



Ricerca di Sistema elettrico

## Analisi dei flussi e studio dei mercati reali e finanziari delle materie prime presenti negli autoveicoli elettrici e nelle colonnine di ricarica 2018

L. Cutaia

M. La Monica, C. Scagliarino, G. Massacci, F. Nania



ANALISI DEI FLUSSI E STUDIO DEI MERCATI REALI E FINANZIARI DELLE MATERIE PRIME PRESENTI NEGLI  
AUTOVEICOLI ELETTRICI E NELLE COLONNINE DI RICARICA 2018

L. Cutaia (ENEA)

M. La Monica, C. Scagliarino, G. Massacci, F. Nania (CINIGeo)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con gli altri vettori energetici

Progetto: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: c. Valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica

Responsabile del Progetto: Maria Pia Valentini, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	6
2 I FLUSSI DEI MERCATI DELLE MATERIE PRIME DELLE BATTERIE DEI VEICOLI ELETTRICI.....	9
2.1 IL LITIO.....	9
2.1.1 <i>La value chain</i> .....	9
2.1.2 <i>L’offerta</i> .....	11
2.1.2.1 <i>I Player</i> .....	12
2.1.3 <i>La domanda</i> .....	14
2.1.4 <i>I prezzi</i> .....	15
2.1.5 <i>Le aspettative</i> .....	17
<i>BOX: Il mercato finanziario</i> .....	20
2.2 IL COBALTO.....	22
2.2.1 <i>La value chain</i> .....	22
2.2.2 <i>L’offerta</i> .....	26
2.2.2.1 <i>Problematiche dell’offerta</i> .....	29
2.2.2.2 <i>I player</i> .....	30
2.2.3 <i>La domanda</i> .....	34
2.2.4 <i>I prezzi</i> .....	35
2.2.5 <i>Le aspettative</i> .....	37
2.3 IL MANGANESE.....	41
2.3.1 <i>La value chain</i> .....	41
2.3.2 <i>L’offerta</i> .....	45
2.3.3 <i>La domanda</i> .....	46
2.3.4 <i>I prezzi</i> .....	47
2.3.5 <i>Le aspettative</i> .....	49
2.4 LA GRAFITE.....	50
2.4.1 <i>La value chain</i> .....	50
2.4.2 <i>L’offerta</i> .....	54
2.4.2.1 <i>I player</i> .....	55
2.4.3 <i>La domanda</i> .....	56
2.4.4 <i>I prezzi</i> .....	57
2.4.5 <i>Le aspettative</i> .....	59
3 CONSIDERAZIONI RIGUARDANTI LE MATERIE PRIME UTILIZZATE NELLE BATTERIE PER EV.....	61
4 RICICLO DELLE BATTERIE DEGLI AUTOVEICOLI ELETTRICI.....	65
4.1 FINE VITA: RIUSO E RICICLO.....	65
4.2 TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO.....	67
4.2.1 <i>Processo pirometallurgico</i> .....	69
4.2.2 <i>Processo idrometallurgico</i> .....	71
4.2.3 <i>Processo meccanico</i> .....	74
4.2.4 <i>Processi misti e nuove tecnologie</i> .....	74
4.3 MATERIALI RICICLATI.....	76
5 FUTURO DELLE BATTERIE NELLA TRAZIONE ELETTRICA.....	78
6 LEGISLAZIONE E POLICY DELL’UNIONE EUROPEA PER FAVORIRE UN’ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DEGLI AUTOVEICOLI ELETTRICI.....	81
6.1 IL QUADRO DELLA LEGISLAZIONE VIGENTE NELL’UNIONE EUROPEA.....	81
6.2 PIANO D’AZIONE PER L’ECONOMIA CIRCOLARE.....	82
6.3 POSSIBILI ULTERIORI AZIONI IN TERMINI DI POLICY NELL’UNIONE EUROPEA.....	83
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	84

## Sommario

I sistemi di propulsione elettrica disponibili nel mercato automobilistico sono ormai molti, di varie tipologie ed in continua espansione. Sebbene il motore a combustione interna rimanga probabilmente dominante a breve e medio termine, il mercato dei veicoli elettrici ibridi (HEV) e dei veicoli elettrici (EV) dovrebbe registrare nei prossimi decenni una crescita significativa e rapida.

Gli ioni di litio sono la tecnologia di riferimento per le batterie EV. Attualmente sono disponibili molti diversi tipi di chimica agli ioni di litio, (LMO, NMC, NCA, ecc.), che vengono testate per migliorare le prestazioni e ridurre i costi della batteria.

In questo report viene esaminato in particolare la batteria della nuova Nissan Leaf da 40 kWh. In confronto al vecchio modello da 24 kWh (utilizzato come batteria di riferimento nel report del 2017), che utilizzava un catodo LMO (litio e ossido di manganese), la nuova batteria installa un catodo NMC (litio, nichel, cobalto e ossido di manganese), mentre l'anodo rimane in grafite.

In tale direzione questo report del 2018 è suddiviso nelle seguenti quattro parti.

Nella prima parte si offre una breve overview riguardante i settori dei veicoli elettrici e delle batterie.

Nella seconda parte del rapporto vengono presentati i flussi e i mercati di alcune delle principali materie prime presenti nella batterie a ioni di litio della nuova Nissan Leaf da 40 kWh. In particolare, per quanto riguarda il catodo della batteria, sono analizzati il litio, il cobalto e il manganese; per quanto riguarda, invece, l'anodo delle batterie ci si è concentrati sulla grafite.

Per tutte e quattro le materie prime sono analizzate:

- la value chain: una panoramica su tutta la catena del valore del materiale;
- l'offerta: partendo dai Paesi in cui si estraggono le materie prime e passando per le società che si occupano della raffinazione e della vendita di questi materiali;
- la domanda: analizzando i diversi settori che richiedono i materiali e facendo un focus sul settore delle batterie per EV;
- i prezzi: un'analisi sui prezzi in base alle caratteristiche dei prodotti (grado di purezza, lavorazioni chimiche subite, ecc...);
- le aspettative future: una panoramica sull'offerta, sulla domanda e sui prezzi che si prevedono per i prossimi anni.

Per alcune materie prime poi sono esaminati in maniera più approfondita anche alcuni aspetti particolari legati ai player e alle problematiche del mercato reale o aspetti legati ai mercati finanziari.

Al termine di questa parte si presenta un'analisi riassuntiva su quali problematiche sono state evidenziate per ogni flusso di materia e un ragionamento su come le filiere delle batterie per trazione elettrica si stiano indirizzando nei prossimi anni. Un'ultima riflessione viene lasciata alle batterie del futuro, come queste potrebbero modificare nuovamente il mercato.

Nella terza parte del rapporto si analizzano le possibilità del fine vita delle batterie non più utilizzabili per la trazione elettrica. Infatti le batterie a fine vita delle EV hanno ancora l'80% di capacità dell'alimentazione originaria. Il mercato si sta quindi indirizzando verso una seconda vita per queste batterie, spesso riutilizzate nell'energy storage. Infine si è esaminato lo stato dell'arte del riciclaggio delle materie prime all'interno delle batterie a ioni di litio, per capire se possa esistere un mercato delle materie prime secondarie. Si analizzano quali sono i trattamenti al momento sviluppati per il recupero delle materie esaminate, ma anche quali prospettive esistono e come si svilupperà il sistema di riciclaggio delle batterie esauste. Inoltre si analizzano gli impianti industriali di trattamento delle batterie esauste al momento presenti.

