



UNIVERSITÀ DEL PIEMONTE ORIENTALE

Dipartimento di Studi per l'Economia e l'Impresa

Corso di Laurea in Marketing and Operations Management

Tesi di Laurea

Analisi del mercato globale del litio. Il ruolo del Cile

RELATORE: Prof. Marcello TADINI

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marcello Tadini', is displayed on a light gray rectangular background.

Candidato:
Marco Galzerano

Matricola: 20029366

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Sommario

1. INTRODUZIONE.....	4
1. IL MERCATO DEL LITIO.....	6
1.1. Le caratteristiche chimiche e fisiche del litio	8
1.2. Le applicazioni del litio	10
1.3. Il litio nell'ambiente	12
1.4. Gli effetti del litio sulla salute	13
1.5. Gli effetti ambientali del litio.....	14
1.6. La storia dell'estrazione del litio	15
1.7. Storia e Crescita della Produzione di Litio.....	17
1.8. I processi di estrazione del litio	18
1.9. Il direct lithium extraction (DLE).....	23
1.10. I principali produttori di litio nel mercato globale e i flussi commerciali	27
1.10.1. Australia: il primato nella produzione globale	28
1.10.2. Cile: il cuore delle saline.....	32
1.10.3. Cina: produttore, raffinatore e consumatore dominante	36
1.10.4. Argentina: un attore emergente	41
1.11. Evoluzione della domanda e dell'offerta.....	44
1.12. La logistica mineraria del litio: trasporto, mezzi, condizioni di viaggio e conservazione	48
2. I MOTIVI DELL'AUMENTO DEL CONSUMO DEL LITIO	51
2.1. La Crescita della Mobilità Elettrica	53
2.2. Le Tipologie di Batterie agli Ioni di Litio Utilizzate nei Veicoli Elettrici	54
2.3. Le Batterie per Dispositivi Elettronici	55
2.4. Le Innovazioni nelle Batterie agli Ioni di Litio nei dispositivi elettronici	56
2.5. Le Energie Rinnovabili e Sistemi di Accumulo.....	58
2.6. Uso delle Batterie per lo Stoccaggio di Energia Rinnovabile	59
2.7. Le Innovazioni Tecnologiche e le sfide Future	60
2.8. Lo sviluppo di Nuove Chimiche per le Batterie	61
2.9. La Gestione delle Risorse e Riciclo.....	61
2.10. Applicazioni Residenziali e Commerciali.....	62

3. IL CASO DEL CILE	63
3.1 Il Cile come Mercato Emergente.....	65
3.2 Il Profilo Demografico e Geografico del Cile.....	70
3.3 Analisi del Settore Estrattivo-Minerario in Cile	74
3.3.1 Produzione Mineraria e Principali Risorse	76
3.3.2 Analisi delle esportazioni minerarie cilene	78
3.4 La storia dell'estrazione del litio cileno	81
3.5 Le principali Aree di Estrazione in Cile: Il Salar de Atacama.....	83
3.6 I metodi e i processi di estrazione e raffinazione del litio in Cile	85
3.7 Trasporto e Condizioni di Conservazione	87
3.7.1 Normative e Condizioni di Conservazione	88
3.8 I mercati di destinazione del litio cileno.....	89
3.8.1 Politiche Nazionali e Strategie di Valorizzazione	92
3.9 I principali attori del settore del litio cileno: SQM & Albermarle	93
3.9.1 SQM (Sociedad Química y Minera de Chile)	93
3.9.2 Albemarle Corporation.....	95
3.9.3 Strategie Aziendali e Impatto Economico	96
4. CONCLUSIONI.....	97

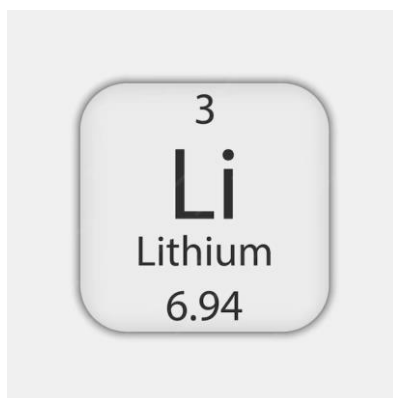
1. INTRODUZIONE

Il litio, conosciuto anche come “oro bianco”, ha assunto una rilevanza strategica di primaria importanza a livello globale, grazie al suo ruolo nello sviluppo di tecnologie innovative e sostenibili. Esso, grazie alle sue proprietà chimiche e fisiche uniche, è oggi essenziale per la produzione di batterie agli ioni di litio, che rappresentano il fulcro di molte tecnologie moderne. Le batterie agli ioni di litio sono fondamentali non solo per dispositivi elettronici di uso quotidiano come smartphone e laptop, ma anche, e soprattutto, per il settore emergente della mobilità elettrica. Le auto elettriche, viste come una delle soluzioni più promettenti per ridurre l'utilizzo dei combustibili fossili e contenere le emissioni di CO₂, hanno stimolato un aumento esponenziale della domanda di litio, che si prevede continuerà a crescere nei prossimi anni. Un altro settore in rapida espansione che contribuisce a questa crescente domanda è quello dei sistemi di accumulo di energia, necessari per gestire l'intermittenza delle fonti energetiche rinnovabili come l'energia solare ed eolica. Tali sistemi sono indispensabili per rendere le reti elettriche più efficienti e sostenibili, favorendo così la transizione energetica globale. Dal punto di vista dell'estrazione, il litio viene recuperato principalmente da due fonti: i depositi di salamoia e i minerali duri. Nei depositi di salamoia, presenti in aree desertiche come il Salar de Atacama in Cile, il litio viene estratto tramite un processo di evaporazione dell'acqua. Questo metodo è particolarmente efficiente nei deserti salini, dove il clima arido favorisce l'evaporazione naturale. L'estrazione da minerali duri, invece, prevede il trattamento di rocce contenenti spodumene, un minerale ricco di litio. Tale metodo è particolarmente diffuso in Australia, attualmente il primo produttore mondiale di litio. Oltre all'Australia, il Cile, la Cina e l'Argentina giocano un ruolo di primo piano nella produzione globale di litio, costituendo insieme il gruppo dei principali fornitori mondiali di questo prezioso materiale, che risponde alla crescente domanda dei mercati internazionali. Il Cile, in particolare, è il secondo produttore mondiale grazie alle sue vaste riserve di salamoia nel Salar de Atacama, uno dei siti estrattivi più ricchi e importanti al mondo. L'aumento della domanda di litio è trainato principalmente da due settori strategici: il crescente sviluppo della mobilità elettrica e l'espansione dei dispositivi elettronici alimentati da batterie ricaricabili. La produzione di veicoli elettrici è destinata a crescere esponenzialmente entro il prossimo decennio, con Paesi come la Cina e gli Stati Uniti che guidano questa rivoluzione, mentre l'Europa sta accelerando i propri piani di transizione verso forme di trasporto più sostenibili. La Cina, in particolare, è oggi il maggiore importatore di litio, assorbendo più del 50% delle esportazioni cilene per sostenere la sua industria di veicoli elettrici e la produzione di batterie agli ioni di litio. La crescita della domanda di litio non si ferma qui: l'espansione delle reti di accumulo di energia, necessarie per l'integrazione delle energie rinnovabili nelle reti elettriche, rappresenta un ulteriore fattore di spinta per il mercato di questo metallo. Passando alla struttura dell'elaborato, il primo capitolo analizza il mercato globale del litio, partendo dalle sue caratteristiche chimico-fisiche fino ad esaminare la storia della sua produzione e il ruolo svolto dai principali Paesi produttori:

Australia, Cile, Cina e Argentina. Viene inoltre esplorata la logistica mineraria legata all'estrazione e al trasporto del litio, che presenta sfide specifiche a causa delle località remote e delle condizioni climatiche difficili in cui spesso avviene l'estrazione. Il secondo capitolo si concentra sui motivi dell'aumento della domanda di litio, con un'analisi approfondita delle tecnologie che stanno guidando questa crescita, tra cui la mobilità elettrica, le batterie per dispositivi elettronici e i sistemi di accumulo di energia. Il terzo capitolo, infine, esamina nel dettaglio il ruolo del Cile, uno dei protagonisti principali del mercato globale del litio. Si esplora il processo estrattivo nel Salar de Atacama, il più importante sito estrattivo cileno, con un approfondimento sui metodi e le tecnologie di estrazione, le condizioni di trasporto e conservazione, e i principali mercati di esportazione del litio cileno, tra cui la Cina, il maggiore importatore. Vengono anche analizzate le due principali aziende che operano nel settore in Cile, SQM e Albermarle, descrivendo il loro impatto sul mercato globale e le strategie che stanno adottando per espandere la loro capacità produttiva. Altri spunti di riflessione che verranno trattati nell'elaborato includono l'impatto ambientale dell'estrazione del litio, soprattutto nelle aree aride come il Salar de Atacama, e le sfide sociali ed etiche legate a questa industria in rapida espansione. L'obiettivo principale di questo elaborato è fornire una panoramica esaustiva e dettagliata sull'evoluzione del mercato del litio, con un focus particolare sul Cile, un attore sempre più rilevante in un settore che continuerà a essere al centro delle dinamiche economiche globali nei prossimi anni.

1. IL MERCATO DEL LITIO

1.1. Le caratteristiche chimiche e fisiche del litio



Tab. 1 – Caratteristiche chimiche e fisiche del litio

<i>Proprietà</i>	<i>Valore</i>	<i>Dettagli aggiuntivi</i>
Densità	0.534 g/cm ³	Il litio è il metallo solido più leggero.
Colore	Bianco argenteo	Il colore bianco argenteo lo distingue dagli altri metalli alcalini.
Struttura	Morbida	La sua morbidezza è tipica dei metalli alcalini.
Punto di fusione	180.5 °C	Basso punto di fusione per un metallo, è malleabile a temperature basse.
Calore specifico	3.58 J/gK	Ha uno dei calori specifici più alti tra i metalli.
Conducibilità termica	84.8 W/mK	Alta conducibilità termica, superiore a molti altri metalli.

Fonte: Brown, LeMay, Bursten, Murphy, e Woodward (2023), *Chemistry: The Central Science*

Il litio, posizionato al primo posto nella colonna degli alcali¹ nella tavola periodica, è noto per essere il metallo solido più leggero, con una densità di soli 0,534 g/cm³, un aspetto che lo distingue significativamente dagli altri elementi. Il suo colore bianco argenteo e la struttura morbida sono caratteristiche distintive, così come il suo punto di fusione relativamente basso di circa 180.5 °C, che lo rende particolarmente malleabile a temperature relativamente basse.

¹ Gli alcali rappresentano una classe di composti chimici che presentano notevoli proprietà basi. Essi includono i metalli situati nel primo gruppo della tavola periodica, quali litio, sodio, potassio, rubidio, cesio e francio. Questi elementi si caratterizzano per avere un solo elettrone nel loro livello energetico più esterno, il che facilita la formazione di ioni positivi monovalenti (cationi). In soluzione acquosa, gli alcali reagiscono con l'acqua liberando idrossido, conferendo alla soluzione proprietà altamente basi.

La sua spiccata reattività² è illustrata dalla sua posizione elevata nella serie elettrochimica, dove è più reattivo di elementi come il sodio e il potassio. Una delle proprietà più interessanti del litio è il suo alto calore specifico³, che raggiunge 3,58 J/gK, rendendolo uno dei metalli con il più alto calore specifico. Questo lo rende estremamente utile nell'immagazzinamento e nella trasmissione di energia termica, una proprietà che ha trovato applicazione in sistemi di trasferimento di calore per applicazioni sia terrestri che spaziali. Dal punto di vista della conduzione termica, il litio si distingue anche per la sua elevata conducibilità termica⁴ di 84,8 W/mK, superiore a quella di molti altri metalli alcalini, il che lo rende ideale per applicazioni che richiedono una rapida dissipazione del calore. La sua bassa viscosità e densità contribuiscono a rendere il litio un materiale eccellente per l'utilizzo in leghe leggere, particolarmente nell'industria aerospaziale, dove la riduzione del peso è una priorità assoluta. Le reazioni chimiche del litio sono altrettanto notevoli. La sua reazione con l'ossigeno non produce solo ossido di litio Li_2O , ma anche perossido di litio Li_2O_2 sotto condizioni specifiche, mostrando la sua capacità di partecipare a reazioni redox⁵ variegata. La formazione di nitruro di litio Li_3N , un solido nero a temperatura ambiente, è una proprietà unica tra i metalli alcalini e sottolinea la reattività del litio con componenti come l'azoto, che normalmente non formano composti direttamente con i metalli.

Tab. 2 – Reazioni chimiche del litio

<i>Reazione</i>	<i>Prodotti</i>	<i>Dettagli aggiuntivi</i>
<i>Con ossigeno</i>	Ossido di litio, perossido di litio	Produce sia ossido di litio (Li_2O) che perossido (Li_2O_2).
<i>Con azoto</i>	Nitruro di litio	Forma nitruro di litio (Li_3N), un solido nero.
<i>Con acqua</i>	Idrogeno gassoso e calore	Reazione esotermica intensa.
<i>Con carbonio</i>	Carburo di litio	Forma carburo di litio (Li_2C_2).
<i>Con alogeni</i>	Alogenuri di litio	Gli alogenuri sono colorati e luminosi.

² La reattività chimica descrive la propensione di una sostanza a impegnarsi in reazioni chimiche, determinata da fattori come configurazione elettronica, condizioni ambientali e catalizzatori.

³ Il calore specifico è una proprietà termica che indica la quantità di calore necessaria per aumentare di un grado Celsius la temperatura di un grammo di una sostanza. Misura quindi la capacità termica per unità di massa e riflette la capacità di un materiale di immagazzinare energia termica.

⁴ La conducibilità termica quantifica la capacità di un materiale di trasferire calore. Si misura in watt per metro per kelvin ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) e indica quanta energia termica un materiale può trasmettere attraverso di sé in presenza di un gradiente di temperatura.

⁵ Una reazione redox è un processo chimico in cui una sostanza cede elettroni (ossidazione) e un'altra li acquista (riduzione).

<i>In composti organici</i>	Acetiluri di litio, reazioni con alcheni	Usato in reazioni organiche complesse, come la sintesi della vitamina A.
-----------------------------	--	--

Fonte: *Fonte: Brown, LeMay, Bursten, Murphy, e Woodward (2023), Chemistry: The Central Science*

La reattività del litio con l'acqua è notoriamente pericolosa, producendo idrogeno gassoso e calore, un fenomeno che può essere sfruttato, ma richiede cautela a causa della sua natura esotermica⁶ intensa. Le sue interazioni con il carbonio portano alla formazione di carburo di litio Li_2C_2 , e la sua reattività con gli alogeni produce alogenuri di litio luminosi e colorati, che sono fondamentali in molte applicazioni chimiche e industriali. In campo organico, la capacità del litio di formare acetiluri di litio e di partecipare a reazioni di addizione con alcheni offre percorsi importanti per la sintesi di composti organici complessi, tra cui la vitamina A, che è cruciale per molte applicazioni biomediche. Le proprietà sopracitate non solo confermano il ruolo unico del litio nel panorama degli elementi chimici ma aprono anche la porta a una vasta gamma di applicazioni, dalla sintesi chimica avanzata all'ingegneria aerospaziale, che sfruttano la sua leggerezza, reattività e capacità termiche. Tale versatilità fa del litio una risorsa inestimabile nella scienza e nella tecnologia moderna.

1.2. Le applicazioni del litio

Il litio, spesso definito come "Oro Bianco", rappresenta una risorsa inestimabile nell'ambito della chimica moderna e delle tecnologie avanzate. Esso è diventato fondamentale per il settore energetico, specialmente grazie al suo ruolo cruciale nello sviluppo e nella produzione di batterie ricaricabili, che alimentano una vasta gamma di dispositivi elettronici portatili e veicoli elettrici. La rilevanza del litio è stata ulteriormente evidenziata dal riconoscimento a livello internazionale attraverso il Premio Nobel per la Chimica⁷ assegnato a John Goodenough⁸, Stanley Whittingham⁹ e Akira Yoshino¹⁰ per il loro lavoro pionieristico sulle batterie agli ioni

⁶ Una reazione esotermica è una reazione chimica che libera energia in forma di calore verso l'esterno. Il calore si genera perché l'energia complessiva dei prodotti è minore rispetto a quella dei reagenti. Tale tipo di reazione è comune in vari processi come la combustione, il congelamento dell'acqua e la fabbricazione del cemento.

⁷ Si fa riferimento al Premio Nobel per la Chimica del 2019.

⁸ John Goodenough, negli anni '80, ha scoperto che utilizzando l'ossido di cobalto come catodo poteva raddoppiare il potenziale delle batterie al litio, rendendole più efficienti e capaci di immagazzinare una quantità maggiore di energia.

⁹ Durante gli anni '70, Whittingham ha sviluppato la prima batteria al litio funzionale. Ha scoperto un materiale con cui si poteva realizzare un catodo, il disolfuro di titanio, che poteva ospitare gli ioni di litio, sfruttando l'alta energia del litio per produrre elettricità.

¹⁰ Negli anni '90, Akira Yoshino ha perfezionato ulteriormente la tecnologia rendendola commercialmente praticabile. Yoshino ha sostituito il litio metallico con ioni di litio, che sono più sicuri e più stabili, portando alla creazione delle moderne batterie agli ioni di litio.

di litio. La domanda di litio è cresciuta esponenzialmente, stimolata non solo dalla proliferazione di dispositivi tecnologici ma anche dall'adozione globale dei veicoli elettrici come soluzione sostenibile per la riduzione delle emissioni di carbonio. I mercati asiatici ed europei, in particolare, hanno visto una rapida espansione nel consumo di litio, rispondendo alle politiche energetiche che favoriscono l'innovazione e la sostenibilità. Le applicazioni del litio si estendono ben oltre l'ambito delle batterie. L'idrossido di litio, ad esempio, è un componente essenziale nella produzione di grassi lubrificanti, utilizzati per garantire prestazioni ottimali di macchinari in condizioni di temperature estreme. Tali grassi sono vitali in settori industriali che richiedono una lubrificazione affidabile e duratura, come nelle industrie minerarie, metallurgiche e di trasporto pesante. Inoltre, il carbonato di litio è impiegato nell'industria della ceramica per migliorare le proprietà fisiche dei materiali ceramici, come la durata e la resistenza al calore, rendendoli ideali per prodotti che richiedono elevata affidabilità e performance sotto sforzo. In campo medico, il carbonato di litio svolge un ruolo critico come stabilizzatore dell'umore, essendo uno dei trattamenti più efficaci per disturbi come il disturbo bipolare, grazie alla sua capacità di moderare le fluttuazioni dell'umore. Il cloruro e bromuro di litio trovano applicazione in sistemi di condizionamento dell'aria e in altre tecnologie di controllo del clima, dove le loro proprietà igroscopiche¹¹ consentono di regolare efficacemente l'umidità ambientale. Tali soluzioni sono fondamentali in ambienti che richiedono un controllo rigoroso delle condizioni atmosferiche, come in ospedali, laboratori e impianti di produzione alimentare. Le leghe di litio con alluminio, cadmio, rame e manganese sono impiegate per la produzione di componenti aerospaziali. La combinazione di leggerezza e resistenza meccanica del litio rende queste leghe particolarmente adatte per l'industria aerospaziale, dove il ridotto peso dei materiali può significativamente migliorare l'efficienza del carburante e le prestazioni generali degli aeromobili.

¹¹ Le proprietà igroscopiche si riferiscono alla capacità di una sostanza di assorbire e trattenere l'umidità dall'ambiente circostante, solitamente sotto forma di vapore acqueo.

1.3. Il litio nell'ambiente

Fig. 1 – Il Salar de Atacama in Cile



Fonte: Infoaut, 2021

Dal punto di vista ambientale, il litio è un elemento di moderata abbondanza nella crosta terrestre. Con una concentrazione media¹² di 20 mg per kg di crosta terrestre, il litio è più abbondante di molti altri metalli utilizzati industrialmente, come il nichel e il rame. Questa moderata abbondanza lo rende accessibile ma richiede processi di estrazione specifici a causa della sua elevata reattività chimica. Infatti, il litio non è mai presente in natura in forma pura ma è sempre combinato in vari composti minerali o disciolto in acque salmastre. Negli Stati Uniti, le principali operazioni di estrazione del litio si concentrano nelle saline di Nevada, dove la salamoia, ricca di minerali, viene pompata in superficie e lasciata evaporare per permettere l'estrazione del litio. Tuttavia, è il Cile a dominare il panorama globale della produzione di litio, sfruttando le estese e ricche riserve di salamoia nel deserto di Atacama¹³, una delle zone più aride del mondo. Il metodo di estrazione in quest'area, che sfrutta l'evaporazione naturale in grandi vasche, è sia economico che produttivo, contribuendo significativamente alla posizione del Cile come uno dei maggiori produttori mondiali di litio. La produzione globale di litio, che attualmente si aggira intorno alle 40.000 tonnellate annue, è stimata ben al di sotto della capacità

¹² La concentrazione media, in questo contesto, si riferisce alla quantità media di un elemento, in questo caso il litio, presente in una determinata massa o volume di materiale, qui la crosta terrestre.

¹³ Il deserto di Atacama in Cile è considerato il luogo più arido del mondo, con alcune zone che non hanno registrato piogge per decenni. Situato tra la catena delle Ande e l'oceano Pacifico, si estende per circa 1.600 km lungo la costa settentrionale del Cile.

delle riserve conosciute, che ammontano a circa 7 milioni di tonnellate. Questo suggerisce che le risorse attuali di litio sono più che sufficienti per coprire la domanda per molti decenni, considerando anche le attuali tecnologie e tassi di consumo. Dal punto di vista ecologico, il litio presenta aspetti interessanti legati alla sua interazione con l'ambiente naturale. Le piante, per esempio, hanno la capacità di assorbire il litio dal suolo, ma le concentrazioni di questo elemento possono variare significativamente tra le diverse specie vegetali. Questo comportamento bioaccumulativo pone questioni importanti riguardo alle implicazioni ecologiche del litio, specialmente in aree vicino a siti di estrazione e lavorazione, dove la concentrazione di litio può essere significativamente più alta. L'accumulo di litio nelle piante e negli ecosistemi circostanti può avere effetti sia benefici sia nocivi. Ad esempio, studi hanno mostrato che il litio può avere effetti positivi sullo stress ossidativo in alcune piante, migliorando la loro resistenza a condizioni ambientali avverse. Tuttavia, concentrazioni elevate possono essere tossiche per altre specie vegetali, compromettendo la crescita e il funzionamento degli ecosistemi. Tale aspetto evidenzia la necessità di un monitoraggio attento e di una gestione sostenibile delle risorse di litio, per minimizzare l'impatto ambientale e garantire la salute degli ecosistemi.

1.4 Gli effetti del litio sulla salute

L'uso del litio, pur essendo vitale per numerosi progressi tecnologici, è associato a rischi significativi per la salute e la sicurezza che non possono essere sottovalutati. La natura altamente reattiva e infiammabile del litio impone rigide precauzioni durante il suo utilizzo e stoccaggio. Il metallo può infatti incendiarsi o esplodere quando viene a contatto con l'acqua o esposto all'aria umida, a causa della sua tendenza a reagire violentemente con l'ossigeno e l'umidità. L'inalazione di polveri o vapori di litio rappresenta una seria minaccia per il sistema respiratorio. Studi hanno dimostrato che l'esposizione a polveri sottili di litio può provocare irritazione delle vie aeree, tosse e difficoltà respiratorie, a volte con sintomi ritardati che emergono solo diverse ore dopo l'esposizione. In ambienti lavorativi, queste esposizioni sono particolarmente pericolose e possono richiedere interventi medici immediati. Il contatto con la pelle o gli occhi è un altro rischio significativo, poiché il litio può causare ustioni chimiche gravi. Tali incidenti possono verificarsi non solo in contesti industriali ma anche durante l'utilizzo quotidiano di dispositivi contenenti litio, come batterie al litio che possono surriscaldarsi e rompersi. Inoltre, l'ingestione accidentale di litio può causare nausea, vomito,

dolore addominale e in casi estremi, shock o collasso, necessitando di un pronto intervento medico. L'esposizione acuta può anche portare a condizioni più gravi come l'edema polmonare, una condizione potenzialmente fatale in cui il liquido si accumula nei polmoni, ostacolando la respirazione e richiedendo trattamento d'emergenza. Le reazioni del litio con altri composti, come ossidanti forti, acidi e vari materiali inerti come il cemento, la sabbia e l'amianto, possono ulteriormente complicare le situazioni di emergenza, producendo vapori tossici e aumentando il rischio di incendi ed esplosioni. Tali rischi enfatizzano la necessità di standard di sicurezza rigorosi e specifici protocolli di gestione dei rischi per la manipolazione del litio. È essenziale che le industrie che utilizzano litio implementino misure di sicurezza robuste, formazione adeguata per i lavoratori, e attrezzature di protezione individuale per minimizzare i pericoli associati a questo metallo. Le misure preventive includono la corretta ventilazione dei luoghi di lavoro, l'uso di contenitori di stoccaggio sicuri per prevenire reazioni inaspettate, e protocolli di emergenza ben definiti per gestire eventuali incidenti in modo efficace.

1.5 Gli effetti ambientali del litio

L'impatto ambientale del litio e dei suoi composti chimici, sebbene determinanti per l'industria moderna, necessita di una gestione attenta per mitigare i rischi ecologici potenziali. Quando il litio metallico entra in contatto con elementi presenti nell'atmosfera, si verificano reazioni che portano alla formazione di diversi composti, tra cui l'idrossido di litio (LiOH), il carbonato di litio (Li₂CO₃) e il nitrato di litio (LiNO₃). Ognuno di questi composti ha impatti e caratteristiche specifiche che possono influenzare l'ambiente in modi diversi.

- **Idrossido di litio (LiOH):** Questo composto è particolarmente noto per la sua elevata corrosività. Se rilasciato nell'ambiente, l'idrossido di litio può alterare significativamente il pH dell'acqua e del suolo, portando a conseguenze deleterie per gli organismi acquatici e terrestri. L'aumento del pH può compromettere la capacità degli organismi di regolare efficacemente i processi metabolici essenziali, risultando in stress, morbilità o mortalità.
- **Carbonato di litio (Li₂CO₃):** Anche se meno reattivo dell'idrossido di litio, il carbonato di litio può contribuire all'alcalinizzazione¹⁴ dei corpi d'acqua, se scaricato

¹⁴Il litio, se scaricato in quantità significative in un corpo d'acqua, può aumentare la concentrazione di ioni basici (come gli ioni carbonato), favorendo quindi un innalzamento del pH e contribuendo a rendere l'acqua meno acida e più alcalina.

in quantità significative. Questo cambiamento nel pH dell'acqua può influenzare la biodiversità acquatica, danneggiando specie sensibili e alterando le catene alimentari e le dinamiche dell'ecosistema.

- **Nitrato di litio (LiNO₃):** Il nitrato di litio, pur essendo meno comune come inquinante rispetto agli altri composti, può decomporre rilasciando ammoniaca quando viene esposto all'umidità, contribuendo ulteriormente all'aumento del pH e possibilmente a fenomeni di eutrofizzazione.

La gestione sostenibile del litio e dei suoi composti richiede l'attuazione di misure di controllo e di sicurezza stringenti, specialmente in contesti industriali dove la probabilità di rilascio è maggiore. È fondamentale che le operazioni che coinvolgono litio seguano protocolli rigorosi per lo stoccaggio, la manipolazione e lo smaltimento di questi materiali. Ad esempio, l'adozione di sistemi di contenimento secondario e di trattamento delle acque reflue può ridurre il rischio di scarichi accidentali nei corpi idrici. Inoltre, la ricerca continua sulla riduzione dell'impatto ambientale del litio è essenziale. Gli studi recenti includono lo sviluppo di nuove tecnologie di riciclaggio del litio dalle batterie esauste e l'ottimizzazione dei processi di estrazione e di produzione per minimizzare i rifiuti e le emissioni nocive. Infine, la legislazione ambientale e le normative internazionali giocano un ruolo chiave nel garantire che le pratiche industriali relative al litio non solo aderiscano agli standard di sicurezza ma anche ai principi di sostenibilità, contribuendo a proteggere gli ecosistemi naturali dagli effetti nocivi di questi composti chimici. La cooperazione globale e la conformità normativa sono quindi componenti indispensabili per mitigare l'impatto ambientale del litio e promuovere un utilizzo responsabile di questa risorsa vitale.

