

# MATERIE PRIME PRINCIPALI E CRITICHE NELLE BATTERIE AGLI IONI DI LITIO DEGLI AUTOVEICOLI ELETTRICI: ANALISI DELLE CATENE DEL VALORE IN UN'OTTICA DI ECONOMIA CIRCOLARE

Marco La Monica <sup>1</sup>, Claudia Scagliarino <sup>2</sup>, Flora Nania <sup>2</sup>, Giorgio Massacci <sup>2,3</sup> e Laura Cutaia <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ENEA. Laboratorio di Valorizzazione delle risorse (RISE), Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT), C.R. ENEA Casaccia - Via Anguillarese 301, 00123 Roma (RM), Italia

<sup>2</sup> CINIGeo - Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse, Corso Vittorio Emanuele II, 244 - 00186 Roma (RM), Italia

<sup>3</sup> DICAAR – Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, Università di Cagliari, Via Marengo, 2 – 09123 Cagliari (Italia)

**ABSTRACT:** I sistemi di propulsione elettrica disponibili nel mercato automobilistico sono ormai molti, di varie tipologie e in continua espansione. Sebbene il motore a combustione interna rimarrà probabilmente dominante a breve e medio periodo, il mercato dei veicoli elettrici ibridi (HEV) e dei veicoli elettrici (EV) dovrebbe registrare nei prossimi decenni una crescita significativa e rapida. I veicoli elettrici al momento utilizzano batterie a ioni di litio come tecnologia di riferimento. Attualmente sono disponibili molti diversi tipi di chimica agli ioni di litio: LMO (ossidi di litio-manganese), NMC (ossido di litio-nichel-manganese-cobalto), NCA (nicel-cobalto-alluminio) ecc. Su essi si sperimenta per migliorare le prestazioni e ridurre i costi della batteria. Questa nota è basata sul rapporto realizzato da ENEA e da CINIGeo nell'ambito dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA "Ricerca di Sistema elettrico" dal titolo "Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018". Viene tracciata una panoramica della catena del valore di alcune delle principali materie prime presenti nella batteria NMC (nicel-manganese-cobalto), utilizzata da diversi nuovi modelli di EV. Per quanto riguarda il catodo, sono considerati il litio, il cobalto e il manganese; per l'anodo, invece, ci si è concentrati sulla grafite. Per diverse motivazioni la catena del valore (value chain) di tali materiali è complessa e di estremo interesse per l'Unione Europea, che dipende dall'estero per l'approvvigionamento e la raffinazione. La riflessione su tali filiere indica l'importanza del riutilizzo delle batterie e del recupero di questi materiali strategici per la realizzazione dei principi dell'economia circolare.

*Keywords: Litio, Cobalto, Grafite, Manganese, Materie prime critiche, Veicoli elettrici, Batterie agli ioni di litio, Economia circolare, Value chain*

## 1. INTRODUZIONE

Il motore a combustione interna rimarrà probabilmente dominante a breve e medio termine: il mercato dei veicoli elettrici ibridi (HEV) e dei veicoli elettrici (EV), tuttavia, dovrebbe registrare nei

prossimi decenni una crescita significativa e rapida. Attualmente, i tipi BEV (veicoli elettrici a batterie), PHEV (auto ibride elettriche plug-in) e HEV (auto ibride elettriche) sono le varianti più comuni sul mercato dei veicoli elettrici e ibridi.

Nel mercato automobilistico è disponibile una grande varietà di sistemi di propulsione elettrica. A seconda del modello di auto e del tipo di propulsore adottato, i veicoli elettrici e ibridi possono fare uso di differenti tipi di batterie. Gli ioni di litio sono la tecnologia di riferimento per le batterie EV, ma anche all'interno di tale categoria esistono diverse tipologie. Il grafico di figura 1 mostra come negli ultimi anni la produzione delle batterie per EV sia decisamente aumentata, in particolare in Cina, Giappone e Corea del Sud, che dominano decisamente il campo della produzione delle batterie; l'Europa rimane indietro rispetto alle rivali in questo settore, anche perché non ha una propria disponibilità delle materie prime per la produzione.

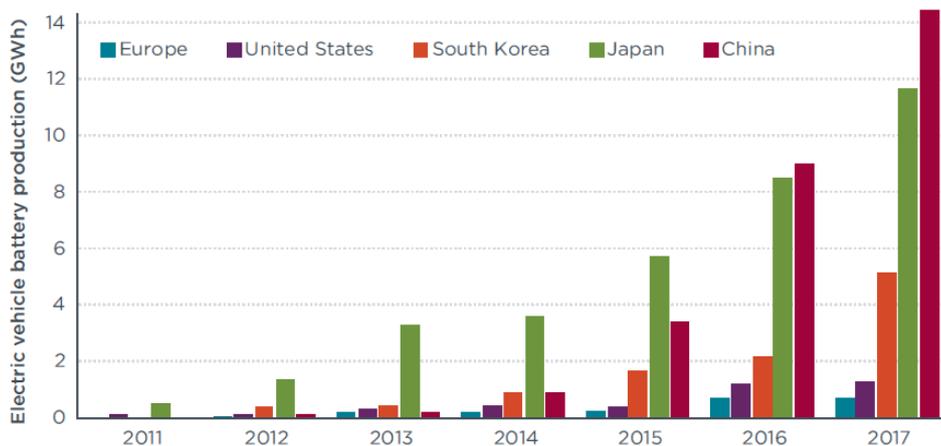


Figura 1. Produzione di batterie per veicoli elettrici tra il 2011 e il 2017 dei 5 produttori maggiori. Fonte: Lutsey, N., et al., 2018.

Attualmente sono disponibili molti diversi tipi di chimica agli ioni di litio che vengono continuamente migliorati per incrementare le prestazioni e ridurre i costi della batteria. La figura 2 riporta alcuni esempi,

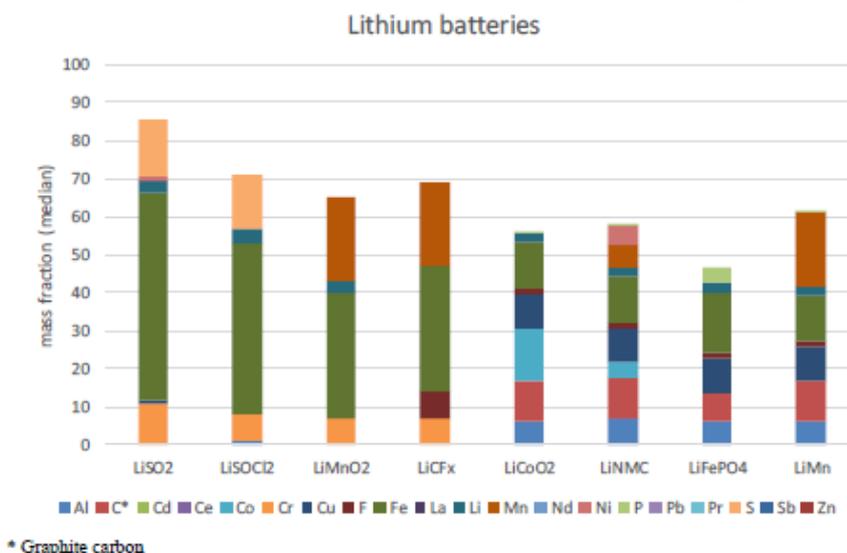


Figura 2. Elementi incorporati nelle batterie agli ioni di litio secondo le specifiche chimiche. Fonte: European Commission, 2018.

Per ogni tipologia di batteria si usano diverse materie prime (es. litio, cobalto, grafite, neodimio,

praseodimio, disprosio, ecc.). Alcune di esse sono impiegate nei rivestimenti o negli accessori, per i quali vengono utilizzati materiali facilmente reperibili, a bassi costi e spesso sostituibili. Quelle utilizzate all'interno delle celle, invece, devono avere caratteristiche particolari e perciò hanno solitamente un valore economico molto alto e difficilmente trovano un sostituto che dia le stesse prestazioni; i consumi di tali materie prime saranno quelli che in futuro risentiranno maggiormente dell'aumento della domanda dei veicoli elettrici.

In questo articolo verranno esaminate le principali materie prime e CRM (materie prime critiche) presenti nella batteria NMC; la sigla richiama la composizione chimica del catodo, che è quello che sostanzialmente cambia nelle diverse tipologie (litio, nichel cobalto e ossido di manganese), mentre l'anodo rimane solitamente in grafite. La combinazione di nichel e manganese rende tale batteria una delle più interessanti del mercato delle batterie per EV: il nichel è noto per la sua elevata energia specifica ma scarsa stabilità; il manganese ha il vantaggio di formare una struttura a spinello per ottenere una bassa resistenza interna, ma ha di contro una bassa energia specifica; la combinazione dei metalli ne migliora reciprocamente i punti di forza. L'altro elemento molto interessante è il cobalto, al momento uno dei materiali più importanti e al centro dell'attenzione mondiale per i motivi geopolitici e di mercato che più avanti verranno analizzati. Si esamineranno infine litio e grafite, dal punto di vista sia dei flussi sia dei mercati. Molto poco si potrà dire invece del riciclo di questi materiali: per la grafite, infatti, non sussistono attualmente condizioni di convenienza economica; per il litio, che invece potrebbe essere ben collocato sul mercato, non sono per ora disponibili tecnologie che permettano di ottenere un grado di purezza tale da poterlo riutilizzare all'interno delle batterie stesse. Il cobalto e la grafite sono considerati materiali fondamentali per l'economia dell'UE, poiché sono classificati tra le materie prime critiche. Sebbene il litio non sia percepito come un materiale critico in termini di rischio di offerta e prestazioni economiche, gli ultimi sviluppi nei settori automobilistici e la crescente domanda di batterie ricaricabili richiederebbero una nuova valutazione.

## 2. IL LITIO

### 2.1 La value chain

Il litio (Li) viene estratto da due fonti: rocce dure (pegmatiti) e salamoie. Il concentrato di litio può essere utilizzato direttamente nelle industrie di produzione senza ulteriore lavorazione o può essere lavorato per produrre carbonati di litio, ossidi, idrossidi, bromuri, cloruri, butilitio e litio metallico. Tranne quello metallico, i composti del litio sono ottenuti dalla lavorazione del carbonato di litio.

Il litio viene utilizzato per la produzione di vari prodotti finiti come batterie, vetro, ceramica, prodotti in leghe di alluminio, grassi lubrificanti, componenti elettronici e prodotti farmaceutici. È utilizzato anche nell'industria manifatturiera per la produzione di metalli (fusione dell'alluminio e di acciaio), polimeri (gomme sintetiche, materie plastiche) e cementi. Il litio puro viene utilizzato in ceramica, vetro e altre applicazioni industriali, mentre il carbonato di litio e l'idrossido di litio sono entrambi utilizzati nella produzione dei catodi della batteria agli ioni di litio. In quasi nessuna di queste applicazioni si ha un sostituto per questo materiale.

Nella figura 3 sono schematizzati i passaggi descritti: dall'esplorazione geologica, all'estrazione del minerale, al processo di raffinazione, alla produzione e uso dei prodotti, fino ad arrivare alla raccolta e al riciclo del litio.

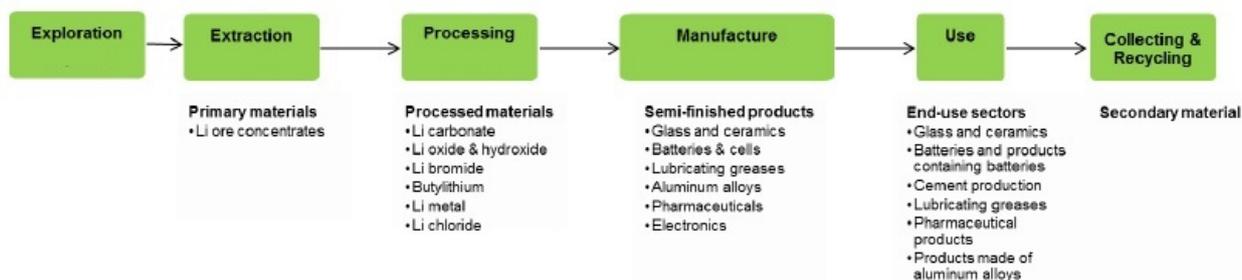


Figura 3. Value chain del litio. Fonte: European Commission, 2017.

Il mercato del litio, con circa 220.000 tonnellate di produzione nel 2017 per un valore di circa 3 miliardi di dollari, è relativamente piccolo. Esso è anche relativamente immaturo e alquanto opaco. Il litio non è quotato in nessuna borsa, per cui il prezzo viene stabilito dalla domanda e offerta di mercato tra i pochi produttori (che spesso non rilasciano statistiche) e i rispettivi clienti. Storicamente, la stragrande maggioranza del litio è venduta con contratti a lungo termine. La Cina è il principale hub per il consumo di litio ed è emersa, almeno per il momento, sia come il mercato spot più liquido, sia come potenziale proxy per i prezzi del litio a livello globale. Non esiste un unico prezzo del litio ma il mercato ha una vasta gamma di prodotti chimici di litio e per ognuno di essi si hanno vari gradi di purezza con prezzi differenti.

In ambito finanziario, infine, ci sono tre modi per investire nel litio:

- Azioni delle aziende che operano nell'industria;
- ETF (Exchange Traded Funds);
- CFD (Contract For Difference).