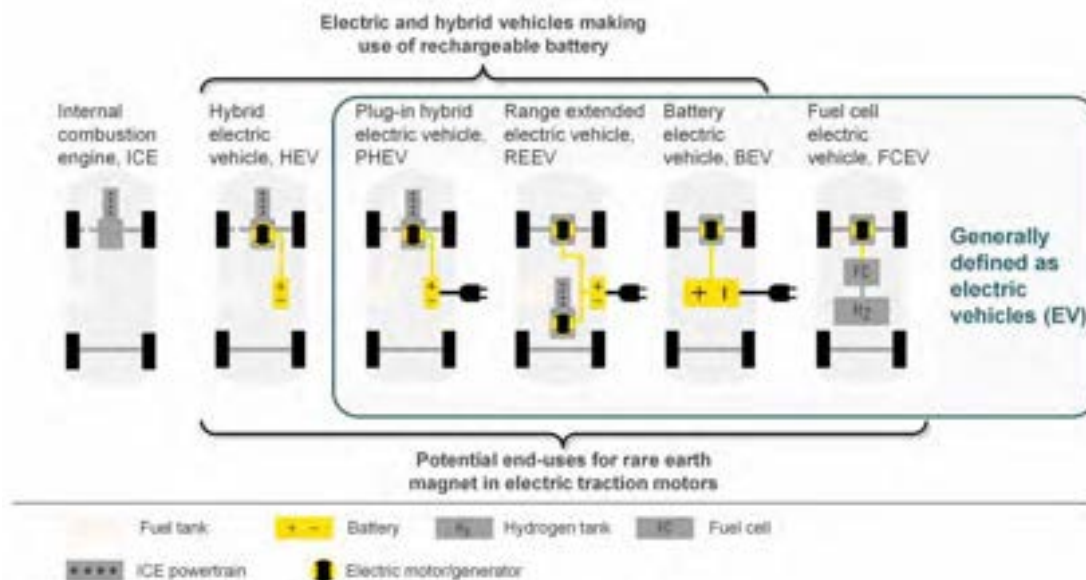
Nell'ultima parte del report, infine, viene presentata una panoramica della legislazione e delle policy dell'Unione Europea per favorire la realizzazione di una economia circolare legata al settore dell'auto elettrica. In particolare, si forniscono:

- un quadro sintetico della legislazione vigente nell'Unione Europea;
- un'analisi del piano d'azione per l'economia circolare;
- l'individuazione delle possibili azioni in termini di policy industriale, ambientale e di ricerca e innovazione che possono essere messe in atto nell'UE.

## 1 Introduzione

Sebbene il motore a combustione interna rimanga probabilmente dominante a breve e medio termine, il mercato dei veicoli elettrici ibridi (HEV) e dei veicoli elettrici (EV) dovrebbe registrare nei prossimi decenni una crescita significativa e rapida.

E' importante sottolineare che esiste una grande varietà di sistemi di propulsione elettrica disponibili sul mercato automobilistico (figura 1).



**Figura 1: Confronto tra motore convenzionale a propulsione interna (ICE) rispetto ai motori a propulsione elettrica**

Fonte: "Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU. Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030", 2016.

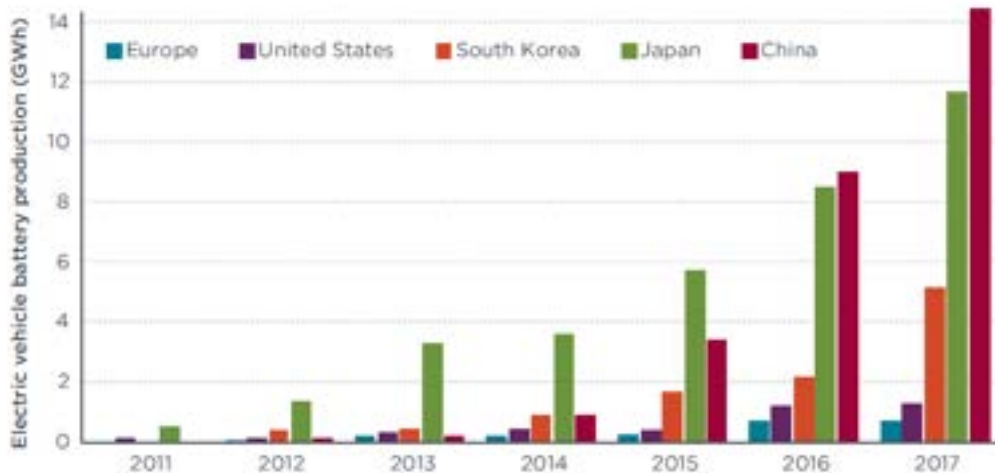
Attualmente, i tipi BEV, PHEV e HEV sono le varianti più comuni sul mercato dei veicoli elettrici e ibridi.

Nel 2018 (fino ad Ottobre), i tassi di crescita per EV e ibride sono stati pari al 42% in Europa, al 57% negli Stati Uniti e al 107% in Cina. Questo trend fa immaginare che le previsioni non stiano sottostimando la scala di crescita dei veicoli elettrici e delle batterie agli ioni di litio.

In particolare per il mercato dei veicoli elettrici la domanda in Europa è cresciuta a 88.286 unità nel primo semestre del 2018. Per quanto riguarda la quota di mercato in Europa, tra tutte le nuove immatricolazioni, il 57% dei veicoli era benzina, il 36,3% era diesel e il 6,9% erano veicoli a motore alternativo, di cui l'1,7% erano autoveicoli elettrici. È interessante notare che in Europa le auto ibride sono più popolari dei EV, mentre in Cina e negli Stati Uniti gli EV sono più vendute. La ragione di questo negli Stati Uniti sembra essere Tesla, che domina il mercato, mentre i prezzi del carburante a buon mercato, in altri Paesi, significano che il vantaggio di gestire un'ibrida non è così grande come nei paesi dove ci sono alti costi di carburante.

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.

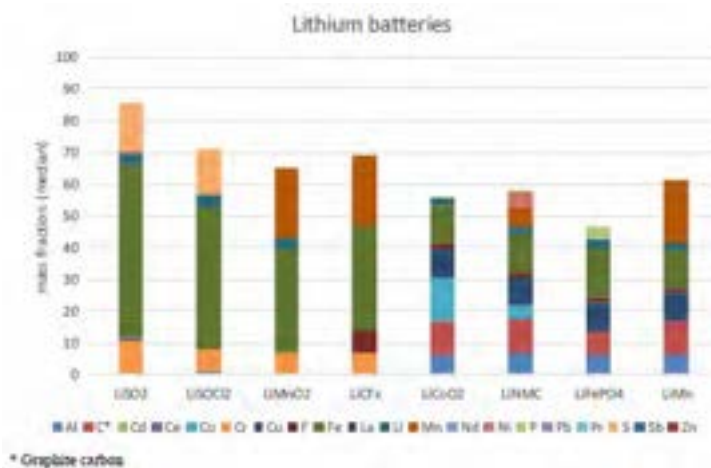
Gli ioni di litio sono la tecnologia di riferimento per le batterie EV. Nel grafico sottostante possiamo notare come negli ultimi 6 anni la produzione delle batterie per EV sia decisamente aumentata. In particolare in alcuni Paesi: tra i primi vediamo Cina, Giappone e Corea del Sud, che dominano decisamente il campo delle batterie, mentre l'Europa rimane indietro rispetto alle rivali in questo settore, anche a causa del fatto che le materie prime per la produzione non sono disponibili all'interno del proprio territorio.