1.6 La storia dell'estrazione del litio

La storia dell'estrazione del litio è strettamente legata all'evoluzione tecnologica e industriale degli ultimi due secoli. Sebbene la scoperta dell'elemento risalga al 1817, quando il chimico svedese Johan August Arfvedson lo individuò per la prima volta, fu solo diversi decenni dopo, nel 1855, che il litio venne isolato in forma pura grazie agli sforzi combinati di Robert Bunsen e Augustus Matthiessen. L'elettrolisi¹⁵ del cloruro di litio utilizzata per l'isolamento

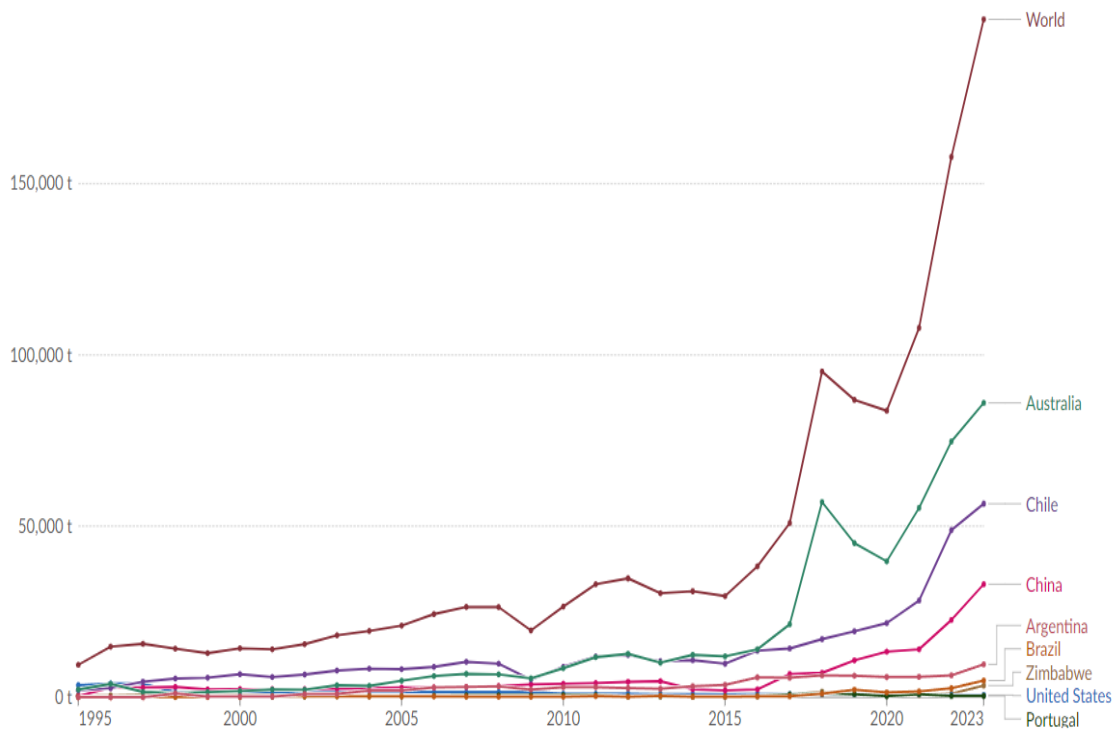
¹⁵ L'elettrolisi del cloruro di litio è un processo chimico in cui il cloruro di litio fuso viene decomposto in litio metallico e gas cloro mediante l'applicazione di una corrente elettrica. Questo avviene in una cella elettrolitica dove il litio si deposita al catodo e il cloro si libera all'anodo.

rappresentava un progresso tecnologico significativo per l'epoca. Durante il XIX secolo, il litio trovò impiego principalmente nell'industria della ceramica e del vetro. Le sue proprietà chimiche uniche, come la capacità di abbassare il punto di fusione dei materiali, ne fecero un elemento prezioso per la produzione di smalti e vetri speciali. Tuttavia, a quel tempo, l'estrazione del litio avveniva su scala ridotta e non esistevano ancora grandi operazioni minerarie dedicate alla sua estrazione. La vera svolta nell'estrazione del litio avvenne all'inizio del XX secolo, quando vennero scoperti grandi giacimenti, soprattutto negli Stati Uniti, come nel caso del Nevada. Qui, le saline e i depositi di spodumene¹⁶, una roccia ricca di litio, iniziarono a essere sfruttati su larga scala. Durante la metà del XX secolo, l'estrazione del litio divenne sempre più importante per soddisfare le esigenze dell'industria bellica, in particolare con l'espansione della produzione di armi nucleari e razzi. Il litio, infatti, giocava un ruolo essenziale nella produzione di combustibili per razzi e nei reattori nucleari grazie alla sua leggerezza e resistenza al calore. Negli anni '50 e '60, il litio iniziò a essere utilizzato anche in altre applicazioni industriali, tra cui la produzione di alluminio e nella chimica organica, dove veniva impiegato come catalizzatore. Tuttavia, il vero cambiamento nel mercato del litio avvenne con l'invenzione e la diffusione delle batterie agli ioni di litio negli anni '70 e '80. Questa tecnologia rivoluzionaria, sviluppata da ricercatori come John B. Goodenough, Stanley Whittingham e Akira Yoshino, trasformò il litio in un elemento determinante per l'elettronica moderna. Le batterie agli ioni di litio, grazie alla loro elevata densità energetica e la capacità di essere ricaricate molte volte senza significative perdite di capacità, divennero rapidamente la tecnologia di riferimento per dispositivi portatili come laptop, telefoni cellulari e, successivamente, veicoli elettrici. L'estrazione del litio, quindi, subì un'ulteriore crescita, con nuovi giacimenti scoperti e sfruttati in tutto il mondo, in particolare in Sud America (come nel triangolo del litio tra Cile, Argentina e Bolivia) e in Australia. Oggi, il litio è al centro della transizione energetica globale, con una domanda in costante aumento grazie alla diffusione dei veicoli elettrici e allo sviluppo di tecnologie di stoccaggio energetico per le energie rinnovabili.

¹⁶ Lo spodumene è un minerale appartenente al gruppo dei pirosseni, noto per essere una delle principali fonti di litio. Si presenta generalmente in cristalli prismatici e viene estratto principalmente in depositi pegmatitici. Il suo elevato contenuto di litio lo rende un minerale cruciale per la produzione di batterie agli ioni di litio, essenziali per il settore della mobilità elettrica e per dispositivi elettronici.

1.7 Storia e Crescita della Produzione di Litio

Fig. 2 – Andamento della produzione di litio (1995-2023)



Fonte: Bloomberg

La produzione di litio ha visto un'evoluzione notevole dalla metà del XX secolo fino a oggi, adattandosi alle richieste tecnologiche crescenti. Nei primi anni del Novecento, l'estrazione di litio era limitata, con gli Stati Uniti come produttore dominante fino agli anni '90, grazie ai giacimenti nel Nevada. In seguito, il Cile emerse come principale produttore mondiale, sfruttando i ricchi depositi di litio nel Salar de Atacama. Durante questo periodo, il litio era impiegato principalmente nell'industria del vetro, della ceramica e in alcune applicazioni militari, tra cui i propellenti per razzi. La svolta nella produzione di litio è avvenuta con la crescita della domanda di batterie agli ioni di litio, introdotte negli anni '70 e affermatesi rapidamente negli anni '90 e 2000 grazie all'uso in dispositivi portatili e, più recentemente, nei veicoli elettrici. La necessità di fonti energetiche alternative ha fatto salire esponenzialmente la domanda di litio, soprattutto per le batterie ricaricabili, che oggi rappresentano oltre il 74% del consumo totale di litio, rispetto al 23% del 2010. Di conseguenza, la produzione globale di litio è quadruplicata dal 2010, passando da circa 25.000 tonnellate a oltre 105.000 tonnellate nel 2021, con stime che raggiungono 180.000 tonnellate nel 2023.

Tab. 3– Produzione globale di litio puro (tonnellate)

ANNO	PRODUZIONE GLOBALE DI LITIO PURO (TONNELLATE)
1995	9.500
2000	12.000
2010	25.000
2015	40.000
2020	86.300
2021	105.000
2023	180.000 (stima)

Fonte: World Economic Forum

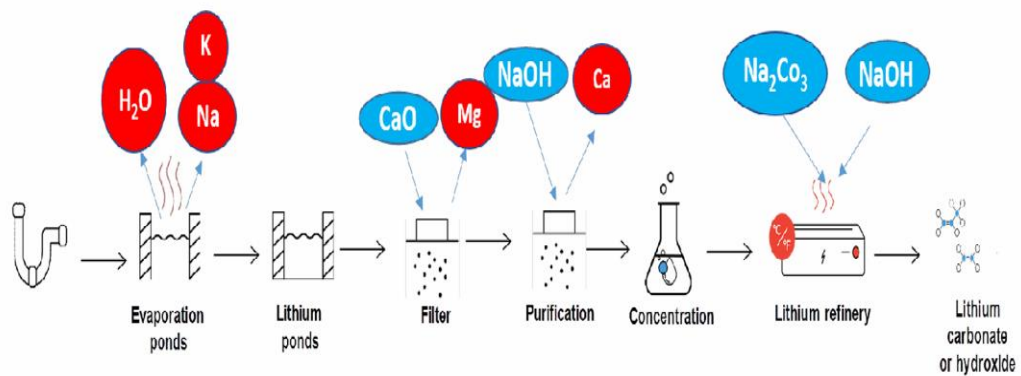
Attualmente, i principali produttori di litio sono Australia, Cile e Cina, che insieme costituiscono circa il 90% della produzione mondiale. In particolare, l’Australia estrae litio da miniere di spodumene, mentre il Cile sfrutta le saline, depositi di sali di litio, il cui processo di estrazione è meno invasivo ma più lento. Le previsioni indicano che la domanda di litio aumenterà ulteriormente, raggiungendo circa 1,5 milioni di tonnellate entro il 2025 e oltre 3 milioni entro il 2030, principalmente per soddisfare il fabbisogno delle batterie dei veicoli elettrici e delle infrastrutture di stoccaggio per energie rinnovabili. Questa crescita senza precedenti della produzione e della domanda solleva interrogativi sulla sostenibilità dell’estrazione di litio, nonché sulle capacità produttive globali, che necessitano di aumenti significativi per evitare deficit di approvvigionamento nei prossimi anni.

1.8 I processi di estrazione del litio

L’estrazione del litio rappresenta una delle attività minerarie più importanti del XXI secolo, data la crescente domanda di questo metallo per la produzione di batterie al litio, fondamentali per veicoli elettrici, dispositivi elettronici portatili e sistemi di stoccaggio di energia rinnovabile. Il litio può essere estratto da due principali fonti: le salamoie, ovvero soluzioni saline concentrate, e i minerali solidi come lo spodumene, la petalite e la lepidolite. Ciascuna di queste fonti richiede tecnologie e processi distinti, con vantaggi e svantaggi legati alla resa, ai costi operativi, e all’impatto ambientale.

Fig. 3 – Il processo di estrazione del litio dalle salamoie

Lithium extraction from brine



Fonte: Bloomberg

Fig. 4 – Le salamoie del Salar de Atacama in Cile



Fonte: Investing.com

Le salamoie rappresentano una delle principali risorse di litio a livello mondiale. Queste si trovano in aree geografiche specifiche, principalmente nelle regioni aride dell'America Latina,

conosciute come il “Triangolo del Litio”, che comprende il Salar de Atacama¹⁷ in Cile, il Salar de Uyuni¹⁸ in Bolivia, e il Salar del Hombre Muerto¹⁹ in Argentina. Tali aree contengono enormi riserve di salamoie ricche di litio, che si formano grazie all’evaporazione naturale dell’acqua nelle depressioni salate, lasciando dietro di sé una soluzione concentrata di sali, tra cui il cloruro di litio. L’estrazione avviene pompando la salamoia in grandi vasche di evaporazione, dove il sole e il vento contribuiscono a far evaporare naturalmente l’acqua, aumentando così la concentrazione di litio. Questo processo può richiedere da diversi mesi a un paio di anni (generalmente da 12 a 18 mesi), a seconda delle condizioni climatiche e delle caratteristiche specifiche della salamoia. Una volta raggiunta una concentrazione sufficiente, il litio viene estratto tramite processi chimici che possono includere l’aggiunta di reagenti per precipitare il litio sotto forma di carbonato di litio, un composto che può essere successivamente raffinato in idrossido di litio, particolarmente richiesto per la produzione di batterie ad alte prestazioni. La sostenibilità del processo di estrazione dalle salamoie è però oggetto di dibattito. Da un lato, l’evaporazione solare è una tecnica a basso costo energetico, ma dall’altro richiede grandi quantità di acqua in regioni già soggette a scarsità idrica, il che può avere impatti devastanti sugli ecosistemi locali e sulle comunità indigene che dipendono da queste risorse per la loro sopravvivenza. Studi recenti hanno evidenziato come l’intensa attività estrattiva nel Salar de Atacama stia già provocando una riduzione dei livelli delle acque sotterranee, con conseguenze potenzialmente irreversibili per la fauna e la flora cilena.

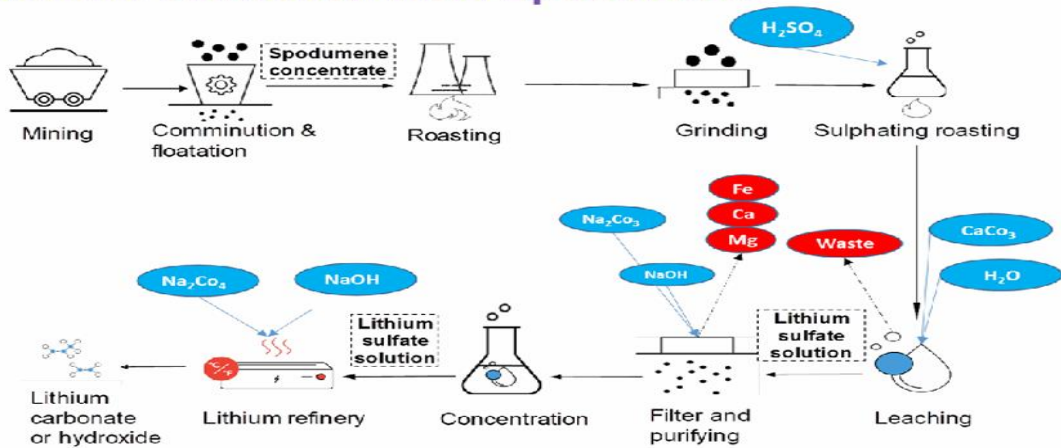
¹⁷ Il Salar de Atacama, situato nel deserto di Atacama in Cile, è una delle più grandi riserve di litio al mondo, con alte concentrazioni di salamoie ricche di litio.

¹⁸ Il Salar de Uyuni, in Bolivia, è la più vasta distesa salina del mondo e contiene riserve significative di litio, rendendolo una risorsa strategica per il paese.

¹⁹ Il Salar del Hombre Muerto, situato in Argentina, è noto per la sua elevata qualità delle salamoie e per essere uno dei principali siti di estrazione del litio nel paese.

Fig. 5 – Il processo di estrazione del litio dallo spodumene

Lithium extraction from spodumene



Fonte: Bloomberg

Fig. 6 – Lo spodumene

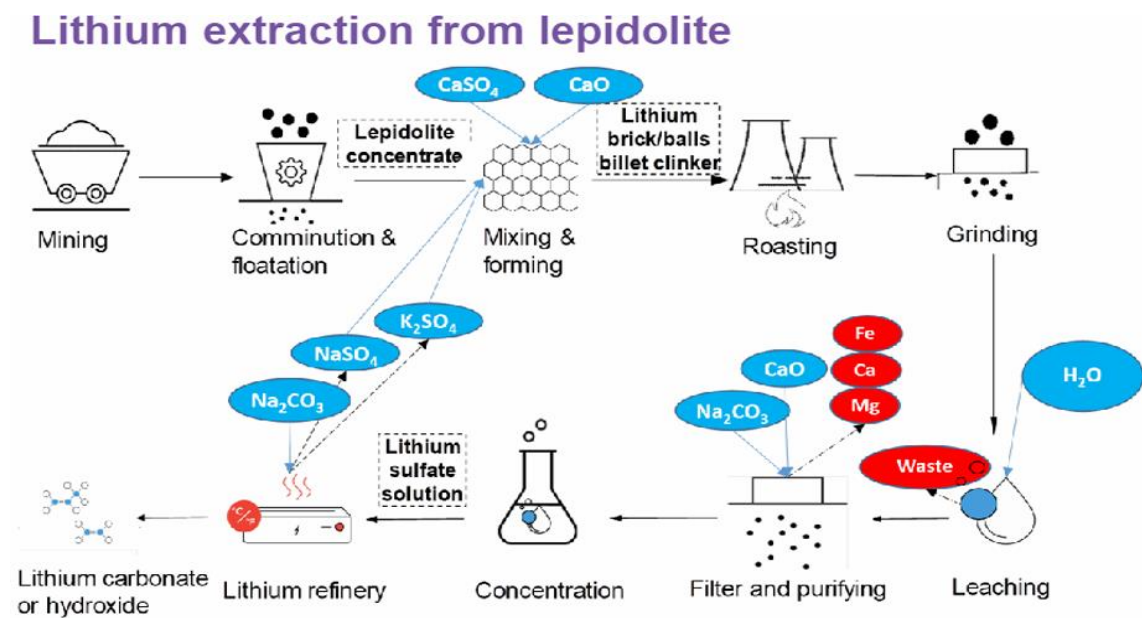


Fonte: Wikipedia

L'estrazione del litio da minerali solidi come lo spodumene, la petalite e la lepidolite rappresenta l'alternativa principale alle salamoie. Lo spodumene è un silicato di litio e alluminio, e viene estratto principalmente in Australia, che è il maggior produttore mondiale di questo minerale. Il processo di estrazione inizia con l'estrazione del minerale attraverso tecniche minerarie tradizionali, seguita dalla frantumazione e macinazione del minerale per ridurlo a dimensioni più gestibili. Successivamente, il minerale frantumato viene sottoposto a

processi di concentrazione tramite flottazione²⁰, dove il litio viene separato dagli altri componenti minerali grazie all'utilizzo di agenti chimici che ne aumentano la densità. Una volta ottenuto un concentrato di spodumene, questo viene trattato termicamente in forni a temperature che possono superare i 1000°C, un processo noto come “torrefazione”. Il trattamento termico trasforma il litio in una forma solubile, tipicamente come ossido di litio, che viene poi lisciviato²¹ con acido solforico per produrre solfato di litio. Da qui, il solfato di litio può essere convertito in carbonato di litio o idrossido di litio attraverso ulteriori processi chimici. L'estrazione da rocce dure è un processo dispendioso in termini energetici e richiede infrastrutture più complesse rispetto all'estrazione da salamoie, ma consente di ottenere una maggiore purezza del prodotto finale.

Fig. 7– Il processo di estrazione del litio dalla lepidolite.



Fonte: Bloomberg

²⁰ La flottazione è un processo di concentrazione mineraria utilizzato per separare i minerali desiderati, come il litio presente nello spodumene, dagli altri componenti indesiderati. Nel contesto dell'estrazione dello spodumene, il minerale frantumato viene mescolato con acqua e agenti chimici specifici che si legano al litio, modificandone le proprietà di superficie. Grazie a questi agenti chimici, il litio diventa idrofobo e si attacca alle bolle d'aria create nel liquido. Le bolle, arricchite di particelle di litio, salgono in superficie formando una schiuma che viene poi raccolta, separando così il litio dai minerali meno densi che rimangono sul fondo.

²¹La lisciviazione è un processo chimico in cui un solido, come un minerale, viene trattato con un liquido solvente per estrarre i componenti solubili, come il litio. Questo metodo è comunemente usato per separare il litio da altri elementi presenti nel minerale.

Fig. 8- La lepidolite



Fonte: Wikipedia

La lepidolite, un altro minerale che contiene litio, è meno comune dello spodumene e ha una composizione chimica più complessa, il che rende il processo di estrazione più difficile e costoso. Tuttavia, la lepidolite è considerata una risorsa importante soprattutto in quei paesi che non dispongono di vaste risorse di spodumene o salamoie, come la Cina. L'estrazione del litio dalla lepidolite segue un processo simile a quello dello spodumene, ma con alcune variazioni nei reagenti chimici utilizzati e nelle condizioni operative necessarie per ottenere il prodotto finale.

1.9 Il direct lithium extraction (DLE)

Fig. 9 – Il processo DLE

Select direct lithium extraction technologies

Technology	Description
Adsorption	A process where lithium chloride (LiCl) molecules – in a heated brine – are physically adsorbed on a solid material: the adsorbent. Today, most adsorbents are based on aluminate-based materials. Freshwater is used to free the LiCl molecules from the adsorbent.
Ion-exchange	A process similar to adsorption but lithium ions are chemically adsorbed onto a solid ion-exchange media. The lithium ions are then stripped from the media using a dilute acid: the positive ions in the acid (H+) are exchanged with the lithium ions (Li+). No heat is required for this process.
Membrane filtration	A continuous process that uses a single or series of lithium-selective membrane(s) to extract lithium ions from brine. Pressure is usually the driving force of the extraction. Ultrafiltration, microfiltration, nanofiltration, and reverse osmosis are the key types of membrane filtration with reverse osmosis being the most restrictive.
Solvent extraction	A process that is similar to adsorption but uses a liquid organic solvent to extract lithium ions or LiCl molecules directly from brine. The loaded solvent is mixed with freshwater to free lithium in its given form. The chosen solvent needs to have different solubility characteristics for the process to work.
Selective electrodialysis	A process that is similar to membrane filtration which uses an electrical field to selectively remove lithium ions from brine.
Electrochemical ion pumping	A process that uses an electrochemical device to drive reversible reactions at the electrodes. Lithium selectivity is dependent on the electrode material as the electrodes take up and release lithium ions as the reactions take place. No additional chemical reagents are required.

Fonte: Bloomberg

Negli ultimi anni, l'industria ha visto l'emergere di nuove tecnologie di estrazione del litio, volte a migliorare l'efficienza dei processi e ridurre l'impatto ambientale. Una delle innovazioni più promettenti è rappresentata dall'estrazione diretta del litio (DLE - Direct Lithium Extraction). Il Direct Lithium Extraction (DLE) rappresenta una delle tecnologie emergenti più innovative nel settore minerario, con un potenziale significativo per trasformare il processo di estrazione del litio. Tradizionalmente, il litio è stato estratto attraverso due principali metodi: l'estrazione mineraria convenzionale e l'evaporazione solare. Entrambi questi processi, sebbene efficaci, comportano significativi impatti ambientali e richiedono un tempo considerevole. Il DLE si propone come un'alternativa più efficiente, sostenibile e potenzialmente meno impattante. Essa è una tecnologia che consente di estrarre litio direttamente dalle salamoie senza dover passare attraverso il processo di evaporazione solare. Si basa su tecniche avanzate come lo scambio ionico, l'assorbimento, l'estrazione chimica o elettrochimica per rimuovere selettivamente il litio dalle salamoie, lasciando indietro gli altri componenti indesiderati. A differenza dell'evaporazione solare, che richiede vaste superfici di terreno e un periodo che può durare fino a 18 mesi, il DLE consente di ridurre notevolmente il tempo necessario per l'estrazione del litio, con il potenziale di estrarre il metallo in poche ore o giorni.

Tab. 4 – Confronto tra DLE e i metodi tradizionali di estrazione del litio

Aspetto	DLE (Direct Lithium Extraction)	Metodi Tradizionali
Impatto ambientale	Consumo d'acqua ridotto (fino al 90%)	Elevato consumo d'acqua
Efficienza temporale	Tempi di estrazione brevi (ore/giorni)	Tempi lunghi (fino a 18 mesi)
Versatilità	Applicabile a salamoie con bassa concentrazione	Richiede alte concentrazioni
Impatto territoriale	Minore utilizzo di terreno	Richiede vaste aree per evaporazione
Produttività	Maggiore produttività a breve termine	Produttività variabile

Fonte: Lilac Solutions - White Paper: Efficient and Sustainable Lithium Extraction from Brine Using Ion Exchange Technology (2020)

Uno dei principali vantaggi del DLE rispetto ai metodi tradizionali è la riduzione significativa dell'impatto ambientale. L'evaporazione solare, ad esempio, richiede vaste aree di terreno e utilizza enormi quantità di acqua, soprattutto in regioni aride come le saline dell'America Latina, dove l'acqua è già una risorsa scarsa. Il DLE, invece, consente di ridurre il consumo di acqua fino al 90%, restituendo gran parte delle salamoie all'ambiente una volta che il litio è stato estratto. Questo lo rende particolarmente vantaggioso in aree dove la disponibilità di acqua è un problema critico. Un altro vantaggio importante è l'efficienza temporale. L'evaporazione solare richiede tempi estremamente lunghi per separare il litio dalle salamoie, il che può ritardare significativamente l'accesso a questa risorsa strategica. Il DLE, invece, permette di estrarre il litio molto più rapidamente, riducendo i tempi di attesa e migliorando la produttività. Inoltre, il DLE può essere applicato a una gamma più ampia di fonti di salamoie. Mentre il processo di evaporazione è efficace principalmente con salamoie ad alta concentrazione di litio, il DLE può essere utilizzato anche con salamoie che contengono quantità inferiori di litio, ampliando così le potenziali riserve di questo metallo. Questo è un aspetto fondamentale, dato che la domanda di litio è in rapida crescita a livello globale, principalmente a causa dell'espansione del mercato delle batterie per veicoli elettrici.

Tab. 5 – Svantaggi del DLE rispetto ai metodi tradizionali di estrazione del litio

Aspetto	DLE (Direct Lithium Extraction)	Metodi Tradizionali
Complessità tecnica	Elevata, richiede infrastrutture specializzate	Relativamente semplice
Costo iniziale	Alto investimento richiesto	Investimento iniziale inferiore
Adattabilità	Dipende dalla composizione delle salamoie	Adattabile a meno variabili
Disponibilità di energia	Maggior consumo energetico (processi chimici)	Energia minore richiesta (evaporazione naturale)

Fonte: Lilac Solutions - White Paper: Efficient and Sustainable Lithium Extraction from Brine Using Ion Exchange Technology (2020)

Tab. 6 –Confronto tra DLE ed evaporazione solare

Aspetto	DLE	Evaporazione Solare
Tempo	Breve (ore o giorni)	Molto lungo (fino a 18 mesi)
Impatto ambientale	Basso (riduzione uso d’acqua)	Alto (uso di vasti terreni e acqua)
Applicazione	Ampia varietà di salamoie	Richiede alte concentrazioni
Costi	Elevato investimento iniziale	Costi inferiori

Fonte: Lilac Solutions - White Paper: Efficient and Sustainable Lithium Extraction from Brine Using Ion Exchange Technology (2020)

Nonostante i suoi vantaggi, il DLE presenta anche alcune sfide e svantaggi rispetto ai metodi tradizionali di estrazione del litio. Innanzitutto, la complessità tecnica di implementare questa tecnologia è molto elevata. Mentre l’evaporazione solare è un processo relativamente semplice che si basa su meccanismi naturali di evaporazione, il DLE richiede infrastrutture altamente specializzate e competenze tecniche avanzate per il controllo delle reazioni chimiche o fisiche coinvolte. Questo comporta un maggiore rischio operativo, specialmente nelle fasi iniziali di implementazione su larga scala. Inoltre, il costo iniziale di investimento per la tecnologia DLE è elevato. Le apparecchiature e i sistemi necessari per il DLE richiedono una spesa considerevole, e questo può rappresentare una barriera per le aziende più piccole o per le economie meno sviluppate. Sebbene i benefici a lungo termine possano compensare questi costi, l’investimento iniziale rimane una delle principali sfide. Un altro aspetto da considerare è la variabilità delle salamoie. Mentre il DLE offre il vantaggio di essere utilizzabile su salamoie a bassa concentrazione di litio, ogni salamoia ha una composizione chimica diversa, e le tecniche di DLE potrebbero non essere altrettanto efficaci per tutte le fonti. Pertanto, un ulteriore sviluppo tecnologico è necessario per adattare i processi di DLE alle diverse caratteristiche delle salamoie in tutto il mondo. Infine, c’è una preoccupazione legata alla disponibilità di energia. Il DLE richiede energia per alimentare i processi chimici ed elettrochimici, e questo potrebbe avere un impatto sull’impronta di carbonio dell’intero ciclo produttivo, soprattutto se l’energia utilizzata proviene da fonti non rinnovabili. Tuttavia, il DLE è ancora in fase di sviluppo e richiede ulteriori miglioramenti per diventare economicamente competitivo su larga scala. Il Direct Lithium Extraction (DLE) è una tecnologia in fase di adozione in diverse aree geografiche ricche di riserve di litio. Alcuni dei luoghi principali in cui si sta sperimentando e implementando includono regioni come il Cile, l’Argentina e la Bolivia,

che fanno parte del cosiddetto “triangolo del litio” sudamericano. Tali aree sono note per le vaste distese di salamoie, ma affrontano anche problemi legati all’alto consumo d’acqua, rendendo il DLE un’opzione particolarmente attraente per ridurre l’impatto ambientale. Anche gli Stati Uniti, con progetti nel Nevada e in altre parti dell’Ovest americano, stanno esplorando l’utilizzo del DLE per espandere la loro produzione di litio. L’Australia, uno dei maggiori produttori mondiali di litio, sta iniziando a integrare il DLE nelle sue operazioni minerarie, soprattutto per migliorare l’efficienza e ridurre l’impatto ambientale in aree remote.

1.10 I principali produttori di litio nel mercato globale e i flussi commerciali










Il litio è oggi uno dei materiali più strategici per lo sviluppo delle tecnologie legate alla transizione energetica, in particolare per la produzione di batterie per veicoli elettrici (EV) e sistemi di stoccaggio dell’energia. Il crescente interesse per la mobilità elettrica e le fonti di energia rinnovabile ha spinto la domanda globale di litio a livelli senza precedenti. Tuttavia, la produzione di litio è concentrata in poche aree geografiche, con quattro paesi che dominano il mercato globale: **Australia, Cile, Cina, Argentina**

Fig. 9 – Cartografia dei maggiori produttori di litio al mondo



Fonte: IG

Fig. 10 – Quantità di litio prodotte paese per paese anno 2023

Rank	Country	Lithium production 2023E (metric tons)
1	 Australia	86,000
2	 Chile	44,000
3	 China	33,000
4	 Argentina	9,600
5	 Brazil	4,900
6	 Canada	3,400
7	 Zimbabwe	3,400
8	 Portugal	380
	 World Total	184,680

Fonte: World Economic Forum

Ognuno di questi attori riveste un ruolo distinto nella catena del valore, dall'estrazione alla raffinazione, influenzando significativamente i flussi commerciali internazionali. L'analisi delle dinamiche produttive, delle strategie di esportazione e delle prospettive future di questi paesi è fondamentale per comprendere l'evoluzione del mercato del litio.

1.10.1 Australia: il primato nella produzione globale

Fig. 11- La miniera di Greenbushes, Australia occidentale



Fonte: Alamy

L'Australia è il principale produttore di litio a livello mondiale, con una produzione di 86.000 tonnellate nel 2023. Il litio australiano viene estratto prevalentemente dalle rocce dure,

attraverso la lavorazione dello spodumene. Questo metodo, che caratterizza i giacimenti nelle miniere di Greenbushes e Mount Marion, consente una lavorazione più rapida rispetto alle saline e offre maggiore flessibilità nella produzione di diversi derivati del litio, come l'idrossido di litio e il carbonato di litio. Le miniere di Greenbushes e Mount Marion, entrambe situate in Australia occidentale, rappresentano due dei più importanti giacimenti di litio a livello globale, essenziali per l'industria delle batterie ricaricabili. Greenbushes, in attività da oltre un secolo, è la più grande e antica miniera di litio del mondo. Essa contiene tra le riserve più ricche e di alta qualità di spodumene, il principale minerale da cui viene estratto il litio. Il sito è noto per la sua elevata concentrazione di litio, che consente di produrre un concentrato di spodumene con livelli particolarmente puri di ossido di litio (Li_2O), rendendolo altamente richiesto per la produzione di batterie agli ioni di litio utilizzate in dispositivi elettronici e veicoli elettrici. La miniera è gestita da Talison Lithium, una joint venture tra Tianqi Lithium, IGO Limited e Albemarle Corporation, ed è in continua espansione per far fronte alla crescente domanda globale.

Fig. 12- La Miniera di Mount Marion



Fonte: Atlam Group

Mount Marion, aperta nel 2010 e situata vicino a Kalgoorlie, è una delle miniere di litio più produttive d'Australia. Anche qui il minerale principale è lo spodumene, sebbene di qualità leggermente inferiore rispetto a Greenbushes. Mount Marion è gestita da una joint venture tra Mineral Resources Limited e Ganfeng Lithium, una delle principali aziende cinesi del settore.