## 2.2 Esplorazione, estrazione e trattamento

Il litio si trova soprattutto in Sud America (Bolivia, Cile e Argentina), ma ha anche una buona presenza in Cina e in Australia. In Europa è presente in Portogallo con un'estrazione annua non molto cospicua, ma sembra con buone riserve per il futuro. Da poco sono stati scoperti corposi giacimenti nell'est della Repubblica Ceca e in Serbia. In tabella 1 sono indicate le riserve e le produzioni dei principali Paesi.

Tabella 1. Riserve e produzione mondiale di litio suddivise per nazioni (Dati 2017)

Exploration			Extraction		
Reserves Country	Tons	%	Mine production - Country	Tons	%
Chile	7.500.000	46,9	Australia	18.700	43,5
China	3.200.000	20,0	Chile	14.100	32,8
Australia	2.700.000	16,9	Argentina	5.500	12,8
Argentina	2.000.000	12,5	China	3.000	7,0
Portugal	60.000	0,4	Zimbabwe	1.000	2,3
Brazil	48.000	0,3	Portugal	400	0,9
United States	35.000	0,2	Brazil	200	0,5
ROW	457.000.000	2,8	ROW	100	0,2
Total	16.000.000	100	Total	43.000	100

Fonte: rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

Il carbonato di litio e l'idrossido di litio, ottenuti dalla raffinazione del concentrato, sono entrambi utilizzati nella produzione dei catodi della batteria agli ioni di litio. La capacità degli impianti che li producono non solo è tuttora limitata, ma è concentrata per oltre la metà in mani cinesi.

A livello di player, il mercato del litio è un oligopolio: fino a qualche anno fa erano presenti tre grandi aziende (Albemarle, SQM - Sociedad Química y Minera de Chile - e FMC); negli ultimi anni hanno assunto un maggior peso i produttori cinesi, in particolare la Jiangxi Ganfeng Lithium Co e la Tianqi Lithium (figura 4).

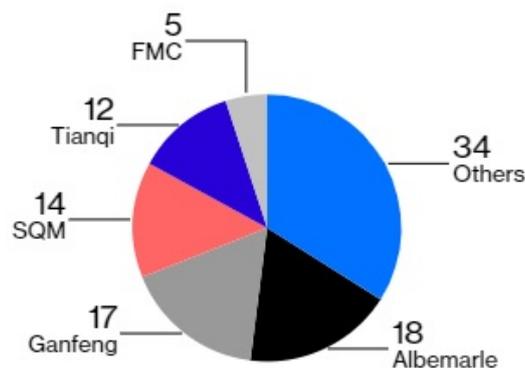


Figura 4. Offerta globale di litio suddivisa per produttori. Fonte Fickling, D., 2018.

I contorni dell'oligopolio nella produzione del litio sono alquanto indistinti. Sono importanti le connessioni societarie:

- La Tianqi, già azionista della SQM, nel 2018 ha raggiunto una quota del 24% della società cilena. La Tianqi, teoricamente, può ottenere la metà dei posti del consiglio di amministrazione della SQM.
- La Tianqi è collegata ad Albemarle attraverso una joint venture per la miniera di Greenbush in Australia, che da sola ha rappresentato nel 2017 circa il 35% della fornitura mondiale di LCE (lithium carbonate equivalent) e poco meno della metà della produzione di Albemarle (l'altro grande deposito di Albemarle è il lago salmastro di Atacama, adiacente ai depositi di SQM in Cile).
- Ganfeng e Tianqi sono entrambe società private tecnicamente indipendenti. Pechino non ha alcun controllo formale sulle compagnie private cinesi. I presidenti delle due società hanno però stretti rapporti con il governo cinese: il presidente di Tianqi è un delegato al Congresso nazionale popolare cinese e il presidente di Ganfeng è stato membro del comitato permanente del Congresso del popolo nella città di Xinyu, dove si trova la società.

È importante sottolineare che l'industria delle batterie agli ioni di litio ha una catena di approvvigionamento enormemente complicata. Le diverse aziende che producono batterie, infatti, fanno accordi con più fornitori che a loro volta si approvvigionano da più fornitori in una ragnatela di rapporti commerciali di cui si ha difficoltà a tracciare e a individuare i diversi player in gioco, come si può vedere nella figura 5, in cui sono rappresentati solo alcuni dei complessi passaggi che i materiali seguono prima di arrivare alle aziende finali.

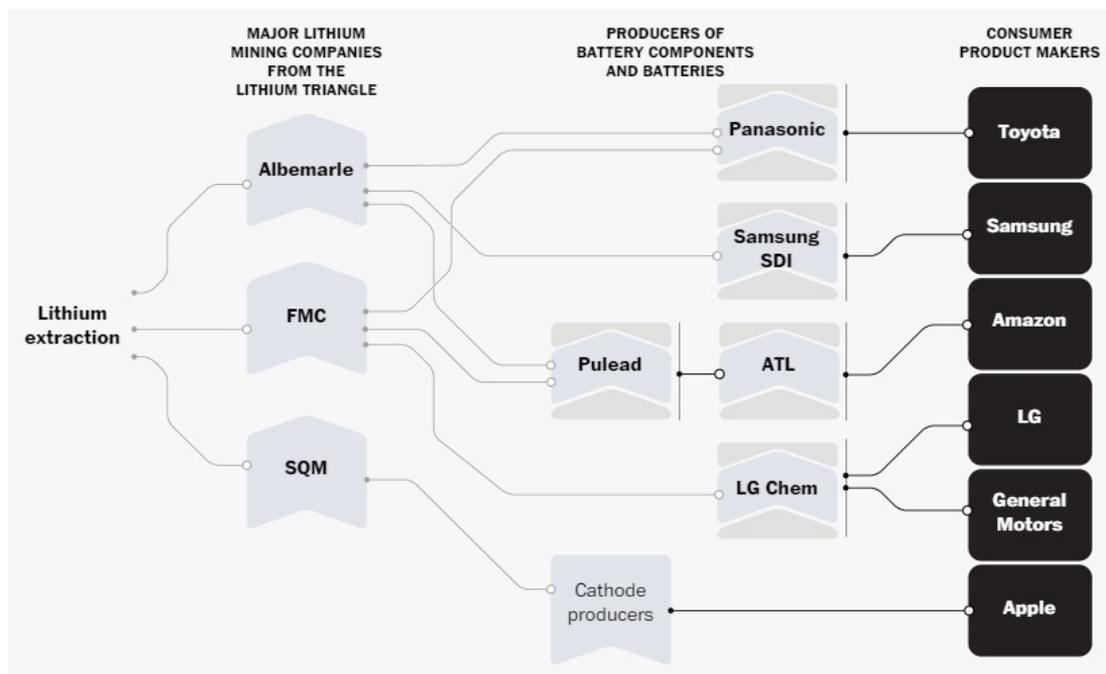


Figura 5. Alcune delle connessioni nella catena di approvvigionamento del litio per il settore delle batterie a ioni di litio. Fonte: Frankel, T.C., Whoriskey, P., 2016.

### 2.3 Produzione e uso

Nel 2017, la domanda di carbonato di litio complessiva dell'Asia rappresentava l'83% della produzione mondiale; il 5% e il 7% erano le quote rispettive del Nord America e dell'Europa (tabella 2).

Tabella 2. Domanda globale di litio suddivisa per continenti nel 2017

Lithium Carbonate - Area	%
Asia	83
Europe	7
North America	5
ROW	5
Total	100

Fonte: Rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

La Cina è stata la prima consumatrice di litio a livello mondiale nel 2017, utilizzando il 58% di tutta la produzione mondiale (tabella 3): oltre a utilizzare la produzione interna ha dovuto importare altri quantitativi dall'estero. L'Asia, e in particolare la Cina, è ormai a pieno diritto il maggior utilizzatore di litio per la produzione in particolare di batterie.

Tabella 3. Domanda di litio della Cina rispetto al resto del mondo (ROW) nel 2017

Lithium Carbonate - Country	%
China	58
ROW	42
Total	100

Fonte: Rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

Nel 2017 il mercato delle batterie ha consumato il 46% della produzione mondiale di litio. All'interno del settore delle batterie, i veicoli elettrici e l'elettronica di consumo si equiparano come quantitativi utilizzati (tabella 4); le batterie per EV, tuttavia, supereranno presto gli altri tipi di batterie, anche in funzione del fatto che i quantitativi di litio all'interno delle batterie per EV sono nettamente superiori.

Tabella 4. Domanda mondiale di litio del 2017 ripartita per usi finali

Lithium - Sector	Tons	%
Batteries – Vehicle	9.545	23
Batteries – other	9.545	23
Ceramics and glass	11.205	27
Lubricating greases	2.905	7
Polymer production	2.075	5
Continuous casting mold flux powders	1.660	4
Air treatment	830	2
Other uses	3.735	9
<b>Total</b>	<b>41.500</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati Fickling, D., 2018b.

Contrariamente al contesto globale, in cui il litio viene sempre più utilizzato per fabbricare batterie ricaricabili, nell'UE la produzione di batterie agli ioni di litio è molto limitata, quindi questo uso è ancora trascurabile. L'uso principale del litio in Europa è stato quello avuto nelle industrie della ceramica e del vetro (figura 6). L'UE non classifica al momento il litio come una materia prima critica.

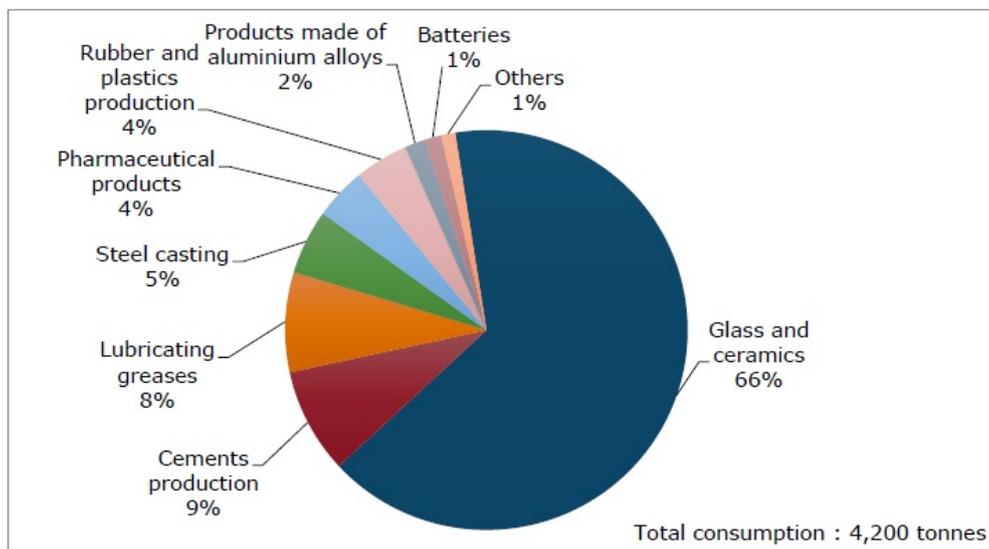


Figura 6. Quote di utilizzo finale del litio nell'UE nel periodo 2010-2014. Fonte: "European Commission, 2017.

La sicurezza del rifornimento di litio è diventata una priorità assoluta per le aziende tecnologiche, sia negli Stati Uniti che in Asia. Le alleanze strategiche e le joint venture tra aziende tecnologiche e società di esplorazione vengono stipulate per garantire una fornitura affidabile e diversificata di litio per i fornitori di batterie e le case automobilistiche. Nel 2018, per esempio, Tesla stava trattando direttamente con la società di estrazione del litio cilena SQM per saltare gli intermediari e garantirsi grandi forniture per costruire le proprie batterie; BMW stava adottando una strategia simile per gli

approvvigionamenti di litio e di cobalto.

## 2.4 Raccolta e riciclo

Ad oggi solo il 3% del litio viene globalmente riciclato e la parte proveniente dalle batterie è trascurabile, ma alcuni Paesi cominciano a vedere un possibile mercato per questo prodotto e intendono muoversi per tempo. È il caso dell'Australia, per esempio: il Paese, che pure detiene una quota significativa delle riserve di minerali di litio primari, non è dotato di tecnologie e infrastrutture per la produzione di prodotti di litio di alto livello, come le batterie. Oltre a sostenere l'estrazione tradizionale e l'esportazione di materie prime, il riciclo andrebbe ad aggiungersi alla filiera del valore del litio con prodotti recuperati a seguito del riciclo delle batterie.

Il diagramma di Sankey semplificato nell'UE-28 per il litio (figura 7) mostra il livello di circolarità in Europa: si nota come rispetto ai flussi in entrata e in uscita quello del riciclo sia molto piccolo. Il grafico fa riferimento al 2012, ma ad oggi le percentuali non sono variate molto; l'importanza di tale materia prima, tuttavia, sta sollecitando l'attenzione della ricerca sullo sviluppo di processi che possano riciclare un litio con un grado di purezza adatto al riutilizzo nelle batterie, cosa al momento non economicamente conveniente.

