



diScienze

Nella stessa collana:

*Mucche allo stato ebraico*, di Riccardo Canesi

*La mentalità del principiante*, di Jonathan G. Koomey

*Le curve celebri*, di Luciano Cresci

*Rischio mercurio*, di Roberto Miniero

*Prima lezione sul colore*, di Mauro Boscarol

*Ripensare la scuola*, di Alessandra Anichini (a cura di)

*Storia del colore da Pitagora a Newton*, di Mauro Boscarol

Michel Jébrak, Christian Hocquard

# Litio

Caratteristiche, applicazioni,  
geopolitica

Un elemento fondamentale  
per la transizione energetica

Traduzione di Virginio B. Sala

TARKA

La traduction de cette œuvre a été rendue possible grâce au soutien financier de la Société de développement des entreprises culturelles du Québec (SODEC)  
La traduzione di quest'opera è stata possibile grazie al sostegno finanziario della Société de développement des entreprises culturelles du Québec (SODEC)



Titolo originale in francese: *Objectif lithium, réussir la transition énergétique*

Scritto da Michel Jébrak e Christian Hocquard

© 2021, Éditions MultiMondes inc.

By agreement with AC<sup>2</sup> Literary Agency

Traduzione di Virginio B. Sala

Tutti i diritti sono riservati

Prima edizione ottobre 2023

© 2023 Tarka edizioni srl

Piazza Dante, 2 - Mulazzo (MS)

[www.tarka.it](http://www.tarka.it)

ISBN: 979-12-80246-43-1

Impaginazione ed editing: Monica Sala

Finito di stampare nel mese di ottobre 2023

presso Mediagraf SpA - Noventa Padovana (PD)

# Indice

Premessa all'edizione italiana(e ultimi aggiornamenti) XI

Introduzione XVII

1. La transizione energetica 1
  - Un contesto inedito 4
  - Verso il tutto elettrico 7
  - Il trasporto dell'energia 12
  - Dallo stoccaggio alla produzione 12
  
2. Il litio, la sua storia e le sue proprietà 17
  - Un metallo versatile 18
  - Gli isotopi del litio 19
  - Dove si trova il litio? 21
  - Il litio nella vita quotidiana 22
  - Altri utilizzi del litio 23
  
3. Dai primi istanti dell'universo 29
  - Il litio delle stelle 29
  - Un ciclo particolare nella crosta terrestre 31
  - I minerali di litio 36
  
4. I veicoli elettrici 41
  - Il successo della “Jamais Contente” 42
  - I veicoli elettrici nel mondo 46
  - Un duello futuro 54
  - Altre dimensioni dell'elettromobilità 56
    - Le biciclette 57
    - Treni e tram 59
    - Autobus 60

Imbarcazioni 61

Aerei 62

5. Un mondo ricaricabile 65
  - Le prime batterie agli ioni di litio 68
  - Gli altri tipi di batterie al litio 73
  - L'alimentazione di energia 77
  - L'evoluzione e l'emergere delle nuove batterie 79
  - I supercondensatori 82
  
6. L'economia delle batterie agli ioni di litio 85
  - I principali produttori di litio 86
  - Il costo di produzione di una batteria agli ioni di litio 90
  - Perché il prezzo del litio varia? 92
  
7. Un settore industriale in mutamento 99
  - I prodotti finiti del litio 100
  - Fabbricare una batteria al litio 102
  - Le celle delle batterie 102
  - L'assemblaggio 105
  - I fabbricanti e le loro gigafabbriche 106
  
8. Una ricchezza planetaria 113
  - Il litio delle rocce 116
  - I grandi giacimenti pegmatitici del litio 120
  - Il trattamento dei minerali 124
  - I graniti di litio disseminati e altri giacimenti in roccia 126
  