**Figura 2: Produzione delle batterie per veicoli elettrici tra il 2011 e il 2017 dei 5 produttori maggiori**

Fonte: "Power play: How governments are spurring the electric vehicle industry", Maggio 2018

Attualmente sono disponibili molti diversi tipi di chimica agli ioni di litio, (in figura 3 sono riportati alcuni esempi), che vengono testate per migliorare le prestazioni e ridurre i costi della batteria.



**Figura 3: Elementi incorporati nelle batterie agli ioni di litio secondo le specifiche chimiche**

Fonte: "Commission Staff Working Document. Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy", 2018

Per ogni differente tipologia di batteria abbiamo diverse materie prime (es. litio, cobalto, grafite, neodimio, praseodimio, disprosio, ect). Alcune di queste sono utilizzate nei rivestimenti o negli accessori, per cui vengono utilizzati materiali facilmente reperibili, a bassi costi e spesso sostituibili, quelle utilizzate, invece, all'interno delle celle devono avere caratteristiche particolari, per questo hanno solitamente un valore economico molto alto e difficilmente trovano un sostituto che dia le stesse prestazioni. È importante sottolineare che i consumi di queste materie prime saranno quelle che più risentiranno in futuro dell'aumento della domanda dei veicoli elettrici (figura 4).

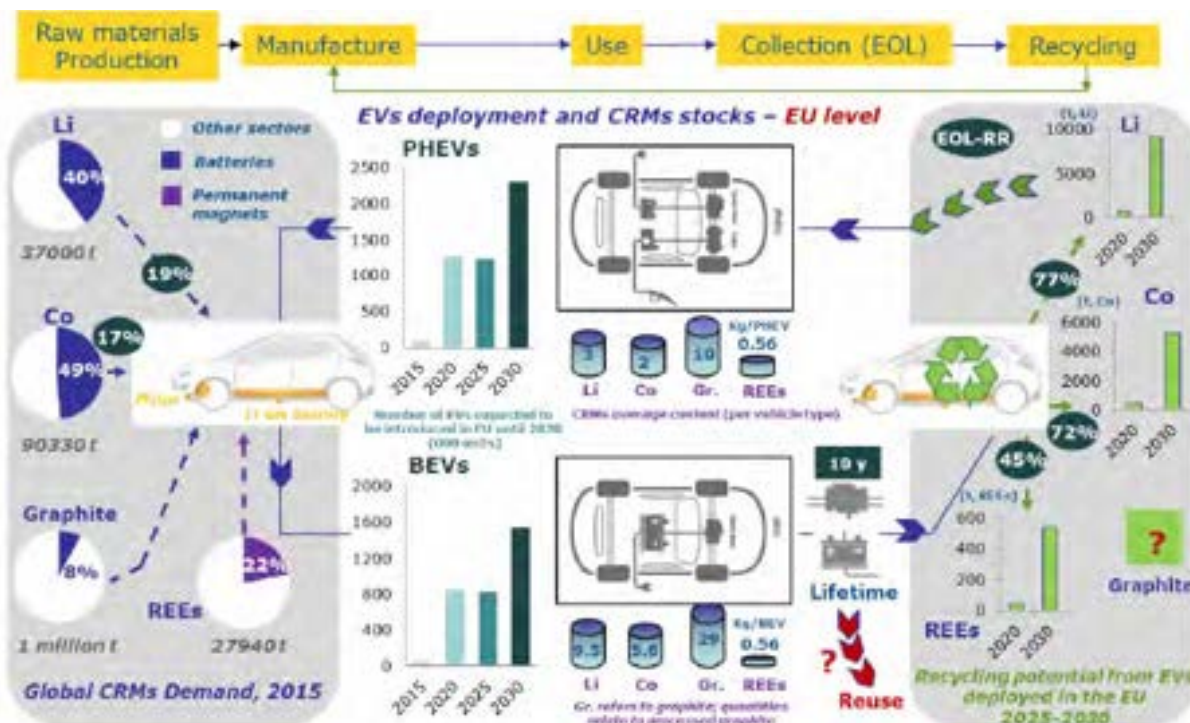


Figura 4: Alcune delle più significative materie prime utilizzate nel settore dei veicoli elettrici e i potenziali flussi derivanti dal riciclaggio di questi nell'UE

Fonte: "Commission Staff Working Document. Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy", 2018

In questo report verrà esaminata in particolare la batteria della nuova Nissan Leaf da 40 kWh (figura 5). In confronto al vecchio modello da 24 kWh, che utilizzava un catodo LMO (litio e ossido di Manganese), la nuova batteria installa un catodo NMC (Litio, Nichel Cobalto e ossido di Manganese), mentre l'anodo rimane in grafite. La batteria NMC contiene ioni di litio, cobalto, che lo rende più stabile per le alte temperature e migliora le prestazioni, nickel e manganese, che migliorano la longevità, la capacità di carico e ottimizzano i costi.

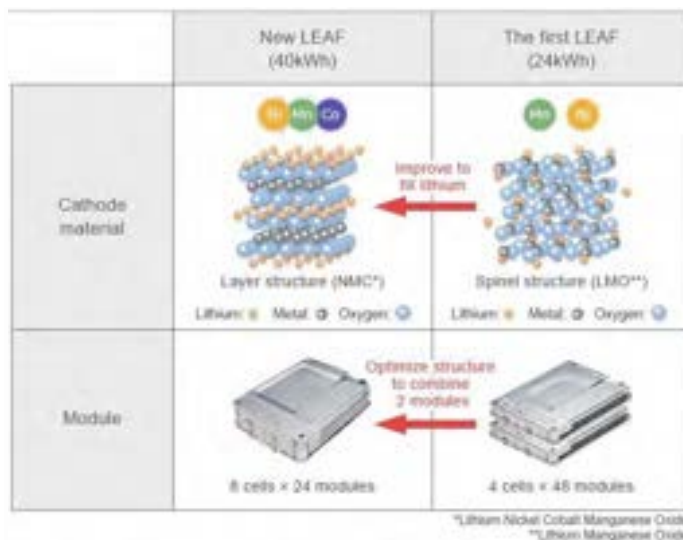


Figura 5: Struttura della nuova batteria della Nissan Leaf a confronto con la batteria da 24 kWh

Fonte: Sito Nissan, 2018

La combinazione di nichel e manganese rende questa 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 migliora l'un l'altro i punti di forza. L'altro materiale 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. Infine si esamineranno litio e grafite, sia da un punto di vista dei flussi che dei mercati, molto poco si potrà dire invece del riciclo di questi materiali, infatti per la grafite al momento non si ha una convenienza economica, mentre per il litio, che invece potrebbe essere ben collocato sul mercato, non si hanno al momento tecnologie che permettano di avere 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 I flussi dei mercati delle materie prime delle batterie dei veicoli elettrici

### 2.1 Il Litio

#### 2.1.1 La value chain

Il litio viene concentrato dopo l'estrazione ed è ottenuto da due fonti: rocce dure (pegmatiti) e salamoie. In passato, le rocce dure rappresentano il 100% delle fonti primarie di litio, ma oggi i minori costi di produzione dell'estrazione di salamoia hanno aumentato la sua quota di utilizzo. I più comuni ed economici minerali contenenti litio sono lo spodumene, la lepidotite e la petalite, ospitati nella maggior parte dei casi da pegmatiti granitiche.