La miniera ha visto un rapido sviluppo grazie all'aumento della domanda globale di litio per la transizione verso energie rinnovabili. Produce diverse qualità di concentrati di spodumene, che vengono esportati principalmente in Cina per la raffinazione e l'uso nella produzione di batterie. Entrambe le miniere sono centrali nel soddisfare la crescente richiesta mondiale di litio, derivante dall'espansione dell'industria dei veicoli elettrici e dall'aumento dell'uso di dispositivi elettronici alimentati da batterie ricaricabili. Il litio estratto da Greenbushes e Mount Marion viene raffinato e utilizzato per la produzione di batterie agli ioni di litio, fondamentale per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e promuovere l'adozione di tecnologie sostenibili. La maggior parte del litio australiano viene esportato, soprattutto verso la Cina, che ne utilizza una significativa quota per alimentare le sue raffinerie e industrie di batterie. La posizione dell'Australia come maggiore produttore mondiale è supportata da importanti investimenti stranieri, in particolare da parte di aziende cinesi come Tianqi Lithium, che possiede partecipazioni nelle miniere australiane. Questo rafforza il legame commerciale tra i due paesi, che rappresentano due poli fondamentali nel mercato globale del litio: l'Australia come principale fornitore di materia prima, e la Cina come maggiore raffinatore e utilizzatore. I principali importatori del litio australiano sono i paesi con una forte capacità industriale e di raffinazione, in particolare: **Cina, Giappone e Corea del Sud**. La Cina è il più grande importatore di litio australiano, ricevendo una parte significativa della produzione. Si stima che oltre 80% del litio estratto in Australia venga inviato in Cina, dove viene raffinato e trasformato in idrossido di litio e carbonato di litio, due materiali essenziali per la produzione di batterie per veicoli elettrici. Anche il Giappone e la Corea del Sud rappresentano mercati importanti per il litio australiano. Entrambi i paesi hanno industrie altamente sviluppate per la produzione di batterie e componenti elettronici e dipendono fortemente dalle importazioni di materie prime per alimentare queste catene di approvvigionamento.

Tab. 7 – I paesi di destinazione delle esportazioni di litio australiane

Paese di Destinazione Quantità Esportata dall'Australia (2023) in tonnellate

<i>Cina</i>	69.000
<i>Giappone</i>	8.000
<i>Corea del Sud</i>	5.000
<i>Altri Paesi</i>	4.000

Fonte: U.S. Geological Survey

Nel 2023, delle 86.000 tonnellate di litio prodotte dall'Australia, si stima che circa 69.000 tonnellate siano state esportate verso la Cina, consolidando il rapporto di dipendenza tra i due paesi per quanto riguarda il litio. Il restante è stato distribuito principalmente tra il Giappone e la Corea del Sud, con cifre approssimative rispettivamente di 8.000 tonnellate e 5.000 tonnellate. L'importanza delle esportazioni australiane di litio è accentuata dalla crescente domanda globale di batterie per veicoli elettrici e sistemi di stoccaggio di energia, settori che stanno rapidamente espandendosi a livello mondiale. Le industrie tecnologiche di Cina, Giappone e Corea del Sud si affidano fortemente al litio australiano per soddisfare le loro esigenze produttive, il che pone l'Australia in una posizione strategica nel panorama globale delle materie prime. Questa forte domanda ha anche spinto l'Australia a intensificare la propria produzione e ad attirare investimenti stranieri, soprattutto cinesi, per garantire che le miniere di litio restino operative e competitive. Gli investimenti diretti da parte di società cinesi, come Tianqi Lithium, hanno rafforzato ulteriormente i legami commerciali tra i due paesi. Le future vedono l'Australia mantenere il proprio ruolo dominante nel mercato del litio, soprattutto se continuerà a sviluppare nuove miniere e a migliorare l'efficienza delle proprie operazioni estrattive. La crescente domanda di veicoli elettrici e dispositivi tecnologici richiederà un aumento della produzione, e le esportazioni verso mercati asiatici chiave rimarranno una priorità strategica per il paese. Nel panorama dell'industria del litio in Australia, diverse aziende si distinguono per la loro capacità di produzione e l'influenza sui mercati globali. Questi attori chiave svolgono un ruolo significativo nell'estrazione e nella trasformazione del litio, rispondendo alla crescente domanda internazionale, in particolare per la produzione di batterie agli ioni di litio destinate ai veicoli elettrici. Le principali aziende coinvolte nel settore del litio in Australia sono: **Talison Lithium, Pilbara Minerals, Mineral Resources e IGO Ltd.**

Talison Lithium è uno dei principali produttori di litio al mondo e gestisce la miniera di Greenbushes, la più grande riserva di spodumene di alta qualità a livello globale. Greenbushes si trova nell'Australia Occidentale e la sua produzione è destinata principalmente al mercato cinese, il maggiore consumatore di litio grezzo per la raffinazione e la produzione di batterie. Talison Lithium è una joint venture²² tra Tianqi Lithium (Cina) e Albemarle Corporation (USA), che sono due dei principali attori mondiali nella raffinazione del litio. La miniera di

²² Una joint venture è un accordo commerciale tra due o più parti per collaborare su un progetto o impresa specifica, condividendo risorse, rischi, profitti e competenze. Le aziende coinvolte mantengono la propria indipendenza legale, ma lavorano insieme per raggiungere obiettivi comuni, come lo sviluppo di un prodotto o l'espansione in nuovi mercati. Le joint venture possono essere costituite per una durata limitata o a lungo termine, a seconda della natura del progetto. Questo tipo di accordo è particolarmente comune in settori che richiedono grandi investimenti di capitale, come il settore minerario, energetico o tecnologico.

Greenbushes è famosa per la sua abbondanza di litio di alta qualità, che permette un'estrazione estremamente efficiente e redditizia. Questo vantaggio competitivo ha reso Talison uno dei principali fornitori per l'industria globale delle batterie. Pilbara Minerals si distingue per la gestione della miniera di Pilgangoora, una delle risorse di litio più grandi al mondo. Situata nella regione del Pilbara, questa miniera produce spodumene esportato principalmente verso i mercati asiatici. Grazie alla crescente domanda di litio per i veicoli elettrici, Pilbara Minerals ha ampliato la sua capacità produttiva, rafforzando la sua posizione nel mercato globale. Mineral Resources è coinvolta nella miniera di Mount Marion attraverso una joint venture con Ganfeng Lithium. Mount Marion è una delle più grandi miniere di spodumene, con la maggior parte della sua produzione destinata al mercato cinese. L'azienda sta inoltre investendo nella raffinazione del litio in Australia, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza delle sue operazioni. IGO Ltd. ha una partecipazione importante nel progetto Greenbushes e sta investendo in capacità di raffinazione del litio in Australia. La strategia di integrazione verticale di IGO mira a controllare più fasi della catena di approvvigionamento del litio, consolidando la sua posizione come uno dei fornitori principali di materiali per batterie per il mercato globale. Queste aziende rappresentano il cuore dell'industria australiana del litio, sfruttando risorse di alta qualità e sviluppando infrastrutture per rispondere alla crescente domanda globale di questo minerale strategico.

1.10.2 Cile: il cuore delle saline

Fig. 13- Carta Geografica del Cile con Evidenza sul Salar di Atacama



Fonte: Internazionale.it

Il Cile si posiziona come secondo produttore mondiale di litio, con una produzione di 44.000 tonnellate nel 2023. A differenza dell’Australia, il Cile basa la sua produzione sull’estrazione del litio dalle saline, in particolare nel Salar de Atacama, una delle più grandi riserve di litio al mondo.

Fig. 14- Le salamoie del Salar de Atacama in Cile



Fonte: Reuters

La salamoia è una soluzione salina ricca di minerali, da cui il litio viene estratto attraverso un processo di evaporazione solare, che richiede tempi più lunghi rispetto alla lavorazione della spodumene, ma è meno dispendioso in termini di energia e di impatto ambientale. Il Cile ha costruito gran parte della sua economia del litio grazie alle operazioni di società come SQM (Sociedad Química y Minera de Chile)²³ e Albemarle²⁴, che sono le principali compagnie minerarie attive nel Salar de Atacama. Il Salar ha una concentrazione elevata di litio nella sua salamoia, il che permette di ottenere rendimenti produttivi molto alti rispetto ad altre saline nel

²³ SQM (Sociedad Química y Minera de Chile): SQM è uno dei principali produttori di litio al mondo, con operazioni di estrazione concentrate nel Salar de Atacama, in Cile. L’azienda utilizza un processo di estrazione da salamoia, caratterizzato da costi energetici più bassi rispetto all’estrazione da rocce dure. Tuttavia, l’elevato consumo di acqua nella regione desertica ha sollevato preoccupazioni ambientali. Il governo cileno ha avviato politiche per aumentare il controllo statale sulle operazioni minerarie, cercando di assicurare una maggiore redistribuzione dei benefici economici al paese.

²⁴ Albemarle Corporation: Con sede negli Stati Uniti, Albemarle è uno dei maggiori produttori globali di litio raffinato, con importanti operazioni nel Salar de Atacama. Simile a SQM, Albemarle utilizza la salamoia per l’estrazione, destinando il litio alla produzione di batterie per veicoli elettrici. Albemarle ha affrontato sfide legate alla gestione sostenibile dell’acqua nella regione e sta collaborando con il governo cileno per implementare pratiche più ecocompatibili. Anche per Albemarle, le nuove regolamentazioni cilene sulla partecipazione statale rappresentano una sfida per le operazioni future.

mondo. Tuttavia, il Cile ha dovuto affrontare sfide legate alla gestione dell'acqua, poiché l'estrazione del litio da salamoia consuma grandi quantità di risorse idriche, creando tensioni con le comunità locali e gli ambientalisti. L'importanza strategica del litio per l'economia cilena è stata riconosciuta dal governo, che ha avviato politiche per aumentare il controllo statale sul settore. Nel 2023, il governo ha annunciato piani per rivedere i contratti con le grandi società minerarie e garantire una maggiore partecipazione dello Stato nelle operazioni di estrazione. Questo intervento mira a garantire che i profitti derivanti dal litio contribuiscano maggiormente al benessere economico del paese, ma ha anche suscitato preoccupazioni tra gli investitori stranieri riguardo a possibili cambiamenti nella stabilità del mercato.

Il litio cileno è destinato principalmente all'esportazione, con la **Cina** che rappresenta il principale importatore. Come per l'Australia, la Cina utilizza il litio cileno per alimentare le sue raffinerie e produrre batterie per veicoli elettrici (EV) e dispositivi tecnologici. Circa il 50-60% del litio cileno viene esportato verso la Cina, che domina la catena di produzione e raffinazione a livello globale. Altri importatori rilevanti del litio cileno includono: **Giappone e Corea del Sud**. Tali paesi, come nel caso dell'Australia, si affidano al Cile per alimentare le loro industrie di batterie e componenti elettronici. Il Giappone e la Corea del Sud hanno anche sviluppato relazioni strategiche con il Cile per assicurarsi una fornitura stabile e diversificata di litio, considerata la crescente domanda di veicoli elettrici e tecnologie sostenibili.

Tab. 8 – I paesi di destinazione delle esportazioni di litio cilene

Paese di Destinazione Quantità Esportata dal Cile (2023) in tonnellate

<i>Cina</i>	26.000
<i>Giappone</i>	5.000
<i>Corea del Sud</i>	3.000
<i>Altri Paesi</i>	10.000

Fonte: U.S. Geological Survey

Nel 2023, delle 44.000 tonnellate prodotte, si stima che circa 26.000-30.000 tonnellate siano state esportate verso la Cina, confermando l'importanza del mercato cinese per il litio cileno. Il Giappone e la Corea del Sud hanno importato rispettivamente circa 5.000-6.000 tonnellate e 3.000-4.000 tonnellate. Il litio cileno è fondamentale per l'industria globale delle batterie, non solo per la sua abbondanza, ma anche per la qualità della salamoia del Salar de Atacama, che

consente un'elevata concentrazione di litio rispetto ad altre fonti nel mondo. Le esportazioni del Cile sono guidate principalmente dalle attività di due colossi: SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) e Albemarle, entrambe attive nella produzione e nell'esportazione di litio. L'importanza strategica del litio cileno è accresciuta dal fatto che il Cile detiene circa il 55% delle riserve mondiali di litio conosciute. La stabilità delle sue riserve e la relativa economicità dell'estrazione da salamoia lo rendono un attore centrale nel mercato del litio, con esportazioni vitali per l'industria asiatica delle batterie. Le prospettive per il litio cileno rimangono estremamente positive, con previsioni che indicano un aumento della domanda globale di batterie per veicoli elettrici. Tuttavia, il Cile deve affrontare alcune sfide, in particolare la gestione delle risorse idriche, poiché l'estrazione di litio da salamoia richiede grandi quantità di acqua, una risorsa scarsa nelle regioni desertiche come il Salar de Atacama. Ciò ha generato preoccupazioni sia ambientali che sociali, spingendo il governo cileno a considerare una maggiore regolamentazione del settore. Inoltre, il Cile sta cercando di aumentare la valorizzazione interna del litio, esplorando la possibilità di espandere la propria capacità di raffinazione per ridurre la dipendenza dall'esportazione di materia prima grezza e sviluppare industrie a più alto valore aggiunto. Questo potrebbe portare a cambiamenti significativi nella struttura dei flussi commerciali nei prossimi anni, se il Cile riuscirà a capitalizzare su questo potenziale. Nel contesto dell'industria del litio cilena, due aziende dominano la scena, svolgendo un ruolo fondamentale sia per l'economia del paese che per il mercato globale. Le principali società che operano nel settore del litio in Cile sono: **SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) e Albermarle Corporation.**

SQM è una delle maggiori compagnie minerarie al mondo e ha un ruolo chiave nell'estrazione del litio dalle saline del Salar de Atacama, una delle più grandi e ricche riserve di litio del pianeta. La produzione di SQM è basata sull'estrazione della salamoia, che viene evaporata per ottenere carbonato di litio e idrossido di litio. Tali prodotti vengono poi esportati principalmente in Cina, Giappone e Corea del Sud, dove vengono utilizzati nella produzione di batterie per veicoli elettrici e dispositivi elettronici. SQM è un attore di punta nel mercato globale del litio, non solo grazie alla qualità delle risorse estratte, ma anche per la sua capacità di rispondere alle crescenti esigenze del mercato internazionale. Tuttavia, l'azienda ha dovuto affrontare sfide legate alla gestione delle risorse idriche, poiché l'estrazione di salamoia richiede ingenti quantità di acqua, il che ha sollevato preoccupazioni tra le comunità locali e le organizzazioni ambientaliste.

Albemarle Corporation, con sede negli Stati Uniti, è un'altra delle principali aziende attive nel Salar de Atacama. Albemarle è un leader globale nella produzione di litio e opera in stretta collaborazione con il governo cileno per l'estrazione della salamoia. Come SQM, anche Albemarle produce carbonato di litio e idrossido di litio, che vengono poi esportati in tutto il mondo per la produzione di batterie. Grazie alla sua posizione di rilievo nell'industria, Albemarle è uno dei principali fornitori di litio raffinato per i mercati asiatici. Albemarle ha avviato importanti progetti per aumentare la capacità produttiva in Cile, rispondendo alla crescente domanda globale di litio per veicoli elettrici. Tuttavia, anche questa azienda ha dovuto affrontare pressioni legate alla sostenibilità, in particolare per quanto riguarda la gestione delle risorse idriche nelle aree desertiche del Cile. Queste due aziende rappresentano il fulcro della produzione di litio in Cile e sono responsabili di una parte significativa delle esportazioni del paese. La loro influenza nel mercato globale è destinata a crescere ulteriormente con l'aumento della domanda di veicoli elettrici e tecnologie energetiche sostenibili, consolidando il Cile come uno dei principali fornitori di litio al mondo.

1.10.3 Cina: produttore, raffinatore e consumatore dominante

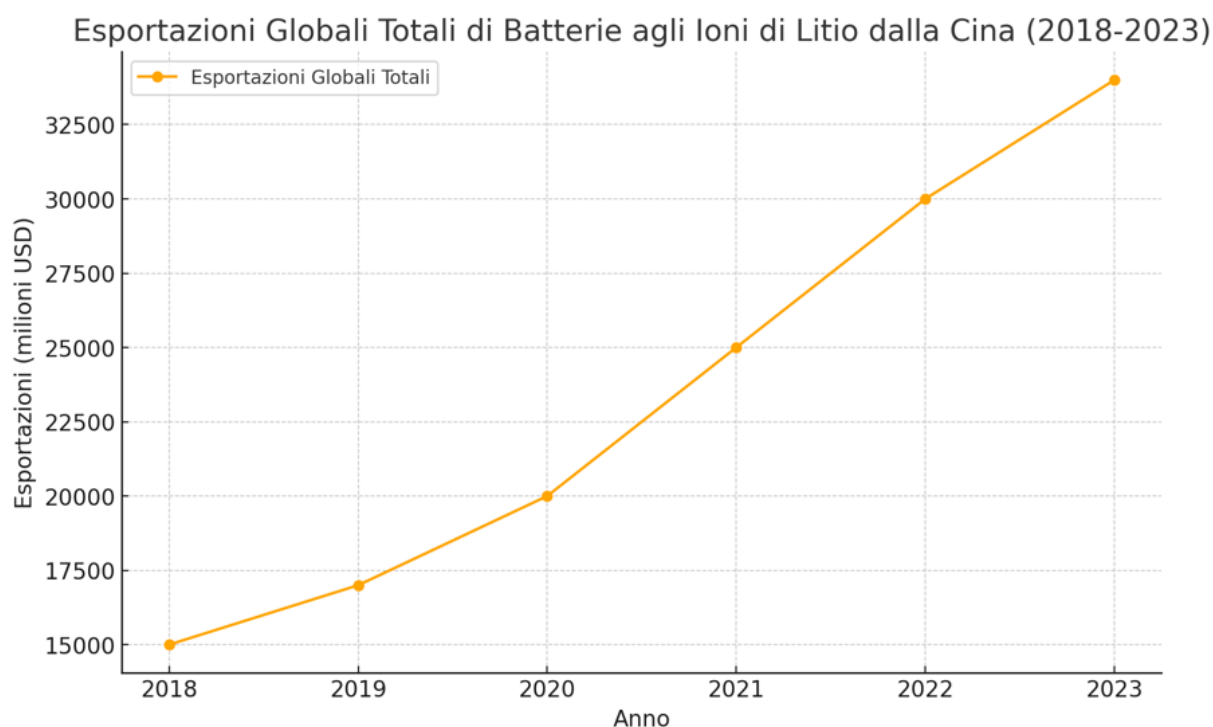
La Cina, con una produzione di 33.000 tonnellate nel 2023, è il terzo maggior produttore di litio, ma il suo ruolo nel mercato globale va ben oltre la produzione mineraria. La Cina domina infatti la raffinazione del litio e la produzione di batterie, controllando quasi il 60% della capacità mondiale di raffinazione. Questo rende il paese un attore fondamentale nella catena di approvvigionamento del litio, poiché gran parte del litio estratto in Australia e in altri paesi viene spedito in Cina per essere raffinato. Il litio cinese proviene principalmente da saline, ma la maggior parte del litio utilizzato nel paese è importato. La Cina ha investito enormemente in acquisizioni di miniere all'estero, in paesi come il Cile, l'Australia e il Canada. Questi investimenti strategici hanno permesso alla Cina di assicurarsi un accesso privilegiato alle risorse di litio a livello globale, consolidando la sua posizione come leader nella produzione di batterie per veicoli elettrici. Inoltre, la Cina è il più grande mercato mondiale per veicoli elettrici, il che rende il controllo del litio e della sua filiera produttiva ancora più importante. Con la crescente domanda interna di EV, la Cina ha dovuto aumentare le sue capacità produttive non solo per soddisfare il mercato locale, ma anche per esportare batterie e prodotti raffinati verso altre economie, come l'Europa e gli Stati Uniti. Nonostante la propria produzione interna, la Cina è il principale importatore di litio a livello mondiale. La maggior parte del litio grezzo importato proviene da Australia e Cile, due dei maggiori produttori globali. Nel 2023, la Cina ha importato circa 69.000 tonnellate di litio dall'Australia, oltre a una significativa quantità dal

Cile. Tali importazioni sono fondamentali per alimentare la grande capacità di raffinazione del paese, con il litio australiano estratto da rocce dure (spodumene) e quello cileno da salamoie. Entrambi i metodi soddisfano esigenze diverse all'interno della catena produttiva cinese.

La Cina domina il settore globale della raffinazione del litio e della produzione di batterie agli ioni di litio, una posizione strategica che le permette di influenzare significativamente l'intera filiera delle batterie, dalle materie prime alla distribuzione. La crescente domanda di veicoli elettrici (EV) rappresenta una delle principali spinte alla produzione di batterie al litio. Grazie a politiche di incentivazione interna per l'acquisto di EV e alla crescente domanda globale di soluzioni energetiche sostenibili, la Cina ha investito enormemente in impianti di raffinazione e produzione di batterie, diventando leader sia nell'espansione tecnologica che nella capacità produttiva. Negli ultimi anni, il governo cinese ha introdotto un ampio ventaglio di incentivi per stimolare la diffusione dei veicoli elettrici, comprendente sussidi diretti ai consumatori, esenzioni fiscali e agevolazioni sulle licenze di immatricolazione per gli EV, che in alcune città come Pechino e Shanghai sono limitate per i veicoli tradizionali. Tali incentivi hanno contribuito non solo a ridurre i costi per gli acquirenti, rendendo i veicoli elettrici accessibili a una popolazione più ampia, ma anche a favorire un aumento della domanda interna di batterie agli ioni di litio. Il governo ha inoltre implementato norme rigorose contro le emissioni di CO₂, incoraggiando le case automobilistiche a potenziare le linee di produzione di veicoli elettrici e contribuendo così alla crescita del mercato interno di batterie. La maggior parte del litio importato in Cina viene trasformato in due composti fondamentali: idrossido di litio e carbonato di litio, indispensabili per produrre batterie con caratteristiche adatte a vari tipi di dispositivi, dagli smartphone ai veicoli elettrici di alta gamma. In particolare, l'idrossido di litio è preferito per batterie ad alta densità energetica, come quelle dei veicoli elettrici, in quanto migliora l'efficienza e la durata di ricarica. Al contrario, il carbonato di litio trova largo impiego nelle batterie destinate a dispositivi elettronici di consumo. Questa posizione dominante permette alla Cina di esercitare un controllo cruciale sul mercato delle batterie, dato che una larga fetta del litio estratto in altri paesi deve transitare attraverso impianti cinesi per essere raffinato, indipendentemente dall'origine. La dipendenza mondiale dagli impianti di raffinazione cinesi è tale che persino il litio proveniente dal Cile, dall'Australia e da altre nazioni ricche di risorse litifere viene spesso esportato in Cina per la trasformazione, contribuendo a consolidare il suo monopolio in questo passaggio chiave della filiera. Inoltre, i piani cinesi di espansione nel settore includono ulteriori investimenti in ricerca e sviluppo per migliorare l'efficienza e la sostenibilità della raffinazione e della produzione di batterie. Questi sforzi mirano non solo a

garantire la leadership cinese in un mercato in rapida crescita, ma anche a rispondere a politiche ecologiche interne, che includono obiettivi di emissioni nette zero e piani di sviluppo energetico sostenibile per i prossimi decenni. Nonostante importi grandi quantità di litio grezzo, la Cina è anche un grande esportatore di prodotti raffinati. Le batterie agli ioni di litio prodotte in Cina vengono esportate in tutto il mondo, in particolare verso mercati come Europa e Stati Uniti, che stanno accelerando la transizione verso la mobilità elettrica.

Fig. 15- Andamento delle esportazioni globali totali di batterie agli Ioni di Litio dalla Cina (2018-2023)



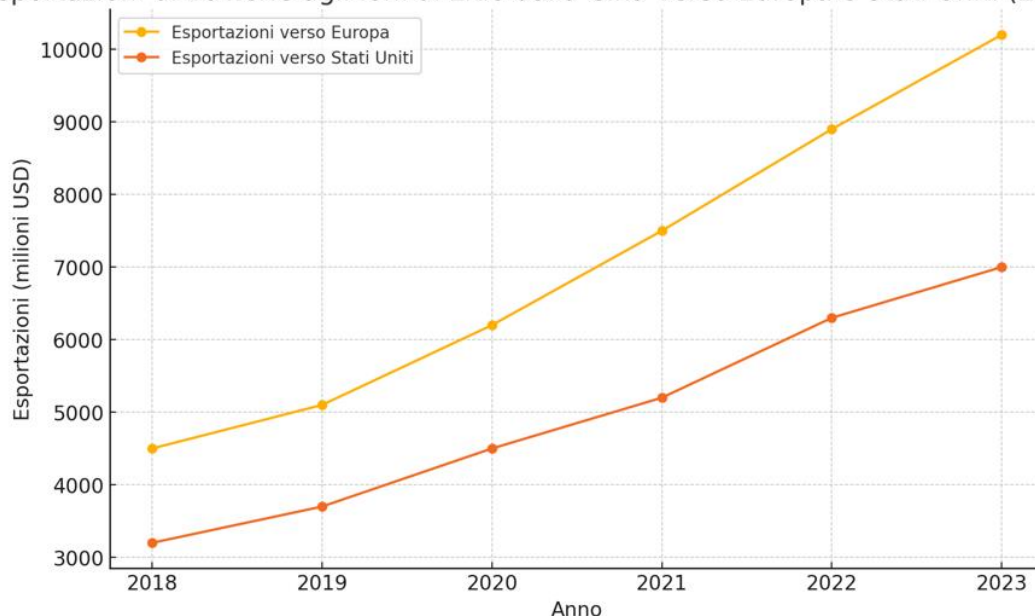
Fonte: Benchmark Mineral Intelligence, International Energy Agency, Statista

Negli ultimi anni, le esportazioni globali di batterie agli ioni di litio dalla Cina sono cresciute esponenzialmente, passando da 15 miliardi di dollari nel 2018 a circa 34 miliardi nel 2023. Di queste esportazioni, una porzione significativa è destinata all'Europa, con un valore salito a 10,2 miliardi di dollari nel 2023, mentre quelle verso gli Stati Uniti si attestano sui 7 miliardi di dollari nello stesso anno. Questa capacità di controllare la fase cruciale della raffinazione e della produzione di batterie ha permesso alla Cina di consolidare il proprio potere all'interno della catena di approvvigionamento globale del litio. Dato che una larga parte del litio estratto in nazioni ricche di risorse come Australia, Cile, Argentina e Canada viene esportata in Cina per la raffinazione, la Cina si trova in una posizione dominante che le consente di gestire una delle fasi più strategiche della filiera. Per mitigare i rischi legati all'approvvigionamento, la

Cina ha adottato una strategia di espansione all'estero, acquisendo partecipazioni in miniere di litio in vari paesi, assicurandosi un accesso preferenziale alle risorse di litio.

Fig. 16- Andamento delle esportazioni di batterie agli Ioni di Litio dalla Cina verso Europa e Stati Uniti

Esportazioni di Batterie agli Ioni di Litio dalla Cina verso Europa e Stati Uniti (2018-2023)



Fonte: Benchmark Mineral Intelligence, International Energy Agency, Statista

In parallelo, essa sta investendo in innovazione tecnologica per rafforzare la produzione interna e soddisfare la crescente domanda di batterie sia internamente sia all'estero. Grazie alla sua posizione dominante nella raffinazione e nella produzione di batterie, la Cina possiede un vantaggio competitivo importante, che risulta difficile da superare nel breve periodo per altri paesi. Tuttavia, nel lungo termine, dovrà affrontare sfide legate sia alla gestione della domanda interna, in costante crescita, sia alla pressione internazionale per la diversificazione delle fonti di approvvigionamento di litio, con paesi come gli Stati Uniti e l'Unione Europea sempre più inclini a costruire capacità proprie di raffinazione e produzione di batterie per ridurre la dipendenza dalla Cina. La Cina gioca un ruolo centrale nella catena globale del litio, non solo per la produzione interna, ma soprattutto per il suo dominio nella raffinazione e nella produzione di batterie agli ioni di litio. Diverse aziende cinesi si distinguono per la loro importanza strategica nel mercato globale del litio, occupandosi di estrazione, trasformazione e produzione di materiali essenziali per l'industria delle batterie. Le principali aziende attive nel settore del litio in Cina sono: **Tianqi Lithium, Ganfeng Lithium, BYD (Build Your Dreams) e Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL).**

Tianqi Lithium è uno dei più grandi e influenti attori nel mercato del litio a livello mondiale. Con sede a Chengdu, nella provincia del Sichuan, Tianqi è attiva sia nell'estrazione che nella raffinazione del litio. L'azienda possiede una partecipazione significativa nella miniera di Greenbushes in Australia, la più grande riserva di spodumene al mondo, attraverso una joint venture con Albemarle Corporation. Questo garantisce a Tianqi un accesso privilegiato a una delle risorse più importanti di litio al mondo, rendendola un fornitore chiave per il mercato cinese e globale. Tianqi è leader nella produzione di idrossido di litio e carbonato di litio, due dei componenti principali utilizzati nelle batterie per veicoli elettrici. La sua capacità di raffinazione è una delle più avanzate al mondo, e l'azienda esporta i suoi prodotti verso le principali aziende di produzione di batterie in Cina e all'estero. Grazie alla sua posizione dominante nella catena di approvvigionamento del litio, Tianqi Lithium è un attore strategico sia per l'industria cinese che per il mercato globale. Ganfeng Lithium è un altro gigante del settore, con sede a Xinyu, nella provincia del Jiangxi. Ganfeng è una delle poche aziende che copre l'intera catena del valore del litio, dall'estrazione alla raffinazione e fino alla produzione di batterie agli ioni di litio. L'azienda possiede miniere in Cina e partecipazioni in importanti giacimenti all'estero, come la miniera di Mount Marion in Australia, in joint venture con Mineral Resources. Questo assicura a Ganfeng un flusso costante di litio grezzo per alimentare le sue operazioni di raffinazione e produzione. Oltre a essere un grande produttore di carbonato di litio e idrossido di litio, Ganfeng è coinvolta nella produzione di batterie per veicoli elettrici e dispositivi elettronici. L'azienda ha espanso le sue operazioni in paesi come Argentina, dove è coinvolta nell'estrazione di litio dalle saline. Ganfeng Lithium è anche conosciuta per il suo forte impegno verso lo sviluppo di tecnologie di riciclaggio delle batterie, il che la posiziona come un attore innovativo e sostenibile nel mercato. BYD (Build Your Dreams). Oltre alle società puramente minerarie, un altro grande attore nel mercato del litio cinese è BYD (Build Your Dreams), un'azienda con sede a Shenzhen che si occupa di produzione di batterie e veicoli elettrici. Pur non essendo direttamente coinvolta nell'estrazione di litio, BYD è uno dei maggiori consumatori di questo minerale a livello mondiale, utilizzato nelle batterie che produce per i suoi veicoli e dispositivi di stoccaggio energetico. BYD si approvvigiona di litio da aziende come Tianqi e Ganfeng per sostenere la sua produzione, e gioca un ruolo centrale nell'intera catena del valore del litio. CATL, con sede a Ningde, è il più grande produttore di batterie agli ioni di litio al mondo. Sebbene non sia direttamente impegnata nell'estrazione di litio, la sua domanda di litio per la produzione di batterie è così elevata che CATL ha stretto accordi strategici con aziende minerarie come Ganfeng e Tianqi. Queste collaborazioni assicurano a CATL un approvvigionamento costante di litio grezzo per alimentare la sua

produzione, che è destinata principalmente al mercato dei veicoli elettrici. Con una capacità produttiva in continua espansione, CATL è uno degli attori chiave del mercato globale delle batterie e della catena di approvvigionamento del litio. Grazie alla loro presenza verticale lungo l'intera catena del valore, dalla mineralizzazione alla produzione di batterie, il settore del litio cinese è destinato a crescere ulteriormente e a consolidare la posizione della Cina come leader globale in questo mercato.