9. Il litio delle acque 129
  - Ambienti geologici eccezionali 130
  - Una questione di evaporazione 135
  - Le altre risorse 139

|   |     |
|---|-----|
| 10. Una geopolitica del litio                     | 145 |
| Strategie economiche variabili                    | 148 |
| La strategia cinese                               | 148 |
| La strategia sudamericana                         | 151 |
| La strategia europea                              | 153 |
| La strategia nordamericana                        | 157 |
| Altri metalli elettrici?                          | 160 |
| La grafite  | 161 |
| Cobalto e rame                                    | 161 |
| Il nichel   | 163 |
| Una guerra per il litio?                          | 164 |
| La tentazione del cartello                        | 166 |
| Creare riserve?                                   | 168 |
| Il futuro geopolitico del litio                   | 169 |
| 11. Il litio e l'ambiente                         | 171 |
| L'impatto dello sfruttamento delle saline         | 171 |
| L'impatto delle miniere in roccia                 | 175 |
| Il riciclo e le miniere urbane                    | 177 |
| Riciclare oggi                                    | 178 |
| I processi  | 181 |
| Un secondo utilizzo?                              | 182 |
| I veicoli elettrici sono davvero più convenienti? | 182 |
| Epilogo: un giorno saremo a corto di litio?       | 185 |
| Come sostituire il litio?                         | 189 |
| Ringraziamenti                                    | 193 |
| Bibliografia                                      | 195 |



*A Jean Claude Samama  
e Claude Guillemin*



# Premessa all'edizione italiana (e ultimi aggiornamenti)

Il litio è oggi oggetto di una domanda eccezionale, con un tasso di crescita mai visto. Dopo la pubblicazione dell'edizione in francese di questo libro, le tendenze che vi sono esposte si sono ulteriormente concretizzate. Il mercato delle batterie per gli autoveicoli e dei dispositivi per lo stoccaggio dell'energia elettrica è al centro della transizione energetica e ormai quasi tutto il pianeta si è mobilitato per cercare di raggiungere un bilancio energetico senza emissioni di carbonio entro il 2050.

Nel 2022 sono stati prodotti in tutto il mondo oltre dieci milioni di vetture elettriche e le 15 principali aziende produttrici controllano l'80 per cento del mercato. Fra queste, le prime sono la cinese BYD e l'americana Tesla, ciascuna con oltre un milione di veicoli prodotti, soprattutto in Cina. Seguono Volkswagen, GM, Hyundai e Stellantis, con 500.000 e più veicoli prodotti all'anno. Le previsioni di crescita che vengono pubblicate tutti i mesi variano a seconda dello scenario, quello che implica la variabile dei cambiamenti climatici, quello che tiene conto della dinamica del mercato per i veicoli elettrici, quello che dipende dalle prestazioni e quindi dalla composizione delle batterie... ma tutti questi scenari ci dicono la stessa cosa: avremo bisogno di milioni di tonnellate di litio all'anno; il mercato di questo metallo, finora poco consumato, diventerà paragonabile ad altri grandi mercati mondiali, come quelli

del nichel o del rame. L'ampliamento del parco dei veicoli elettrici renderà necessario che la produzione di litio aumenti di almeno dieci volte. Per il trattamento, saranno necessarie 200 fabbriche di batterie, quelle che sono chiamate *gigafactories*, gigafabbriche, e che sono in costruzione un po' dappertutto nel mondo: un centinaio sono in costruzione in Asia, una quarantina sono state annunciate in Europa, due progetti sono in corso in Italia.

Il mercato delle batterie rimane sempre instabile. In Cina, per esempio, dove il mercato dell'automobili è molto dinamico, si sta assistendo a una rapida modificazione della composizione delle batterie, con il passaggio dalle batterie al litio, nichel, cobalto e manganese alle batterie al ferro fosfato, il che indica se non altro una riduzione del fabbisogno di nichel e cobalto, due elementi particolarmente critici. Le nuove batterie, che hanno bisogno di ferro e di fosfato, sono più sicure, hanno meno potenza ma una vita molto più lunga. Giustamente, almeno in Cina, per quanto riguarda i trasporti c'è una minore richiesta di potenza e la passione per i SUV non ha preso piede. Ci si può perciò aspettare una diffusione a livello mondiale delle piccole vetture elettriche cinesi con queste batterie economiche. Si svilupperà invece in parallelo un mercato per automobili più costose, dotate di batterie di maggiore potenza al nichel. Sarà necessario anche normalizzare progressivamente i prodotti: attualmente esistono sul mercato 145 tipi di batterie agli ioni di litio! Norme, cinesi od occidentali, permetteranno di garantire maggiormente la qualità. Uno degli elementi chiave di queste batterie è la purezza del litio utilizzato: la presenza di tracce di impurità può provocare esplosioni spettacolari.