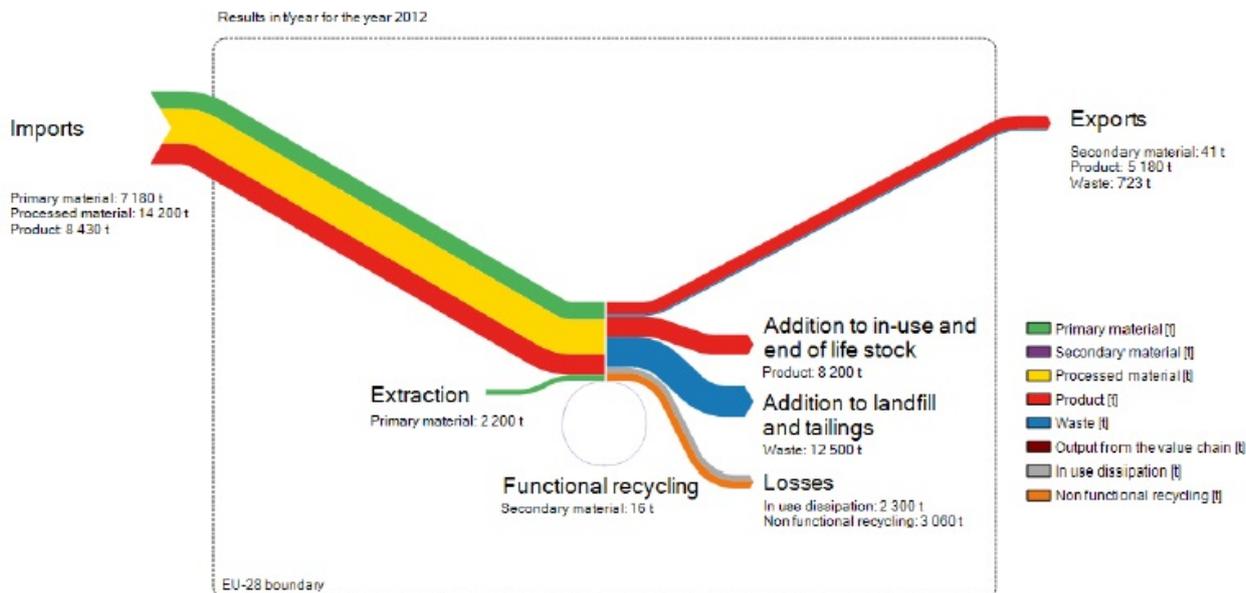


Figura 7. Diagramma di Sankey semplificato per il litio nell'UE-28. Fonte: European Commission, 2017.

Il riciclo delle batterie a ioni di litio pone diverse problematiche: ha costi alti e un basso recupero delle materie economicamente significative. Il litio può anche essere riciclato un numero illimitato di volte, ma ad oggi non esiste una tecnologia di riciclo in grado di produrre litio puro sufficiente per un secondo utilizzo nelle batterie EV. Si ritiene che da 20 t di batterie esauste agli ioni di litio si possa ricavare 1 t di litio. Ciò aiuterà la fornitura, ma il riciclo può essere più costoso rispetto all'estrazione: questa è una delle motivazioni per cui ad oggi il riciclo del litio non è mai stato preso in grande considerazione.

## 3. IL COLBALTO

### 3.1 La value chain

Il cobalto (Co) in natura si trova in maniera molto diffusa, ma altrettanto dispersa. Tracce di cobalto sono presenti in molte rocce superficiali così come nel sottosuolo, ma in concentrazioni talmente basse da renderne impossibile lo sfruttamento diretto. Il cobalto infatti viene ricavato come prodotto secondario dell'estrazione e raffinazione di metalli più abbondanti, quali rame e nickel.

Il minerale estratto, qualunque sia la sua forma, deve essere raffinato, per ottenere cobalto metallico, ossido, solfato, acetato, idrossido, ecc. Ognuno dei prodotti ha poi un utilizzo specifico: per esempio nelle batterie, a seconda del tipo, può essere utilizzato ossido di cobalto o solfato di cobalto. La maggior parte del cobalto viene inviato in Cina, dove viene trasformato nei prodotti chimici utilizzati nelle batterie ricaricabili. Nella figura 8 è schematizzata la value chain del cobalto, dall'esplorazione ed estrazione mineraria fino alla raccolta e riciclo.

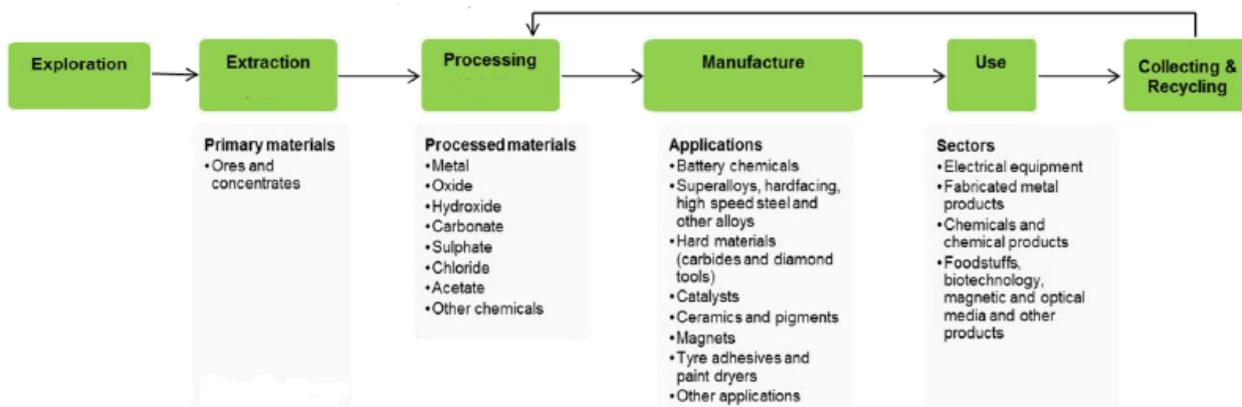


Figura 8. Value chain del cobalto. Fonte: European Commission, 2017.

Nel 2017 il mercato globale del cobalto è stato all'incirca di 105.000 tonnellate. La maggior parte degli affari è concordata su contratti a lungo termine, con un tonnellaggio relativamente piccolo acquistato e venduto sul mercato spot. Il mercato del cobalto può essere segmentato in due categorie principali: il cobalto metallico (quotato al London Metal Exchange) e le sostanze chimiche. Attualmente non esiste un prezzo di riferimento ampiamente accettato per qualsiasi prodotto chimico ottenuto dalla raffinazione del cobalto. Le sostanze chimiche di cobalto hanno molte applicazioni, ma il loro uso più importante è nella produzione di batterie agli ioni di litio.

La Cina, in pratica, ha assunto una posizione di predominio in tutta la filiera del cobalto, dalle miniere (dove va acquistando quote azionarie, e tallona la Glencore con la China Molybdenum parzialmente posseduta dal governo cinese), agli impianti di lavorazione del metallo, fino alle grandi fabbriche che producono batterie elettriche e le vendono nel resto del mondo. Nella figura 9 è schematizzata la value chain del cobalto per la produzione delle batterie a ioni di litio: si nota chiaramente come la filiera sia in mano ai player cinesi. Nel settore delle batterie EV la completa sostituzione del cobalto risulta ancora molto difficile.

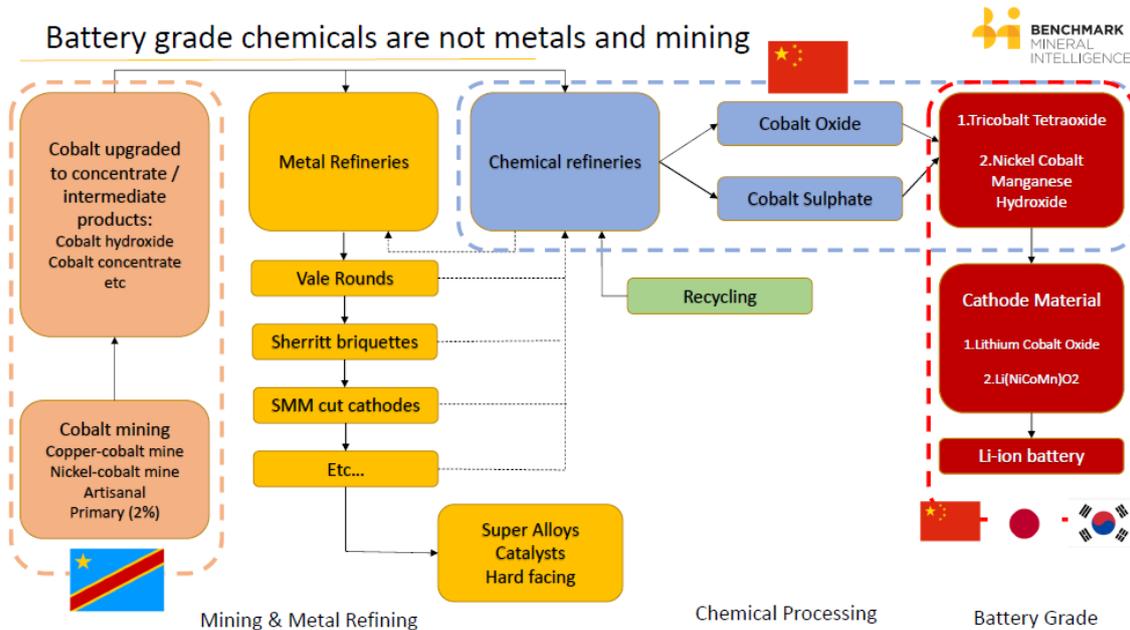


Figura 9. Value chain del cobalto legata alla produzione delle batterie a ioni di litio. Fonte: Rawles, C., 2018.

### 3.2 Esplorazione, estrazione e trattamento

Il cobalto viene principalmente ottenuto come sottoprodotto (98%) dell'estrazione e raffinazione di metalli più abbondanti, quali rame (66%) e nickel (32%). Solo in Marocco si ha una miniera di cobalto.

Circa il 60% della fornitura mondiale di cobalto proviene dalla Repubblica Democratica del Congo, con quasi il 20% estratto da minatori artigianali (tabella 5).

Tabella 5. Riserve e produzioni mondiali di cobalto suddivise per nazioni (Dati 2017)

Exploration			Extraction		
Reserves - Country	Tons	%	Mine production - Country	Tons	%
D.R. Congo	3.500.000	49,6	D.R. Congo	64.000	58,8
Australia	1.200.000	17	Russia	5.600	5
Cuba	500.000	7,1	Australia	5.000	4,6
Philippines	280.000	4	Canada	4.300	4
Zambia	270.000	3,8	Cuba	4.200	3,9
Canada	250.000	3,5	Philippines	4.000	3,7
Russia	250.000	3,5	Madagascar	3.800	3,5
Madagascar	150.000	2,1	Papua New Guinea	3.200	2,9
Papua New Guinea	51.000	0,7	Zambia	2.900	2,7
South Africa	29.000	0,4	New Caledonia	2.800	2,6
United States	23.000	0,3	South Africa	2.500	2,3
Other countries	560.000	7,9	Other countries	6.550	6
<b>Total</b>	<b>7.063.000</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>108.850</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

Anche nel caso del cobalto, come per il litio, la catena di approvvigionamento dell'industria delle

batterie agli ioni di litio è enormemente complicata. In figura 10 sono schematizzate alcune delle connessioni che caratterizzano la filiera del cobalto a partire dall'estrazione fino ai produttori finali.

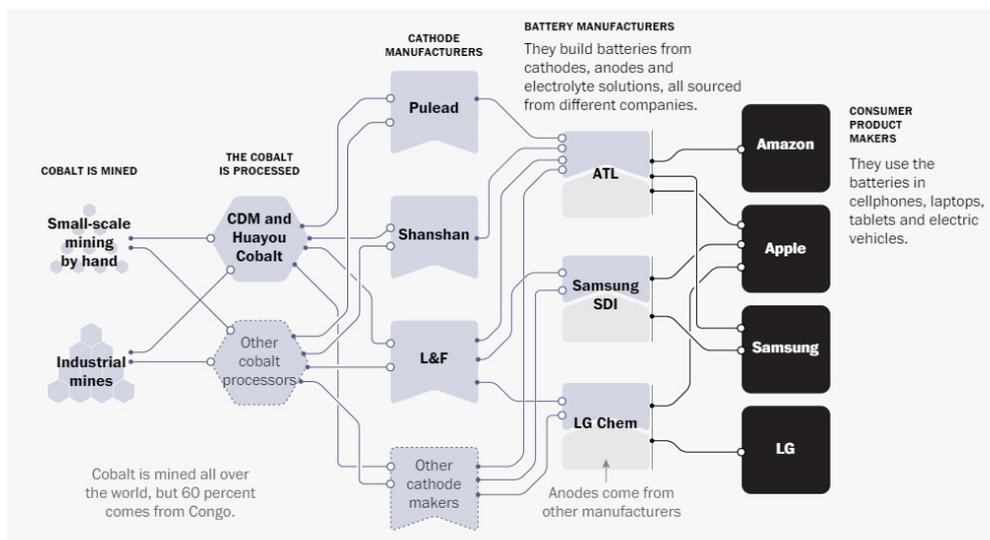


Figura 10. Alcune delle connessioni nella catena di approvvigionamento del cobalto per la fornitura delle batterie.

Fonte: Frankel, T.C., 2016.