Le salamoie sono presenti soprattutto in Sud America: Bolivia, Cile e Argentina. Ma il litio ha anche una buona presenza in Cina e in Australia, dove parte della produzione viene da spodumene. In Europa è presente in Portogallo con un'estrazione annua non molto cospicua, ma sembra con buone riserve per il futuro.

Il litio da roccia dura viene estratto utilizzando miniere a cielo aperto o sotterranee. Il minerale estratto viene quindi frantumato e vengono rimossi i materiali di scarto, viene quindi sottoposto a ulteriori trattamenti, a seconda dell'utilizzo finale, con applicazioni meccaniche o chimiche. La produzione di carbonato di litio da salamoie, invece, inizia con la lavorazione delle soluzioni di cloruro di litio. La soluzione viene quindi purificata (per la rimozione del potassio) e precipitata per produrre carbonato di litio e idrossido di litio in un impianto chimico. La maggior parte dei prodotti provenienti dalle operazioni di salamoia sono destinati ai mercati delle applicazioni chimiche. 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, butilito e litio metallico. Tranne quello metallico, i composti del litio sono ottenuti dalla lavorazione del carbonato di litio. Di conseguenza, l'industria utilizza come unità di misura il carbonato di litio equivalente (LCE<sup>1</sup>).

Nella figura 6 sono schematizzati i passaggi descritti: dall'esplorazioni geologiche, all'estrazione del minerale, al processo di raffinazione, alla produzione e l'uso dei prodotti, fino ad arrivare alla raccolta e al riciclo del litio.

---

<sup>1</sup> 1 kg LCE = 0.1895 kg di litio



**Figura 6: Value chain del litio**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

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. E' 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.

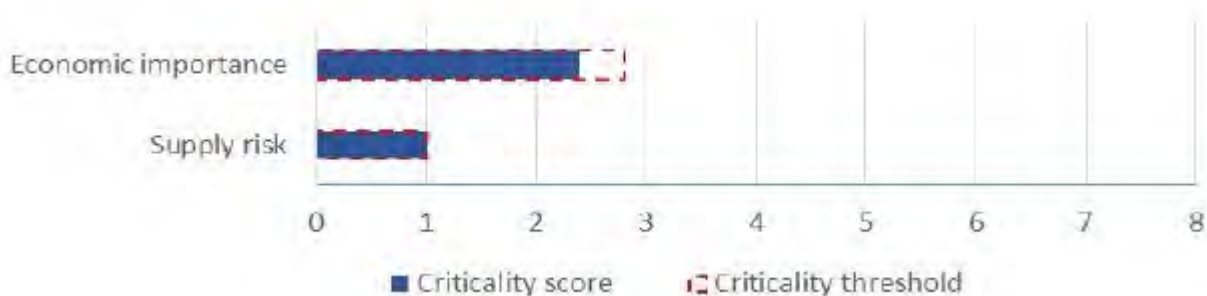
In quasi nessuna di queste applicazioni si ha un sostituto per questo materiale, per cui il bisogno aumenta circa dell'8-11% l'anno.

Il mercato del litio è relativamente piccolo con circa 220.000 tonnellate di produzione nel 2018 e con un valore all'incirca 3 miliardi di dollari. Risulta anche un mercato relativamente immaturo e alquanto opaco. Il litio non è quotato in nessuna borsa, per cui il prezzo viene stabilito a livello dalla domanda e offerta di mercato tra i pochi produttori (che non rilasciano spesso statistiche) e i rispettivi clienti.

Storicamente, la stragrande maggioranza del litio è venduta con contratti a lungo termine. Negli ultimi anni si sono registrate una crescente quantità di attività, in particolare in Cina, dove alcuni piccoli produttori vendono fino al 50% della loro produzione nel mercato spot. 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.

Quando si parla di litio, tuttavia, diventa difficile riuscire a fare chiarezza nel dettaglio dei prezzi. Il più grande mito che circonda i prezzi è "qual è il prezzo del litio?". Questo avviene perché non esiste un unico prezzo del litio ma il mercato ha una vasta gamma di prodotti chimici di litio e per ognuno di questi si hanno differenti gradi di purezza con prezzi differenti.

L'UE non classifica al momento il litio come una materia prima critica, si nota dal diagramma che mentre la filiera del litio sarebbe al limite della soglia del rischio soprattutto a causa della concentrazione dei minerali in pochi Paesi, l'importanza economica rimane ancora al di sotto della criticità (figura 7).

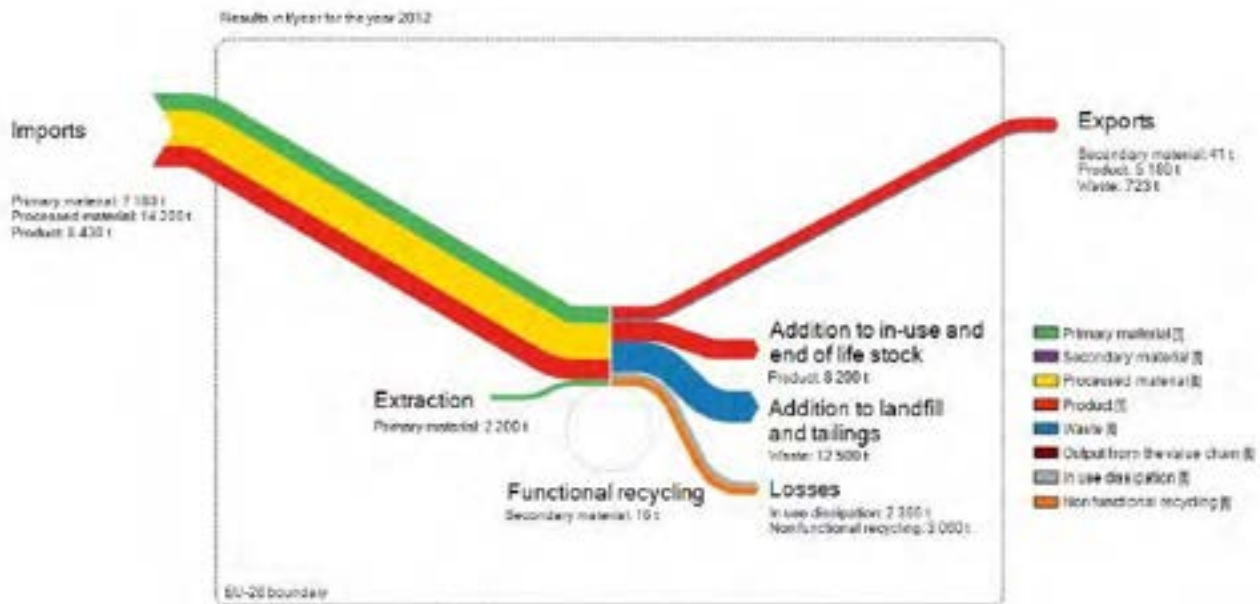


**Figura 7: Importanza economica e rischio di approvvigionamento del litio per l'UE**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