Una soluzione per sostituire il litio esiste: è il sodio, un elemento alcalino molto più abbondante e meno tossico. Esistono già modelli pilota di batterie in Europa e in Cina, ma il sodio è anche molto più pesante del litio e di conseguenza ha una minore densità di energia. Tenuto conto dei volumi notevoli degli investimenti nelle batterie agli ioni di litio, è verisimile che l'opzione sodio si concretizzi solamente fra un po' di anni.

Nel frattempo, esiste abbastanza litio per soddisfare la domanda? La risposta è sì, ma non è tutto facilmente sfruttabile. Detto questo, i dati dei Servizi geologici americani fanno pensare che non ci sia alcun rischio di carenza. Le cifre che fanno riferimento alle risorse mondiali però sono ingannevoli. Certi giacimenti, come quelli della Bolivia e della Serbia, sono bloccati per motivi politici, mentre altri progetti sono molto più concreti, come quelli del Canada o dell'Australia. Nuovi paesi annunciano l'intenzione di sviluppare la produzione, per esempio la Nigeria, il Mali e l'India. Anche l'Italia ha un potenziale per la presenza di giacimenti di litio, ma non sono stati molto studiati, dopo l'arresto delle attività minerarie oltre 20 anni fa.

Sono state annunciate molte innovazioni, che trasformeranno il futuro del litio industriale. Innanzitutto, c'è l'inizio dello sfruttamento di giacimenti che faranno evolvere la domanda. Oggi, i siti a pegmatiti rappresentano oltre il 50% della produzione mondiale. Il loro tenore in litio varia fra l'1 e il 2% di ossido di litio, con quantità medie nell'ordine delle 10 Mt (megatonnellate, ovvero milioni di tonnellate). I giacimenti più grandi, come quelli di Greenbushes e di Kathleen Valley in Australia, di Manono nella Repubblica Democratica del Congo o di Bikita nello Zimbabwe, superano le 100 Mt. Nel 2023 è stato scoperto un nuovo giacimento, quello di Corvette in Québec, che supera le 100 Mt. Sicuramente ne verranno scoperti ancora altri.

Il litio può essere presente anche in forme diverse nei giacimenti, e molte sono già in concorrenza con le pegmatiti. Possiamo citarne alcune: (1) i *salar* (saline) dell'Altiplano andino, che producono circa la metà del litio di tutto il mondo e che vedranno una rivoluzione tecnologica con l'introduzione di membrane di filtraggio in grado di ridurre i ritardi di produzione e di diminuire l'impatto ambientale; (2) i laghi salati fossili dell'Ovest americano (come quello di Thacker Pass nel Nevada) e del Messico (come quello di Bacanora nel Sonora) che rappresentano quantità considerevoli, anche se l'estrazione del litio dalle argille in condizioni industriali

costituisce ancora una sfida tecnologica, senza contare gli impatti ecologici e sociali che devono essere presi in considerazione; (3) le cupole granitiche a lepidoliti come quelle che sono già sfruttate a Yichun nel sud della Cina e rappresentano il 20% della produzione del paese; due progetti di questo tipo sono in corso anche in Europa, a Échassières in Francia e ad Altenberg in Germania. Se i loro tenori in ossido di litio sono inferiori all'1%, le quantità sono comprese fra 100 e 200 Mt. La lepidolite si tratta, ma questi giacimenti pongono problemi ambientali per il tantalio e il tallio; infine (4) le salamoie geotermiche, o petrolifere, sviluppate in particolare in Europa da aziende minori e da qualche società petrolifera.