In particolare, all'interno del settore, a causa della mancanza di informazioni affidabili e della complessità della catena di approvvigionamento, l'estrazione artigianale è molto più difficile da tracciare rispetto alle fonti minerarie industriali tradizionali. Si ritiene che durante i periodi di carenza di offerta le miniere artigianali mantengano bilanciato il mercato del cobalto.

Nella UE l'unico produttore è la Finlandia con un modesto 1% della produzione mondiale, come sottoprodotto della raffinazione del nichel e del rame.

La maggior parte dell'estrazione di cobalto è nelle mani della svizzera Glencore, che ha rapporti molto stretti con la Cina, da molto tempo suo maggiore cliente, che si è specializzata nella raffinazione del cobalto (tabella 6).

Tabella 6. I maggiori produttori di cobalto nel 2017.

Extraction	
Mine production - Company	%
Glencore (Switzerland)	24
China Molybdenum (China)	16
Norlisk (Russia)	5
Vale (Brasil)	5
Sumitomo (Japan)	4
Jinchuan (China)	4
Zhejiang Huayou (China)	4
ERG (Kazakhstan)	4
Moa JV (Canada-Cuba)	3
Ambatovy (Canada-Japan-South Korea)	3
Others	28
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati Shaw, L., 2018.

In generale, una volta estratti, i minerali vengono inviati agli impianti di raffinazione diffusi soprattutto in Cina e in Europa settentrionale. Il 70% della raffinazione del cobalto è nelle mani di aziende cinesi. In Europa il prodotto viene raffinato in Finlandia, Belgio e Francia, che insieme realizzano il 18% della produzione globale: Freeport Cobalt in Finlandia (con il 13%), Umicore in Belgio (5%) e Eramet in Francia (< 1%); piccole quantità sono prodotte anche in Repubblica Ceca, Germania, Italia, Irlanda, Paesi Bassi, Portogallo, Spagna e Regno Unito. La maggior parte del materiale necessario all'Europa è comunque importato.

L'80% della produzione mondiale di prodotti chimici a base di cobalto (come l'ossido o il solfato) utilizzati all'interno delle batterie viene prodotto dalla Cina, che importa la materia prima necessaria dalla Repubblica Democratica del Congo, Paese ad altissima instabilità politica. Il restante 20% viene in gran parte elaborato in Finlandia, ma la materia prima proviene da una miniera in Congo di cui un'azienda cinese (la China Molybdenum, a sua volta parzialmente posseduta dal governo cinese) detiene una quota maggioritaria.

Nella tabella 7 sono riassunte alcune delle maggiori problematiche legate alla filiera del cobalto.

Tabella 7. Problematiche inerenti alla filiera del cobalto

Rischi per la fornitura	Problematiche
<b>Produzione dipendente da altri materiali</b>	Il cobalto al 98% viene prodotto come sottoprodotto di nichel e rame, il che lo rende vulnerabile alle fluttuazioni di questi mercati
<b>Concentrazione geografica</b>	<p>Il Congo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• produce il 66% di cobalto</li> <li>• è un Paese instabile</li> <li>• manca di infrastrutture per aumentare la produzione</li> <li>• vuole imporre alte royalties</li> </ul> <p>La Cina:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• produce circa il 60% del cobalto raffinato</li> <li>• controlla il 70% della raffinazione mondiale</li> <li>• produce l'80% di prodotti chimici raffinati del cobalto</li> <li>• controlla indirettamente gran parte del restante 20% dei prodotti chimici raffinati</li> </ul>
<b>Questione etica</b>	Il 20% delle miniere congolesi utilizza lavoro minorile e non ha alcuna attenzione alla sicurezza dei lavoratori

### 3.3 Produzione e uso

Nel 2017 (figura 11), circa la metà del consumo globale di cobalto è stato realizzato nel settore delle batterie ricaricabili a ioni di litio (era il 20% nel 2006).

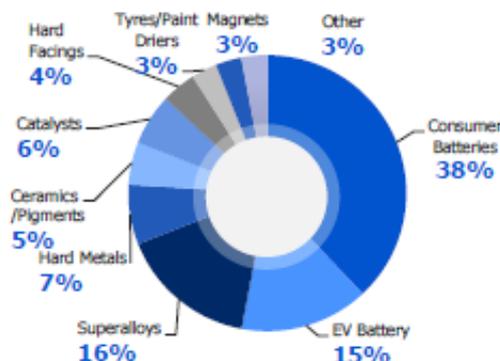


Figura 11. Domanda di cobalto per il 2017 suddivisa per settori. Fonte: Cobalt27, 2018.

Negli ultimi anni la domanda si è gradualmente spostata dal cobalto metallico ai prodotti chimici

(come il solfato e l'ossido di cobalto), principalmente a causa della standardizzazione delle batterie agli ioni di litio dell'elettronica di consumo e in particolare nel mercato dei veicoli elettrici (le sostanze chimiche rappresentano il 63% della domanda mondiale nel 2017).

A livello mondiale, la Cina è stata il principale consumatore di cobalto negli ultimi anni, rappresentando circa il 44% del consumo globale. L'80% del consumo di cobalto della Cina è utilizzato dall'industria delle batterie ricaricabili. Il predominio cinese dei materiali catodici potrebbe porre la Cina come maggior produttore di batterie, con quote molto più elevate di quelle attuali.

Nel periodo 2010-2014, nell'UE, i più importanti usi finali per il cobalto sono stati i prodotti chimici per batterie (tabella 8). Per l'UE il cobalto è stato classificato come una materia prima critica.

Tabella 8. Ripartizione per usi finali del cobalto nell'UE nel periodo 2010-2014

<b>Cobalt - EU Sector</b>	<b>%</b>
Battery chemicals	42
Superalloys, hardfacing, high speed steel and other alloys	23
Hard materials	10
Other	25
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati European Commission, 2017.

#### 4.4 Raccolta e riciclo

Il cobalto è un metallo essenziale per le batterie ed è stato uno dei materiali con le migliori prestazioni dal 2016. La caratteristica che rende il cobalto adatto all'utilizzo nelle batterie è la proprietà di immagazzinare grandi quantità di energia in piccole masse, con elevata resistenza alle alte temperature. Per questo motivo non è facile pensare a una sua sostituzione: è più probabile una diminuzione del suo impiego all'interno del catodo. Le batterie presenti al momento sul mercato utilizzano tra i 10 e i 20 kg di cobalto all'interno delle celle catodiche; il recupero negli impianti di riciclo, inoltre, è dell'ordine del 98÷99% di purezza, con riutilizzo nella produzione delle batterie stesse; se a questo si aggiunge l'alto valore economico, si desume come il cobalto rivesta un interesse economico e strategico che spingerà molto il riciclo delle batterie che lo contengono.

Il diagramma di Sankey semplificato per il cobalto nell'UE-28 (figura 12) mostra il livello di circolarità in Europa. A differenza del litio, il flusso del riciclo del cobalto aveva una sua importanza già nel 2015 e negli ultimi anni ha aumentato notevolmente il suo volume. La sua importanza come materia prima critica inoltre ha spinto l'Europa a costruire impianti di riciclo per poter mantenere la risorsa a disposizione entro i confini dell'UE. Il riciclo del cobalto è importante anche per motivi etici: è stato evidenziato, infatti, che le miniere si trovano in Paesi in cui si sfrutta il lavoro, anche minorile, e l'attenzione alla sicurezza e le leggi sull'ambiente non vengono rispettate. È quindi necessario poter vigilare su tali filiere, producendo all'interno dei confini europei questo metallo in modo sostenibile sia da un punto di vista ambientale che sociale, attraverso una filiera del riciclo controllata.

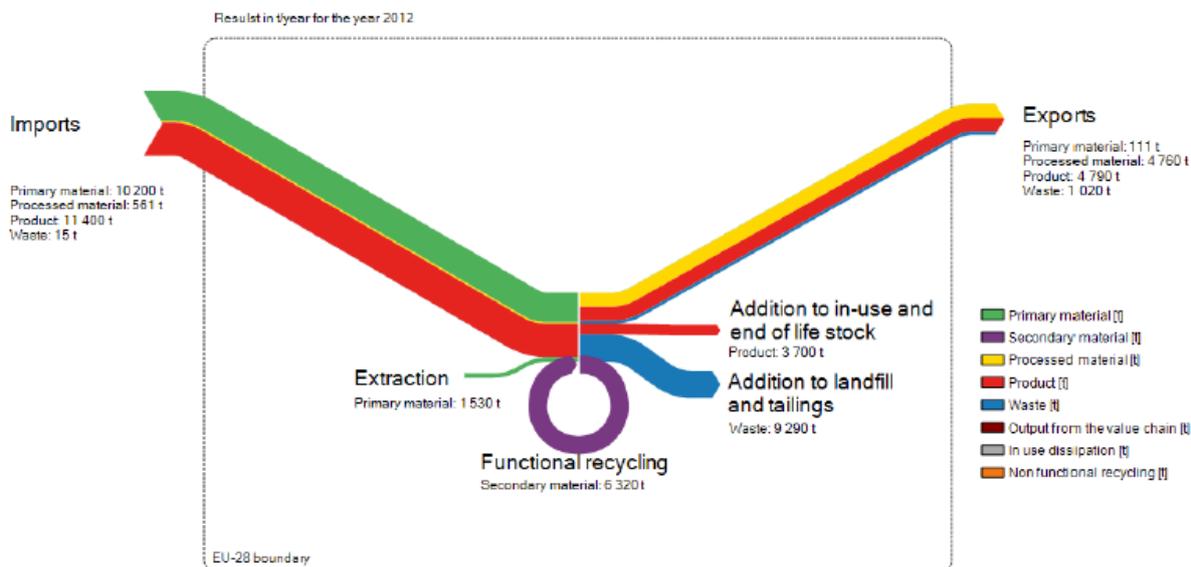


Figura 12. Diagramma di Sankey semplificato per il cobalto nell'UE-28. Fonte: BIO by Deloitte, 2015.

## 4. LA GRAFITE

### 4.1 La value chain

La grafite (C) può essere ottenuta dalla coltivazione mineraria o prodotta sinteticamente dalla lavorazione di idrocarburi, come coke, petrolio e catrame di carbone.

Vengono coltivati tre tipi di minerali di grafite, ognuno dei quali richiede una lavorazione diversa: grafite cristallina in fiocchi o scaglie (flake), grafite microcristallina o amorfa (amorphous) e grafite in vene (vein) o noduli (lump). I due parametri più importanti nella valutazione della grafite naturale sono il contenuto di carbonio e le dimensioni delle maglie (la dimensione dei grani) che dipendono entrambe dalle forme naturali della grafite (amorphous, flake e vein).

La lavorazione della grafite naturale generalmente comporta la separazione meccanica e la flottazione che viene effettuata in prossimità della miniera. Per ottenere prodotti di alta qualità è richiesta una successiva lavorazione che preveda la fresatura, la sferoidizzazione e la purificazione (gli ultimi due passaggi sono richiesti solo per i materiali anodici, per grafite espansa e applicazioni nucleari). I principali prodotti finiti nei quali si usa la grafite naturale comprendono materiali refrattari, materiali anodici per celle agli ioni di litio e batterie primarie (perché la grafite è altamente conduttiva), materiali resistenti all'attrito (come per esempio rivestimenti per i freni) e lubrificanti; la grafite è inoltre impiegata nella produzione di acciaio per la sua capacità di rimanere rigida a temperature fino a 3.600° C. Altri usi includono prodotti basati su grafite espansa (applicazioni in guarnizioni e per la tenuta termica), nonché applicazioni nel settore nucleare (reattori a ghiaia).

Nel diagramma a blocchi di figura 13 sono schematizzati i processi per cui passa la grafite, dall'estrazione fino alla raccolta e al riciclo.

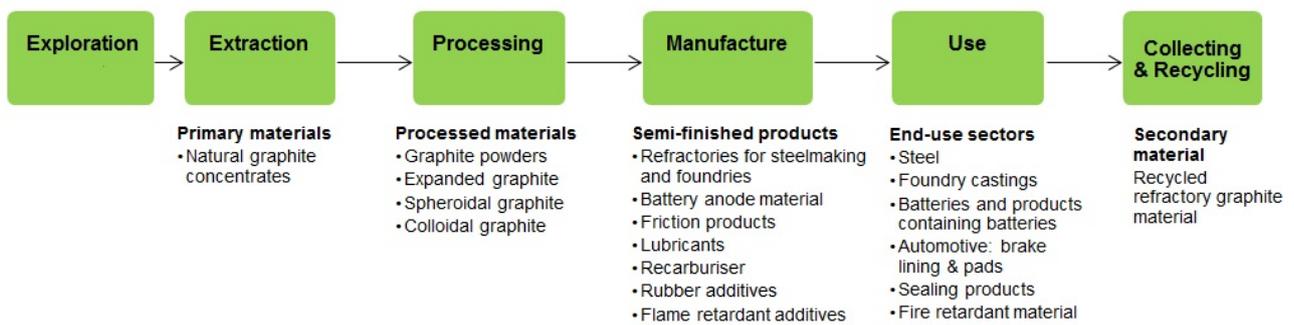


Figura13. Value chain della grafite naturale Fonte: European Commission, 2017.