1.10.4 Argentina: un attore emergente

Fig. 17- Il Salar del Hombre Muerto



Fonte: Pàgina12.com

L'Argentina, con una produzione di 9.600 tonnellate nel 2023, è il quarto produttore di litio al mondo, con un ruolo in costante crescita nel mercato globale. Come il Cile, l'Argentina sfrutta le riserve di litio nelle sue saline, situate principalmente nel Salar del Hombre Muerto.

Fig. 18- Il Triangolo del litio: Argentina, Bolivia, Cile



Fonte: Gauchonews.it

Il paese fa parte del cosiddetto Triangolo del Litio, che comprende anche Cile e Bolivia, una delle aree con le maggiori riserve mondiali di litio. Negli ultimi anni, l'Argentina ha attratto significativi investimenti stranieri, grazie anche a politiche che incentivano l'ingresso di capitali esteri per lo sviluppo delle miniere di litio. Tra le compagnie principali attive nel paese troviamo Livent e Orocobre, che stanno contribuendo all'espansione delle operazioni di estrazione. Sebbene l'Argentina non abbia ancora raggiunto i livelli di produzione del Cile o dell'Australia, le sue prospettive sono in crescita, grazie alla disponibilità di vaste riserve e all'interesse del mercato internazionale.

Tab. 9 – I paesi di destinazione delle esportazioni di litio argentine

Paese di Destinazione Quantità Esportata dall'Argentina (2023) in tonnellate

Cina	6.000
Corea del Sud	2.000
Giappone	1.000
Altri Paesi	600

Fonte: U.S. Geological Survey

L'Argentina è ancora in fase di sviluppo come attore nel mercato globale del litio, ma le sue riserve e le sue operazioni in espansione ne fanno un paese con grande potenziale per il futuro.

Attualmente, l'Argentina esporta gran parte del litio che produce, principalmente verso mercati asiatici, tra cui Cina e Corea del Sud, dove viene utilizzato per la produzione di batterie. Le esportazioni di litio rappresentano una parte importante del potenziale economico argentino. Grazie alle abbondanti risorse di salamoia, l'Argentina è in grado di produrre litio a costi relativamente bassi. Tuttavia, a differenza di altri paesi come il Cile, le operazioni di estrazione in Argentina sono ancora in fase di sviluppo, e si prevede che la produzione possa crescere significativamente nei prossimi anni con l'avanzare di nuovi progetti minerari. L'Argentina ha attratto una significativa quantità di investimenti stranieri nel settore del litio, con aziende come Livent e Orocobre che giocano un ruolo importante nello sviluppo delle infrastrutture di estrazione. Questi investimenti sono stati incentivati dal governo argentino, che ha cercato di promuovere il paese come destinazione ideale per lo sviluppo di progetti minerari. Le collaborazioni tra aziende locali e internazionali stanno accelerando la crescita del settore, con nuovi progetti che potrebbero portare a un aumento della produzione nei prossimi anni. Nonostante il suo potenziale, l'Argentina deve affrontare sfide significative, tra cui la gestione dell'acqua nelle regioni desertiche, dove l'estrazione della salamoia può mettere sotto pressione le risorse idriche locali. Ciò ha sollevato preoccupazioni tra le comunità locali e le organizzazioni ambientaliste, similmente a quanto accade in altre parti del Triangolo del Litio. Inoltre, la volatilità politica ed economica del paese può rappresentare un ostacolo agli investimenti a lungo termine. Tuttavia, se riuscirà a gestire questi problemi, l'Argentina potrebbe diventare uno dei principali attori nel mercato globale del litio grazie alle sue vaste riserve e alle operazioni in espansione. Le prospettive per l'Argentina sono promettenti. Si prevede che la domanda globale di litio continuerà a crescere con l'espansione della mobilità elettrica e dello stoccaggio di energia, rendendo l'Argentina un fornitore strategico nel lungo periodo. Il governo sta lavorando per attrarre ulteriori investimenti e migliorare l'infrastruttura necessaria per supportare un aumento significativo della produzione nei prossimi anni.

L'Argentina è un attore emergente nel settore del litio, con riserve significative situate all'interno del Triangolo del Litio, una regione che comprende anche Cile e Bolivia. Le principali aziende che operano nel settore del litio in Argentina sono: **Livent e Allkem (ex Orocobre)**.

Livent (USA) è una delle aziende leader nel mercato del litio in Argentina, e la sua attività principale si concentra nel Salar del Hombre Muerto, uno dei più ricchi giacimenti di litio nel paese. Livent è specializzata nell'estrazione della salamoia, da cui ricava carbonato di litio e idrossido di litio, utilizzati nella produzione di batterie per veicoli elettrici e dispositivi

elettronici. L'azienda ha investito significativamente per espandere le sue operazioni in Argentina, con l'obiettivo di aumentare la capacità produttiva nei prossimi anni. Livent esporta la maggior parte della sua produzione verso mercati come Cina, Corea del Sud e Giappone, dove la domanda di materiali per batterie continua a crescere. L'azienda punta a diventare uno dei principali fornitori di litio per l'industria globale delle batterie, sfruttando le vaste riserve di salamoia argentine. Tuttavia, come altre aziende del settore, Livent si trova a dover affrontare sfide legate alla gestione sostenibile delle risorse idriche, una questione particolarmente delicata nelle regioni desertiche in cui opera. Allkem (AUS), precedentemente nota come Orocobre, è un altro grande attore nel mercato del litio argentino. L'azienda è impegnata nell'estrazione del litio dal Salar de Olaroz, una delle principali riserve di litio del paese. La produzione di Allkem si concentra sul carbonato di litio e la maggior parte della sua produzione viene esportata verso i principali mercati asiatici, in particolare in Cina e Giappone. Nel corso degli anni, l'azienda ha ampliato le sue operazioni, incrementando significativamente la capacità produttiva grazie a investimenti internazionali e partnership strategiche. Allkem ha intrapreso una strategia di crescita aggressiva per diventare uno dei principali fornitori globali di litio. Di recente, l'azienda ha avviato nuove esplorazioni e piani di espansione per sviluppare ulteriormente le sue risorse argentine. Come Livent, Allkem si sta adattando alle sfide legate alla sostenibilità e all'efficienza nella gestione delle risorse idriche. Le operazioni di Livent e Allkem rappresentano gran parte delle esportazioni di litio dell'Argentina, e il paese sta rapidamente emergendo come uno dei principali attori del mercato globale. Con un potenziale di crescita ancora ampio, soprattutto grazie alle vaste riserve non sfruttate, l'Argentina è destinata a consolidare la sua posizione nel settore del litio nei prossimi anni, rispondendo alla crescente domanda di veicoli elettrici e stoccaggio energetico a livello mondiale.

1.11 Evoluzione della domanda e dell'offerta

L'evoluzione del mercato del litio, caratterizzato da un intenso dinamismo in termini di domanda e offerta, riflette profondamente gli sviluppi tecnologici e le priorità economiche globali. Inizialmente impiegato in quantità limitate per applicazioni specialistiche come la ceramica e il vetro, il litio ha visto una svolta significativa nel suo utilizzo con lo sviluppo e la commercializzazione delle batterie agli ioni di litio alla fine del XX secolo. Questo cambiamento ha portato a un incremento marcato della domanda, alimentato inizialmente dal settore dei dispositivi elettronici portatili, il cui impatto è stato documentato in dettaglio nel

rapporto del U.S. Geological Survey²⁵, sottolineando come la quota di litio destinata alle batterie sia cresciuta esponenzialmente dal 1990 al 2010.

Fig. 19- Andamento annuale del consumo del litio nella produzione di batterie

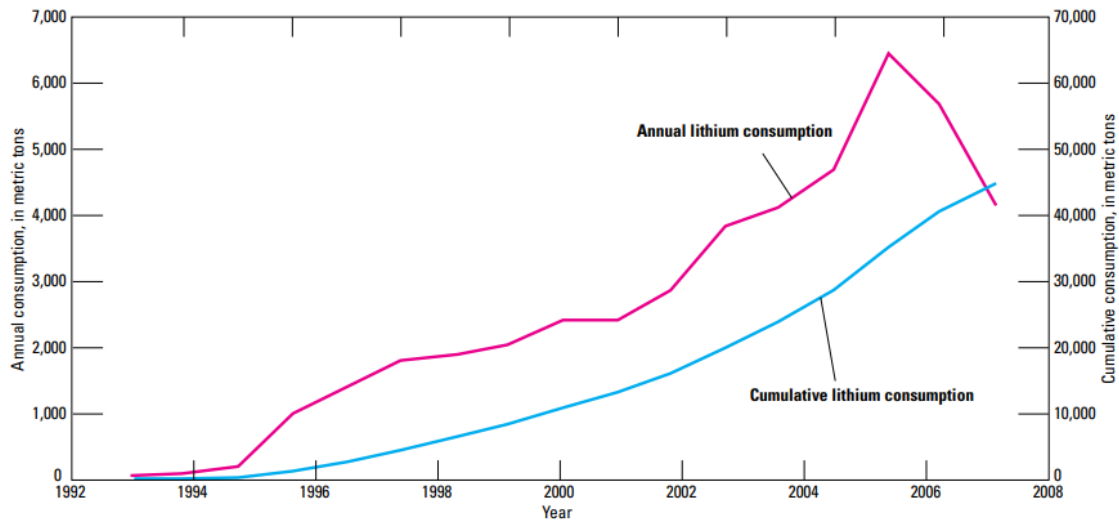


Figure 5. Chart showing lithium consumed in battery production worldwide from 1993 through 2009. The red line shows the amount of lithium used worldwide for each year, and the blue line shows the total amount of lithium used worldwide in production of batteries. Values are in metric tons of contained lithium. Data are from U.S. Geological Survey (1996–2010), Jaskula (2008–2010), and Takeshita (2008).

Fonte U.S. Geological Survey

L'ascesa dei veicoli elettrici ha rappresentato un ulteriore catalizzatore per la domanda di litio, trasformando il mercato in modo significativo. Secondo una proiezione di McKinsey & Company²⁶, le batterie per EV²⁷ sono divenute il maggiore consumatore di litio, una tendenza che dovrebbe intensificarsi con l'incremento previsto della produzione di veicoli elettrici. L'analisi di McKinsey prevede che il consumo di litio per batterie di veicoli elettrici potrebbe raggiungere e superare il 90% della domanda totale entro il 2030.

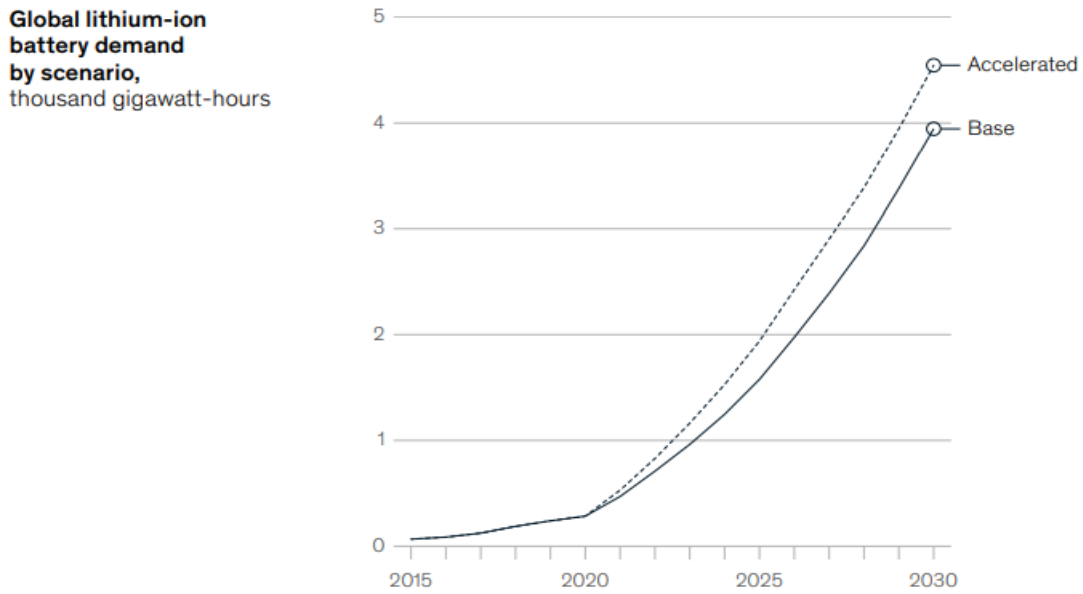
²⁵ Si veda : U.S. Geological Survey, *Report on Lithium Use in Batteries*

²⁶ Si veda : McKinsey & Company, *The Future of the Lithium Market*

²⁷ Electric Vehicle

Fig. 20- Previsioni della domanda globale di batterie al litio entro il 2030

Global lithium demand could reach 4,500 gigawatt-hours by 2030.



Source: McKinsey battery demand model

Fonte: McKinsey battery demand model

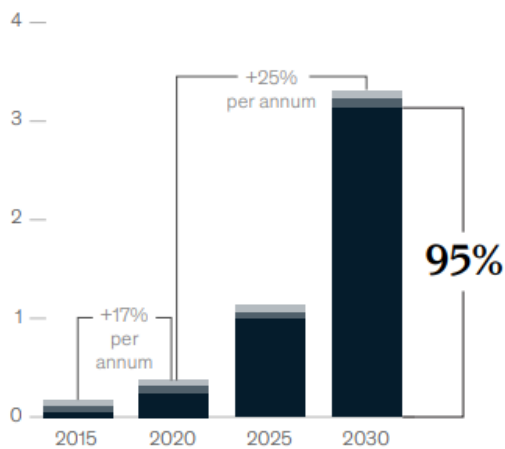
Fig. 21- Previsioni della quota di litio destinata alle batterie entro il 2030.

Batteries are expected to account for 95 percent of lithium demand by 2030.

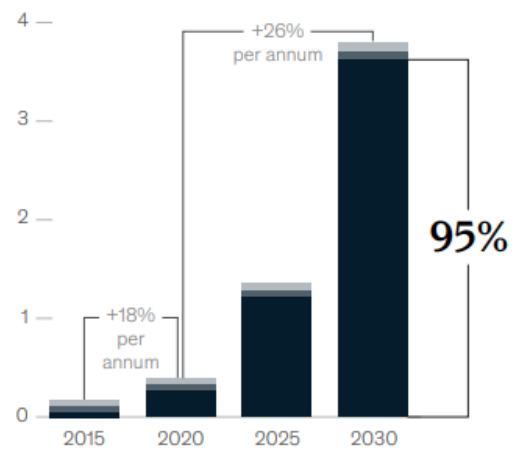
Lithium demand by end use, million metric tons lithium carbonate equivalent

■ Batteries ■ Ceramics and glasses ■ Other¹

Base scenario



Aggressive electric-vehicle adoption scenario

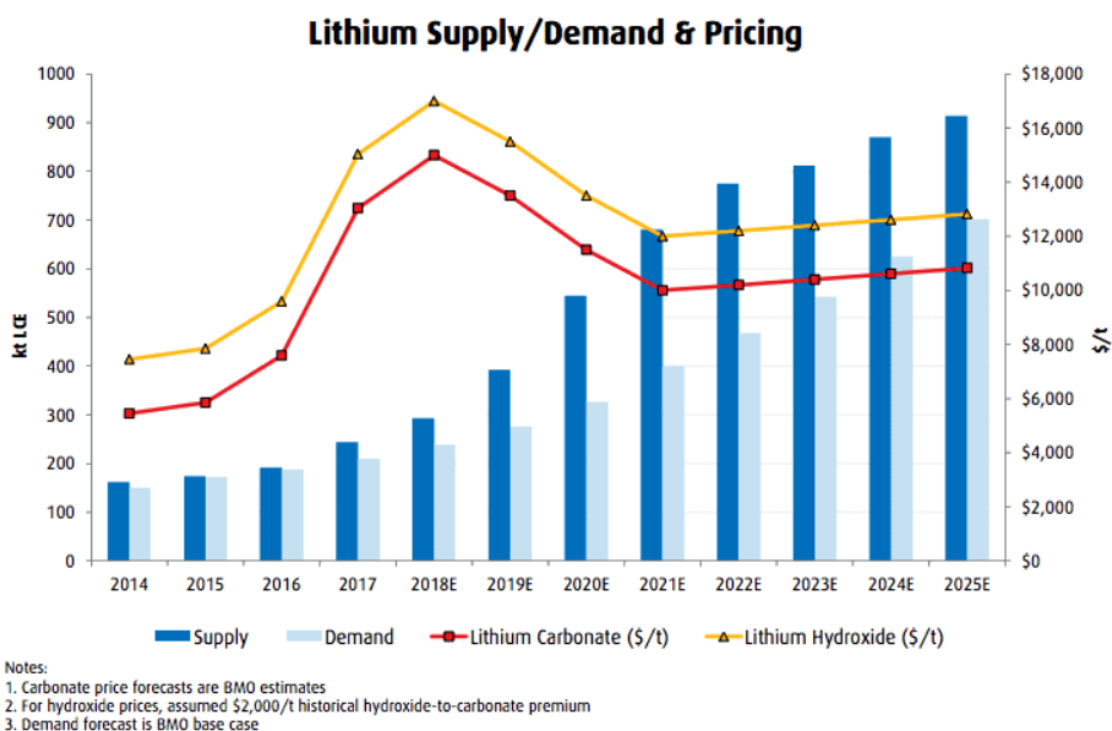


¹Includes greases, metallurgical powders, polymers, and other industrial uses.
Source: McKinsey lithium demand model

Fonte: McKinsey battery demand model

Per soddisfare questa crescente domanda, la produzione di litio è stata estesa a livello globale. L'Australia ha consolidato la sua posizione come principale produttore mondiale, grazie alle sue ampie riserve di spodumene. Similmente, il Cile e l'Argentina hanno capitalizzato sulle loro vaste riserve di salamoie di litio, come evidenziato dal rapporto di Roskill²⁸, che dettaglia come l'espansione delle capacità estrattive in queste regioni abbia potenziato l'offerta globale di litio. Nonostante questi sforzi, la volatilità dei prezzi ha continuato a caratterizzare il mercato, influenzata da speculazioni, sfide estrattive e una competizione crescente per le risorse, un fenomeno monitorato da Benchmark Mineral Intelligence²⁹. In breve, la volatilità dei prezzi del litio è guidata principalmente dall'aumento rapido della domanda, dai lunghi tempi di sviluppo dei progetti minerari e dall'incertezza riguardo alle tecnologie future delle batterie.

Fig. 22- Analisi delle Tendenze di Offerta, Domanda e Prezzo del Litio dal 2014 al 2025



Fonte: Benchmark Mineral Intelligence

Guardando al futuro, l'attenzione crescente verso la sostenibilità e la transizione energetica segnala un ulteriore aumento della domanda di litio, in particolare per il suo impiego in tecnologie di accumulo energetico su larga scala. L'International Energy Agency³⁰ ha sottolineato l'importanza di tecnologie estrattive più sostenibili e del riciclo del litio come

²⁸ Si veda: Roskill, *Global Lithium Market Report*

²⁹ Si veda : Benchmark Mineral Intelligence, *Lithium Price Trends and Market Analysis*

³⁰ Si veda : International Energy Agency, *Report on Lithium Sustainability and Market Trends*

strategie indispensabili per garantire un approvvigionamento stabile e ridurre l'impatto ambientale.

1.12 La logistica mineraria del litio: trasporto, mezzi, condizioni di viaggio e conservazione

Fig. 23- Operazioni di scarico di sacchi di carbonato di litio nel porto di Shanghai



Fonte: Visual China Group

La logistica mineraria del litio è un aspetto fondamentale della catena di approvvigionamento globale, dato il ruolo essenziale del litio nella produzione di batterie per veicoli elettrici, dispositivi elettronici e sistemi di accumulo di energia. Il trasporto del litio presenta sfide specifiche dovute alle sue caratteristiche chimico-fisiche e ai rischi associati. Di seguito verranno esplorate le diverse fasi della logistica del litio, comprendendo le condizioni di trasporto, i mezzi utilizzati, le condizioni di viaggio e quelle di conservazione.

1. Condizioni di Trasporto del Litio

Il litio è solitamente trasportato sotto forma di minerale grezzo (come spodumene o petalite) o come composti raffinati, principalmente idrossido di litio (LiOH) e carbonato di litio (Li₂CO₃).

La natura chimicamente reattiva del litio e dei suoi composti richiede specifiche condizioni di trasporto per minimizzare i rischi di incidenti. In particolare:

- Condizioni Ambientali: Il litio metallico è altamente reattivo, specialmente con l'acqua, e può provocare incendi se non adeguatamente gestito. Per questo motivo, il litio puro è solitamente trasportato in atmosfera inerte o in contenitori sigillati. I composti come il carbonato e l'idrossido di litio sono meno reattivi ma richiedono comunque protezione dall'umidità e da agenti contaminanti.
- Imballaggio: L'imballaggio deve essere conforme alle normative internazionali come l'IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code) e il regolamento IATA (International Air Transport Association) per i materiali pericolosi. Il litio metallico viene trasportato in contenitori a tenuta d'aria, spesso riempiti con gas inerti (come l'argon), mentre i composti sono trasportati in sacchi di polietilene o fusti sigillati.

2. Mezzi di Trasporto

La scelta del mezzo di trasporto per il litio dipende dalla forma in cui è trasportato, dalla distanza e dalla destinazione finale. I principali mezzi includono:

- Trasporto Stradale: Utilizzato principalmente per brevi distanze, il trasporto su gomma richiede l'uso di camion specializzati dotati di sistemi antincendio. La quantità trasportabile varia a seconda delle normative locali, ma in media, un camion può trasportare tra 20 e 30 tonnellate di composti di litio.
- Trasporto Ferroviario: Per il trasporto su lunghe distanze all'interno dei continenti, il trasporto ferroviario offre un'opzione efficiente. I vagoni cisterna o container sono progettati per trasportare grandi quantità di litio, fino a 60-80 tonnellate per treno.
- Trasporto Marittimo: La maggior parte del litio estratto viene spedita via mare dai principali paesi produttori (come Australia, Cile e Argentina) ai centri di produzione di batterie in Asia, Europa e Nord America. Le navi utilizzate sono spesso cargo o portarinfuse che possono trasportare migliaia di tonnellate di litio. Ad esempio, una nave portarinfuse di medie dimensioni può trasportare fino a 50.000 tonnellate di minerali grezzi.
- Trasporto Aereo: Riservato principalmente ai composti di litio di alto valore o per le spedizioni urgenti, il trasporto aereo è soggetto a rigide norme di sicurezza a causa del

rischio di incendi. La quantità di litio trasportabile per via aerea è limitata, solitamente poche tonnellate per volo.

3. Condizioni di Viaggio

Le condizioni di viaggio per il litio richiedono un monitoraggio continuo per garantire la sicurezza e la qualità del materiale trasportato:

- **Temperatura:** Il litio metallico deve essere mantenuto a temperature controllate per prevenire la reazione con l'ambiente. I container refrigerati o con sistemi di controllo termico sono spesso utilizzati per mantenere il litio a temperature sicure.
- **Umidità:** I composti di litio, se esposti all'umidità, possono reagire formando sostanze corrosive. Per questo motivo, il controllo dell'umidità è essenziale, con i carichi spesso protetti da barriere a vapore e sistemi di deumidificazione.
- **Movimentazione:** Le operazioni di carico e scarico devono essere eseguite con attrezzature anti scintilla e personale addestrato per ridurre al minimo il rischio di incidenti. L'uso di pallet, cinghie di sicurezza e sistemi di ancoraggio è fondamentale per evitare danni durante il trasporto.

4. Condizioni di Conservazione

La conservazione del litio, sia nelle miniere che nei siti di produzione, deve rispettare rigorose norme di sicurezza per prevenire incidenti ambientali e pericolosi:

- **Depositi di Minerale:** Nelle miniere, i minerali di litio sono spesso conservati in grandi cumuli all'aperto, ma devono essere protetti dalla contaminazione dell'acqua per evitare reazioni pericolose. Vengono spesso utilizzati sistemi di copertura e drenaggio.
- **Depositi di Composti Chimici:** Gli impianti di lavorazione e raffinazione conservano il litio in magazzini appositamente progettati con sistemi di controllo dell'umidità e della temperatura. I composti sono immagazzinati in contenitori sigillati e classificati come materiali pericolosi.
- **Stoccaggio Temporaneo:** Nei porti e nei centri logistici, il litio è conservato in aree designate, spesso dotate di sistemi antincendio e di contenimento delle fuoriuscite per gestire eventuali emergenze.

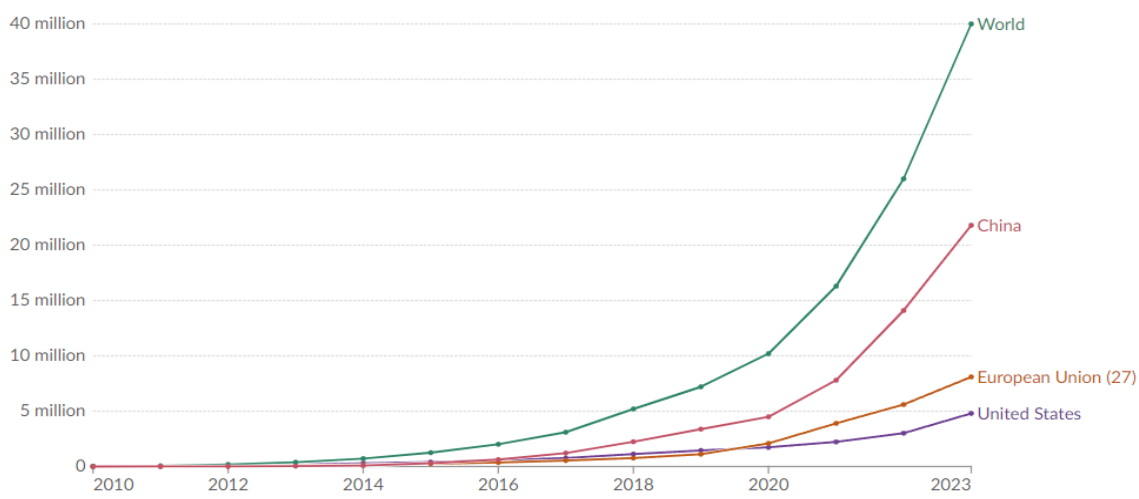
2. I MOTIVI DELL'AUMENTO DEL CONSUMO DEL LITIO

Negli ultimi anni, il consumo globale di litio ha subito un significativo incremento, trainato principalmente dalla crescita esponenziale dell'industria dei veicoli elettrici (EV). Tale tendenza è strettamente legata alla transizione verso una mobilità più sostenibile, supportata da politiche governative che mirano alla riduzione delle emissioni di gas serra e alla promozione delle energie rinnovabili. L'aumento della domanda di litio è, pertanto, una diretta conseguenza della necessità di batterie più efficienti, durevoli e capaci di alimentare veicoli a emissioni zero.

2.1 La Crescita della Mobilità Elettrica

La mobilità elettrica sta vivendo un periodo di espansione senza precedenti. Secondo i dati dell'International Energy Agency (IEA), il numero di veicoli elettrici in circolazione a livello globale è passato da circa 2 milioni nel 2016 a oltre 10 milioni nel 2020, con previsioni che indicano un ulteriore aumento a 145 milioni entro il 2030, se le politiche attuali verranno mantenute. Tale aumento è stato alimentato da vari fattori, tra cui il calo dei costi delle batterie agli ioni di litio, miglioramenti nell'infrastruttura di ricarica, e un crescente impegno da parte delle case automobilistiche a elettrificare la loro gamma di veicoli. Marchi come Tesla, Nissan, e BMW sono stati pionieri in questo campo, ma oggi praticamente tutti i principali produttori di automobili hanno annunciato piani per la produzione di veicoli elettrici o ibridi plug-in, spingendo ulteriormente la domanda di batterie al litio.

Fig. 24-Andamento temporale del numero di veicoli elettrici in circolazione



Fonte: International Energy Agency. Global EV Outlook 2024

Le politiche ambientali, come il divieto programmato di vendita di nuovi veicoli a combustione interna in vari paesi europei e l'introduzione di incentivi fiscali per l'acquisto di veicoli elettrici,

hanno accelerato questa transizione. Ad esempio, la Cina, che è il più grande mercato per i veicoli elettrici, ha imposto quote obbligatorie di produzione per i veicoli a nuova energia (NEV)³¹ e ha incentivato massicci investimenti nella produzione di batterie e veicoli elettrici. Gli Stati Uniti e l'Unione Europea stanno seguendo una traiettoria simile, con piani ambiziosi per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili entro i prossimi decenni.