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. E' il caso dell'Australia, per esempio, sebbene detenga una quota significativa delle riserve di minerali di litio primari, nel paese mancano tecnologie e infrastrutture per la produzione di prodotti di litio di alto livello, come le batterie. L'Australian Mining Executive Council (AMEC) ha recentemente individuato un'opportunità significativa per l'Australia di diventare leader di mercato nella produzione di questi prodotti. Oltre a sostenere l'estrazione tradizionale e l'esportazione di materie prime, il riciclaggio andrebbe ad aggiungersi alla filiera del valore del litio con prodotti recuperati a seguito del riciclaggio delle batterie.

Il diagramma di Sankey semplificato per il litio nell'UE-28 (figura 8) di seguito mostra il livello di circolarità di questa materia prima 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, anche se l'importanza di questo materiale sta ponendo l'attenzione della ricerca per sviluppare dei processi che possano riciclare un litio con un grado di purezza adatto al riutilizzo nelle batterie, cosa al momento non economicamente conveniente.



**Figura 8: Diagramma di Sankey semplificato per il litio nell'UE-28**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

### 2.1.2 L'offerta

Il litio è nel bel mezzo di un boom, i prezzi sono abbastanza alti per cui le società estrattrici si stanno muovendo in fretta per espandere la loro produzione.

Al momento la produzione per il 2017 (figura 9), non varia molto dall'anno precedente, anzi per Argentina e Cile le produzioni sono leggermente calate. Solo l'Australia e la Cina hanno aumentato la loro produzione. Per quanto riguarda le riserve il Cile e la Cina sembrano i due Paesi con maggiori possibilità di sviluppo per i prossimi anni.

	Mine production		Reserves <sup>6</sup>
	2016	2017 <sup>e</sup>	
United States	W	W	35,000
Argentina	5,800	5,500	2,000,000
Australia	14,000	18,700	<sup>7</sup> 2,700,000
Brazil	200	200	48,000
Chile	14,300	14,100	7,500,000
China	2,300	3,000	3,200,000
Portugal	400	400	60,000
Zimbabwe	1,000	1,000	23,000
World total (rounded)	<sup>8</sup> 38,000	<sup>8</sup> 43,000	16,000,000

**Figura 9: Produzione mondiale per il 2016 e 2017 e riserve di litio**  
 Fonte: US Geology Survey "Mineral commodity summaries 2018"

Nel corso del 2017, la fornitura di materie prime di litio è cambiata in modo significativo, con l'aumento della produzione in operazioni di litio-roccia, aumentando la produzione di concentrati minerali in Australia a oltre 157.000 t di LCE, rispetto a circa 75.000 t di LCE nel 2016. L'aumento di minerale concentrato, la produzione e l'avvio delle spedizioni di minerale verso la Cina ha migliorato la disponibilità delle materie prime per gli impianti di conversione dei minerali, che stanno aumentando la capacità produttiva. Nel 2017, la capacità di raffinazione del litio ha totalizzato circa 340.000 t di LCE, dominata dagli impianti di conversione del minerale con base in Cina e dalle operazioni di produzione di litio in Sud America.

Anche l'acquisto di litio da parte di diversi OEM (Original Equipment Manufacturer) sta cambiando, con alcune aziende che sono direttamente coinvolte nel finanziamento di operazioni nel mercato del litio come Panasonic, Great Wall Motor e Jiangxi Special Electric Motor Co. I principali produttori, tra cui Albemarle, SQM, Talison Lithium e Ganfeng Lithium, stanno aprendo la strada con la costruzione di nuovi impianti di lavorazione, ma sarà necessario lo sviluppo continuo di nuovi progetti per tenere il passo con la crescita della domanda.

#### 2.1.2.1 I Player

Per molto tempo la maggior parte del litio mondiale è stato prodotto da un oligopolio di produttori spesso definiti "Big 3": Albemarle, Sociedad Quimica y Minera de Chile (SQM) e FMC. Tuttavia, la lista delle più grandi aziende al mondo di estrazione del litio è cambiata negli ultimi anni, in particolare dovuta alla crescita dei produttori cinesi.

Al momento il mercato del carbonato di litio è così ripartito: la statunitense Albemarle Corp è il leader del mercato con una quota del 18%, seguita dalla cinese Jiangxi Ganfeng Lithium Co. con il 17%; dalla cilena SQM con il 14 % e dalla cinese Tianqi Lithium con il 12 %. Gli altri player del mercato hanno il rimanente 39%, tra cui il più grande tra di loro è FMC Corp. Nella grafico si possono vedere le suddivisioni tra le diverse case produttrici di litio, ma vedremo ora che la situazione è molto più complessa di quella della figura 10.



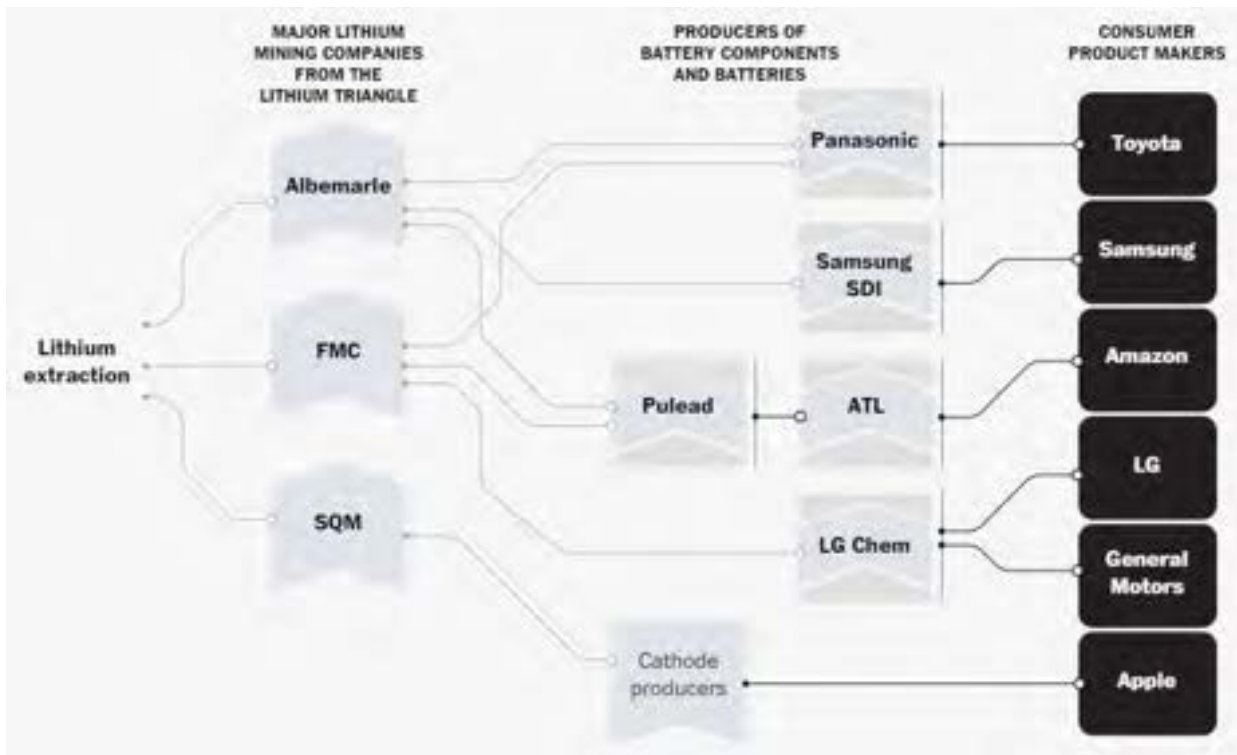
**Figura 10: L'offerta globale di litio suddivisa per produttori<sup>2</sup>**