Il flake di grafite a scaglie larghe è il più adatto per le batterie agli ioni di litio; al contrario, la grafite a scaglie piccole è meno pura e non adatta. Flocchi più grandi e più puri hanno prezzi più alti. Sia il flake di grafite naturale che la grafite sintetica sono utilizzati per l'uso nelle batterie a ioni di litio. La scelta tra questi due tipi di grafite, in linea di massima, si basa su due fattori: costo e purezza.

La grafite sintetica ha specifiche preferite in termini di purezza, ma è più costosa. Per essere utilizzato nelle batterie (battery grade), il flake di grafite naturale deve subire due fasi principali di lavorazione: la sferoidizzazione e il rivestimento. Attualmente tutta la produzione di grafite sferica si svolge in Cina vicino alle miniere; il processo di rivestimento della grafite avviene principalmente in Cina, ma anche in Giappone, Corea e Taiwan. La maggior parte della produzione di batterie, anodi e materiali anodici si trova in Cina, grazie a costi di produzione inferiori e a minori restrizioni ambientali sull'uso dei reagenti. La produzione di anodi di grafite per le batterie a ioni di litio è ottenuta per il 75% circa da grafite naturale e per il 25% da grafite sintetica.

Si stima che tutto il mercato della grafite nel 2016 valesse 15,8 miliardi di dollari per un consumo globale di grafite stimato di circa 2,8 milioni di tonnellate. La grafite non viene scambiata su una borsa (i produttori di grafite di solito stabiliscono accordi off-take).

Al di fuori della Cina, il prezzo è fissato dai negoziati tra le grandi compagnie minerarie e i principali produttori di refrattari. In Cina, il prezzo del flake di grafite è fissato dai produttori di Shandong e Heilongjiang, mentre il prezzo della grafite amorfa è controllato dalla società gestita dal governo che produce circa il 90% della fornitura mondiale, nella provincia di Hunan. Il costo di trasporto, in particolare quello via mare, può incidere fino al 30% del prezzo totale.

Materiali sostitutivi che competono con la grafite sono la polvere di grafite sintetica, i rottami di forme lavorate di scarto e il coke di petrolio calcinato per l'uso nella produzione di ferro e acciaio. La polvere di grafite sintetica e la grafite sintetica secondaria derivante dalle lavorazioni delle forme di grafite competono per l'utilizzo nelle applicazioni a batteria.

## 4.2 Esplorazione, estrazione e trattamento

La grafite è piuttosto abbondante nella crosta terrestre. La Cina è il maggior produttore di grafite naturale con una produzione mineraria di 780.000 tonnellate nel 2017; il Paese rappresenta circa il 70% della produzione di grafite mondiale e il 35% dei consumi (tabella 9).

Tabella 9. Riserve e produzione mondiale di grafite naturale suddivise per nazioni nel 2017

Exploration			Extraction		
Reserves - Country	Tons	%	Mine production - Country	Tons	%
Turkey	90.000.000	33,3	China	780.000	66,6
Brazil	70.000.000	25,9	India	150.000	12,8
China	55.000.000	20,4	Brazil	95.000	8,1
Mozambique	17.000.000	6,3	Canada	30.000	2,6
Tanzania	17.000.000	6,3	Mozambique	23.000	2,0
India	8.000.000	3,0	Russia	19.000	1,6
Mexico	3.100.000	1,1	Ukraine	15.000	1,3
Other	9.900.000	3,7	Other	60.000	5
<b>Total</b>	<b>270.000.000</b>	<b>100,0</b>	<b>Total</b>	<b>1.172.000</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

Gli esperti ritengono che lo straripante predominio cinese non continuerà indefinitamente. Negli ultimi anni, infatti, molte miniere sono state chiuse a causa del mancato rispetto delle nuove normative ambientali, con una tendenza destinata a proseguire. La Cina produce circa il 30% di grafite amorfa e il 65% in flake, ma si tratta prevalentemente di scaglie molto piccole. Il principale candidato a cogliere l'opportunità di riempire il vuoto tra domanda e offerta è il Canada, che possiede giacimenti di grafite a scaglie larghe. L'attuale predominio della Cina è in parte dovuto al prezzo: mentre il minerale può essere trovato altrove, il basso costo della grafite cinese scoraggia l'apertura di miniere in altri Paesi.

BTR, il più grande fornitore mondiale di materiale di grafite naturale per batterie a ioni di litio, occupa una posizione centrale nella catena di fornitura della grafite. In un'intervista al Washington Post, Chen Bifeng, direttore marketing di BTR, ha dichiarato che l'azienda serve circa il 75% della domanda del mercato di materiali di grafite naturale per batterie. La società vende grafite direttamente ai maggiori produttori di batterie a ioni di litio, tra cui Samsung SDI, LG Chem e Panasonic. Tali aziende, a loro volta, producono batterie per Samsung, LG, GM, Toyota e altre società di consumo (figura 14).

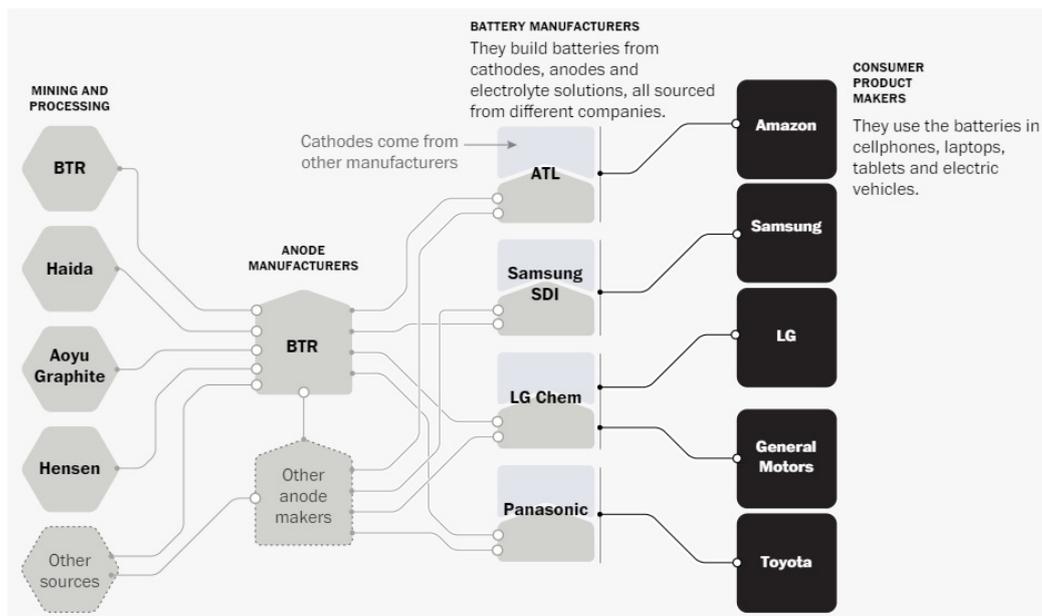


Figura14. Alcune delle connessioni nella catena di approvvigionamento della grafite per la fornitura delle batterie a ioni di litio. Fonte: Whoriskey P., 2016.

BTR fornisce la grafite ad Amperex Technology Ltd. (ATL), che realizza la batteria per Amazon Kindle.

### 4.3 Produzione e uso

L'industria siderurgica è il motore storico della produzione e dei prezzi della grafite. Dal 2017 il settore ha subito una serie di cambiamenti radicali legati all'introduzione di una nuova legislazione sulla protezione ambientale in Cina. La produzione di acciaio influenza i principali mercati della grafite sintetica negli elettrodi, e della grafite naturale nei refrattari. Nell'ultimo periodo il mercato dei veicoli elettrici è stato in continua crescita, ma le batterie sono ancora una piccola parte della domanda di grafite: come si può notare nel grafico di figura 15, solo il 10% della grafite viene richiesta per la produzione di batterie.

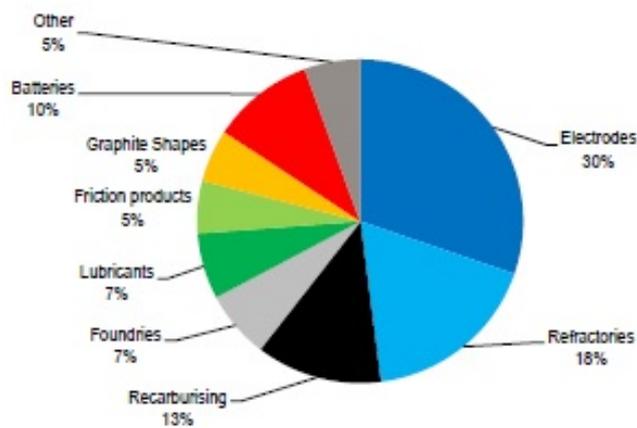


Figura15. Mercato della grafite ripartito per usi finali. Fonte: Shaw, L., 2018.

Nel 2017 sono state utilizzate circa 120.000 tonnellate di flake di grafite per la produzione del materiale anodico nelle batterie a ioni di litio. La crescita della domanda rispetto agli anni precedenti è stata determinata dai veicoli per passeggeri e camion (figura 16).

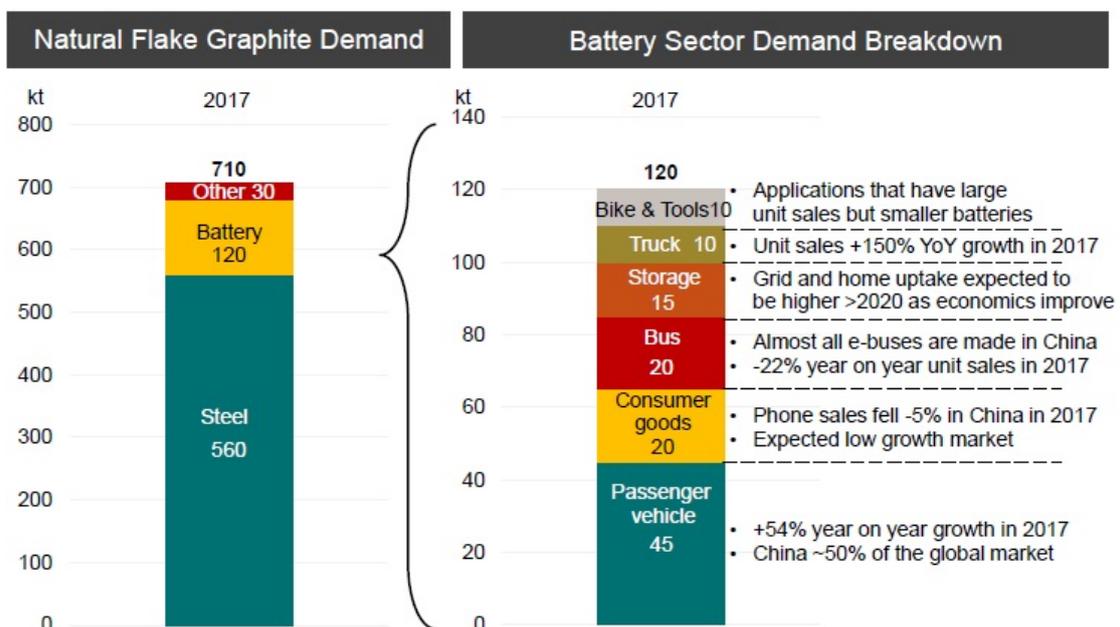


Figura16. Domanda di flake di grafite suddivisa per settori. Fonte: Triton Minerals, 2018.

Come risulta dalla tabella 10, nell'UE i principali usi finali della grafite naturale nel periodo 2010-2014 sono stati: refrattari per la produzione di acciaio (52%), refrattari per fonderie (14%), batterie (8%). L'approvvigionamento dell'UE dipende fortemente dalle importazioni (per il 99%). Tutto il flake di grafite è importato. L'UE classifica la grafite naturale come una materia prima critica.

Tabella 10. Impieghi di grafite naturale dell'UE ripartiti per usi finali nel periodo 2010-2014

<b>Natural Graphite - EU Sector</b>	<b>%</b>
Refractories for steelmaking	52
Refractories for foundries	14
Batteries	8
Friction products	5
Lubricants	5
Recarburising	4
Pencils	4
Graphite shapes	1
Other	7
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati European Commission, 2017.

#### 4.4 Raccolta e riciclo

I materiali della batteria che vengono riciclati sono quasi esclusivamente quelli catodici, poiché sono quelli che hanno un più alto valore. Non ci sono informazioni sul riciclo dell'anodo in quanto i processi di trattamento attuali distruggono la grafite. Solo nel processo meccanico si riesce a ottenere che l'anodo non perda i suoi componenti, ma non si sono trovati dati su come venga trattato e sul tipo di riutilizzo della grafite. L'unico recupero di fiocco di grafite di alta qualità (tecnicamente possibile, ma al momento non praticato) potrebbe avvenire dall'acciaio Kish. L'abbondanza di grafite nel mercato mondiale, inoltre, inibisce l'impegno nel riciclo. Il diagramma di Sankey semplificato per la grafite nell'UE-28 (figura 17) mostra il livello di circolarità in Europa.