Tutti questi giacimenti, più estesi delle pegmatiti, costituiranno risorse importanti per le future grandi società del litio. Attualmente esistono quattro aziende produttrici di dimensioni paragonabili, in termini di capitalizzazione, cioè tra i 25 e i 34 miliardi di dollari: Albemarle negli Stati Uniti, SQM in Cile, Tianqi Lithium e Ganfeng Lithium in Cina. Questa situazione non è cambiata negli ultimi due anni. Dietro a queste però incombono varie aziende importanti che senza dubbio cresceranno mediante acquisizioni: Rio Tinto, Zijini Mining Group, Sibanye Stillwater, Tata Steel, Glencore... Possiamo dunque aspettarci cambiamenti sostanziali nel paesaggio industriale del mondo del litio.

Quali saranno le conseguenze sul piano geopolitico? Come diciamo nell'ultima parte del libro, viviamo in un periodo di riduzione della globalizzazione. Le economie tendono a chiudersi su se stesse, a proteggersi dai concorrenti, a cercare di rendersi autonome. Si parla, in inglese, di *friend shoring*, per indicare che si cerca di lavorare soprattutto con i paesi amici. Fanno la loro comparsa i blocchi, cinese, americano, europeo..., e ciascun blocco trova delle fonti, talvolta molto lontano, costruisce gigafabbriche e spera di conservare la propria industria automobilistica. Certo il mondo rimarrà interconnesso, perché abbiamo bisogno gli uni degli altri per l'approvvigionamento di minerali e per condividere le compe-

tenze. Dopo la fase della competizione, o del conflitto economico, verrà il tempo degli accordi. La transizione ecologica, processo mondiale, ha bisogno di una visione mondiale.

Sono sicuro che il mio coautore, Christian Hocquard, avrebbe condiviso questo sentimento. Purtroppo è scomparso nell'agosto 2023. Sarebbe stato molto felice di vedere il suo lavoro in italiano! Geologo di esplorazione ed economista alla BRGM, Christian è stato un appassionato del futuro.

*Michel Jébrak*

13 settembre 2023



# Introduzione

Il Grande Nord mi ha sempre affascinato. Leggendo Jules Verne, ho accompagnato il capitano Nemo a bordo del suo *Nautilus* sotto i ghiacci fino a polo Nord. Ho seguito l'avventura straordinaria di Martin Frobisher nel 1577, partito alla ricerca dell'oro nel nord del Canada e tornato con tonnellate di pirite che poi non è riuscito a scaricare nelle vie di Londra... E poi ho divorato le avventure del capitano John Franklin, partito alla conquista del passaggio di Nord-Ovest nel 1845. Infine, l'esploratore Paul-Émile Victor mi ha attirato nella prodigiosa storia dei poli e nella fragilità dei suoi ambienti.

Così, quando l'amico Jean-Marc m'ha proposto di andare a esaminare le rocce che aveva scoperto a Ungava nel 2010, molto a nord del Québec, ho accettato con entusiasmo. Abbiamo dovuto aspettare l'estate... Dopo Montréal, l'aereo della Air Inuit ci ha portati a qualche ora da Kangiqsualujjuaq, non senza qualche scalo. Siamo arrivati sulle rive del fiume George, segnate dall'azione di maree gigantesche che lasciano un panorama affascinante d'argille multicolori. Il paesaggio era brullo, con solo qualche peccio nero che rallegra i vecchi graniti.

In inuktitut, *kangiqsualujjuaq* significa "la grandissima baia" e questa parola sostituisce il nome antico di *Georges River*. Il villaggio è recente: è stato fondato negli anni Sessanta del secolo scorso. Il turismo è molto selezionato: vi si incontrano soprattutto pescatori americani alla ricerca di salmoni, di trote e salmerini artici, che qui

abbondano. In questa regione vive la mandria di caribù più grande del Canada, oggetto di una caccia regolamentata. Dall'aeroporto, abbiamo subito preso un elicottero che ci ha portati a 20 chilometri di distanza. Abbiamo raggiunto una *pourvoirie*, un relais per la pesca dove ci ha accolti Norbert, un volubile Québécois. La porta in legno che portava alla cucina portava i segni recenti del passaggio dell'ultimo orso bruno... Abbiamo passato la sera ad ascoltare le storie degli americani venuti per una settimana a pescare alla mosca nelle acque ricche di pesci.