Fonte: "The Lithium Cartel Should Be Stopped", May 18th, 2018

Si deve evidenziare che i contorni dell'oligopolio nella produzione del litio sono alquanto indistinti. A riguardo è importante non sottovalutare il modo con cui queste società sono connesse tra loro. Tianqi, ad esempio, è un azionista in SQM, nel 2018 ha acquistato una partecipazione del 24 % della società cilena. Tale transazione potrebbe teoricamente dare a Tianqi la metà dei posti del consiglio di amministrazione della SQM. Sempre la Tianqi è collegato 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 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. È interessante rilevare, però, che il presidente di Tianqi, Jiang Weiping, è un delegato al Congresso nazionale popolare cinese e il presidente Ganfeng, Li Liangbin, è stato membro del comitato permanente del Congresso del popolo nella città di Xinyu, dove si trova la società. Come ha rilevato Bloomberg in un suo recente articolo, è difficile immaginare che queste società possano rimanere completamente immuni dall'influenza di Pechino, in un momento in cui la Cina sta cercando di diventare il centro dell'industria globale dei veicoli elettrici tra le tensioni commerciali internazionali.

L'industria delle batterie agli ioni di litio ha una catena di approvvigionamento enormemente complicata, ogni azienda di consumo ha accordi con più fornitori e questi a loro volta fanno affari con più fornitori, il diagramma qui sotto tenta di schematizzare nel modo più chiaro possibile alcune delle interconnessioni (figura 11).

<sup>2</sup> Basato sulla fornitura di tutti i composti



**Figura 11: Alcune delle connessioni nella catena di approvvigionamento del litio per il settore delle batterie a ioni di litio**

Fonte: "Tossed aside in the 'white gold' rush", December 19, 2016.

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 sono state stipulate anche nel 2017, per garantire una fornitura affidabile e diversificata di litio per i fornitori di batterie e le case automobilistiche. Al riguardo, ad esempio, Tesla sta trattando direttamente con la società di estrazione del litio cilena SQM per saltare gli intermediari e garantirsi grandi forniture per costruire le proprie batterie, così come BMW si sta muovendo con una strategia simile per gli approvvigionamenti di litio e cobalto.

### 2.1.3 La domanda

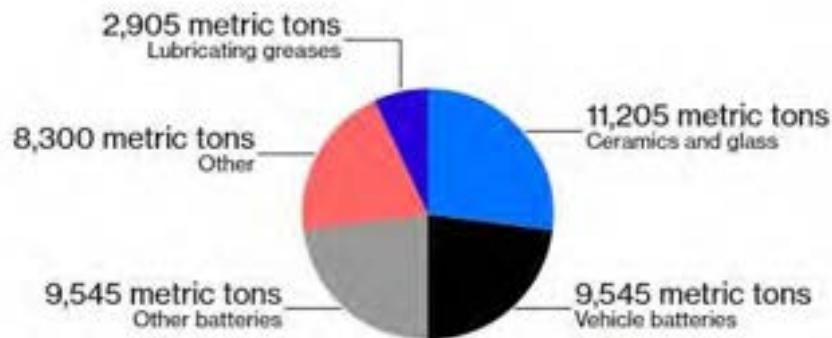
Secondo US Geological Survey il consumo di litio nel 2017 è stato stimato intorno alle 41.500 tonnellate (all'incirca 220.000 tonnellate di LCE), rispetto alle 36.700 tonnellate del 2016.

La Cina è stata la prima consumatrice di litio a livello mondiale nel 2017, utilizzando il 58% di tutta la produzione (oltre ad utilizzare la produzione interna ha dovuto importare altri quantitativi dall'estero). L'Asia ha una domanda di carbonato di litio complessiva dell'83% della produzione mondiale, 5% è quella del Nord America e il 7% per l'Europa. Come si nota dalle percentuali l'Asia, e in particolare la Cina, è ormai a pieno diritto il maggior utilizzatore di litio per la produzione in particolare di batterie.

In generale nel 2017 oltre al mercato delle batterie, che consumano il 46% della produzione mondiale di litio, sono da ricordare anche gli altri mercati, che sono:

- ceramica e vetro: 27%;
- grassi lubrificanti: 7%;
- produzione di polimeri: 5%;
- polveri di fonderia a colata continua: 4%;
- trattamento dell'aria: 2%;
- altri usi: 9%.

Il consumo di litio per le batterie è aumentato significativamente negli ultimi anni, perché le batterie ricaricabili al litio sono ampiamente utilizzate nel mercato in crescita per dispositivi elettronici portatili e sono sempre più utilizzate in strumenti elettrici, veicoli elettrici e applicazioni di stoccaggio della rete. Nella figura 12 vengono riportati i quantitativi utilizzati, divisi per attività produttive.

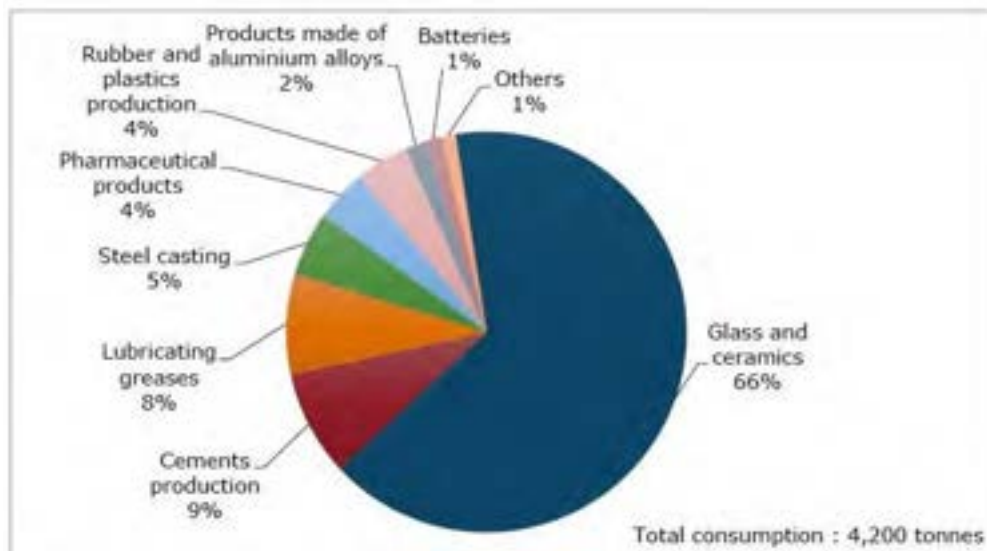


**Figura 12: La domanda mondiale di litio del 2017 suddivisa per usi finali**

Fonte: "Tesla Trauma Shows the Lithium Market Needs a Chill Pill", July 24th, 2018.