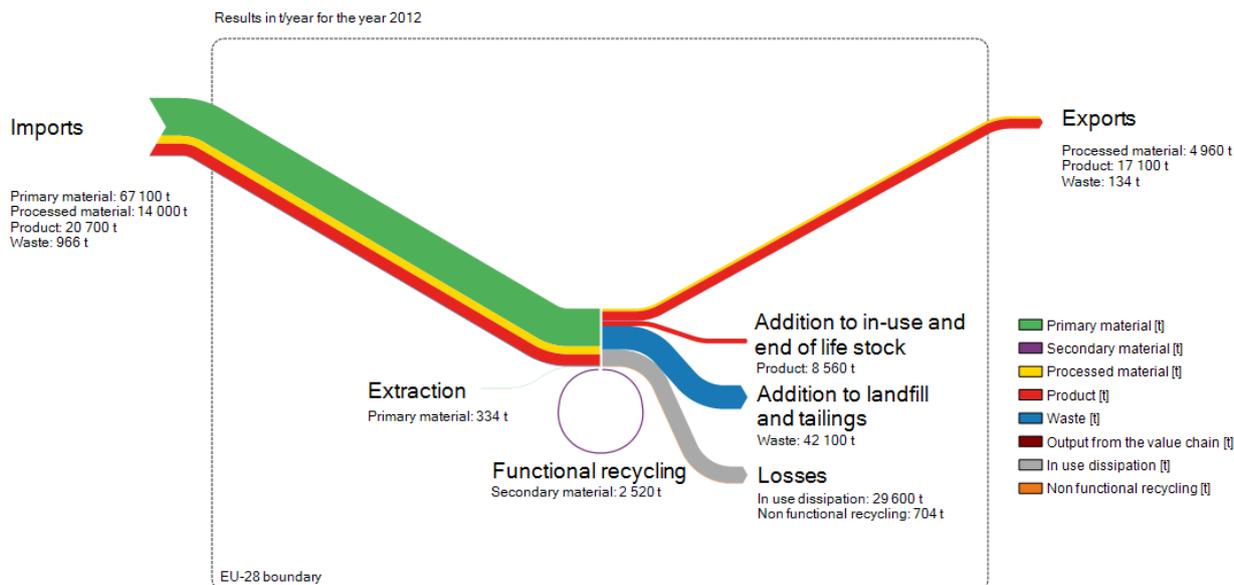


Figura17. Diagramma di Sankey semplificato per la grafite naturale nell'UE-28. Fonte: BIO by Deloitte, 2015.

È interessante rilevare che la grafite riciclata non proviene dal riciclo delle batterie, se non in quantità minime, ma solitamente da materiali refrattari e lubrificanti.

## 5. IL MANGANESE

### 5.1 La value chain

Il manganese (Mn) è un metallo paramagnetico, relativamente duro ma fragile, molto diffuso in natura nelle rocce e nelle acque. Il manganese viene principalmente estratto come prodotto primario. I metodi di estrazione impiegati per estrarre manganese dipendono in gran parte dal tipo di deposito. Il manganese ha due principali categorie di applicazioni: metallurgiche e non metallurgiche.

In metallurgia, il manganese è usato principalmente nella produzione di acciaio (anche nella produzione di leghe). Il più importante impiego finale per applicazioni non metallurgiche riguarda il settore delle batterie, in cui viene utilizzato principalmente sotto forma di diossido di manganese. Nelle batterie non si usa  $MnO_2$  di origine naturale (NMD = natural manganese dioxide), bensì di sintesi. Esistono due forme sintetiche distinte: il diossido di manganese chimico (CMD = chemical manganese dioxide) e il diossido di manganese elettrolitico (EMD = electrolytic manganese dioxide). Gli ossidi di manganese sono attualmente utilizzati nella produzione di tre tipi di batterie: alcaline, al litio monouso e agli ioni di litio ricaricabili. Il diossido di manganese è stato a lungo utilizzato come depolarizzatore in batterie alcaline, ma questo non è attualmente il mercato più interessante. Cresce infatti l'attenzione sulle chimiche delle batterie a ioni di litio che richiedono manganese, come le batterie LMO e le batterie NMC.

Se non ci sono timori circa la disponibilità generica di manganese, maggiore incertezza deriva dalla purezza chimica richiesta e dalla capacità di produrre questi sali. Nel 2017 il manganese con purezza elevata rappresentava solo il 10% del mercato globale in termini di volume, ma circa il 40% in termini di valore. Esso viene utilizzato principalmente in batterie, acciaio inossidabile serie 200, leghe speciali, fertilizzanti e oligoelementi. Il manganese di elevata purezza può essere: manganese elettrolitico (EMM = electrolytic manganese metal), biossido di manganese elettrolitico (EMD) e solfato di manganese (MS = manganese sulfate).

Nella figura 18 è rappresentata la value chain del manganese dall'esplorazione ed estrazione in miniera fino alla raccolta e riciclo.

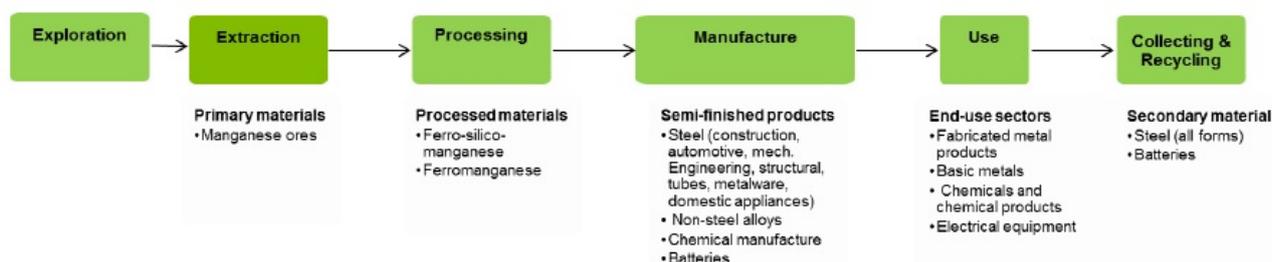


Figura18. Value chain del manganese. Fonte: European Commission, 2017.

L'Asia della costa pacifica rappresenta il più grande mercato minerario globale di manganese. La Cina, in particolare, è tra i più grandi produttori di minerale di manganese e il più grande produttore di materiali di manganese raffinato (vale a dire ferromanganese, silicomanganese e manganese elettrolitico).

La dimensione globale del mercato di EMD è stata stimata a 586.100 tonnellate nel 2016. La Cina controlla circa il 97% del commercio mondiale di EMM, ma negli ultimi anni un inasprimento a livello nazionale dei controlli sulle violazioni delle normative ambientali ha costretto a chiudere imprese minerarie, fonderie e impianti in 30 diverse province cinesi. La contrazione delle forniture sta costringendo gli operatori ad acquistare il flake dai fornitori in Europa, che chiedono prezzi molto più alti a causa dell'attuale mancanza di offerta.

## 5.2 Esplorazione, estrazione e trattamento

Le risorse di manganese sulla Terra sono grandi ma distribuite irregolarmente; spesso la qualità è molto bassa e i costi di estrazione sono potenzialmente elevati. Il Sud Africa è il maggior produttore, seguito dalla Cina (tabella 11).

Tabella 11. Riserve e produzione mondiali di manganese suddivise per nazioni nel 2017

Exploration			Extraction		
Reserves - Country	Tons	%	Mine production - Country	Tons	%
South Africa	200.000.000	29,5	South Africa	5.300.000	33,1
Ukraine	140.000.000	20,6	China	2.500.000	15,6
Brazil	120.000.000	17,7	Australia	2.200.000	13,8
Australia	94.000.000	13,8	Gabon	1.600.000	10
China	48.000.000	7,1	Brazil	1.200.000	7,5
India	34.000.000	5,0	India	790.000	4,9
Gabon	20.000.000	2,9	Ghana	550.000	3,4
Ghana	13.000.000	1,9	Ukraine	380.000	2,4
Kazakhstan	5.000.000	0,7	Malaysia	270.000	1,7
Mexico	5.000.000	0,7	Other countries	1.210.000	7,6
<b>Total</b>	<b>679.000.000</b>	<b>100,0</b>	<b>Total</b>	<b>16.000.000</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

Il commercio del manganese elettrolitico è controllato per circa il 97% dalla Cina, il che suscita una grave preoccupazione, aggravata dalla limitata possibilità di sostituzione per la maggior parte delle applicazioni di EMM.

I rischi di approvvigionamento sono ulteriormente aggravati dal fatto che il mercato è altamente concentrato all'interno della stessa Cina. Il 50% della produzione globale proviene da due soli produttori, Ningxia Tianyuan Manganese Industry (TMI) e Citic Dameng (tabella 12), mentre circa il 35% della produzione si basa su forniture da una sola miniera, situata in Ghana.

Tabella 12. Offerta globale di diossido di manganese elettrolitico suddivisa per produttori nel 2017

<b>Electrolytic manganese dioxide- Company</b>	<b>%</b>
Ningxia Tianyuan Manganese Industry -TMI (China)	50%
Citic Dameng (China)	
Others	50%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fonte: Rielaborazione su dati Popovic, A., 2018

Sul lato dell'offerta, i produttori cinesi potrebbero avere problemi per l'inasprimento delle ispezioni ambientali. A differenza delle acciaierie, dell'alluminio, delle ferroleghie e di altre industrie di trasformazione in Cina, le ispezioni ambientali presso gli stabilimenti EMM sono state finora minime; tale settore di trasformazione idrometallurgica è altamente inquinante ed è reale il rischio che la produzione possa essere influenzata negativamente in caso di maggiori controlli dei funzionari locali e governativi.

La spinta ambientale della Cina ha causato un improvviso deficit strutturale in molti mercati delle materie prime dal 2016 e non ci sono ragioni per credere che per l'EMM sarà diverso. Inoltre, anche se l'industria risponderà prontamente ai nuovi standard ambientali, vi sarà un costo associato alla nuova conformità normativa e ambientale. Ciò comporterà costi che stanno già crescendo a causa del calo del grado di purezza in situ in Cina e dei prezzi crescenti per energia e gasolio.

Alcuni analisti ritengono che potrebbe essere decisiva una crescente consapevolezza da parte degli investitori dell'importanza del manganese nelle batterie a ioni di litio. La produzione interna cinese, inoltre, potrebbe diminuire bruscamente a causa della scarsa qualità del minerale disponibile; ne conseguirebbe l'aumento delle importazioni di metallo in Cina. Questi due fattori potrebbero influenzare il mercato del manganese.

I player del mercato, cioè le grandi aziende che hanno una certa esposizione al manganese, sono: South32 (Australia), Eramet (Francia), Anglo American (Gran Bretagna) e Vale (Brasile).

### 5.3 Produzione e uso

Come risulta dalli dati della tabella 13, il settore siderurgico rappresenta la maggior parte della domanda di manganese (85%÷90%). La forza del settore siderurgico è stata un fattore chiave del determinare il prezzo del manganese.

Tabella 13. Domanda globale di manganese ripartita per settori nel 2017

<b>Manganese - Sector</b>	<b>%</b>
Steel (All forms)	85-90
Battery	5-10
Others	0-10
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati U.S. Geological Survey, 2018

Il settore delle batterie è attualmente il secondo più grande consumatore di manganese. Si stima che

un 5-10% viene utilizzato in settori come celle a secco e prodotti chimici. L'EMD viene utilizzato principalmente nel settore delle batterie (tabella 14).

Tabella 14. Domanda globale di biossido di manganese elettrolitico ripartita per settori nel 2017

Electrolytic manganese dioxide- Sector	%
Battery	90
Others	10
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati Grand View Research, 2018.

Nell'UE, il consumo apparente di manganese nel periodo 2010-2014 è stato di quasi 1,4 milioni di tonnellate, la maggior parte (circa l'87%) nella produzione di acciaio (tabella 15). Meno del 4% del manganese consumato (in media quasi 53.000 t/anno) proveniva dall'UE. Il resto è stato importato dall'estero. L'International Manganese Institute (IMnI) stima che il valore economico totale delle attività legate al manganese nell'UE sia nell'ordine di 11 miliardi di euro e che l'industria impieghi direttamente circa 5.000÷7.000 persone. L'UE non classifica al momento il manganese come una materia prima critica.

Tabella 15. Ripartizione per usi finali del manganese in EU nel periodo 2010-2014

Manganese - EU Sector	%
Steel (All forms)	87
Non-steel alloys	6
Chemicals	5
Batteries (cathodes)	2
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Rielaborazione su dati European Commission, 2017.

### 5.4 Raccolta e riciclo

Non si hanno informazioni circa il recupero di manganese dal riciclo delle batterie, poiché il mercato del manganese per batterie è relativamente piccolo rispetto all'utilizzo per il settore siderurgico. Il manganese, inoltre, non è un metallo particolarmente remunerativo sul mercato, quindi non trova la spinta necessaria per attivare delle tecnologie per il recupero. Nella figura 19 sono riportate alcune delle linee di processo di riciclo delle batterie più utilizzate negli impianti di trattamento: solamente nella prima delle quattro linee è previsto il recupero del manganese; il processo non prevede il trattamento pirometallurgico, incompatibile con il recupero di questo metallo.