2.2 Le Tipologie di Batterie agli Ioni di Litio Utilizzate nei Veicoli Elettrici

Le batterie agli ioni di litio rappresentano la tecnologia dominante per l'alimentazione dei veicoli elettrici grazie alla loro alta densità energetica, lunga durata e capacità di ricarica rapida. Esistono diverse varianti di queste batterie, ciascuna con caratteristiche specifiche che ne determinano l'uso a seconda delle esigenze del veicolo. Tra le più comuni vi sono le batterie agli ioni di litio NCA (Nickel-Cobalto-Alluminio) e NMC (Nickel-Manganese-Cobalto), utilizzate rispettivamente da Tesla e da numerosi altri produttori. Le batterie NCA offrono una densità energetica³² molto elevata, il che le rende ideali per veicoli che necessitano di una lunga autonomia, come quelli prodotti da Tesla. Tuttavia, la presenza di cobalto, un materiale costoso e con problematiche etiche legate alla sua estrazione, ha spinto la ricerca verso alternative che ne riducano l'uso. Le batterie NMC, utilizzate da aziende come LG Chem e Panasonic, offrono un buon compromesso tra densità energetica, sicurezza e durata del ciclo di vita. Tali batterie sono particolarmente apprezzate per la loro flessibilità, poiché il rapporto tra nickel, manganese e cobalto può essere modulato per ottimizzare diverse prestazioni a seconda delle applicazioni specifiche. Un'altra variante emergente è rappresentata dalle batterie LFP (Litio-Ferro-Fosfato), che offrono una maggiore stabilità termica e sono meno costose da produrre, sebbene abbiano una densità energetica inferiore rispetto alle NCA e NMC. Queste batterie sono particolarmente utilizzate in Cina, dove la riduzione dei costi di produzione è una priorità, e stanno iniziando a guadagnare terreno anche in altri mercati, grazie alle loro caratteristiche di sicurezza e longevità. La ricerca e sviluppo nel campo delle batterie agli ioni di litio continua a essere un settore di grande innovazione. Nuove tecnologie, come le batterie allo stato solido, promettono

³¹ L'acronimo NEV significa "veicoli a nuova energia" ed è un termine utilizzato per descrivere tutti i tipi di veicoli elettrici, da quelli completamente elettrici alimentati a batteria, a quelli ibridi e ibridi plug-in.

³² La densità energetica di una batteria agli ioni di litio rappresenta la quantità di energia che può essere immagazzinata per unità di massa o di volume. Viene generalmente espressa in wattora per chilogrammo (Wh/kg) per la densità energetica gravimetrica, o wattora per litro (Wh/L) per la densità energetica volumetrica.

di superare le limitazioni attuali in termini di densità energetica e sicurezza, aprendo la strada a veicoli elettrici con autonomie ancora maggiori e tempi di ricarica significativamente ridotti. Queste innovazioni potrebbero ulteriormente spingere la domanda di litio, trasformandolo in una risorsa ancora più importante per l'economia globale del futuro. L'aumento del consumo di litio è quindi strettamente legato alla rapida adozione dei veicoli elettrici e all'evoluzione delle tecnologie delle batterie. Mentre la transizione verso una mobilità sostenibile prosegue, è probabile che la domanda di litio continui a crescere, ponendo importanti sfide in termini di approvvigionamento e sostenibilità ambientale.

2.3 Le Batterie per Dispositivi Elettronici

Le batterie agli ioni di litio hanno rivoluzionato il mondo dei dispositivi elettronici portatili, diventando la tecnologia dominante per alimentare una vasta gamma di dispositivi, dai telefoni cellulari ai laptop, dai tablet agli smartwatch. Tale tecnologia ha permesso di raggiungere un livello di portabilità e potenza che era impensabile solo pochi decenni fa, rispondendo alla crescente domanda di dispositivi sempre più potenti e duraturi. Questo paragrafo esaminerà la crescita della domanda di dispositivi elettronici portatili e le innovazioni che stanno trasformando le batterie agli ioni di litio.

La domanda di dispositivi elettronici portatili è cresciuta esponenzialmente negli ultimi anni, alimentata dall'integrazione della tecnologia nella vita quotidiana e dall'espansione dei mercati emergenti. Secondo uno studio di Statista, nel 2021 il numero di smartphone attivi a livello mondiale ha superato i 6,4 miliardi, e si prevede che tale cifra raggiunga i 7,6 miliardi entro il 2027. Tale crescita è stata sostenuta non solo dalla continua innovazione tecnologica, ma anche dalla necessità di connettività costante in un mondo sempre più globalizzato. La pandemia di COVID-19 ha ulteriormente accelerato questa tendenza, aumentando la dipendenza dai dispositivi elettronici per il lavoro da remoto, l'istruzione a distanza e l'intrattenimento. I laptop e i tablet hanno visto una domanda crescente, in particolare nei settori dell'istruzione e del lavoro a distanza. Il mercato globale dei laptop, ad esempio, ha registrato un aumento delle vendite del 26% nel 2020 rispetto all'anno precedente, secondo i dati di IDC³³ (International Data Corporation). Anche il mercato dei dispositivi indossabili, come smartwatch e fitness tracker, ha visto una crescita significativa, con un aumento del 28,4% nelle spedizioni globali

³³ Si veda: IDC Worldwide Quarterly Personal Computing Device Tracker

nel 2020, spinto dalla crescente attenzione alla salute personale e al fitness. Questa crescita nella domanda di dispositivi elettronici portatili ha esercitato una pressione considerevole sulla produzione di batterie agli ioni di litio, che sono essenziali per alimentare tali dispositivi. La capacità delle batterie agli ioni di litio di fornire energia in maniera affidabile, mantenendo al contempo un peso ridotto e una lunga durata, le ha rese la scelta prediletta per l'alimentazione di dispositivi elettronici di consumo.

2.4 Le Innovazioni nelle Batterie agli Ioni di Litio nei dispositivi elettronici

Le batterie agli ioni di litio hanno subito importanti miglioramenti tecnologici per soddisfare la crescente domanda di dispositivi elettronici più piccoli, leggeri e potenti. Tali innovazioni si concentrano principalmente su quattro aree: densità energetica, velocità di ricarica, sicurezza e sostenibilità.

- **Densità Energetica:** La densità energetica è un parametro fondamentale nelle batterie agli ioni di litio, poiché determina la quantità di energia che può essere immagazzinata per unità di peso. Negli ultimi anni, la densità energetica delle batterie agli ioni di litio è aumentata in maniera sostanziale. Secondo un rapporto di BloombergNEF³⁴, la densità energetica media delle batterie agli ioni di litio è cresciuta da circa 250 Wh/kg nel 2015 a oltre 350 Wh/kg nel 2020. Questa crescita è stata resa possibile grazie a miglioramenti nella chimica delle celle, come l'introduzione di catodi³⁵ ad alta capacità contenenti una maggiore quantità di nickel e una ridotta quantità di cobalto, come nelle batterie NMC (Nickel-Manganese-Cobalto) e NCA (Nickel-Cobalto-Alluminio).
- **Velocità di Ricarica:** La velocità di ricarica è un altro aspetto fondamentale che ha visto miglioramenti significativi. L'introduzione di tecnologie come la ricarica rapida (Fast Charging) ha ridotto drasticamente i tempi necessari per ricaricare un dispositivo

³⁴ Si veda: BloombergNEF (BNEF) rapporti sui miglioramenti della densità energetica delle batterie agli ioni di litio e sull'impatto di queste innovazioni sulla competitività dei dispositivi elettronici.

³⁵ Il catodo è un elettrodo attraverso il quale i portatori di carica, come elettroni o ioni, entrano in un dispositivo elettrico o elettrochimico. In altre parole, è l'elettrodo dove avviene la riduzione in una cella elettrochimica, ovvero l'acquisizione di elettroni.

In una batteria o una cella galvanica, il catodo è l'elettrodo positivo e attira i cationi, poiché questi sono ioni carichi positivamente che si muovono verso l'elettrodo negativo. Durante il processo di scarica di una batteria, il catodo è il sito in cui avviene la riduzione, ovvero l'ossidante nella reazione riduce guadagnando elettroni.

elettronico. Alcuni produttori di smartphone, come Xiaomi e Oppo, hanno lanciato dispositivi che possono essere caricati completamente in meno di 30 minuti grazie a tecnologie di ricarica rapida che utilizzano correnti elevate e sistemi di gestione del calore avanzati. Tali tecnologie non solo migliorano l'esperienza dell'utente, ma riducono anche l'usura delle batterie, prolungandone la durata complessiva.

- **Sicurezza:** La sicurezza delle batterie agli ioni di litio è un aspetto critico, in particolare a causa dei rischi associati al surriscaldamento e alla possibilità di incendi o esplosioni. Negli ultimi anni, sono stati fatti importanti progressi per migliorare la sicurezza delle batterie, introducendo materiali più stabili e resistenti al calore. Ad esempio, l'uso di elettroliti solidi o semi-solidi al posto degli elettroliti liquidi tradizionali riduce il rischio di fuoriuscite e cortocircuiti, aumentando la stabilità termica delle batterie. Inoltre, l'introduzione di tecnologie di rilevamento e gestione termica avanzate consente di monitorare e controllare in tempo reale la temperatura della batteria, prevenendo il surriscaldamento.
- **Sostenibilità:** La sostenibilità è diventata una preoccupazione crescente nella produzione di batterie agli ioni di litio, a causa dell'impatto ambientale associato all'estrazione delle materie prime e allo smaltimento delle batterie esauste. Le aziende stanno investendo in nuove tecnologie per il riciclo delle batterie, che consentono di recuperare e riutilizzare materiali preziosi come il litio, il cobalto e il nickel. Secondo un rapporto del World Economic Forum³⁶, il tasso di riciclaggio delle batterie agli ioni di litio potrebbe aumentare sensibilmente nei prossimi anni, grazie all'introduzione di nuovi processi chimici e meccanici che rendono il riciclo più efficiente e meno costoso. Inoltre, sono in fase di sviluppo batterie a base di materiali più abbondanti e meno impattanti, come il ferro e il fosfato (batterie LFP - Litio-Ferro-Fosfato), che offrono una maggiore sostenibilità senza compromettere troppo la densità energetica.

Le innovazioni nelle batterie agli ioni di litio continuano a guidare il progresso tecnologico nei dispositivi elettronici portatili, permettendo la creazione di dispositivi sempre più potenti e versatili. Tuttavia, la domanda crescente di questi dispositivi pone nuove sfide in termini di approvvigionamento di materie prime e gestione del ciclo di vita delle batterie. La ricerca e

³⁶La Global Battery Alliance (GBA) è una piattaforma di collaborazione pubblico-privata fondata nel 2017 in occasione del World Economic Forum per contribuire a stabilire una filiera sostenibile delle batterie entro il 2030.

sviluppo nel campo delle batterie sta affrontando queste sfide, con l'obiettivo di creare una tecnologia che sia non solo più efficiente, ma anche più sicura e sostenibile per il futuro.

2.5 Le Energie Rinnovabili e Sistemi di Accumulo

L'adozione delle energie rinnovabili rappresenta un pilastro fondamentale nella transizione verso un futuro sostenibile, con una particolare attenzione alla riduzione delle emissioni di carbonio. Le fonti rinnovabili, come l'energia solare e quella eolica, sono essenziali in questo sforzo, ma presentano una variabilità intrinseca e un'intermittenza che possono mettere a dura prova la stabilità e l'affidabilità delle reti elettriche. Le fonti sopracitate dipendono strettamente dalle condizioni meteorologiche: il sole non brilla di notte e il vento non soffia costantemente, il che può portare a una produzione energetica non sincronizzata con i picchi di domanda. Per superare tali sfide, i sistemi di accumulo di energia stanno diventando strumenti critici. Tra queste tecnologie, le batterie agli ioni di litio spiccano per la loro capacità di immagazzinare energia durante i periodi di sovrapproduzione e di rilasciarla quando è più necessaria. Questo non solo aiuta a bilanciare la produzione e il consumo in tempo reale, ma migliora anche la resilienza energetica, consentendo alle reti di rispondere più agilmente alle fluttuazioni della domanda e dell'offerta. Le batterie agli ioni di litio, grazie alla loro alta densità energetica, consentono di conservare grandi quantità di energia in spazi relativamente limitati, rendendole ideali per l'integrazione nelle infrastrutture urbane e periurbane. Tali batterie possono essere caricate rapidamente durante i picchi di produzione rinnovabile e sono capaci di fornire energia quasi istantaneamente quando necessario, facilitando così la gestione dei carichi di punta e contribuendo a stabilizzare la rete contro le interruzioni potenzialmente causate dall'intermittenza delle rinnovabili. L'efficacia dei sistemi di accumulo si estende oltre la semplice memorizzazione dell'energia; essi giocano un ruolo vitale nel fornire servizi di regolazione di frequenza e riserva di potenza, elementi fondamentali per mantenere l'equilibrio tra domanda e offerta in tempo reale. L'integrazione di queste tecnologie facilita quindi una transizione più fluida verso un mix energetico dominato dalle rinnovabili, riducendo la dipendenza dai generatori a combustibili fossili che sono tradizionalmente utilizzati per gestire l'instabilità della rete. La crescente penetrazione delle energie rinnovabili nel mix energetico globale e il miglioramento continuo delle tecnologie di accumulo come le batterie agli ioni di litio rappresentano una strategia fondamentale non solo per decarbonizzare la produzione energetica, ma anche per garantire un approvvigionamento energetico sicuro, affidabile e

flessibile in un futuro sostenibile. Questi sistemi di accumulo sono quindi essenziali per bilanciare la produzione intermittente e per sostenere un approvvigionamento continuo e affidabile, contribuendo a stabilizzare le reti elettriche e a facilitare una transizione ordinata verso le energie rinnovabili.

2.6 Uso delle Batterie per lo Stoccaggio di Energia Rinnovabile

Le batterie agli ioni di litio, inizialmente sviluppate per dispositivi elettronici portatili e veicoli elettrici, hanno rapidamente acquisito importanza anche nel settore dello stoccaggio di energia rinnovabile. La loro elevata densità energetica, l'efficienza di ciclo, la modularità e la lunga durata operativa le rendono particolarmente adatte per applicazioni di accumulo di energia su larga scala. Un aspetto determinante delle batterie agli ioni di litio è la loro elevata densità energetica, che consente di immagazzinare una grande quantità di energia in spazi relativamente ridotti. Ciò risulta fondamentale per l'installazione di sistemi di accumulo in contesti urbani o in aree con spazio limitato. Secondo un rapporto di BloombergNEF³⁷, la densità energetica delle batterie agli ioni di litio è migliorata costantemente, con incrementi annuali che hanno ridotto il costo per kilowattora e aumentato l'efficienza complessiva dei sistemi di accumulo. Inoltre, l'efficienza di ciclo³⁸ superiore al 90% permette di recuperare la maggior parte dell'energia immagazzinata, minimizzando le perdite e massimizzando l'utilizzo delle risorse rinnovabili. Le batterie agli ioni di litio sono fondamentali per la stabilizzazione delle reti elettriche. Esse forniscono servizi di regolazione della frequenza e bilanciamento del carico, essenziali per gestire la variabilità della produzione rinnovabile. Il progetto Hornsdale Power Reserve³⁹ in Australia, noto come "Tesla Big Battery", è un esempio emblematico di come queste batterie possano stabilizzare una rete elettrica, ridurre i costi operativi e diminuire le emissioni di carbonio. Questo impianto è stato in grado di rispondere rapidamente ai picchi di domanda, contribuendo a mantenere la continuità della fornitura di energia e dimostrando il potenziale

³⁷ Si veda: Battery Technology and Storage Trends - BloombergNEF

³⁸ L'efficienza di ciclo si riferisce alla percentuale di energia elettrica che può essere effettivamente recuperata dalle batterie rispetto all'energia che è stata immagazzinata inizialmente.

³⁹ Hornsdale Power Reserve è la prima grande batteria al mondo. Fornisce servizi essenziali di supporto alla rete. I primi 100 MW/129 MWh sono stati completati a novembre 2017. Nei suoi primi due anni di attività, la Hornsdale Power Reserve ha confermato i vantaggi associati alle batterie su scala di rete nel National Electricity Market e ha fatto risparmiare ai consumatori del Sud Australia oltre 150 milioni di \$. In seguito a questo successo, a settembre 2020 è stata completata un'espansione da 50 MW/64,5 MWh. Come parte dell'espansione, tutti i 150 MW vengono aggiornati per includere la modalità Virtual Machine di Tesla, consentendo alla batteria di fornire servizi di supporto inerziale alla rete elettrica.

delle batterie agli ioni di litio per supportare la transizione energetica globale. I Battery Energy Storage Systems (BESS) rappresentano oggi la tecnologia più diffusa per lo stoccaggio dell'energia rinnovabile. Tali sistemi consentono di immagazzinare l'energia prodotta in eccesso e di utilizzarla quando la produzione da fonti rinnovabili è bassa o quando la domanda di energia supera l'offerta. La modularità e l'alta efficienza di carica e scarica delle batterie agli ioni di litio, che può superare il 90%, le rendono ideali per queste applicazioni. Inoltre, la flessibilità offerta dai BESS è fondamentale per la gestione dei picchi di domanda e per la stabilità delle reti elettriche, contribuendo a ridurre la necessità di centrali a combustibili fossili durante i periodi di alta domanda e, di conseguenza, abbattendo le emissioni di CO₂.

2.7 Le Innovazioni Tecnologiche e le sfide Future

La tecnologia delle batterie agli ioni di litio è in continua evoluzione, con ricerche mirate a migliorare le prestazioni, ridurre i costi e affrontare le sfide di sostenibilità. Un'area di particolare interesse è lo sviluppo di nuove chimiche per le batterie, come quelle basate su litio-ferro-fosfato (LFP), che offrono maggiore stabilità termica e una vita utile più lunga. Queste batterie sono particolarmente adatte per l'accumulo di energia su larga scala, dove la sicurezza e la durata sono prioritarie. Allo stesso tempo, l'adozione di catodi ad alto contenuto di nickel sta emergendo come una soluzione per aumentare ulteriormente la densità energetica e ridurre la dipendenza dal cobalto, un materiale costoso e con problematiche di approvvigionamento e sostenibilità. La crescente domanda di batterie agli ioni di litio pone importanti sfide in termini di approvvigionamento delle materie prime e gestione del fine vita delle batterie. Secondo il Global Battery Alliance⁴⁰, entro il 2030 si prevede che circa 11 milioni di tonnellate di batterie agli ioni di litio raggiungeranno la fine del loro ciclo di vita. Il riciclo delle batterie è quindi un aspetto sempre più cruciale per garantire la sostenibilità di questa tecnologia. Sono allo studio processi avanzati di riciclo che permettono di recuperare materiali preziosi come il litio, il nickel e il cobalto, riducendo la dipendenza dall'estrazione di nuove risorse e mitigando l'impatto ambientale associato allo smaltimento delle batterie esauste.

⁴⁰ Il Global Battery Alliance (GBA) è un'iniziativa multi-stakeholder lanciata dal World Economic Forum, che riunisce aziende, governi, organizzazioni non governative e istituzioni accademiche con l'obiettivo di promuovere uno sviluppo sostenibile del ciclo di vita delle batterie. L'alleanza mira a garantire che la produzione, l'uso e il riciclo delle batterie siano effettuati in modo sostenibile e responsabile, riducendo l'impatto ambientale e promuovendo l'innovazione. In questo contesto, il GBA si concentra su questioni come la tracciabilità dei materiali, la riduzione delle emissioni di carbonio, il rispetto dei diritti umani nelle catene di approvvigionamento e la promozione dell'economia circolare per le batterie.

2.8 Lo sviluppo di Nuove Chimiche per le Batterie

Una delle innovazioni più promettenti nel campo delle batterie agli ioni di litio riguarda l'adozione di chimiche alternative come quella basata su litio-ferro-fosfato (LFP). Le batterie LFP offrono una maggiore stabilità termica rispetto alle tradizionali batterie agli ioni di litio, il che le rende meno propense al surriscaldamento e quindi più sicure. Inoltre, hanno una vita utile più lunga, che può essere particolarmente vantaggiosa per applicazioni come l'accumulo di energia su larga scala, dove la longevità e la robustezza sono cruciali. Queste caratteristiche rendono le batterie LFP ideali per installazioni di storage di energia che necessitano di affidabilità a lungo termine senza il rischio di degrado rapido. Parallelamente, la ricerca si sta orientando verso l'utilizzo di catodi ad alto contenuto di nickel. Tali materiali possono potenzialmente incrementare la densità energetica delle batterie, consentendo loro di immagazzinare più energia per unità di massa. Tuttavia, l'alto contenuto di nickel presenta anche delle sfide, come la riduzione della dipendenza dal cobalto, un materiale noto per le sue problematiche di approvvigionamento etico e per il suo costo elevato. Ridurre la quota di cobalto nei catodi non solo potrebbe diminuire i costi delle batterie, ma anche mitigare le questioni etiche legate all'estrazione del cobalto.

2.9 La Gestione delle Risorse e Riciclo

La crescente domanda di batterie agli ioni di litio esercita una pressione intensa sulle risorse naturali necessarie alla loro produzione, come il litio, il nickel e il cobalto. Questa situazione solleva grandi preoccupazioni riguardo alla sostenibilità a lungo termine dell'approvvigionamento di tali materiali. Come già detto in precedenza, il Global Battery Alliance prevede che entro il 2030, circa 11 milioni di tonnellate di batterie agli ioni di litio saranno giunte al termine del loro ciclo di vita. Il riciclo efficiente di queste batterie diventa quindi essenziale per ridurre la dipendenza dall'estrazione mineraria e per minimizzare l'impatto ambientale dello smaltimento delle batterie esauste. Sono in fase di sviluppo processi avanzati di riciclo che mirano a recuperare materiali preziosi dai vecchi accumulatori. Tali metodi includono trattamenti termici e chimici che possono estrarre il litio, il nickel e il cobalto in forme riutilizzabili, contribuendo così a "chiudere il ciclo" di vita del prodotto. La ricerca in questo ambito è fondamentale non solo per ridurre l'impatto ambientale, ma anche per garantire

la disponibilità di materie prime critiche per la produzione di nuove batterie. Le prospettive future delle batterie agli ioni di litio si concentrano sulla risoluzione delle sfide di sostenibilità, miglioramento delle prestazioni e riduzione dei costi. Con il continuo avanzamento delle tecnologie di riciclo e lo sviluppo di nuove chimiche, si prevede che le batterie agli ioni di litio continueranno a giocare un ruolo fondamentale nella transizione energetica globale, supportando l'espansione delle energie rinnovabili e l'adozione di soluzioni di accumulo più efficienti e sostenibili. La capacità di innovare in questo settore sarà determinante per garantire che l'energia pulita sia non solo accessibile e affidabile, ma anche responsabile dal punto di vista ambientale e sociale.

2.10 Applicazioni Residenziali e Commerciali

Oltre all'uso su larga scala, le batterie agli ioni di litio stanno trovando applicazione anche in contesti residenziali e commerciali. Sistemi come il Tesla Powerwall e il LG Chem RESU⁴¹ consentono ai proprietari di abitazioni e alle piccole imprese di immagazzinare l'energia solare prodotta dai loro impianti fotovoltaici e utilizzarla durante i periodi di picco della domanda o durante i blackout. Questi sistemi non solo offrono un modo per massimizzare l'autoconsumo di energia rinnovabile, ma contribuiscono anche a ridurre i costi energetici complessivi e a stabilizzare la rete locale. Le applicazioni commerciali dei BESS stanno vedendo una crescita particolarmente rapida in settori dove l'affidabilità dell'alimentazione è critica, come nei data center, negli ospedali e nelle grandi strutture industriali. In molti casi, le aziende utilizzano sistemi di accumulo per partecipare ai mercati dell'energia, vendendo l'energia immagazzinata durante i periodi di alta domanda e contribuendo alla stabilità della rete. In conclusione, le batterie agli ioni di litio stanno emergendo come una componente essenziale dei sistemi di accumulo di energia, fornendo una soluzione affidabile ed efficiente per gestire l'intermittenza delle fonti rinnovabili e contribuire alla stabilità delle reti elettriche. L'adozione di BESS è destinata a crescere ulteriormente, supportata da innovazioni tecnologiche che migliorano le prestazioni delle batterie e da politiche globali che promuovono la transizione verso un sistema energetico più sostenibile e resiliente.

⁴¹ Tesla Powerwall e LG Chem RESU sono sistemi di accumulo di energia domestica che consentono di immagazzinare l'energia prodotta da fonti rinnovabili (come i pannelli solari) o dall'elettricità della rete, per poi utilizzarla quando necessario, come durante la notte o in caso di blackout. Entrambi i sistemi permettono di ottimizzare il consumo energetico, ridurre la dipendenza dalla rete elettrica e contribuire a un uso più efficiente delle energie rinnovabili.

3. IL CASO DEL CILE

Tra i principali produttori globali di litio, il Cile si distingue per la rilevanza strategica delle sue riserve e la crescita sostenuta della sua produzione negli ultimi decenni. Inserito in quello che viene spesso definito il “triangolo del litio”, un’area geografica condivisa con Argentina e Bolivia che ospita circa il 58% delle riserve mondiali di litio, il Cile rappresenta uno degli attori chiave in questo settore. I giacimenti di salamoia nelle saline del Salar de Atacama, situati nel deserto omonimo, costituiscono la principale fonte di estrazione per il paese. Questo salar, ricco di litio e altri minerali come potassio e magnesio, permette al Cile di competere a livello internazionale con un costo di produzione tra i più bassi del mondo. Grazie a tali caratteristiche naturali, il Cile riesce a mantenere un livello di competitività unico, attirando investimenti da parte delle principali multinazionali del settore minerario, come SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) e Albemarle Corporation. L’industria del litio cilena non solo svolge un ruolo centrale nell’economia del paese, ma si inserisce anche in un contesto di crescente domanda globale, spinta dall’adozione di tecnologie sostenibili e da un rapido sviluppo dell’industria delle batterie per veicoli elettrici. Questa crescente domanda rende il Cile un attore di interesse per le economie emergenti, che cercano di posizionarsi nel mercato globale come fornitori essenziali di materie prime critiche per la transizione energetica. Gli effetti di questa crescita sono osservabili a più livelli: non solo in termini economici, ma anche a livello sociale e ambientale, con ripercussioni sulla popolazione locale e sui delicati ecosistemi del deserto di Atacama.

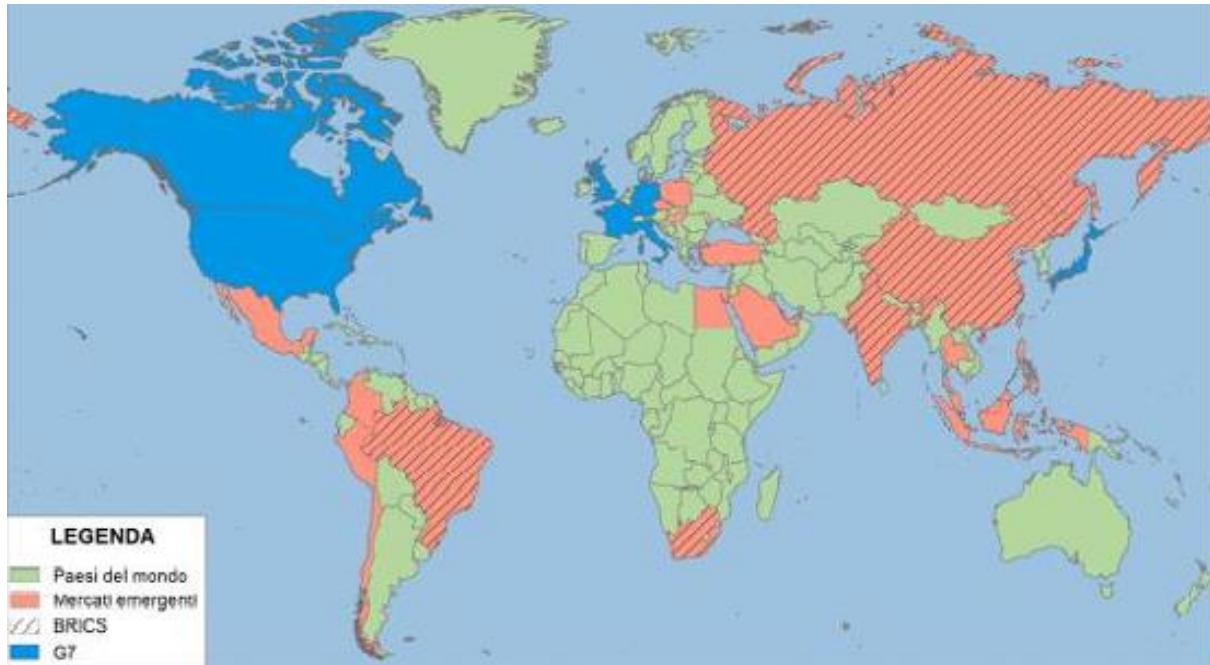
3.1 Il Cile come Mercato Emergente

Inquadrando il Cile come un “mercato emergente”, occorre chiarire cosa si intende con questa definizione e quale sia l’importanza di tale classificazione. Il termine “mercati emergenti” è stato introdotto per la prima volta agli inizi degli anni ‘80 da Antoine van Agtmael, economista della World Bank. Lo scopo principale di questa definizione era attribuire un’immagine più positiva a quei paesi tradizionalmente considerati parte del “Terzo Mondo”⁴², favorendo così l’attrazione di investimenti stranieri e stimolando la crescita economica. L’idea era di superare

⁴² I “Paesi del Terzo Mondo” è un termine originariamente coniato durante la Guerra Fredda per indicare le nazioni che non appartenevano né al blocco occidentale (alleato degli Stati Uniti) né al blocco orientale (alleato dell’Unione Sovietica). Oggi il termine è spesso usato per riferirsi a paesi in via di sviluppo con economie meno avanzate, caratterizzati da bassi livelli di reddito pro-capite, infrastrutture limitate e sfide sociali ed economiche significative, come l’accesso limitato a istruzione, sanità e occupazione stabile.

la percezione negativa associata ai “paesi in via di sviluppo”, sottolineando il potenziale di questi mercati in rapida crescita.

Fig. 25- Carta geografica dei mercati emergenti



Fonte: Google Images

- Arabia Saudita
- Brasile
- Cile
- Cina
- Colombia
- Egitto
- Emirati Arabi Uniti
- Filippine
- India
- Indonesia
- Malesia
- Messico
- Pakistan
- Perù
- Polonia

- Qatar
- Repubblica Ceca
- Russia
- Sud Africa
- Taiwan
- Thailandia
- Turchia
- Ungheria
- Vietnam

Inizialmente, la definizione di “mercati emergenti” era piuttosto ampia e comprendeva paesi molto diversi tra loro, accomunati però da un livello di reddito pro-capite medio-basso e da economie in fase di sviluppo. Dagli anni Ottanta in poi, l’espressione è entrata stabilmente nel lessico economico e geopolitico, utilizzata frequentemente da istituzioni internazionali come il Fondo Monetario Internazionale (FMI), le Nazioni Unite e la Banca Mondiale per riferirsi a economie con caratteristiche comuni, ma anche distintive rispetto ai paesi già sviluppati. Sebbene le classificazioni possano variare tra queste istituzioni, in generale i mercati emergenti si distinguono per il livello di ricchezza pro-capite ancora inferiore rispetto ai paesi sviluppati, ma con un potenziale di crescita economica considerevole. Non esiste una definizione univoca per identificare con precisione quali siano i mercati emergenti. Le istituzioni, i centri di ricerca e le società di consulenza creano elenchi basati su vari criteri economici, sociali e istituzionali, e pertanto i paesi inclusi in questi elenchi possono variare. Ad esempio, gli indicatori utilizzati per classificare un mercato emergente possono includere il tasso di crescita del PIL, il reddito pro-capite, la capacità di attrarre investimenti esteri e il grado di industrializzazione. Questo porta a discrepanze nei numeri: alcuni elenchi includono dai 15 ai 25 paesi, in base alle variabili considerate rilevanti per determinare la loro posizione nel panorama economico globale. In linea generale, i mercati emergenti rappresentano un sottoinsieme dinamico dei paesi in via di sviluppo. Essi condividono una serie di caratteristiche comuni che li differenziano dagli altri paesi in via di sviluppo, in quanto si sono progressivamente allontanati dalle condizioni più critiche del “Terzo Mondo”. Tra le caratteristiche principali si evidenziano:

- **Crescita economica rapida:** i mercati emergenti mostrano tassi di crescita del PIL particolarmente elevati, segno di una forte espansione economica.