Al momento all'interno del settore delle batterie, i veicoli elettrici e l'elettronica di consumo si equiparano come quantitativi utilizzati, ma presto le batterie per EV supereranno gli altri tipi di batterie, anche in funzione del fatto che i quantitativi di litio all'interno delle batterie per EV sono nettamente superiori.

Contrariamente al contesto globale in cui il litio viene sempre più utilizzato per fabbricare batterie ricaricabili, nell'UE esiste una produzione molto bassa di batterie agli ioni di litio, quindi questo uso è ancora trascurabile. A tal riguardo l'UE, nel periodo 2010-2014 ha consumato annualmente circa 4.200 tonnellate di litio. L'uso principale del litio in Europa è stato quello avuto nelle industrie della ceramica e del vetro (figura 13).



**Figura 13: Quote di utilizzo finale del litio nell'UE nel periodo 2010-2014**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Non-critical Raw Materials Factsheets", 2017

#### 2.1.4 I prezzi

La febbre da litio si è improvvisamente abbassata nell'ultimo periodo. Il prezzo era più che raddoppiato nel 2017 nel timore che l'impiego nelle batterie per l'auto elettrica avrebbe finito col provocare difficoltà di approvvigionamento. Ma lo scenario è cambiato rapidamente, fino a far discutere di un potenziale surplus di offerta con una conseguenziale discesa dei prezzi.

È sempre bene ricordare che non esiste un solo prezzo per il litio, ma l'ampia gamma di gradi di purezza e caratteristiche incide sui prezzi che sono spesso differenti tra loro (figura 14).

## The Lithium Industry's Reference Price

Lithium Carbonate Prices Assessed by Benchmark Mineral Intelligence

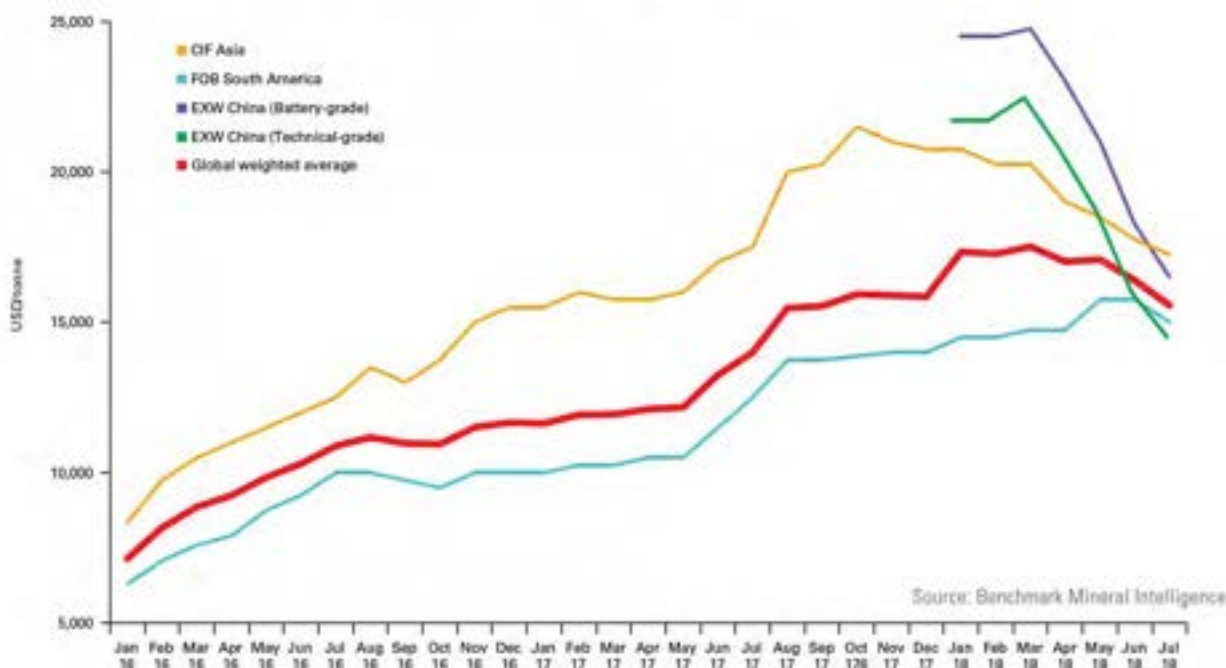


Figura 14: Andamento dei prezzi del litio

Fonte: "China's lithium price decline is not the full picture to an industry surging", 20th August 2018.

Secondo U.S. Geological Survey, nel 2017 i prezzi spot del carbonato di litio in Cina sono variati da 15.000 a 24.000 dollari per tonnellata per tutto l'anno a causa della scarsa disponibilità di spodumene importato dall'Australia. Il resto del mondo ha registrato aumenti dei prezzi più modesti a causa delle forniture disponibili da fonti di litio più diversificate (figura 14).

Secondo Benchmark Mineral Intelligence ad Agosto 2018:

- il prezzo medio ponderato<sup>3</sup> del carbonato di litio era di 14.350 dollari per tonnellata;
- il prezzo medio ponderato dell'idrossido di litio era di 18.588 dollari per tonnellata;
- il prezzo del concentrato di spodumene 6% Li<sub>2</sub>O, era all'incirca 890 dollari per tonnellata;
- il prezzo del carbonato di litio, EXW China, Battery Grade, 99.0% era all'incirca 13.000 dollari per tonnellata;
- il prezzo del carbonato di litio, 99% Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, EXW China, Technical Grade era di circa 11.500 dollari per tonnellata;
- il prezzo del litio metallico era di circa 150.000 dollari a tonnellata.

Secondo Benchmark Mineral Intelligence è importante notare che nel 2018 i prezzi a livello globale stanno progressivamente convergendo (figura 14). L'alto differenziale dei prezzi del litio tra la Cina e il resto del mondo si sta riducendo: la più lenta crescita rispetto a quella prevista della domanda nel 2018, unita all'aumento della produzione interna, ha posto progressivamente fine agli eccessivi premi dei prezzi che si registravano nel mercato cinese determinando una progressiva diminuzione dei prezzi.

In Cina, secondo il Metal Bulletin, sarebbe addirittura in corso una «guerra dei prezzi» tra produttori rivali, che sta spingendo in continuo ribasso i prezzi, con ripercussioni anche in altre aree del mondo.

Secondo gli analisti della Benchmark Mineral Intelligence ci sono due fattori importanti da prendere in considerazione per analizzare questo trend: la natura dei contratti nel resto del mondo e l'equilibrio di

<sup>3</sup> Prezzo medio ponderato del litio : un prezzo medio globale per carbonato di litio e idrossido di litio ponderato per i volumi scambiati.