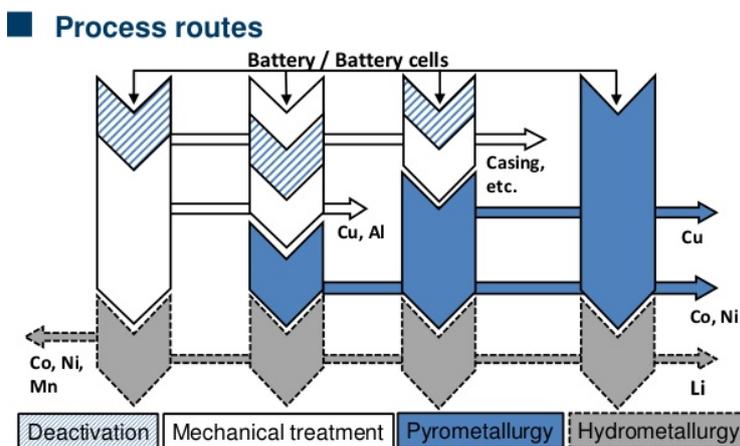


Figura19. Schematizzazione dei processi di trattamento delle batterie a ioni di litio. Fonte: Hanisch, C., 2016.

Alcune tecnologie, come LithoRec (Germania) e RecycLiCo™ (USA), consentono di recuperare anche il manganese, ma in generale gli impianti non prevedono il recupero: tale scelta impiantistica è dovuta anche al fatto che molte delle tipologie di batterie per trazione elettrica in input all'impianto non contengono manganese, quindi nel complesso le piccole quantità in ingresso non sono particolarmente interessanti.

## 6. RISULTATI E DISCUSSIONE

La questione cruciale emersa da questo articolo è la concentrazione in pochi Paesi, spesso politicamente instabili e poco rispettosi della sicurezza e dell'ambiente, delle filiere di materie prime e CRM delle batterie a ioni di litio, che invece sono scarse sul territorio europeo.

Soprattutto cobalto e grafite risentono dei problemi geopolitici. La preoccupazione per tali materiali, che è anche un fattore che li rende materiali critici, è la possibilità di interruzioni dell'approvvigionamento causate da politiche governative o instabilità socio-politica. Le perturbazioni nell'approvvigionamento del materiale possono portare a lacune nell'offerta a breve termine, che hanno il potenziale per creare una significativa volatilità e incertezza dei prezzi delle materie prime. Un esempio in tal senso è il Congo, maggior produttore di cobalto: ha una forte instabilità politica e l'avvicinarsi di diversi governi ha spesso modificato i rapporti con le società minerarie operanti nel Paese; si ricorda per esempio l'aumento dal 2% al 10% delle royalties sull'estrazione dei metalli e le nuove tasse sui profitti delle compagnie minerarie imposte nel marzo del 2018. Ma ancora più importante è l'assoluta mancanza di sicurezza e lo sfruttamento del lavoro, anche minorile, che rende insostenibile l'approvvigionamento da questo Paese. Le alternative, d'altra parte, non sono molte: il Congo infatti detiene più del 65% della produzione mondiale di cobalto e più del 50% delle riserve stimate. La Russia, il secondo Paese per produzione, nel 2017 ha estratto solo il 5% del cobalto mondiale. L'unica alternativa nel futuro potrebbe essere l'Australia, che pur avendo al momento una quota di produzione inferiore al 5%, potrebbe incrementarla grazie a riserve stimate che si aggirano intorno al 17% delle riserve mondiali. Un'ulteriore preoccupazione nasce dal fatto che il cobalto è estratto come sottoprodotto del nichel e del rame, quindi la sua produzione sarà comunque sempre legata alle fluttuazioni di questi altri due mercati.

Il caso della grafite ha analogie con quello del cobalto: anche in questo caso la produzione si concentra in gran parte in un unico Paese (la Cina, che detiene il 65% della produzione mondiale). Pur non avendo instabilità politiche, la Cina ha una politica di dazi che più volte ha inciso sul mercato delle materie prime. In questo caso la maggior parte della grafite estratta viene utilizzata nel Paese stesso per la propria produzione di batterie, acciaio e refrattari. Permane tuttavia il problema della scarsa attenzione all'ambiente: solo dal 2017 sulle miniere cinesi sono stati avviati controlli dai quali è conseguita la chiusura di molte miniere che non rispettavano la normativa ambientale. Anche in questo caso il secondo produttore (l'India) detiene solo il 13% della produzione globale. Per il futuro fanno ben sperare le riserve di Brasile e Turchia (rispettivamente il 26% e il 33% delle riserve mondiali).

La produzione di litio non è concentrata in un unico Paese, ma i primi due produttori detengono il 75% del materiale estratto nel 2017. Australia (43%) e Cile (32%) dominano il mercato; in particolare il Cile possiede anche le maggiori riserve (46% delle riserve mondiali). Il problema in questo caso è la forte influenza della politica cilena sulla produzione del minerale.

La situazione del manganese è più frammentata, per la presenza di più Paesi produttori. Inoltre, mentre per i flussi delle altre materie prime il mercato trainante è quello delle batterie, il manganese per batterie è una piccolissima fetta del mercato (all'incirca il 10%): ne consegue che l'approvvigionamento è meno critico che per gli altri materiali.

Le questioni non si limitano alla produzione: le società minerarie infatti non hanno, spesso, la stessa bandiera del Paese in cui estraggono, oppure, come nel caso del litio, le miniere sono in parte detenute da Paesi stranieri.

Come è già stato analizzato in precedenza, la Cina ha un grande interesse all'interno dei mercati di tutti i materiali esaminati, mentre gli altri Paesi hanno rilevanza solitamente in un unico mercato, come nel caso della svizzera Glencore per il cobalto o della statunitense Albemarle per il litio.

La classificazione tra Paesi produttori e società estrattrici è in realtà semplicistica. L'industria delle batterie agli ioni di litio, infatti, ha una catena di approvvigionamento enormemente complicata. Le diverse aziende che producono batterie fanno accordi con più fornitori che a loro volta si approvvigionano da più fornitori, in una ragnatela di rapporti commerciali difficile da tracciare, individuando i diversi player in gioco.

Per quanto riguarda la supply chain particolare attenzione viene sempre più dedicata alla produzione delle sostanze chimiche per la batteria. Al crescere e/o al variare della domanda legata alle sostanze chimiche usate nelle batterie per EV, infatti, si possono determinare rigidità dal lato dell'offerta legate non soltanto alla fase di estrazione delle materie prime dalle miniere, ma anche alla successiva fase di raffinazione realizzata in appositi impianti. La carenza di impianti di raffinazione, anche in combinazione con i più stringenti controlli ambientali, fa intercorrere un maggior lasso di tempo perché nuova capacità si possa materializzare nel mercato. A volte la raffinazione avviene in loco, dove vengono estratte le materie prime, ma spesso viene effettuata in altri Paesi, dove sono presenti impianti adatti a ottenere il grado di purezza richiesto per i materiali presenti nelle batterie.

Sotto questo profilo la predominanza cinese è indubbia: alla Cina, infatti, compete la quota più grande di quantitativi raffinati per litio, cobalto, manganese e grafite.

È chiara la scelta di avere una forte impronta su tutta la filiera e in particolare sui materiali lavorati. Una volta che cobalto, grafite, litio e manganese sono trasformati in catodi, anodi ed elettroliti, infatti, le compagnie vendono i loro prodotti ai produttori di batterie che hanno sede soprattutto in Cina, Giappone e Corea, per un totale pari all'85% della capacità di produzione globale. Quattro dei più grandi produttori di batterie ricaricabili – Panasonic, Samsung SDI, LG Chem e Ampere Technology Limited – hanno impianti in Cina e producono oltre il 60% delle batterie ricaricabili del mondo, che vengono poi montate nei prodotti di Apple, LG, Samsung, Microsoft, Lenovo, Huawei e Sony.

La Cina ha una produzione importante sia di batterie che di auto elettriche: come si vede dalla figura 20, infatti, a differenza di altri Paesi, non solo ha impianti per costruire batterie ma produce in casa anche gli autoveicoli elettrici.

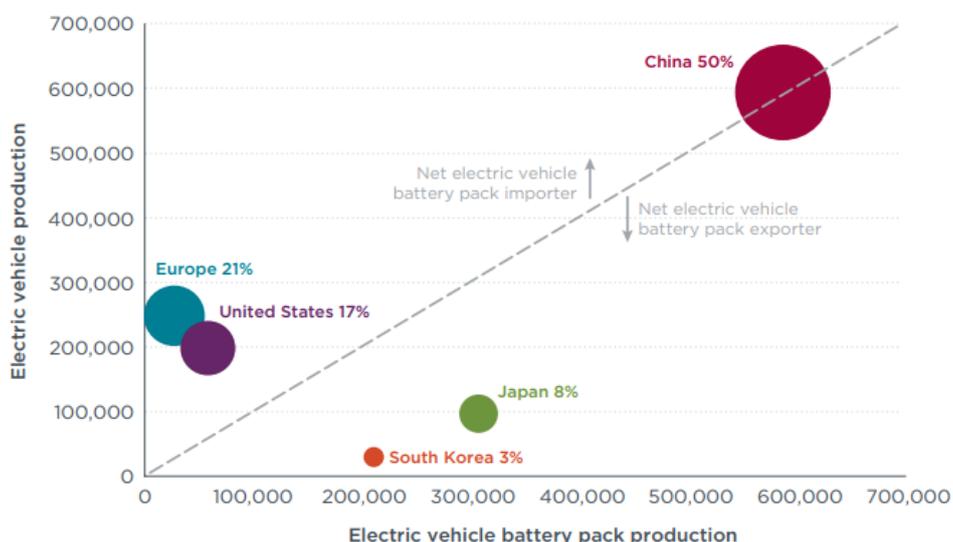


Figura 20. Produzione di batterie per auto elettriche dei 5 maggiori Paesi produttori di auto elettriche nel 2017.  
 Fonte: Lutsey, N., et al., 2018.

La diagonale in figura aiuta a illustrare quali mercati importino batterie per la loro produzione di veicoli elettrici nel 2017. I mercati sopra la linea hanno una maggiore produzione di veicoli elettrici rispetto alla propria produzione di batterie, quindi sono importatori di batterie, mentre quelli sottostanti sono esportatori. Giappone e Corea del Sud stanno esportando batterie in Europa e negli Stati Uniti per la produzione di veicoli elettrici in quelle due regioni, mentre la Cina produce un numero batterie in equilibrio con la produzione di veicoli che le montano.

La catena di approvvigionamento per le batterie a ioni di litio è dominata dal commercio in Asia (Corea del Sud, Giappone e Cina), con il più grande flusso commerciale di prodotti dalla Cina agli Stati Uniti. Tale situazione potrebbe cambiare in futuro, ma le tendenze attuali indicano che la Cina svolgerà ancora un ruolo fondamentale in questa catena di approvvigionamento.

Un aspetto da considerare, finora non espressamente citato nel lavoro, è che la vita attesa di una batteria a ioni di litio per EV è superiore a quella utilizzabile per un veicolo, terminata la quale la batteria può ancora avere fino all'80% della capacità residua. Si sono quindi sviluppate procedure per il riutilizzo (ossia una seconda vita a cascata in altre applicazioni), in particolare in applicazioni a supporto del sistema elettrico, come l'alimentazione stazionaria e il livellamento del carico di rete. Al 2017 la Bloomberg New Finance stimava che circa il 27% delle batterie a ioni di litio per la trazione elettrica sia riutilizzato in una seconda vita. Nella figura 21 viene riassunta tutta la filiera delle batterie: l'estrazione dei materiali, la raffinazione, la produzione e l'utilizzo. Da questo punto divergono tre possibili vie percorribili: lo smaltimento, il riciclo e il riutilizzo. Si può notare che quest'ultima scelta permette alla batteria di vivere per altri 5/10 anni in altri contesti, tra cui il più importante è sicuramente l'energy storage. La via del riutilizzo permetterà in futuro di diminuire i costi delle batterie nuove, trasferendo una parte dei costi alla vendita della batteria per una seconda vita. Molte società produttrici di batterie per EV si stanno muovendo in questa direzione: la percentuale del 27% precedentemente citata è destinata quindi ad aumentare, vista anche la priorità posta dall'economia circolare al riutilizzo prima ancora del riciclo.

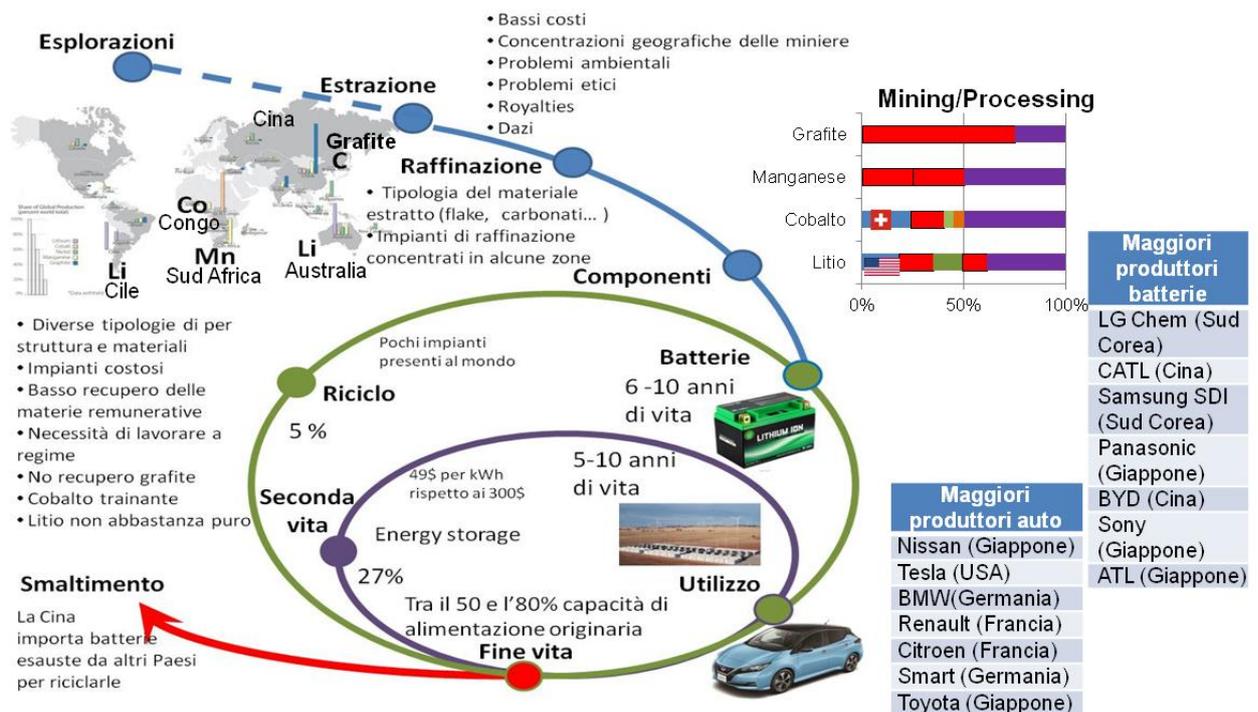


Figura 21. Ciclo dei materiali componenti il catodo di una batteria a ioni di litio.

