critiche. Risoluzione del Parlamento europeo del 24 novembre 2021 su una strategia europea per le materie prime critiche (2021/2011(INI)).

Suri, Ashvin. "Colonnine di ricarica pubbliche: guida ai principali operatori per l'Italia." *Ezoomed.it*, 10 aprile 2023. <https://www.ezoomed.it/blog/sistemi-di-ricarica/operatori-colonnine-pubbliche/>.

Talignani, Giacomo. "Nelle terre del litio. "Le miniere ci danno lavoro, ma la natura muore"." *La Repubblica*, 20 ottobre 2023. https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/10/20/news/litio_miniere-417624093/.

The World Bank. "Minerals and Metals to Play Significant Role in a Low-Carbon Future." 18 luglio 2017. <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/minerals-and-metals-to-play-significant-role-in-a-low-carbon-future>.

The World Bank. *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*. 2017. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf>.

Ufficio stampa Parlamento europeo. “Fit for 55”: più stazioni di ricarica e carburanti marittimi più ecologici.” 11 luglio 2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20230707IPR02419/fit-for-55-piu-stazioni-di-ricarica-e-carburanti-marittimi-piu-ecologici> .

U.S Geological Survey. *Mineral Commodity Summeries 2021*. 2021. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf> .

Venditti, Bruno. “ The Top 10 EV Battery Manufacturers in 2022.” *Visual Capitalist*, 5 ottobre 2022. <https://www.visualcapitalist.com/the-top-10-ev-battery-manufacturers-in-2022/>

Villegas, Alexander and Ernest Scheyder. “Chile bid to boost state control over lithium spooks investors.” *Reuters*, 22 aprile 2023. <https://www.reuters.com/markets/commodities/sqm-albemarle-shares-slide-chile-lithium-nationalization-plan-2023-04-21/>.

Werner, Denis, Urs Alexander Peuker, and Thomas Mütze. "Recycling Chain for Spent Lithium-Ion Batteries." *Metals* 10, no. 3 (2020): 316. <https://doi.org/10.3390/met10030316>.

Wood, David L., et al. “Technical and economic analysis of solvent-based lithium-ion electrode drying with water and NMP.” *Drying Technology*. 36, no.2 (2017): 234–244. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017> .

Yu, Alice, Mitzi Sumangil “Top electric vehicle markets dominate lithium-ion battery capacity growth.” *S&P Global Market Intelligence*, 16 febbraio 2020.

<https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/top-electric-vehicle-markets-dominate-lithium-ion-battery-capacity-growth>.

Zorloni , Luca. “La mappa delle future miniere di litio in Europa.” *Wired* , 24 febbraio 2022. <https://www.wired.it/article/litio-miniere-europa-mappa/>.