- **Aumento del reddito pro-capite:** il miglioramento della ricchezza pro-capite è un indicatore fondamentale del miglioramento economico e del progresso di questi paesi.
- **Espansione della classe media:** l'aumento della classe media rappresenta un cambiamento significativo, poiché genera una base di consumatori più stabile e aumenta la domanda interna di beni e servizi.
- **Industrializzazione e modernizzazione:** tali economie stanno accelerando i loro processi di industrializzazione e modernizzazione, con un passaggio da economie agricole o basate sulle materie prime verso strutture più industrializzate e complesse.
- **Transizione verso l'economia di mercato:** in molti mercati emergenti si osserva un graduale passaggio da un'economia pianificata a un'economia di mercato, come nel caso di Cina e Russia.
- **Riforme governative:** molti governi di mercati emergenti stanno implementando riforme che favoriscono una maggiore apertura ai mercati internazionali e agli investimenti esteri, stimolando così la competitività e lo sviluppo economico.
- **Privatizzazioni e liberalizzazioni:** la privatizzazione di industrie e risorse precedentemente statali e la crescente liberalizzazione economica contribuiscono all'efficienza del mercato.
- **Interazione globale:** questi paesi mostrano una crescente interazione con il mercato mondiale, facilitata anche da accordi di libero scambio e partenariati strategici.
- **Sviluppo infrastrutturale:** la crescita dei mercati emergenti comporta investimenti rilevanti nelle infrastrutture, fondamentali per sostenere l'espansione economica.
- **Sistema educativo in miglioramento:** un sistema educativo e formativo in crescita contribuisce alla preparazione di una forza lavoro qualificata, elemento essenziale per sostenere la competitività di lungo periodo.
- **Atteggiamento positivo verso gli investimenti esteri:** molti mercati emergenti adottano politiche volte a incentivare gli investitori stranieri, offrendo condizioni favorevoli come incentivi fiscali, semplificazioni burocratiche e garanzie di stabilità.

Negli ultimi decenni, i mercati emergenti hanno assunto un ruolo fondamentale all'interno del sistema economico mondiale. Contribuiscono a una quota significativa della crescita globale e,

grazie a tassi di crescita rapida, sono oggi tra i principali motori dell'espansione economica internazionale. I legami produttivi, commerciali e finanziari tra le economie avanzate (come il Nord America, l'Europa e il Giappone) e i mercati emergenti sono diventati molto più forti, accelerando il processo di globalizzazione e di interdipendenza economica. Di fatto, molti settori dell'economia mondiale sono strettamente connessi alla produzione e ai consumi dei mercati emergenti, influenzando profondamente le strategie delle multinazionali e la competitività delle imprese internazionali. Una delle ragioni principali per cui i mercati emergenti sono diventati attrattivi per le strategie di internazionalizzazione delle imprese è la loro resilienza. Essi hanno saputo riprendersi rapidamente anche da crisi economiche globali, dimostrando una maggiore capacità di adattamento rispetto ad alcune economie avanzate. Inoltre, i mercati emergenti sono particolarmente attrattivi per le aziende che desiderano espandersi a livello internazionale, sia per l'ampiezza dei loro mercati interni, sia per le politiche favorevoli agli investimenti stranieri. Il Cile si distingue come uno dei paesi economicamente più stabili e sviluppati tra quelli considerati mercati emergenti. Negli ultimi decenni, ha implementato politiche di libero mercato e ha incentivato una maggiore apertura agli investimenti esteri, specialmente nel settore minerario. Questo ha permesso al paese di mantenere un alto tasso di crescita economica e un livello relativamente basso di inflazione rispetto a molte altre economie emergenti. Le riserve di litio del paese rappresentano una risorsa strategica a livello globale, e la posizione del Cile nel mercato internazionale delle materie prime lo rende un partner essenziale per le economie avanzate in cerca di soluzioni sostenibili per la produzione energetica e la mobilità.

3.2 Il Profilo Demografico e Geografico del Cile

Fig. 26- Carta geografica del Cile



Fonte: DeAgostini 2016

Il Cile è un paese sudamericano caratterizzato da una geografia unica, con una forma allungata che si estende per circa 4.300 km da nord a sud, e una larghezza media di circa 180 km. Questa conformazione contribuisce alla diversità climatica e geografica, con il deserto di Atacama a nord, il clima mediterraneo nella zona centrale e un ambiente freddo e umido a sud. Le montagne della Cordigliera delle Ande delimitano il confine orientale, mentre la costa è bagnata dall'Oceano Pacifico. La varietà di questi paesaggi ha influenzato lo sviluppo della popolazione, che si concentra principalmente nella zona centrale del paese, nelle aree più favorevoli dal punto di vista climatico ed economico.

Fig. 27- Bandiera cilena



Fonte: Google Images

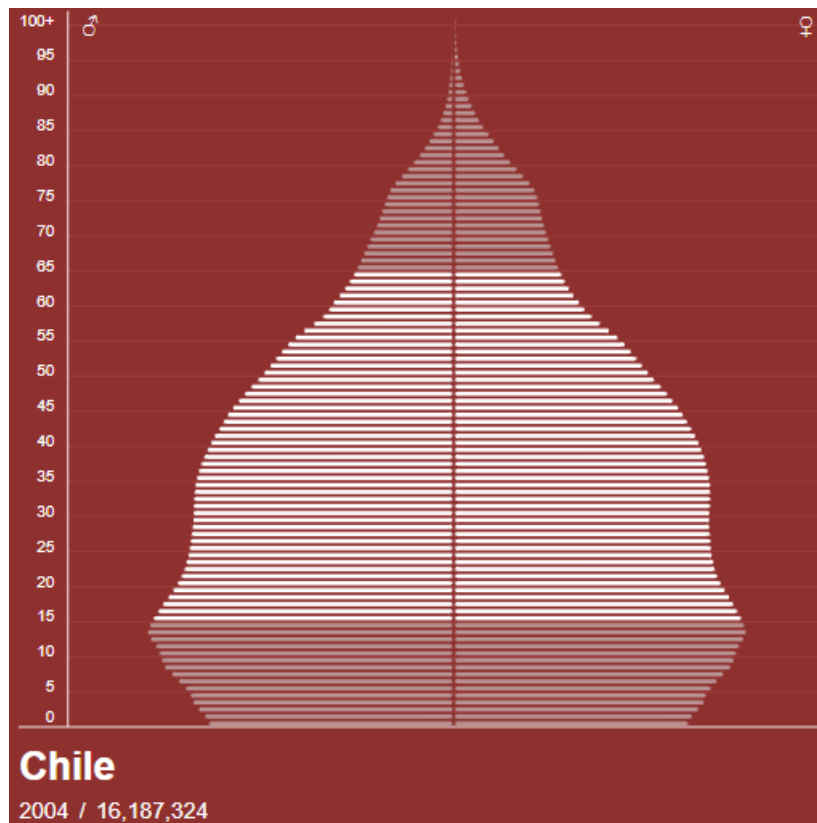
Il Cile è suddiviso in 16 regioni, ognuna con caratteristiche geografiche, climatiche e socioeconomiche specifiche. La Regione Metropolitana di Santiago, che ospita la capitale Santiago, è la più popolata e il principale centro economico del paese. Tra le regioni più rilevanti del Cile si distinguono Antofagasta, un centro strategico per l'industria mineraria; Valparaíso, un'area costiera chiave per il commercio marittimo; e La Araucanía, una regione significativa dal punto di vista culturale per la presenza delle comunità mapuche⁴³ e per le sue abbondanti

⁴³ Le comunità Mapuche, popolazione indigena di Cile e Argentina, hanno una cultura radicata nella spiritualità e nella connessione con la terra, che considerano sacra. Organizzate in gruppi familiari guidati da figure tradizionali

risorse forestali. La suddivisione amministrativa del Cile in 16 regioni risponde all'esigenza di adattare la gestione pubblica alle particolarità geografiche, economiche e demografiche di ciascuna area. Ciò permette di affrontare con maggiore efficacia le sfide locali e di sfruttare le opportunità specifiche offerte da ciascun territorio, facilitando una crescita più bilanciata e inclusiva nel contesto nazionale.

La popolazione cilena, di circa 19 milioni di persone, è distribuita in modo irregolare lungo il territorio. Circa l'87% della popolazione vive in aree urbane, con una maggiore concentrazione nell'area metropolitana di Santiago, dove risiede quasi il 40% degli abitanti. Al contrario, le aree più remote e difficilmente accessibili, come la Patagonia e l'area desertica di Atacama, hanno densità di popolazione molto più basse.

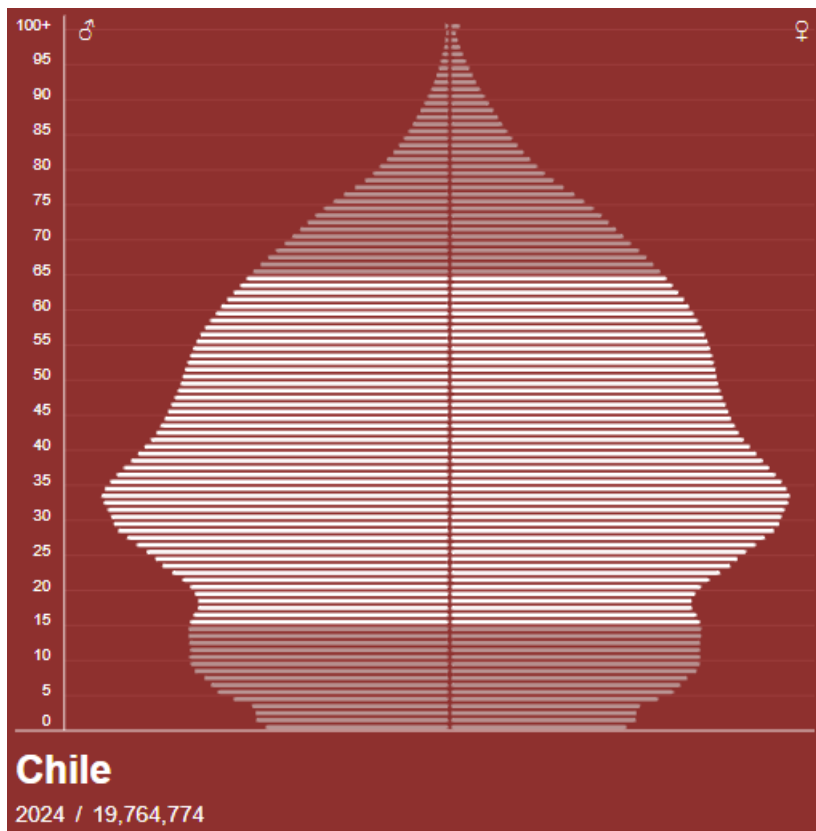
Fig. 28- Piramide dell'età Cile anno 2004



Fonte: *Populationpyramid.net*

come il *lonko* (capo) e il *machi* (guaritore), da secoli resistono per proteggere le loro terre e identità contro colonizzazioni e politiche di assimilazione.

Fig. 29- Piramide dell'età Cile anno 2024



Fonte: *Populationpyramid.net*

La piramide demografica del Cile ha subito cambiamenti significativi dal 2004 a oggi, riflettendo l'invecchiamento progressivo della popolazione. Nel 2004, la piramide mostrava una base relativamente ampia, rappresentativa di una popolazione giovane con tassi di natalità ancora elevati. Tuttavia, già nei decenni successivi, il tasso di natalità ha iniziato a diminuire, mentre la speranza di vita è aumentata, restringendo la base della piramide e ampliando le fasce di età più elevate. Attualmente (2024), il Cile presenta una piramide più "assottigliata" alla base e con una fascia sempre più larga tra i 30 e i 64 anni. L'incremento della popolazione anziana (65+ anni) è evidente, dovuto al calo delle nascite e all'invecchiamento della generazione adulta. Il Paese si avvia così verso uno scenario demografico caratterizzato da una forza lavoro in calo e una popolazione anziana in crescita, con implicazioni economiche e sociali rilevanti. Entro il 2050, le proiezioni mostrano una piramide demografica simile a quella di molti Paesi sviluppati, con una larga percentuale di anziani e una popolazione giovane sempre più ridotta. Si prevede che la popolazione anziana superi il 26%. La densità media di popolazione in Cile è di circa 25 abitanti per km², ma questa cifra varia enormemente tra le regioni. La maggior parte della popolazione vive nella zona centrale, nelle regioni di Valparaíso,

Metropolitana e O'Higgins, dove le condizioni climatiche favorevoli, le infrastrutture sviluppate e le opportunità economiche attraggono un gran numero di abitanti. Al contrario, la regione settentrionale di Antofagasta, sebbene importante per l'industria mineraria, è scarsamente popolata a causa del clima arido e della scarsità di risorse idriche. Al sud, la Patagonia cilena ha una densità di popolazione molto bassa a causa delle difficili condizioni climatiche e della lontananza dai principali centri urbani. La distribuzione di genere in Cile è abbastanza equilibrata, con una leggera prevalenza di donne rispetto agli uomini, dovuta in parte alla maggiore aspettativa di vita femminile. Attualmente, le donne rappresentano circa il 51% della popolazione.

3.3 Analisi del Settore Estrattivo-Minerario in Cile

Fig. 30- La miniera di Escondita, la più grande miniera di rame al mondo



Fonte: Google Images

Il settore estrattivo-minerario rappresenta una delle principali forze trainanti dell'economia cilena, contribuendo in modo significativo al prodotto interno lordo (PIL) e alle esportazioni del Paese. La ricchezza geologica del Cile, con le sue abbondanti risorse naturali e minerarie, ha da lungo tempo attirato l'attenzione di investitori nazionali e internazionali. Situato lungo la cosiddetta "cintura di rame" sudamericana, il Cile possiede alcune delle riserve più estese di

rame a livello mondiale, con giacimenti di elevata purezza situati principalmente nelle regioni settentrionali di Antofagasta e Atacama. La presenza di queste risorse ha giocato un ruolo fondamentale nella storia economica del Paese, fin dal XX secolo, quando le prime grandi compagnie minerarie iniziarono a sfruttare in modo intensivo i giacimenti di rame e altri minerali strategici. Oltre al rame, il Cile detiene anche riserve significative di altri minerali fondamentali per l'economia globale, come il litio. Con il rapido sviluppo delle tecnologie per le energie rinnovabili e l'elettrificazione, il litio è diventato essenziale per la produzione di batterie ricaricabili, utilizzate nei veicoli elettrici e nei dispositivi elettronici portatili. Le saline del Salar de Atacama, nel nord del Cile, ospitano una delle più grandi riserve mondiali di litio, che contribuisce in modo sostanziale alle esportazioni e all'economia nazionale. Inoltre, il Cile dispone di riserve di ferro, oro, argento, molibdeno e nitrati naturali, che completano il suo portafoglio di risorse minerarie. L'abbondanza di materie prime ha permesso al Cile di diventare un attore chiave non solo nella regione sudamericana, ma anche su scala globale, posizionandosi tra i principali esportatori di materiali essenziali per l'industria tecnologica e delle energie rinnovabili. La forte domanda globale di questi minerali, in particolare di rame e litio, ha incentivato lo sviluppo di infrastrutture avanzate e ha attratto significativi investimenti esteri. Le multinazionali del settore minerario, come BHP Billiton⁴⁴, Anglo American⁴⁵ e Freeport-McMoRan⁴⁶, hanno stabilito operazioni di vasta scala nel Paese, contribuendo a potenziare la produttività e l'efficienza del settore. Al contempo, il governo cileno ha promosso una politica di incentivi per favorire la modernizzazione e la sostenibilità delle operazioni estrattive. In questo contesto, la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco)⁴⁷, una delle più grandi compagnie minerarie di rame al mondo e di proprietà statale, ha assunto un

⁴⁴ BHP Billiton: una delle più grandi multinazionali minerarie a livello globale, anglo-australiana, con attività che spaziano dall'estrazione di minerali alla produzione di energia. BHP è particolarmente attiva nell'estrazione di petrolio, gas naturale, rame e ferro, con operazioni distribuite in Australia, nelle Americhe e in Asia, e adotta strategie innovative per l'ottimizzazione delle risorse naturali e la sostenibilità ambientale.

⁴⁵ Anglo American: multinazionale britannica attiva nel settore minerario e nella lavorazione di risorse naturali, con focus su diamanti, rame, platino, carbone e altri minerali preziosi. Con una presenza globale, particolarmente in Africa, America Latina e Australia, l'azienda investe fortemente in innovazione e tecnologia per incrementare la sicurezza e ridurre l'impatto ambientale delle proprie operazioni.

⁴⁶ Freeport-McMoRan: multinazionale statunitense con un'importante attività mineraria focalizzata principalmente sull'estrazione di rame, oro e molibdeno, risorse chiave per la tecnologia e l'industria globale. L'azienda opera principalmente negli Stati Uniti e in Indonesia, gestendo alcune delle miniere più grandi al mondo e sviluppando programmi di sostenibilità per minimizzare l'impatto ecologico nelle aree di estrazione.

⁴⁷ Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco): la più grande azienda mineraria di rame al mondo e una delle principali aziende pubbliche del Cile. Fondata nel 1976 e di proprietà statale, Codelco gestisce importanti miniere nelle regioni settentrionali del Cile, operando in giacimenti strategici come Chuquibambilla, El Teniente e Radomiro Tomic. L'azienda è un pilastro dell'economia cilena, contribuendo in modo significativo al PIL nazionale e agli introiti statali, ed è impegnata nello sviluppo di pratiche sostenibili per ridurre l'impatto ambientale dell'estrazione mineraria.

ruolo di primo piano nella gestione delle risorse minerarie cilene, contribuendo non solo alla produzione, ma anche allo sviluppo socioeconomico del Paese. Negli ultimi decenni, la crescente domanda di metalli e minerali necessari per le nuove tecnologie ha rafforzato l'importanza strategica del Cile come fornitore di risorse essenziali. Il rame, ad esempio, è fondamentale per l'industria elettrica, l'elettronica e la costruzione di infrastrutture, grazie alle sue proprietà di conduttività e resistenza. Al contempo, il litio è diventato indispensabile per la transizione verso energie più pulite, rappresentando uno dei materiali principali nelle batterie per i veicoli elettrici e per l'accumulo di energia. Anche la produzione di ferro e acciaio, seppur meno rilevante rispetto al rame e al litio, contribuisce in modo significativo all'economia mineraria del Cile e alle sue esportazioni. Tuttavia, la dipendenza economica del Cile dal settore minerario comporta anche dei rischi. La volatilità dei prezzi delle materie prime sul mercato internazionale può influenzare significativamente le entrate del Paese e il suo equilibrio commerciale. Inoltre, il settore estrattivo-minerario è una delle attività economiche con il maggiore impatto ambientale, e il Cile si trova ad affrontare sfide crescenti in termini di sostenibilità e conservazione delle risorse naturali. La gestione dell'acqua, ad esempio, è una questione critica, in quanto molte delle miniere si trovano in regioni aride o semiaride, dove la disponibilità idrica è limitata. Per questo motivo, il governo e le aziende del settore hanno avviato una serie di iniziative volte a ridurre l'impatto ambientale, come l'adozione di tecnologie di riciclo dell'acqua, l'uso di energia rinnovabile nelle operazioni minerarie e la gestione sostenibile dei rifiuti.

3.3.1 Produzione Mineraria e Principali Risorse

Il rame rappresenta la risorsa mineraria più importante per l'economia cilena e costituisce il fulcro del settore estrattivo del Paese. Con oltre il 27% della produzione mondiale di rame, il Cile si posiziona come il primo produttore globale. Le principali aree di estrazione si trovano nelle regioni settentrionali di Antofagasta e Atacama, dove si concentrano alcune delle miniere più grandi del mondo, come la miniera di Escondida, di proprietà di BHP Billiton, e la miniera di Chuquicamata, gestita dalla statale Codelco. Secondo i dati della Comisión Chilena del Cobre⁴⁸ (COCHILCO), nel 2023 la produzione cilena di rame ha superato i 5,6 milioni di tonnellate. Questo livello di produzione, costante negli ultimi anni, è essenziale per soddisfare

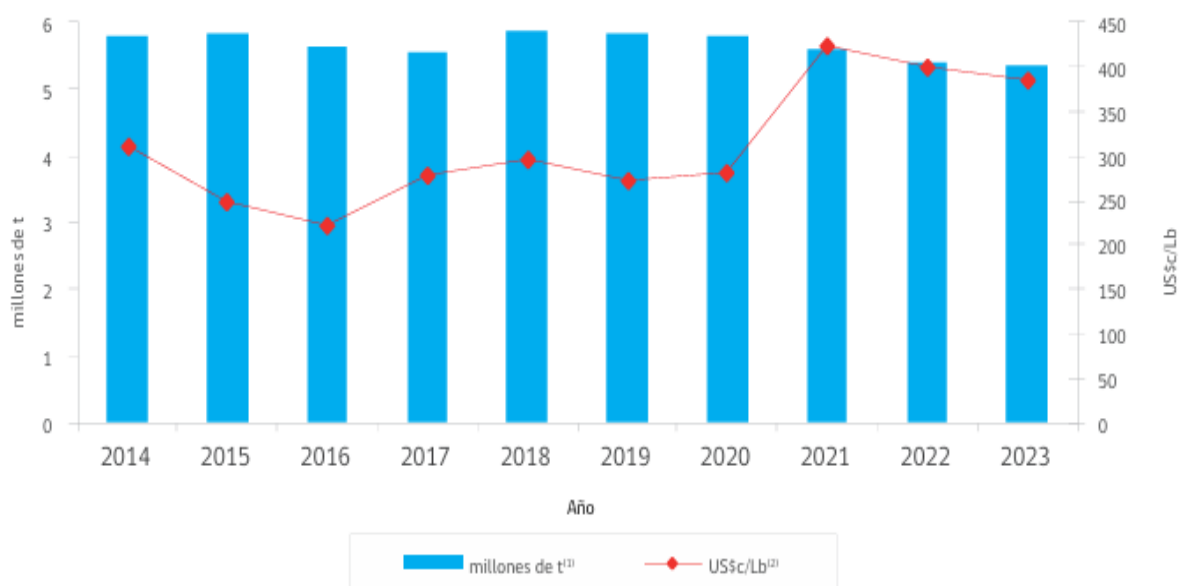
⁴⁸ Comisión Chilena del Cobre (Cochilco): ente governativo cileno istituito per supervisionare, analizzare e regolare il settore del rame in Cile, paese leader mondiale nella produzione di questo metallo. Cochilco svolge un ruolo fondamentale nel monitoraggio delle risorse minerarie, nella consulenza al governo riguardo alle politiche minerarie e nella gestione dei dati statistici sul rame e altri minerali. L'organizzazione mira a garantire una gestione responsabile e sostenibile delle risorse minerarie del paese, contribuendo alla stabilità economica e alla crescita del settore minerario cileno.

la domanda globale di rame, utilizzato principalmente nell'industria elettronica e nelle infrastrutture energetiche.

Oltre al rame, il Cile è un importante produttore di litio, una risorsa fondamentale per l'industria delle batterie ricaricabili. La crescente domanda di veicoli elettrici e sistemi di accumulo energetico ha favorito un rapido incremento delle estrazioni di litio. Il Cile possiede la seconda riserva mondiale di litio, concentrata in gran parte nel Salar de Atacama, una distesa salina situata nel deserto di Atacama. Grazie alla purezza e alla concentrazione delle riserve, il Paese è in grado di produrre litio a costi competitivi, rendendolo un attore di rilievo nel mercato internazionale di questo minerale strategico. Le estrazioni di litio sono principalmente gestite da aziende come SQM e Albemarle, che operano nel Salar de Atacama con concessioni governative.

Anche se rame e litio sono le risorse principali, il Cile produce anche altre risorse minerarie di valore, come il molibdeno, utilizzato nell'industria siderurgica, l'oro e l'argento, che vengono estratti in minori quantità ma contribuiscono comunque alle esportazioni nazionali. La presenza di queste risorse diversifica il portafoglio minerario del Cile e sostiene l'economia del Paese di fronte alle fluttuazioni del prezzo del rame.

Fig. 31- Relazione Produzione/Prezzo del rame



Fonte: Anuario de la minería de Chile 2023

Tab. 10 – Produzione e Riserve di Principali Minerali in Cile (2023)

<i>Minerale</i>	<i>Produzione (milioni di tonnellate)</i>	<i>Annuale Riserve (milioni di tonnellate)</i>	<i>Stimate Principali Aree di Estrazione</i>
Rame	5,4	200	Antofagasta, Atacama
Litio	0,27	9,6	Salar de Atacama
Molibdeno	0,04	1,3	Antofagasta, Tarapacá
Oro	0,04	0,6	Atacama, Coquimbo
Argento	1,3 (migliaia di t)	60 (migliaia di t)	Atacama, Coquimbo

Fonte: Chilean Copper Commission (COCHILCO) e il Global Business Reports

Questa tabella offre una panoramica della produzione e delle riserve di minerali in Cile, evidenziando la concentrazione geografica delle attività minerarie. I dati mostrano come il rame e il litio dominino la scena mineraria, mentre altri minerali, come il molibdeno e l'oro, rappresentano un contributo minore ma importante all'export minerario cileno.

3.3.2 Analisi delle esportazioni minerarie cilene

Nel 2023, il settore minerario cileno ha confermato la sua posizione strategica nell'economia nazionale, contribuendo in modo significativo alle esportazioni e confermando il Cile come uno dei principali attori globali nell'estrazione di metalli chiave come rame, litio, molibdeno, oro e argento. Questa attività è stata sostenuta da una serie di riforme legislative che hanno cercato di consolidare la posizione del Cile nel mercato internazionale, pur affrontando sfide legate alla sostenibilità e all'aumento della domanda globale per le materie prime strategiche.

Il rame rimane la principale risorsa mineraria del paese, con una produzione annua prevista per il 2023 di circa 5,7 milioni di tonnellate. Il rame ha costituito quasi la metà delle esportazioni minerarie totali del Cile, con un impatto rilevante sull'economia. Tuttavia, la produzione si confronta con pressioni ambientali e sociali, come il recente rifiuto delle concessioni per alcuni progetti, dovuto a considerazioni di sostenibilità e gestione delle risorse idriche.

Il litio rappresenta una risorsa sempre più rilevante, con una produzione stimata di 44.000 tonnellate di litio puro (a fronte di 270.000 tonnellate di carbonato di litio equivalente LCE) estratto principalmente da depositi salini. Il Cile, che possiede oltre un terzo delle riserve globali di litio, è al centro dell'interesse internazionale, trainato dalla domanda per batterie nei settori

delle energie rinnovabili e della mobilità elettrica. Nel 2023, il governo cileno ha implementato una nuova strategia per il litio che mira a regolamentare meglio l'industria, favorendo la partecipazione statale e mirando a un'estrazione più sostenibile.

Il molibdeno, sottoprodotto dell'estrazione del rame, ha mantenuto un ruolo importante nell'export cileno. La produzione di molibdeno, concentrata in miniere come Chuquicamata⁴⁹ e El Teniente⁵⁰, è destinata principalmente al settore siderurgico globale, dove viene utilizzato per migliorare la resistenza dell'acciaio.

Oro e argento, estratti in quantità minori rispetto a rame e litio, continuano ad avere un impatto significativo come metalli preziosi. Questi minerali sono prevalentemente destinati all'industria della gioielleria e agli investimenti finanziari. La produzione di oro e argento è principalmente localizzata in aree con alto contenuto di minerali auriferi e argentiferi e, sebbene il loro contributo alle esportazioni totali sia meno rilevante rispetto al rame, rimangono risorse preziose per il bilancio commerciale cileno

Tab. 11 – Produzioni ed esportazioni minerarie in Cile (2023)

Minerale	Produzione (tonnellate)	Valore delle esportazioni (milioni di US\$)
Rame	5.700.000	45.000
Litio puro	44000	3.700
Molibdeno	40.000	1.500
Oro	40.000	1.200
Argento	1.300	500

Fonte: Chilean Copper Commission (COCHILCO), Global Business Reports

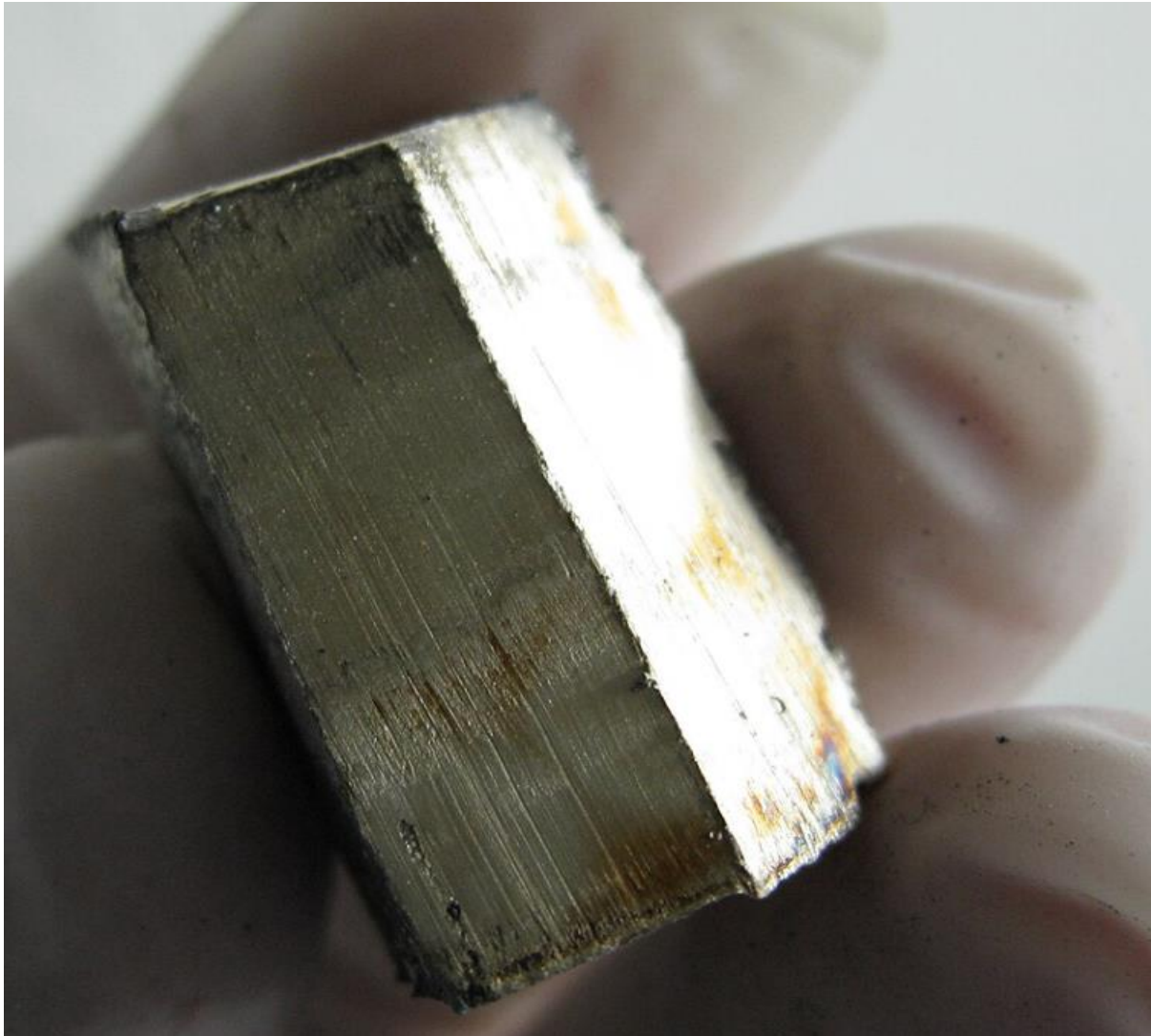
La tabella sulle esportazioni minerarie del Cile nel 2023 offre un quadro dettagliato sulla diversificazione e sul contributo economico di diverse risorse estrattive.