In questo lavoro si è accennato alla parte terminale delle filiere delle batterie facendo riferimento al riciclo dei materiali. La direttiva 2006/66/CE del Parlamento europeo (Allegato III) infatti stabilisce che almeno il 50% in peso di materiali delle batterie debba essere riciclato. La direttiva permette di mandare fuori dai confini nazionali ed europei le batterie da riciclare, purché siano rispettate certe norme di sicurezza. Questo ha permesso fino ad ora che Paesi come la Cina potessero avvalersi delle batterie esauste utilizzate in Europa da immettere nei loro impianti di riciclo, con conseguente perdita di risorse da parte dei Paesi europei che, oltretutto, hanno carenza di miniere di tali materie prime. La problematica era soprattutto di tipo impiantistico, ma negli ultimi anni sono state sviluppate tecnologie molto interessanti per il recupero di tali materiali con gradi di purezza che permettono di reimmetterli nel ciclo per la produzione di nuove batterie elettriche, in modo da ottenere la chiusura del cerchio come richiesto dalla direttiva sull'economia circolare. Molte difficoltà a livello impiantistico nascono dall'enorme varietà di tipologie di batterie presenti in commercio oggi e in passato. Questo comporta che ogni batteria ha una diversa composizione e diversi quantitativi dei materiali all'interno delle celle: è quindi necessario il disassemblaggio e un apposito trattamento. Per evitare perdite di risorse e conseguire un'efficienza tale da rendere remunerativo il trattamento delle batterie, è necessaria una progettazione a monte che uniformi le diverse tipologie. Anche in questo caso si può far riferimento ai principi dell'economia circolare che tra i suoi capisaldi ha proprio l'ecodesign e l'ecoinnovazione. La questione diventa assai complessa, essendoci molti interessi in campo e diversi stakeholder, ma per il futuro non si potrà far a meno di orientarsi verso l'economia circolare e l'uso efficiente delle risorse, se si vuole sperare di raggiungere gli obiettivi di sostenibilità e di riduzione degli impatti sottoscritti a livello internazionale.

## 7. CONCLUSIONI

L'articolo si è incentrato sulle catene del valore delle materie prime principali e critiche presenti nelle batterie agli ioni di litio, nel catodo (litio, cobalto, manganese) e sul materiale utilizzato all'anodo (la grafite). Le filiere delle materie prime analizzate sono risultate molto complesse; si è cercato in particolar modo di evidenziare le problematiche e i colli di bottiglia. È risultata evidente la concentrazione geografica delle miniere: tali risorse sono allocate in pochi Paesi e spesso le riserve sono per più del 50% concentrate in un unico Paese; questo può creare sia rischi di approvvigionamenti che possibilità di dazi e imposizioni di alte royalties, come di fatto è accaduto. Le instabilità politiche di alcuni di questi Paesi, inoltre, non garantiscono sicurezza e stabilità di produzione. Le criticità purtroppo non si limitano ad aspetti problemi di approvvigionamento o economici, ma riguardano anche problematiche sociali e ambientali. Sono state evidenziate carenze nei controlli per la sicurezza dei lavoratori, ma anche lo sfruttamento del lavoro minorile e paghe al limite della povertà. I controlli sulle filiere sono molto difficili da realizzarsi in quanto i passaggi sono molti e ogni volta le società di mediazione rendono più difficile capire quali siano le miniere da cui è stato estratto il materiale. Anche da un punto di vista ambientale i controlli sono stati pochi; solo negli ultimi anni sono state eseguite verifiche che hanno messo in luce tutte le problematiche legate all'estrazione incontrollata.

Ogni miniera estrae il minerale non puro, che può avere diverse caratteristiche a seconda della formazione geologica da cui è estratto: è quindi necessaria una lavorazione specifica in funzione del materiale di partenza. Nel caso del cobalto una difficoltà aggiuntiva dipende dal fatto che il cobalto è estratto come sottoprodotto della lavorazione del nichel o del rame, il che lo rende sensibile alle fluttuazioni di quei due mercati. La fase della raffinazione può essere il vero collo di bottiglia della filiera: gli impianti infatti devono essere specializzati e devono poter stare al passo con la domanda del mercato, che può variare a seconda dei cambiamenti di tecnologie delle batterie e della produzione di

auto elettriche. Anche in questo caso è importante la concentrazione geografica: la Cina, Infatti, più degli altri Paesi ha deciso di investire in questi impianti e detiene praticamente il monopolio della raffinazione di tutti i materiali utilizzati nella produzione delle batterie. Non stupisce che la Cina sia anche il Paese che produce più batterie al mondo, seguito dalla Corea del Sud. L'Europa e gli Stati Uniti si trovano nella particolare situazione di essere buoni produttori di auto elettriche ma di importare le batterie dai Paesi asiatici. Mentre gli Stati Uniti si stanno muovendo per diminuire tale divario, l'Unione Europea non sembra interessata a promuovere la propria produzione di batterie. Questa scelta potrebbe essere dettata anche dalla carenza di materie prime entro i propri confini, che obbligherebbe comunque all'approvvigionamento dei materiali dagli stessi Paesi da cui l'UE compra il prodotto finito. La scarsità di materie prime suggerirebbe, come scelta più logica, di puntare sul riciclo dei materiali e di imporre un mercato delle materie prime seconde che fosse competitivo a livello mondiale. Anche in questo campo, purtroppo, la Cina è già molto più avanti, avendo investito in grandi impianti di riciclo e imposto una legislazione che costringe al riciclo di almeno il 50% in peso dei materiali presenti nelle batterie. Lo sviluppo di questo settore ha potenzialità notevoli, ma frenate da alcune problematiche tecniche. Le batterie per trazione elettrica, infatti, hanno chimiche diverse: LMO, NMC 622, NMC 111, NCA, ecc., per citare solo quelle in produzione a tutt'oggi; esistono poi i vecchi modelli e ne sono in arrivo di nuovi. Una tale variabilità dei materiali e dei quantitativi richiede una grande flessibilità del processo di trattamento. La soluzione migliore consiste nel selezionare le diverse tipologie di batterie manualmente, all'ingresso dell'impianto, prevedendo pre-trattamenti specifici per le linee di processo e poi trattamenti ad hoc, ma ciò implica alti costi di trattamento e necessità di lavoratori molto specializzati. La soluzione proposta in questo lavoro, che poi è l'applicazione di uno dei punti dell'economia circolare, sarebbe una progettazione che prevedesse un facile recupero dei materiali, il più possibile puri, per poterli reimmettere direttamente nel ciclo e chiudere il cerchio.

Sempre in un'ottica di economia circolare, si dovrebbe preferire il riutilizzo delle batterie in impieghi congrui rispetto alla capacità residua della batteria dismessa per l'autotrazione, per allungarne la vita utile. Al termine dell'utilizzo negli autoveicoli elettrici, infatti, le batterie mantengono circa l'80% della capacità iniziale e quindi possono essere utilizzate in altri settori nei quali siano richieste prestazioni inferiori. Uno degli usi più comuni è quello dell'energy storage, che permette di utilizzare le batterie per un periodo di altri 5/10 anni, a conclusione del quale l'unica possibilità è il riciclo.

Il riciclo rimarrà comunque la soluzione finale per le batterie: esso è necessario per preservare le materie prime, obiettivo primario per i Paesi (come quelli europei) che non ne hanno disponibilità. Il riciclo di questi materiali ha anche motivazioni ambientali: minore sfruttamento delle risorse, dei terreni, delle acque; eliminazione dello sfruttamento delle popolazioni più povere; mercati più controllati e regolati. Per conseguire tali obiettivi tuttavia sarà necessario creare mercati delle materie prime seconde affidabili e rispettosi di standard riconosciuti, che permettano di identificare le caratteristiche e la bontà del prodotto; si dovrà inoltre mantenere una produzione costante ma tale da potersi anche adattare alle richieste del mercato.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BIO by Deloitte, 2015. Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials. Prepared for the European Commission, DG GROW.
- Cobalt27, 2018a. Cobalt27 Corporate Presentation October 2018. [https://www.cobalt27.com/\\_resources/presentations/KBLT-corporate-presentation.pdf](https://www.cobalt27.com/_resources/presentations/KBLT-corporate-presentation.pdf)
- Cobalt27, 2018b. Cobalt27 Corporate Presentation October 2018. Benchmark World Tour Asia Battery Technologies - the Path to Mass Adoption. <https://www.benchmarkminerals.com/download/183245/>
- Cutaia, L., La Monica, M., Scagliarino, C., Massacci, G., Nania, F., 2018. Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018. Report

RdS/PAR2017/253.

- European Commission, 2017. Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>
- European Commission, 2018. Commission Staff Working Document. "Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy". Brussels, 16.1.2018. SWD(2018) 36 final.
- Fickling, D., 2018. The Lithium Cartel Should Be Stopped. May 18th, 2018 <https://www.bloomberg.com/view/articles/2018-05-18/time-to-block-the-lithium-cartel>
- Fickling, D., 2018b. Tesla Trauma Shows the Lithium Market Needs a Chill Pill. July 24th, 2018. <https://www.bloomberg.com/view/articles/2018-07-24/tesla-trauma-shows-the-lithium-market-needs-a-chill-pill>
- Frankel, T.C., 2016. The Cobalt Pipeline. September 30, 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/congo-cobalt-mining-for-lithium-ion-battery/>
- Frankel, T.C., Whoriskey, P., 2016. Tossed aside in the 'white gold' rush. December 19, 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/tossed-aside-in-the-lithium-rush/>
- Grand View Research, 2018. Electrolytic Manganese Dioxide (EMD) Market Size. Report By Application (Battery (Lithium-ion, Alkaline, Zinc Carbon), Water Treatment, Others), By Region, And Segment Forecasts, 2018 – 2025. 2018. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/electrolytic-manganese-dioxide-market>
- Hanisch, C., 2016. From battery to precursor and back again- Recycling of Lithium-Ion batteries. LION Engineering. 7 Aprile.
- Heppel, G., 2017. Cobalt shifts from metal to chemical market. 08 September 2017. CRU International Limited. <https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/insights/cobalt-shifts-from-metal-to-chemical-market/>
- Hernandez, V., 2018. Accounting for the cobalt boom. July 2, 2018. <https://internationalbanker.com/brokerage/accounting-for-the-cobalt-boom/>
- International Manganese Institute, 2018. IMNI Statistics 2018. [http://www.manganese.org/images/uploads/market-research-docs/IMNI\\_statistics\\_Booklet\\_2018.pdf](http://www.manganese.org/images/uploads/market-research-docs/IMNI_statistics_Booklet_2018.pdf)
- Lutsey, N., Grant, M., Wappelhorst, S., Zhou, H., 2018. Power play: how governments are spurring the electric. ICCT. Maggio 2018.
- Popovic, A., 2018. Manganese metal price hikes – a storm in a teacup? 21 May 2018. <https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/spotlights/2018/manganese-metal-price-hikes-a-storm-in-a-teacup/>
- Rawles, C., 2018. Cobalt & Cathodes: How are materials evolving to deal with the cobalt conundrum. Benchmark World Tour – Australia - Sept 2018. <http://www.benchmarkminerals.com/download/191069/>
- Shaw, L., 2018. The Battery Revolution. Benchmark World Tour 2018. UBS. September 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/download/191116/>
- Spencer, R., Hill, L., 2016. Specialty Minerals and Metals, Industry Overview. Canaccord Genuity. <https://voltresources.com/wp/wp-content/uploads/2016/12/Canaccord.pdf>
- Triton Minerals, 2018. Graphite Industry and Price Update. <http://www.tritonminerals.com/graphite-price/>
- U.S. Geological Survey, 2018. Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey, 200 p., 2018. <https://doi.org/10.3133/70194932>
- Whoriskey, P., 2016. In your phone, in their air". The Washington Post. October 2, 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/graphite-mining-pollution-in-china/>