Trascorsa una notte in sacco a pelo, siamo ripartiti il giorno dopo verso quelle famose rocce. Un piccolo giro in elicottero e siamo atterrati nella taiga, dove le colonie di sfagni hanno ammortizzato il nostro arrivo. Il tempo di percorrere qualche centinaio di metri verso una montagna arida e siamo arrivati all'obiettivo del nostro viaggio, le pegmatiti ricche di metalli rari della regione di Rae. Jean-Marc ha dato a questo angolo austero il nome di Marte... Lontano: il monte di Iberville, il più alto del Québec, che raggiunge i 1652 metri.

Le pegmatiti... rocce davvero particolari: sono composte da cristalli di vari centimetri, a volte addirittura di più metri, di minerali molto comuni come il quarzo e la mica, ma anche di minerali eccezionali, fonte di metalli rari. Sono dozzine, niente affatto facili da riconoscere... Fra i possibili minerali, molti contengono un elemento assai ricercato, il litio. Ma non ce n'era che poco, veramente poco. Dannazione... è la vita del geologo che si occupa di esplorazione mineraria!

Perché cercare il litio? Perché è il metallo chiave della transizione energetica!

Molto tempo fa, nelle città e nei villaggi, si doveva consumare l'energia nello stesso momento in cui la si produceva: il legno della foresta bruciava immediatamente nel forno del primo vasaio. Poi, il mulino ad acqua ha permesso di macinare il grano, lì immediatamente, per ottenere farina. Per i combustibili, carbone e petrolio, in seguito è stato necessario il trasporto sui treni, sulle strade e con

gli oleodotti. Un prodotto che permetteva di utilizzare l'energia una sola volta veniva immagazzinato, ma non era possibile accumularlo e riaccumularlo a più riprese.

Il vantaggio del litio è che permette di realizzare un accumulo e un utilizzo d'energia in un volume molto ridotto come quello delle batterie agli ioni di litio (Li-ion). Queste batterie si sono ritagliate progressivamente un posto nella nostra quotidianità: prima sono state installate sotto forma di piccole pile piatte negli orologi e nei *pacemaker*, poi negli apparecchi elettrici, negli utensili e così via, e infine sui monopattini, le biciclette, le automobili, gli autobus... perfino sui satelliti!

Questo non riguarda solamente il consumo di elettricità: le batterie al litio permettono anche di immaginare di decarbonizzare le nostre società, basate sul petrolio, utilizzando con il massimo rendimento le fonti d'energia rinnovabile che sono il sole e il vento. Queste energie virtuose hanno il difetto principale di essere intermittenti: non si possono produrre sempre proprio nel momento in cui se ne ha bisogno. Le batterie al litio permettono l'accumulo delle energie rinnovabili e di poterle poi utilizzare al momento opportuno. Questi due aspetti, la produzione continua e lo stoccaggio delocalizzato, sono le chiavi tecnologiche del mondo di domani. Il litio fa parte dello "zaino ecologico" di cui avremo bisogno in un mondo (un po' più) decarbonizzato. La ricerca di batterie sempre più potenti e di più lunga durata è ben lontana dall'essere conclusa, perché la chimica delle pile è un campo in continua evoluzione: non passa un mese che non venga annunciato qualche nuovo passo avanti tecnologico.

Il litio però pone a sua volta problemi economici e geopolitici notevoli. La crescita della domanda è destinata a diventare esponenziale, e per soddisfarla saranno necessarie quantità crescenti di litio, tecnologie e nuovi impianti di produzione e trasformazione. L'industria automobilistica è al centro delle nostre società, e vi resterà ancora per molti decenni. Chi sostituirà i vecchi motori a combustione interna con motori elettrici? Tesla, che il ricchissimo

Elon Musk ha portato al primo posto per valore patrimoniale fra i costruttori di automobili nel 2020, a distanza di soli 12 anni dalla sua fondazione? O BYD, il principale costruttore cinese, dato che la Cina dispone da sola di quasi la metà dei veicoli elettrici esistenti al mondo? A meno che non emerga un nuovo concorrente nella catena di produzione industriale, produttore di litio, fabbricante di celle per batterie, assemblatore di celle...