⁴⁹ Chuquicamata: Situata nel deserto di Atacama, Chuquicamata è una delle miniere di rame a cielo aperto più grandi e antiche al mondo. Gestita da Codelco, produce rame e sottoprodotti come il molibdeno, contribuendo in modo significativo all'economia cilena. La miniera è anche nota per le sfide legate alla sostenibilità e alle condizioni di lavoro, portando Codelco a sviluppare progetti per ridurre l'impatto ambientale e migliorare la sicurezza.

⁵⁰ El Teniente: La miniera di El Teniente, anch'essa gestita da Codelco, è situata nelle Ande cilene e rappresenta la più grande miniera di rame sotterranea al mondo. Operativa da oltre un secolo, è nota per i suoi complessi sistemi di gallerie, che si estendono per centinaia di chilometri. El Teniente è un centro di innovazione tecnologica mineraria, con investimenti continui per incrementare efficienza e sicurezza nelle operazioni di estrazione.

Il rame rimane il principale minerale esportato, sia per volume (5,7 milioni di tonnellate) che per valore economico (45 miliardi di dollari), consolidando la posizione del Cile come leader globale nella produzione di rame. Questo primato è vitale per l'economia cilena, poiché il rame rappresenta una porzione considerevole delle entrate derivanti dalle esportazioni, dimostrando la dipendenza del paese da questo metallo e l'importanza della stabilità dei prezzi internazionali.

Fig. 32- Litio puro



Fonte: Wikipedia

Il **litio puro**, con una produzione di 44.000 tonnellate, ha un valore economico di 3,7 miliardi di dollari, il che sottolinea il crescente peso di questo minerale nell'ambito delle tecnologie verdi e delle batterie per veicoli elettrici. La domanda globale di litio ha spinto il Cile a implementare nuove strategie di gestione, puntando a una maggiore sostenibilità e a una partecipazione statale più attiva. Tale approccio cerca di bilanciare la crescente domanda

internazionale con l'esigenza di preservare le risorse ambientali locali, in particolare le riserve d'acqua delle zone desertiche da cui viene estratto il litio.

Il molibdeno, con una produzione di circa 40.000 tonnellate e un valore di 1,5 miliardi di dollari, rappresenta una risorsa fondamentale per l'industria siderurgica e per la produzione di leghe resistenti. Sebbene il suo contributo economico sia inferiore a quello del rame e del litio, il molibdeno rimane una componente rilevante nelle esportazioni minerarie del paese, specialmente per i mercati esteri che richiedono materiali ad alta resistenza.

Oro e argento, con produzioni rispettive di 40.000 tonnellate e 1.300 tonnellate, completano il quadro, rappresentando risorse preziose anche se meno dominanti rispetto al rame e al litio. L'oro, con un valore di 1,2 miliardi di dollari, e l'argento, con 500 milioni di dollari, soddisfano la domanda globale di metalli preziosi, destinati sia alla gioielleria che all'investimento. Sebbene la loro estrazione sia quantitativamente inferiore, questi metalli preziosi aggiungono valore all'economia cilena e contribuiscono alla diversificazione del portafoglio minerario nazionale.

3.4 La storia dell'estrazione del litio cileno

Il ruolo del Cile nel mercato globale del litio ha radici profonde che risalgono agli anni '60, quando iniziò l'esplorazione su larga scala nelle saline. In quel periodo, il governo cileno, attraverso l'Istituto di Ricerca Geologica, avviò una serie di studi mirati per individuare giacimenti economicamente sfruttabili. Questo processo portò alla scoperta del Salar de Atacama, la principale riserva di litio del Paese, grazie all'elevata purezza e all'assenza di contaminanti che rendevano il deposito particolarmente adatto per l'estrazione commerciale. La combinazione di basse precipitazioni e alta evaporazione permette di concentrare il litio naturalmente, riducendo significativamente i costi di produzione rispetto ad altre regioni estrattive, come quelle australiane, che si affidano principalmente all'estrazione del litio da rocce dure. L'inizio della produzione commerciale di litio si ebbe negli anni '80, con la formazione della Sociedad Química y Minera de Chile (SQM) e della Sociedad Chilena del Litio (SCL). Grazie a una partnership iniziale con Foote Mineral, SCL iniziò la produzione di carbonato di litio, un processo che ha continuato a evolversi anche dopo che SCL è stata acquisita da Albemarle, oggi uno dei principali attori del settore insieme a SQM. Nel corso degli anni, il governo cileno ha adottato misure strategiche per mantenere il controllo statale sulle

risorse di litio. Con il Decreto-Legge del 1979⁵¹, il litio fu dichiarato “materiale di interesse nucleare” e reso non concedibile. Tale status giuridico implica che l’estrazione può essere effettuata solo dallo Stato o tramite speciali contratti di concessione (CEOL), con l’obiettivo di proteggere il controllo su questa risorsa strategica. La crescente domanda di litio, specialmente per la produzione di batterie agli ioni di litio utilizzate nei veicoli elettrici e nell’elettronica di consumo, ha reso necessario un ampliamento della produzione. Negli ultimi anni, il governo cileno ha istituito la Commissione Nazionale del Litio⁵² per gestire in modo sostenibile questa risorsa e assicurare benefici per l’economia nazionale, la conservazione dell’ambiente e il benessere delle comunità locali. Nel 2014, sotto la presidenza di Michelle Bachelet, il Cile ha avviato una revisione completa delle sue politiche sul litio, puntando a un equilibrio tra sviluppo economico e protezione delle risorse naturali. Uno degli obiettivi principali è quello di stimolare una maggiore partecipazione delle comunità locali, comprese le popolazioni indigene, nei processi decisionali. Oggi, il Cile è il secondo produttore mondiale di litio e contribuisce a circa il 32% della produzione globale. Questo risultato è stato possibile anche grazie all’efficienza del Salar de Atacama, dove la produzione di litio ha un costo inferiore rispetto ad altre regioni del mondo. SQM e Albemarle, le due principali aziende operanti in Cile, rappresentano rispettivamente il 65% e il 35% della produzione cilena di litio. Entrambe le aziende operano con licenze di concessione speciali, che consentono loro di estrarre il minerale in modo continuativo, mantenendo un ruolo preminente nella fornitura mondiale di litio.

⁵¹ Il Decreto-Legge del 1979, emesso dal governo cileno, dichiarò il litio una risorsa strategica di “interesse nucleare”. Tale classificazione attribuì al litio uno status speciale che ne impedisce la concessione e ne riserva l’estrazione e lo sfruttamento allo Stato o a compagnie sotto accordi specifici chiamati Contratos Especiales de Operación de Litio (CEOL). Questa normativa, consolidata successivamente dal Codice Minerario del 1983, è volta a mantenere il controllo statale su una risorsa di crescente importanza economica e strategica, limitando il coinvolgimento privato

⁵² La Commissione Nazionale del Litio, istituita dal governo cileno nel 2014 durante il mandato della presidente Michelle Bachelet, è un ente strategico creato per formulare una politica di gestione sostenibile delle riserve di litio. Composta da esperti, rappresentanti politici e membri della società civile, la commissione mira a garantire che lo sfruttamento del litio rispetti criteri di sostenibilità ambientale e benefici le comunità locali, comprese quelle indigene. L’obiettivo è bilanciare la valorizzazione economica del litio con la protezione degli interessi nazionali e sociali.

3.5 Le principali Aree di Estrazione in Cile: Il Salar de Atacama

Fig. 33- Le salamoie del Salar de Atacama



Fonte: Getty Images South America

Il Salar de Atacama rappresenta la fonte primaria di litio del Cile e una delle più importanti a livello globale. Situato nel deserto di Atacama, una delle aree più aride del pianeta, il salare gode di condizioni naturali eccezionali che ne fanno un luogo ideale per l'estrazione del litio. Questo ambiente desertico è caratterizzato da precipitazioni quasi inesistenti e da un tasso di evaporazione elevatissimo, elementi che favoriscono il processo di concentrazione del litio disciolto nelle salamoie. L'alta salinità e la concentrazione di minerali nel Salar de Atacama consentono di ottenere una produzione altamente efficiente e meno costosa rispetto ad altre regioni del mondo. La peculiarità geologica del Salar de Atacama risiede nella combinazione di salamoie altamente concentrate in litio e climi estremamente favorevoli. Le acque salmastre vengono pompate in grandi vasche dove, esposte al sole, subiscono un processo naturale di evaporazione che concentra ulteriormente il litio. Questo metodo di estrazione, noto come evaporazione solare, permette di ottenere carbonato di litio (LCE) a costi molto contenuti, poiché il clima arido e l'intensità dell'irraggiamento solare riducono la necessità di energia aggiuntiva. Le condizioni climatiche locali sono talmente vantaggiose che il costo di produzione nel Salar de Atacama è stimato tra i 2.500 e i 3.000 dollari per tonnellata di LCE, rendendolo uno dei più competitivi al mondo. La gestione e l'estrazione del litio dal Salar de

Atacama sono affidate a due aziende principali, Sociedad Química y Minera de Chile (SQM) e Albemarle Corporation, che operano sotto concessioni speciali stabilite dallo Stato cileno. Tali aziende adottano pratiche che rispettano i rigorosi regolamenti ambientali e le normative nazionali, poiché la salamoia di Atacama non è solo una fonte di litio, ma contiene anche altri minerali essenziali come il potassio, utile in agricoltura, e il boro. Negli ultimi anni, la crescente domanda di batterie ricaricabili, specialmente per veicoli elettrici, ha ulteriormente valorizzato l'importanza strategica del Salar de Atacama. L'efficienza della produzione cilena offre un vantaggio competitivo rispetto ad altri Paesi produttori, posizionando il Cile come leader di mercato e come uno dei principali fornitori di litio per le industrie tecnologiche globali. Di seguito una tabella comparativa che evidenzia il vantaggio economico del Salar de Atacama, confrontato con altri siti di estrazione in termini di costo di produzione per tonnellata di LCE.

Tab. 12 – Tabella delle stime dei costi medi di produzione (\$) per tonnellata di LCE delle varie aree di estrazione

Area di Estrazione	Paese	Tipo di Deposito	Metodo di Estrazione	Costo Medio di Produzione stimato (\$ per tonnellata LCE)	Note Competitive
Salar de Atacama	Cile	Salamoia	Evaporazione solare	2,500 - 3,000	Elevata concentrazione di litio e clima secco riducono i costi.
Greenbushes	Australia	Spodumene (roccia dura)	Miniera e frantumazione	5,000 - 6,000	Elevati costi di estrazione e lavorazione; alto contenuto di litio nel minerale.
Salar del Hombre Muerto	Argentina	Salamoia	Evaporazione solare	3,000 - 4,500	Condizioni simili a Salar de Atacama, ma minore concentrazione di litio e costi più elevati.
Qinghai	Cina	Salamoia	Evaporazione e pompaggio	6,000 - 7,000	Costi elevati a causa di clima sfavorevole e basse temperature.
Clayton Valley	Stati Uniti	Salamoia	Evaporazione solare	5,000 - 6,500	Infrastruttura limitata e minore resa di litio.

Fonte: Benchmark Mineral Intelligence, COCHILCO, U.S. Geological Survey

3.6 I metodi e i processi di estrazione e raffinazione del litio in Cile

Fig. 34- Le salamoie del Salar de Atacama viste dall'alto



Fonte: Google Images

Il processo di estrazione del litio nel Salar de Atacama si avvale di una serie di tecniche ottimizzate per il contesto geografico e climatico dell'area, particolarmente adatte alla concentrazione del litio a basso costo. Le operazioni iniziano con il pompaggio della salamoia, una soluzione salina ricca di litio e minerali, estratta dalle falde situate tra i 30 e i 100 metri sotto la superficie del salar. Una volta portata in superficie, la salamoia viene convogliata in un vasto sistema di vasche di evaporazione solare, distribuite a formare una griglia ben organizzata. Queste vasche, immerse nella luminosità del deserto di Atacama, sfruttano appieno l'aridità del clima e il tasso di evaporazione elevato, elementi che consentono di concentrare il litio con un consumo minimo di energia. Durante la permanenza nelle vasche, la salamoia attraversa diverse fasi di concentrazione, ognuna progettata per eliminare progressivamente l'acqua e far precipitare minerali secondari come potassio e boro, che vengono raccolti come sottoprodotti. Questo processo, che può richiedere tra i 12 e i 18 mesi, è reso possibile dal clima

secco e dal costante irraggiamento solare, che contribuiscono a ridurre l'uso di risorse energetiche e chimiche aggiuntive. La salamoia, gradualmente concentrata, raggiunge livelli di litio intorno al 6%, ideale per la successiva fase di lavorazione. Nella fase finale del processo di estrazione del litio, la salamoia concentrata viene trasferita agli impianti di trattamento specializzati per ottenere il carbonato di litio (LCE). In questa fase, la salamoia, che contiene alte concentrazioni di litio, viene trattata con una soluzione di carbonato di sodio (Na_2CO_3). Tale reazione induce la precipitazione selettiva del litio come carbonato di litio, un composto solido che si separa facilmente dalla soluzione. Il carbonato di litio è poi raccolto, filtrato e asciugato per essere immesso nel mercato o destinato a ulteriori processi di raffinazione. Una volta ottenuto il carbonato di litio grezzo, è spesso necessaria una fase di purificazione per rimuovere eventuali impurità residue come sodio, magnesio e calcio, che potrebbero compromettere la qualità del prodotto finale. Per raggiungere il livello di purezza richiesto dalle applicazioni ad alta tecnologia, il carbonato di litio viene sottoposto a processi di filtrazione e cristallizzazione avanzata. La purificazione è essenziale per l'industria delle batterie, poiché le batterie agli ioni di litio, utilizzate in dispositivi elettronici e veicoli elettrici, richiedono materiali di altissima purezza per garantire prestazioni affidabili e durature nel tempo. In alternativa, parte del carbonato di litio può essere ulteriormente trasformata in idrossido di litio (LiOH), un composto particolarmente apprezzato da alcuni produttori di batterie, poiché offre migliori prestazioni nei cicli di carica e scarica. La conversione del carbonato in idrossido avviene attraverso una reazione con idrossido di calcio (Ca(OH)_2), che produce una soluzione da cui è possibile isolare l'idrossido di litio. L'intero processo di raffinazione del litio in Cile si distingue per vantaggi economici e ambientali, grazie all'uso dell'energia solare nella concentrazione della salamoia, che riduce i costi energetici, e al sistema di evaporazione naturale, che minimizza l'impatto ecologico rispetto a tecniche invasive come l'estrazione da roccia dura. La raffinazione cilena, supportata dalle più avanzate tecnologie, integra monitoraggi continui e tecniche di recupero dei sottoprodotti per massimizzare l'efficienza e ridurre gli sprechi. Alcuni stabilimenti impiegano energia rinnovabile per alimentare le fasi di trattamento e trasformazione, in linea con l'obiettivo di ridurre l'impronta ecologica dell'industria mineraria. Questi sforzi, insieme a una gestione responsabile delle risorse naturali, fanno del Cile un leader nel settore del litio, offrendo sul mercato globale carbonato e idrossido di litio di alta qualità a costi competitivi, elementi che consolidano la posizione del paese come fornitore chiave per le tecnologie sostenibili e i veicoli elettrici.

3.7 Trasporto e Condizioni di Conservazione

Il trasporto del litio e dei suoi composti, come il carbonato e l'idrossido di litio, richiede un sistema logistico sofisticato, considerando sia l'alto valore del materiale sia la necessità di gestirne la reattività, soprattutto nel caso del litio metallico. L'efficienza logistica cilena si basa su una solida rete di trasporto terrestre e marittimo, supportata da protocolli rigorosi per garantire la sicurezza del materiale e la conservazione della sua qualità durante il trasferimento. I composti di litio prodotti in Cile, come il carbonato di litio concentrato e l'idrossido di litio, vengono solitamente trasportati dalle aree di estrazione del Salar de Atacama ai porti di Antofagasta⁵³ e Mejillones⁵⁴. Tali porti, situati sulla costa cilena del Pacifico, sono attrezzati per il carico di materiali minerali destinati all'esportazione e rappresentano l'uscita principale per il litio cileno diretto verso mercati chiave come Cina, Stati Uniti, Giappone e Corea del Sud, principali hub mondiali per la produzione di batterie. I composti di litio, una volta raffinati, vengono trasportati via camion su strade che attraversano il deserto fino ai porti. Mejillones e Antofagasta, situati lungo la costa del Pacifico, fungono da punti strategici di esportazione, grazie alle infrastrutture sviluppate per la movimentazione dei minerali. Tali porti, nonostante la loro posizione remota, sono attrezzati con infrastrutture di stoccaggio e movimentazione specifiche per materiali minerali e pericolosi, che rispettano normative rigorose in materia di sicurezza e di tutela ambientale. Il trasporto stradale, pur essendo efficiente, presenta sfide logistiche non indifferenti dovute alle condizioni climatiche estreme del deserto di Atacama e alla necessità di veicoli robusti capaci di sostenere il trasporto su lunghe distanze. Per questo motivo, le operazioni di trasporto sono spesso effettuate da operatori specializzati in trasporto minerario, che dispongono di veicoli all'avanguardia e di personale addestrato per garantire la sicurezza del carico. Una volta giunti ai porti, i composti di litio vengono stoccati in container sigillati e rinforzati per evitare contaminazioni o danni durante il viaggio marittimo. Le normative marittime internazionali, in particolare quelle dell'International Maritime Dangerous

⁵³ Porto di Antofagasta: Storicamente uno dei porti più importanti del Cile, il porto di Antofagasta svolge un ruolo centrale nell'export minerario cileno, con infrastrutture specificamente attrezzate per gestire carichi di materiali ad alto valore come il litio. Situato a circa 70 km dal Salar de Atacama, il porto è un punto di raccolta fondamentale per i composti di litio prodotti nel deserto di Atacama. Grazie alla connessione ferroviaria con i principali siti di estrazione, il porto di Antofagasta facilita il trasporto efficiente di litio e altri minerali, supportando l'industria mineraria del paese e rispondendo alle esigenze del mercato internazionale.

⁵⁴ Porto di Mejillones: Il porto di Mejillones, situato nella regione di Antofagasta, Cile, è uno degli hub principali per l'esportazione di prodotti minerari, incluso il litio. Inaugurato per servire il crescente settore minerario del nord del Cile, Mejillones è dotato di infrastrutture moderne che includono terminali specializzati per la movimentazione di minerali e materiali chimici. La posizione strategica lungo la costa del Pacifico e la vicinanza alle aree di estrazione mineraria rendono Mejillones un punto di partenza efficiente per il trasporto internazionale di litio verso i mercati asiatici e nordamericani, contribuendo a consolidare il ruolo del Cile nel mercato globale del litio.

Goods Code (IMDG)⁵⁵, richiedono che il litio e i suoi composti siano trasportati con imballaggi speciali che impediscano qualsiasi perdita o fuoriuscita. Tale protocollo è fondamentale per evitare danni ambientali e per proteggere la sicurezza dei lavoratori e degli operatori portuali. Inoltre, le compagnie di trasporto devono fornire un'attestazione di sicurezza per il litio caricato sulle navi, indicando che i livelli di umidità sono controllati e che non vi sono rischi di incendio o di ossidazione durante il viaggio.

3.7.1 Normative e Condizioni di Conservazione

Il litio metallico puro, per quanto meno comune nel trasporto cileni rispetto ai composti, richiede precauzioni molto severe per la conservazione e il trasporto, essendo un materiale altamente reattivo a contatto con l'aria e l'umidità. Il litio metallico viene generalmente conservato in contenitori a tenuta stagna, immerso in olio minerale o in atmosfera di gas inerte per prevenire ossidazioni e incendi spontanei, una volta che viene portato verso i paesi importatori per applicazioni specifiche. Questa gestione rigorosa è regolata dalle normative internazionali dell'International Air Transport Association (IATA)⁵⁶, che richiedono imballaggi a prova di umidità, strati protettivi multipli e contenitori resistenti, per assicurare che non vi siano rischi durante il trasporto aereo. Oltre ai requisiti per la conservazione del litio metallico, anche il carbonato di litio e l'idrossido di litio devono rispettare condizioni specifiche per il trasporto, per garantire che il prodotto arrivi con la purezza intatta nei mercati di destinazione. Gli impianti di raffinazione cileni forniscono il litio in container sigillati a doppio strato per proteggerlo da eventuali contaminazioni esterne, preservando così l'integrità chimica del materiale durante tutto il viaggio. Le condizioni di stoccaggio nei porti prevedono l'utilizzo di aree protette e coperte per evitare l'esposizione agli agenti atmosferici, riducendo così il rischio di umidità e mantenendo la stabilità del composto. L'efficienza logistica del sistema di trasporto cileni rappresenta un vantaggio competitivo sul mercato globale, poiché consente di mantenere

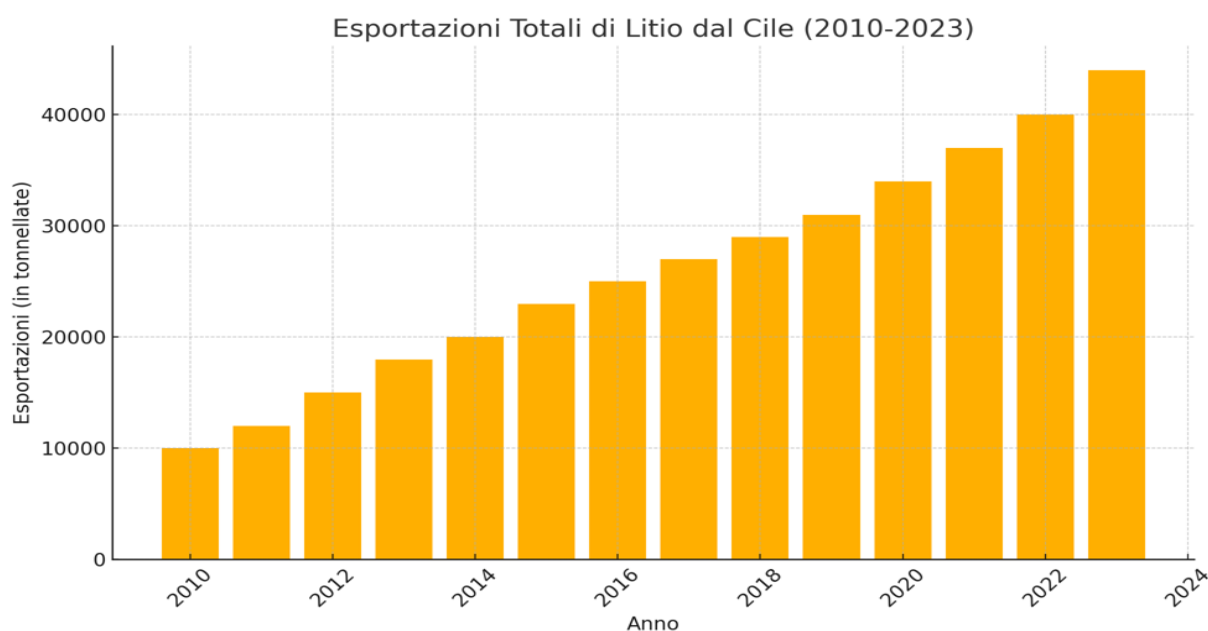
⁵⁵ International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG): L'International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG) è un insieme di regolamenti internazionali sviluppati dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) per garantire il trasporto sicuro di merci pericolose via mare. Il codice stabilisce linee guida su imballaggio, etichettatura, stoccaggio e gestione dei materiali pericolosi, inclusi i composti di litio. Applicato in tutto il mondo, il codice IMDG è fondamentale per minimizzare i rischi durante il trasporto marittimo di sostanze reattive e infiammabili, proteggendo persone, beni e l'ambiente marino.

⁵⁶ International Air Transport Association (IATA): L'International Air Transport Association (IATA) è un'organizzazione internazionale che rappresenta circa 290 compagnie aeree e stabilisce standard per la sicurezza e l'efficienza del trasporto aereo, comprese le normative per i materiali pericolosi come il litio. Attraverso il Dangerous Goods Regulations (DGR), l'IATA definisce requisiti specifici per l'imballaggio, l'etichettatura e la documentazione delle spedizioni aeree di litio, garantendo la gestione sicura di questi materiali reattivi. Tali norme sono essenziali per prevenire rischi di incendio o esplosione durante il trasporto e per proteggere passeggeri, personale e infrastrutture aeroportuali.

elevati standard di qualità e sicurezza anche in un contesto geografico impegnativo come il deserto di Atacama. Inoltre, l'adozione di misure di sicurezza avanzate e di regolamenti internazionali consente al Cile di mantenere la propria reputazione di fornitore affidabile, in grado di soddisfare le esigenze delle industrie tecnologiche in tutto il mondo.

3.8 I mercati di destinazione del litio cileno

Fig. 35- Esportazioni totali di litio dal Cile (2010-2023)



Fonte: Benchmark Mineral Intelligence

Le esportazioni di litio svolgono un ruolo centrale nell'economia cilena, rappresentando una delle principali fonti di reddito per il Paese. Negli ultimi anni, il Cile si è affermato come uno dei principali fornitori mondiali di litio, sfruttando l'abbondanza di risorse nel Salar de Atacama e la crescente domanda internazionale per questo metallo strategico, utilizzato soprattutto nella produzione di batterie per veicoli elettrici e dispositivi tecnologici. Come si può notare dal grafico riportato sopra, si può vedere una crescita graduale nelle esportazioni di litio cileno, riflettendo l'aumento della domanda globale. Si nota un'accelerazione significativa dopo il 2020, coincidente con l'espansione delle industrie delle energie rinnovabili e della mobilità elettrica. Il trend suggerisce una continua espansione del mercato, con il Cile che si consolida come fornitore strategico di litio, in particolare per i mercati asiatici. La struttura delle esportazioni di litio riflette la posizione geografica strategica del Cile e la solidità delle sue riserve. La qualità della salamoia cilena, con un'elevata concentrazione di litio, rappresenta un

vantaggio competitivo rispetto ad altre fonti globali, permettendo un'estrazione economicamente vantaggiosa e sostenibile rispetto a metodi più invasivi come l'estrazione da spodumene utilizzata in altri paesi produttori come l'Australia.

Tab. 8 – I paesi di destinazione delle esportazioni di litio cileno

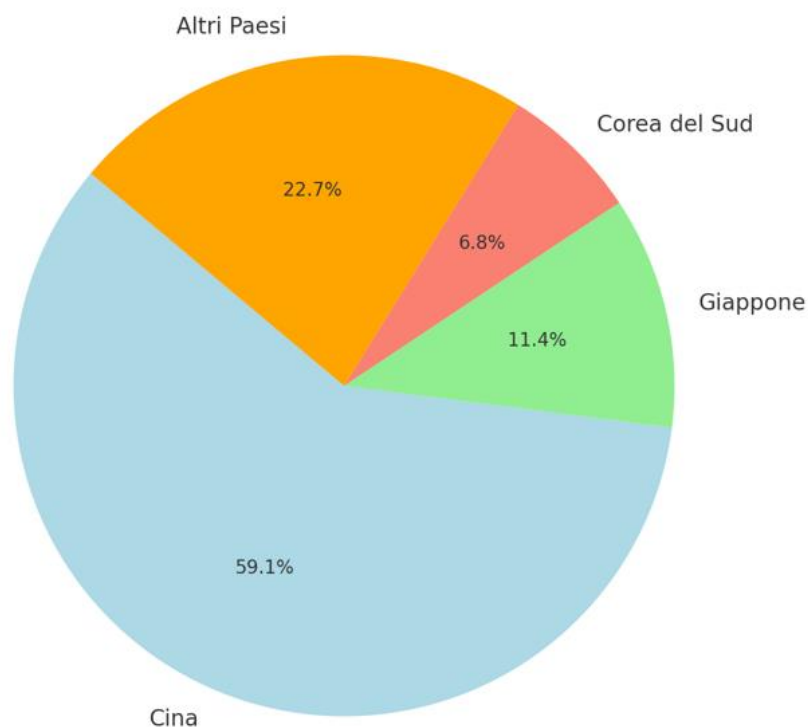
Paese di Destinazione Quantità Esportata dal Cile (2023) in tonnellate

<i>Cina</i>	26.000
<i>Giappone</i>	5.000
<i>Corea del Sud</i>	3.000
<i>Altri Paesi</i>	10.000

Fonte: U.S. Geological Survey

L'Asia rappresenta la destinazione principale per il litio cileno, con la Cina al primo posto come maggiore importatore. La domanda cinese di litio cileno è alimentata dal ruolo della Cina come centro mondiale di produzione di batterie per veicoli elettrici (EV), un settore in espansione a causa degli sforzi per la transizione energetica e la riduzione delle emissioni di CO₂. Le statistiche del 2023 stimano che tra 26.000 e 30.000 tonnellate del litio cileno siano state esportate in Cina, un volume che costituisce tra il 50 e il 60% del totale delle esportazioni cilene di litio. La Cina utilizza il litio cileno non solo per la produzione di batterie ma anche come componente chiave nella raffinazione, convertendolo in idrossido di litio, che è particolarmente adatto per le batterie ad alta capacità necessarie per i veicoli elettrici di nuova generazione. Oltre alla Cina, altri mercati strategici includono Giappone e Corea del Sud, che rappresentano rispettivamente il secondo e il terzo maggiore mercato per il litio cileno. Entrambi i paesi importano volumi significativi di litio per alimentare le loro industrie di produzione di componenti elettronici e dispositivi tecnologici avanzati. Nel 2023, il Giappone ha importato circa 5.000 tonnellate, mentre la Corea del Sud ha ricevuto circa 3.000 tonnellate. L'affidabilità del Cile come fornitore e le politiche commerciali favorevoli hanno favorito la crescita di queste relazioni, che contribuiscono alla sicurezza energetica e tecnologica di questi paesi.