Il cammino del litio, dal luogo di estrazione fino a una vettura elettrica, è lungo. Passa spesso per l'Australia, il Cile, l'Argentina, la Cina, il Giappone e la Corea del Sud. La catena di approvvigionamento è complessa e comprende una serie di tappe, dopo la società di estrazione mineraria: la trasformazione del minerale in prodotti commerciabili, la realizzazione dei composti chimici complessi degli elementi che costituiscono la batteria (gli elettrodi: catodo, anodo, separatore, elettroliti), la fabbricazione delle celle e il loro assemblaggio finale destinato ai costruttori di automobili. Per molto tempo, la produzione di litio è rimasta episodica. Serviva principalmente a ridurre i disturbi psichici, le depressioni e altri disturbi bipolari. In origine ne conteneva un po' una bibita gassata come la Seven Up, e il gruppo rock americano Nirvana nel 1992 ha cantato "Lithium", ballata di un uomo con intenti suicidi, con un successo notevole, dato che il brano è stato ascoltato oltre 170 milioni di volte! Le applicazioni terapeutiche del litio non hanno smesso di moltiplicarsi nel corso dell'ultimo secolo e nel maggio 2020 un gruppo di scienziati tedeschi ha addirittura proposto di utilizzarlo contro il Covid-19.

L'aumento della domanda di litio per le batterie ha fatto in modo che la produzione e il controllo della sua trasformazione siano diventati problemi politici internazionali.

Nel 2010, l'"Huffington Post" sosteneva che l'Afghanistan avrebbe potuto essere l'Arabia Saudita del litio, tenendo conto delle risorse potenziali che sembrava possedere nella provincia di Ghazni. Nel dicembre 2019, il presidente della Bolivia Evo Morales ha denun-

ciato un colpo di stato compiuto a causa della ricchezza di litio del paese:

Sono assolutamente convinto che sia un colpo di stato per il litio. Abbiamo iniziato l'estrazione industriale del litio in quanto Stato [...] Siamo un piccolo paese di 10 milioni di abitanti, ma tra poco potremo stabilire il prezzo del litio. Si sa che abbiamo le riserve più importanti del mondo.

La Bolivia ha effettivamente tentato, senza successo, di sfruttare le sue gigantesche riserve di litio contenute nel Salar de Uyuni (un territorio desertico formatosi per il prosciugamento di un lago preistorico), situato a 4.000 metri d'altitudine sull'Altiplano, con il sogno di sfruttare industrialmente il suo litio, dalla fabbricazione di batterie fino alla costruzione delle vetture elettriche. Resta molta strada da fare, fra la volontà politica e la concretizzazione di un progetto, soprattutto quando mancano i mezzi finanziari, le capacità tecniche e i mezzi umani. Inoltre, la concorrenza è formidabile: la Cina ha acquisito partecipazioni in quasi tutte le miniere di litio del mondo, in particolare in roccia, e ne controlla la trasformazione. Gli Stati Uniti recentemente hanno annunciato di voler favorire una produzione nazionale, e anche un cambiamento della loro politica internazionale nei confronti dei produttori di metalli rari. Forse il litio sarà il nuovo carburante della geopolitica, al posto del petrolio?

Senza dubbio, bisogna iniziare a comprendere queste nuove tecnologie. Perché il litio è tanto potente per conservare l'elettricità? È pericoloso, tossico, inquinante? Dovremo sostituire tutte le batterie delle nostre vetture entro dieci anni, perché i giacimenti di litio si saranno esauriti, o perché avremo scoperto un altro metallo o un gas ancora più promettenti? Sono le domande a cui tenta di rispondere questo libro, seguendo il litio dalla sua origine nel sistema solare, nella crosta del pianeta, fino alle fabbriche delle batterie elettriche.