Fig. 36- Quote di Mercato del Litio Cileno nei Principali Paesi Importatori



Fonte: TradeMap

Il litio cileno, estratto dalle saline, ha trovato inoltre una destinazione rilevante nei mercati europei, grazie all'accordo commerciale con l'Unione Europea. L'accordo commerciale tra il Cile e l'Unione Europea rappresenta una componente strategica per le esportazioni di litio cileno, rafforzando i legami tra le due economie e promuovendo un approvvigionamento sostenibile e privo di tariffe doganali per il mercato europeo. Tale accordo consente al Cile di integrare il proprio litio nelle filiere industriali europee, soprattutto per il settore delle batterie e delle tecnologie per la transizione energetica, in un contesto in cui l'Unione Europea sta puntando sempre più su energie rinnovabili e mobilità elettrica. Le politiche europee, in linea con il Green Deal⁵⁷ e l'European Battery Alliance⁵⁸, mirano a ridurre la dipendenza dai

⁵⁷ Il Green Deal Europeo è una strategia promossa dall'Unione Europea che mira a rendere l'Europa il primo continente climaticamente neutro entro il 2050. L'iniziativa prevede un insieme di misure e investimenti per ridurre le emissioni di gas serra, proteggere la biodiversità e promuovere l'economia circolare. Un elemento centrale del Green Deal è il supporto alla transizione energetica, con un focus su fonti di energia rinnovabile e tecnologie a basse emissioni di carbonio, come le batterie agli ioni di litio per la mobilità elettrica e l'accumulo di energia.

⁵⁸ L'European Battery Alliance (EBA) è un'iniziativa lanciata dalla Commissione Europea nel 2017 per sviluppare una filiera europea delle batterie sostenibile e competitiva. La EBA coinvolge governi, imprese e centri di ricerca con l'obiettivo di ridurre la dipendenza dalle importazioni di batterie e materie prime critiche, come il litio, necessario per la produzione di batterie agli ioni di litio. L'iniziativa sostiene lo sviluppo di capacità di produzione, innovazione tecnologica e recupero di materiali, contribuendo agli obiettivi di sostenibilità e autonomia strategica europea

combustibili fossili e a incentivare un'economia a basse emissioni di carbonio, obiettivi per i quali il litio è una risorsa essenziale. Per il Cile, l'accordo è vantaggioso poiché migliora la competitività del litio cileno rispetto a quello di altri paesi produttori, riducendo i costi associati all'export verso l'Europa. In questo modo, il paese riesce a posizionarsi come un partner affidabile e stabile, soddisfacendo i rigorosi requisiti di sostenibilità ambientale richiesti dal mercato europeo. L'accesso privilegiato al mercato europeo non solo aumenta le opportunità economiche per il Cile ma facilita anche l'integrazione del litio cileno nella catena di valore delle tecnologie verdi, favorendo investimenti esteri in infrastrutture di raffinazione e innovazioni tecnologiche all'interno del Cile stesso.

3.8.1 Politiche Nazionali e Strategie di Valorizzazione

Per il Cile, l'estrazione di litio non è solo una questione economica ma anche una sfida strategica, dato il ruolo essenziale di questo metallo nella transizione energetica globale. Di conseguenza, il governo cileno ha introdotto una nuova strategia industriale per ottimizzare i benefici derivanti dall'estrazione di litio, con l'obiettivo di aumentare la lavorazione del litio sul territorio nazionale e di ridurre la dipendenza dall'esportazione di materia prima grezza. In collaborazione con grandi aziende come SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) e Albemarle, il governo ha incentivato la costruzione di impianti di raffinazione interni, con l'intento di sviluppare una filiera locale per la produzione di materiali di maggiore valore aggiunto, come idrossido di litio e componenti per batterie. La strategia cilena mira, inoltre, a ridurre l'impatto ambientale dell'estrazione di litio, soprattutto per quanto riguarda il consumo di risorse idriche. Le saline del Salar de Atacama si trovano in una delle aree più aride del pianeta, e l'estrazione del litio richiede ingenti quantità di acqua, generando preoccupazioni ambientali tra le comunità locali. Per far fronte a queste sfide, il governo ha introdotto normative più stringenti per la gestione delle risorse idriche e sta promuovendo investimenti in tecnologie di estrazione a basso consumo idrico, con l'obiettivo di rendere il processo più sostenibile nel lungo periodo. La politica di regolamentazione e innovazione tecnologica è accompagnata da una strategia di diversificazione commerciale, volta a rafforzare le relazioni con nuovi mercati, in particolare all'interno della regione dell'Asia-Pacifico. Il Cile sta esplorando opportunità per incrementare le esportazioni verso altri paesi asiatici emergenti, cercando di espandere la propria base di clienti e di mitigare la dipendenza da pochi mercati dominanti, come la Cina. La creazione di queste nuove partnership è essenziale per assicurare la stabilità economica a lungo termine, dato che la domanda globale di litio è destinata a crescere esponenzialmente nei prossimi decenni.

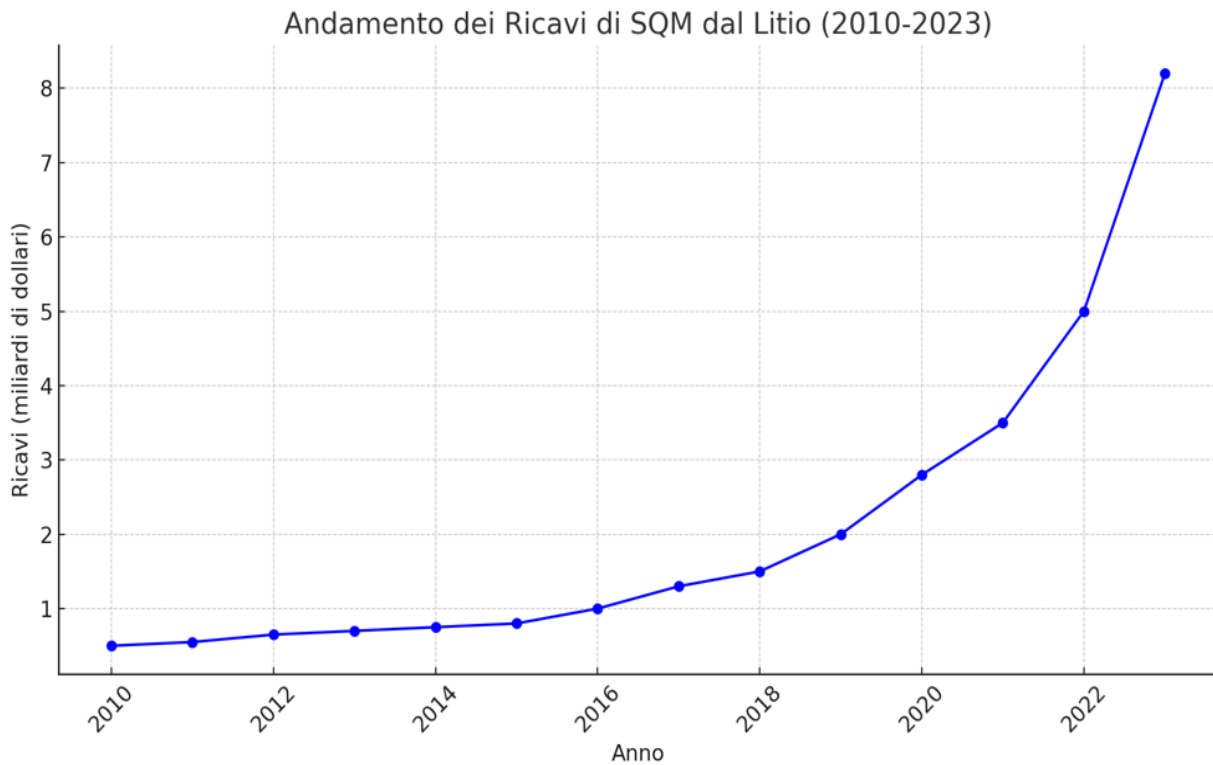
3.9 I principali attori del settore del litio cileno: SQM & Albermarle

Nel contesto dell'industria del litio cileno, due colossi dominano la scena e rappresentano il cuore pulsante del settore: la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM) e la multinazionale statunitense Albemarle Corporation. Tali aziende non solo guidano l'estrazione e la produzione di litio nel Salar de Atacama, ma svolgono anche un ruolo dominante nell'economia del paese e nell'intera catena di approvvigionamento globale. L'importanza di SQM e Albemarle va oltre i confini cileni, poiché il litio da loro estratto viene esportato e raffinato nei principali mercati internazionali, supportando la produzione di batterie per veicoli elettrici, dispositivi elettronici e infrastrutture di stoccaggio energetico. Grazie alla loro vasta esperienza e capacità produttiva, SQM e Albemarle si sono affermate come attori indispensabili in un contesto internazionale segnato da un'accelerata transizione verso tecnologie pulite e sostenibili. Le due aziende hanno saputo sviluppare strategie mirate a garantire una fornitura stabile di litio, rispondendo all'aumento della domanda globale con investimenti in innovazione e sostenibilità. Operando all'interno di un quadro regolamentato e soggetto a monitoraggi ambientali, entrambe le società hanno adattato le loro pratiche per minimizzare l'impatto ecologico e rispondere alle sfide legate all'uso delle risorse naturali, tra cui l'acqua, particolarmente scarsa nelle regioni desertiche cilene. La posizione strategica di SQM e Albemarle non si limita alla gestione delle risorse naturali: infatti le due società sono anche motori di sviluppo economico e tecnologico. Attraverso una costante collaborazione con il governo cileno e investimenti mirati, stanno costruendo un modello di crescita sostenibile che contribuisce alla stabilità economica del Cile e alla sua integrazione nelle catene di valore globali. Il litio prodotto in Cile, quindi, non è solo una risorsa economica, ma rappresenta una leva strategica per il futuro della mobilità e delle energie rinnovabili, rafforzando il ruolo del Cile come leader nella transizione energetica globale.

3.9.1 SQM (Sociedad Química y Minera de Chile)

Fondata nel 1968 e con sede a Santiago, SQM è tra le principali aziende minerarie del mondo, specializzata nell'estrazione e produzione di litio, potassio e altri minerali. Nel settore del litio, SQM opera nel Salar de Atacama, concentrazione di litio, con una capacità produttiva che ha raggiunto 120.000 tonnellate annue di carbonato di litio equivalente (LCE) nel 2023. La strategia di SQM si basa su un'elevata efficienza estrattiva e una diversificazione dei prodotti, che includono sia carbonato di litio sia idrossido di litio, quest'ultimo particolarmente richiesto nel mercato delle batterie ad alta capacità.

Fig. 37- Andamento dei ricavi di SQM dal litio (2010-2023)



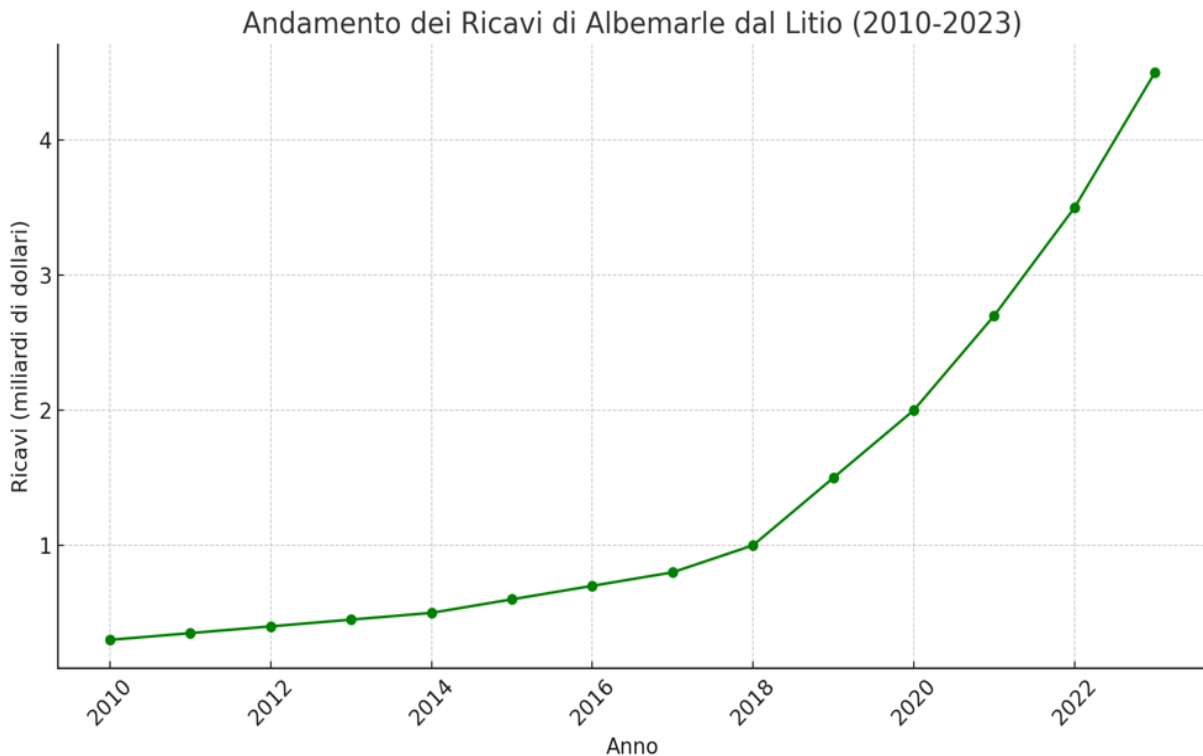
Fonte: Investing.com

Il grafico evidenzia la forte crescita dei ricavi dell'azienda nel settore del litio, culminando nel 2023 con un picco stimato di 8,2 miliardi di dollari. La costante ascesa dal 2021 evidenzia sia l'espansione della capacità produttiva sia la capacità dell'azienda di rispondere alle dinamiche di mercato, assicurando una fornitura stabile ai mercati chiave. SQM investe costantemente nella tecnologia di estrazione per ridurre i costi operativi e aumentare la sostenibilità ambientale delle operazioni. Tuttavia, l'azienda è soggetta a normative ambientali più stringenti, a causa dell'impatto idrico della produzione di litio, che richiede ingenti quantità di acqua per l'evaporazione della salamoia. Per affrontare queste sfide, SQM ha avviato progetti che includono la collaborazione con istituti di ricerca locali e internazionali per sviluppare metodi di estrazione a basso consumo idrico. Nel 2022, l'azienda ha investito circa 200 milioni di dollari in progetti per ottimizzare il recupero delle acque nelle operazioni di estrazione contribuisce in modo significativo alle esportazioni cilene di litio, con mercati di destinazione primari in Asia, in particolare Cina, Giappone e Corea del Sud. L'azienda ha firmato contratti di lungo termine con importanti produttori di batterie e case automobilistiche, che garantiscono la stabilità della domanda nel tempo e rafforzano il posizionamento del Cile come fornitore chiave nel mercato del litio.

3.9.2 Albemarle Corporation

Albemarle Corporation, una multinazionale statunitense con sede a Charlotte, Carolina del Nord, è un altro attore fondamentale nel settore del litio cileno. Con operazioni avviate nel Salar de Atacama dagli anni '80, Albemarle ha un accordo con il governo cileno per l'estrazione della salamoia, con una produzione annuale di circa 85.000 tonnellate di LCE nel 2023.

Fig. 38- Andamento dei ricavi di Albermarle dal litio (2010-2023)



Fonte: *Investing.com*

Il grafico evidenzia la significativa espansione dei ricavi di Albemarle nel settore del litio tra il 2010 e il 2023, con un'accelerazione marcata a partire dal 2020. In particolare, il passaggio da circa 1 miliardo di dollari nel 2018 a 4,5 miliardi di dollari nel 2023 riflette la strategia di Albemarle di aumentare la capacità produttiva, rispondendo al fabbisogno di mercati chiave come l'Asia, l'Europa e gli Stati Uniti. L'azienda ha attuato una strategia di crescita aggressiva in Cile, investendo oltre 500 milioni di dollari negli ultimi anni per ampliare la capacità produttiva e rispondere alla crescente domanda di veicoli elettrici. Oltre a ciò, Albermarle sta inoltre sviluppando nuove tecnologie di raffinazione per migliorare la qualità dei composti di litio e aumentare l'efficienza estrattiva, con un'attenzione particolare alla sostenibilità. Parte degli investimenti è destinata all'implementazione di sistemi di monitoraggio idrico, per minimizzare l'impatto ambientale e garantire un utilizzo responsabile delle risorse nel Salar de

Atacama. Albemarle collabora attivamente con il governo cileno per rispettare le normative ambientali e sostenere iniziative che coinvolgono le comunità locali, destinando il 3% dei ricavi in investimenti per progetti idrici e di infrastruttura nelle regioni vicine.

3.9.3 Strategie Aziendali e Impatto Economico

Entrambe le aziende seguono strategie aziendali mirate a consolidare il Cile come fornitore mondiale di litio. SQM e Albemarle investono costantemente in ricerca e sviluppo, cercando di ottimizzare le tecniche di estrazione e di ridurre l'impatto ambientale. L'introduzione di processi avanzati come l'estrazione diretta del litio (DLE) rappresenta una delle innovazioni più promettenti, poiché permetterebbe di ridurre notevolmente l'uso di acqua e aumentare l'efficienza produttiva. Tuttavia, la tecnologia DLE è ancora in fase sperimentale e richiede un adattamento per le saline ad alta concentrazione di litio come quelle del Salar de Atacama. L'impatto economico di queste aziende è significativo, con SQM e Albemarle che contribuiscono per circa il 3% al PIL del Cile e generano migliaia di posti di lavoro diretti e indiretti. I profitti derivanti dalle esportazioni di litio e dagli accordi con produttori asiatici e europei rafforzano l'economia cilena, sostenendo progetti di sviluppo regionale. Le due aziende sono inoltre tra i principali contribuenti fiscali del settore minerario, con SQM che versa una royalty che varia tra il 6,8% e il 40% sul valore del litio, in base ai prezzi di mercato. Questo sistema di tassazione progressiva permette al governo cileno di beneficiare direttamente dai cicli di prezzo elevati, reinvestendo i ricavi in progetti infrastrutturali e in fondi per la sostenibilità ambientale. L'importanza strategica di SQM e Albemarle nell'economia cilena e nel mercato globale del litio è destinata a crescere, in parallelo con l'espansione del mercato delle batterie per veicoli elettrici e l'aumento della domanda di fonti energetiche sostenibili. Entrambe le aziende giocano un ruolo centrale nel posizionamento del Cile come fornitore affidabile di litio, contribuendo alla transizione energetica globale.

4. CONCLUSIONI

In conclusione, il mercato del litio rappresenta una delle aree più dinamiche e promettenti dell'economia globale contemporanea, in quanto il litio è diventato essenziale per sostenere la transizione energetica in corso e lo sviluppo tecnologico. Il crescente impiego delle batterie agli ioni di litio nelle auto elettriche, nei dispositivi elettronici e nei sistemi di accumulo di energia ha determinato un aumento esponenziale della domanda di questo metallo, tanto che si prevede che la domanda globale di litio possa crescere fino a sette volte entro il 2030. In questo scenario, il Cile si trova in una posizione privilegiata per beneficiare di tale crescita, grazie alle sue vaste riserve di litio di alta qualità, situate principalmente nel Salar de Atacama, e alla sua capacità di mantenere costi di estrazione significativamente più bassi rispetto ad altri paesi produttori. Tuttavia, il Cile non può permettersi di adagiarsi sugli allori: il contesto internazionale sta diventando sempre più competitivo, e le pressioni ambientali richiedono una costante innovazione sia nei processi estrattivi sia nella gestione delle risorse idriche. La sfida per il paese è quella di mantenere la sua leadership globale, adattandosi alle nuove dinamiche del mercato e investendo in infrastrutture logistiche per garantire un flusso stabile di esportazioni verso i mercati chiave, come quello cinese, che assorbe oltre il 50% del litio cileno. Le prospettive future del mercato del litio sono promettenti ma complesse, poiché la capacità dei principali Paesi produttori di soddisfare la crescente domanda non è illimitata. Le difficoltà legate all'avvio di nuovi progetti minerari, spesso ostacolati da lunghe tempistiche burocratiche e questioni ambientali, rappresentano un fattore critico che potrebbe limitare l'offerta. Nonostante l'aumento della produzione stimato fino a oltre 3 milioni di tonnellate di carbonato di litio equivalente entro il 2030, le sfide geopolitiche e ambientali potrebbero influenzare l'andamento del mercato. Inoltre, la crescente dipendenza dalla Cina per la raffinazione del litio costituisce una preoccupazione per i mercati occidentali, che stanno cercando di diversificare le loro fonti di approvvigionamento. Gli Stati Uniti e l'Unione Europea stanno investendo in nuove tecnologie e capacità produttive per ridurre tale dipendenza, ma la strada verso un'autonomia completa richiederà tempo e ingenti investimenti. D'altra parte, l'Australia rimane il principale produttore di litio grezzo, esportando quasi tutta la sua produzione verso la Cina per la raffinazione. Anche l'Argentina, grazie alla sua posizione nel Triangolo del Litio e alle sue politiche favorevoli agli investimenti stranieri, sta espandendo rapidamente le proprie operazioni minerarie, e potrebbe presto diventare un attore di grande rilievo nel mercato internazionale. Tuttavia, il Cile, con il suo costo di estrazione più basso e le sue politiche mirate a valorizzare la filiera del litio, continua a essere uno dei principali protagonisti del settore. A

differenza dell’Australia, che esporta quasi esclusivamente litio grezzo, il Cile ha avviato politiche per aumentare la trasformazione interna del litio, cercando di ridurre la dipendenza dall’esportazione del minerale non lavorato e incrementare il valore aggiunto delle sue esportazioni. Tale strategia si basa su collaborazioni pubblico-private, con il governo cileno che punta a una maggiore partecipazione nelle operazioni estrattive, al fine di garantire che le risorse naturali del Paese siano sfruttate in modo più efficiente e sostenibile. L’innovazione tecnologica gioca un ruolo importante nel futuro del mercato del litio. Una delle tecnologie emergenti più promettenti è il Direct Lithium Extraction (DLE), un metodo di estrazione che sta attirando sempre più attenzione. A differenza dei metodi tradizionali, che richiedono grandi quantità di acqua e lunghi tempi di evaporazione, il DLE offre un approccio più rapido ed ecologico per estrarre il litio dalle salamoie. Questa tecnologia potrebbe diventare un ottimo elemento per rispondere alla crescente domanda di litio senza compromettere eccessivamente le risorse naturali. Il Cile, con le sue vaste riserve di litio e la sua capacità di adattarsi rapidamente alle innovazioni tecnologiche, è ben posizionato per sfruttare appieno questa nuova tecnologia, che potrebbe consentire al Paese di aumentare ulteriormente la produzione di litio senza aumentare significativamente l’impatto ambientale. Tuttavia, la strada per l’adozione diffusa del DLE non è priva di ostacoli: il processo è ancora in fase di sperimentazione e richiederà ulteriori sviluppi prima di essere implementato su larga scala. Un altro aspetto non indifferente per il futuro del mercato del litio è la questione del riciclo delle batterie agli ioni di litio. Con l’aumento della domanda di veicoli elettrici e dispositivi elettronici, si prevede che entro il 2030 circa 11 milioni di tonnellate di batterie agli ioni di litio raggiungeranno la fine del loro ciclo di vita. Ciò rappresenta una sfida significativa per l’industria, poiché lo smaltimento di tali batterie potrebbe avere un impatto ambientale devastante se non gestito correttamente. Il riciclo efficiente delle batterie diventa quindi essenziale per ridurre la dipendenza dall’estrazione mineraria e per minimizzare l’impatto ambientale. Sono in fase di sviluppo nuovi processi di riciclo che mirano a recuperare materiali preziosi come il litio, il nickel e il cobalto dalle batterie esauste. Tali processi, che includono trattamenti termici e chimici avanzati, consentono di estrarre questi materiali in forme riutilizzabili, contribuendo così a chiudere il ciclo di vita del prodotto. Il riciclo delle batterie non è solo una necessità ambientale, ma anche una grande opportunità economica per i Paesi produttori di litio. Il Cile, in particolare, potrebbe beneficiare enormemente dallo sviluppo di un’industria del riciclo, non solo per ridurre l’impatto ambientale delle sue operazioni estrattive, ma anche per creare un nuovo flusso di entrate legato alla trasformazione e al recupero di materiali preziosi. La capacità di innovare in questo settore sarà determinante per garantire che

l'energia pulita non sia solo accessibile e affidabile, ma anche sostenibile dal punto di vista ambientale e sociale. In definitiva, il futuro del mercato del litio sarà caratterizzato da sfide e opportunità. La domanda di questo metallo essenziale continuerà a crescere, spinta dall'adozione di tecnologie energetiche più sostenibili e dall'espansione del mercato dei veicoli elettrici. Tuttavia, per rispondere efficacemente a questa domanda, i principali Paesi produttori, come il Cile, dovranno investire in nuove tecnologie, migliorare le infrastrutture e adottare politiche che favoriscano la sostenibilità a lungo termine. Il Cile, con le sue abbondanti riserve di litio, il basso costo di estrazione e le politiche mirate a valorizzare la filiera del litio, è ben posizionato per giocare un ruolo di primo piano in questo scenario. Tuttavia, il Paese dovrà affrontare sfide legate alla sostenibilità ambientale, alla gestione delle risorse idriche e all'innovazione tecnologica per mantenere la sua posizione di leadership. Il riciclo delle batterie rappresenta un'opportunità fondamentale per garantire la disponibilità futura di litio e per ridurre l'impatto ambientale della crescente domanda di questo metallo. Perciò, l'industria del litio continuerà a essere un pilastro cruciale per la transizione energetica globale, e il Cile, grazie alle sue risorse e alla sua capacità di innovare, sarà uno degli attori chiave in questo processo, capace di contribuire non solo alla crescita economica interna, ma anche alla sostenibilità del pianeta.

5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://bcentral.cl/> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://benchmarkminerals.com/reports/lithium-market-trends> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://bloomberg.com/news/lithium-demand-outlook> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://byd.com/> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://catl.com/en/about> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://codelco.com/lithium-market-outlook-2023> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://cochilco.cl/> [ultima consultazione ottobre 2024]
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Population_density_of_Chile_regions.png [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://crugroup.com/research-and-analysis/reports/lithium-supply-and-costs> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://data.humdata.org/dataset/chile-high-resolution-population-density-maps> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://energy.gov/lithium-supply-chain-analysis> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://energyfuturesinitiative.org/reports/lithium-global-supply-chain> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://english.customs.gov.cn/lithium-export-data> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://english.customs.gov.cn/statistics/report/lithium-exports-imports> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://fastmarkets.com/insights/lithium-prices-trends> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://ft.com/content/lithium-prices-global-demand> [ultima consultazione ottobre 2024]
- <https://ganfenglithium.com/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://global-lithium.com/research/lithium-market-analysis-2023> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://globaldata.com/lithium-demand-forecast> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://hornsdalespowerreserve.com.au/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://hub.worldpop.org> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://ibatterymetals.com/technology> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46967420> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://iea.org/reports/global-lithium-demand> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://iea.org/reports/global-ev-outlook-2023> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://investing.com/commodities/lithium> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://investing.com/news/earnings-call-sqm-q3-2023-results> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/lithium-market-update/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://knoema.com/atlas/Chile/maps/Population-Density> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://lg.com/global/business/energy-storage-system> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://lilacsolutions.com/resources> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://livent.com/our-business/operations-in-argentina/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://marketsandmarkets.com/lithium-industry-trends> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://mining.com/lithium-supply-and-demand-forecast> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://msc.com/mining-and-minerals/lithium> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://murdoch.edu.au/esploro/outputs/doctoral/Extraction-of-lithium-from-spodumene/991005543456307891> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://ourworldindata.org/electric-car-sales> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://ourworldindata.org/grapher/lithium-production> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://piedmontlithium.com/where-lithium-comes-from-does-make-a-difference/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://population-pyramid.net/en/pp/chile> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://riotinto.com/en/operations/argentina/rincon-lithium> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://saltworkstech.com/solutions/lithium-extraction-and-refining/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://sciencedirect.com/topics/materials-science/lithium-production> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://sgs.com/-/media/sgscorp/documents/corporate/brochures/sgs-min-wa109-hard-rock-lithium-processing-en.cdn.en.pdf> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://standardlithium.com/projects/arkansas-lithium-project> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://statista.com/statistics/123456/lithium-production-worldwide> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://statista.com/statistics/271995/global-market-for-lithium-ion-batteries/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://summitnanotech.com/technology> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://tesla.com/powerwall> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://tianqilithium.com/about.html> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://trademap.org/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://tradingeconomics.com/china/exports-lithium> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://usgs.gov/centers/nmic/lithium-statistics-and-information> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/lithium-statistics-and-information> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://veoliawatertech.com/solutions/lithium-recovery> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://visualcapitalist.com/global-demand-for-lithium-by-country> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://visualcapitalist.com/largest-lithium-producers-2023/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://visualcapitalist.com/visualizing-25-years-of-lithium-production-by-country> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://weforum.org/agenda/2022/12/25-years-of-lithium-production/> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://weforum.org/agenda/2022/01/lithium-critical-mineral-global-economy> [ultima consultazione ottobre 2024]

<https://weforum.org/global-battery-alliance/> [ultima consultazione ottobre 2024]