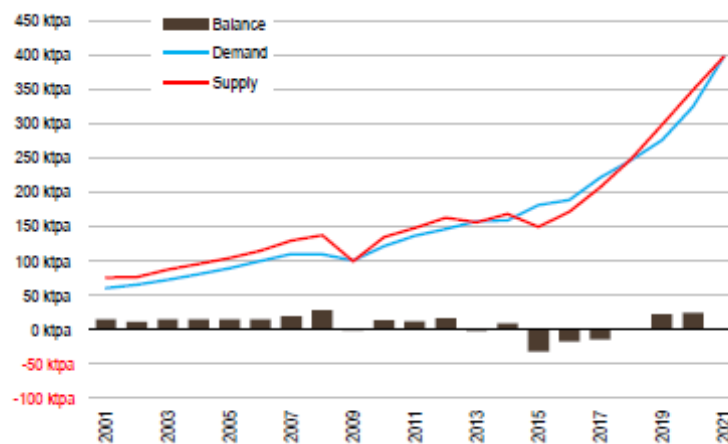
mercato sottostante al di fuori della Cina. In primo luogo, la natura a lungo termine dei contratti per la maggior parte del mercato al di fuori della Cina continuerà a isolare i prezzi a breve termine. La natura a breve termine dei contratti del litio in Cina significa che negli ultimi anni c'è stata una maggiore volatilità dei prezzi nell'industria cinese. Proprio come la natura dei contratti ha impedito che i prezzi del resto del mondo raggiungessero il livello della Cina nel 2017, allo stesso modo li proteggeranno dal ribasso dei livelli che si stanno registrando in Cina nel 2018.

In secondo luogo, più importante per la sostenibilità a lungo termine del mercato, è il fatto che il mercato al di fuori della Cina rimane ancora relativamente ristretto. Nonostante le espansioni di produzione in Sud America finalmente inizino a dare i loro frutti, i nuovi volumi incrementali che raggiungeranno il mercato non creeranno un enorme problema di eccesso di offerta, per cui alcune istituzioni hanno messo in guardia nell'ultimo periodo. Le espansioni sono comunque inevitabili. Ciò che è meno inevitabile sono i tempi e il tipo di litio che entrerà nella catena di approvvigionamento nei prossimi anni.

### 2.1.5 Le aspettative

Secondo Benchmark Mineral Intelligence entro il 2026 le dimensioni del mercato del litio quadruplicheranno passando dal valore di circa 3 miliardi di dollari del 2017 a circa 13 miliardi nel 2026, con un CAGR superiore al 18%.

Nella figura 15 sono riportate la domanda e l'offerta di litio dal 2001 e le previsioni fino al 2021 secondo Roskill. Nell'istogramma sono riportati i deficit e i surplus per quell'anno, da notare che tranne i 3 anni tra il 2015 e il 2017, solitamente l'offerta è in linea o superiore alla domanda. Infatti la possibilità che potrebbe profilarsi per il litio un surplus non è dato dal mercato in sé, ma dal problema del collo di bottiglia della trasformazione: per le batterie si usano carbonati e ossidi di litio e la capacità degli impianti non solo è tuttora limitata, ma è concentrata per oltre la metà in mani cinesi.

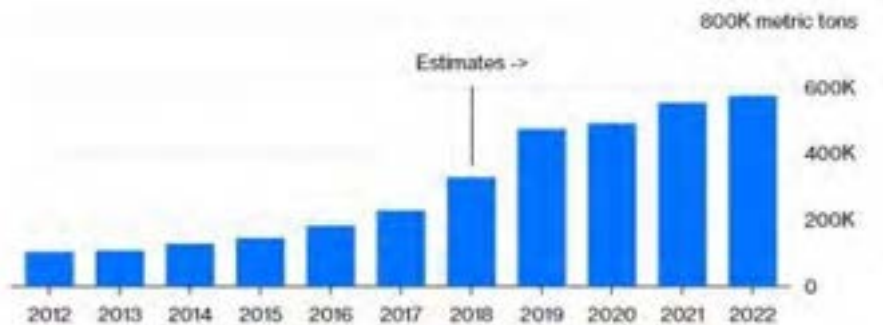


**Figura 15: Domanda e offerta di litio 2001-2017, previsione per il 2018-2021**

Fonte: Roskill, company reports, USB estimates

Gli studi e le previsioni suggeriscono che, in uno scenario "caso migliore", la fornitura di litio da fonti accessibili corrisponderà alla domanda fino al 2025. Nello scenario del "caso peggiore", gli stock di litio globale saranno esauriti entro il 2025. Questa stima si spiega con la crescente domanda di elettronica di consumo e auto EV ma non si riferisce al termine delle riserve di litio, piuttosto ai prezzi che aumenteranno a causa della domanda, il che rende fattibile la possibilità che vengano coltivate zone minerarie precedentemente considerate antieconomiche, ma soprattutto rende attraente la possibilità di riciclaggio del materiale dalle batterie.

Nel futuro la forma del mercato cambierà drasticamente, con la produzione di carbonato di litio che salirà da 228.000 tonnellate nel 2017 a 574.000 tonnellate nel 2022 secondo una stima di CRU (figura 16), anche per poter stare al passo con l'aumento domanda di litio.

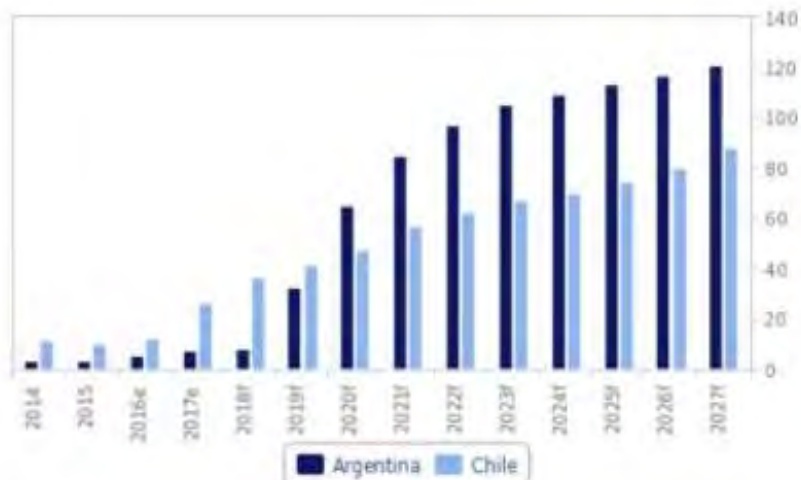


**Figura 16: Capacità produttiva di carbonato di litio nei prossimi anni**

Fonte: CRU, archiviazione Ganfeng

Un report di gennaio 2018 di BMI research ha rivelato che le produzioni dei player cileni e argentini aumenteranno: Galaxy e Orocobre, hanno una serie di progetti collaterali che potrebbero portare ulteriori approvvigionamenti sul mercato nei prossimi anni, in generale la tendenza è quella di aumentare la produzione. Il Cile e l'Argentina guideranno la produzione di litio nei prossimi anni, con la maggior parte della nuova capacità in arrivo nel 2019. I nuovi progetti per la produzione hanno avuto uno sviluppo più lento di quanto si era prospettato a causa di ostacoli normativi, ma dal prossimo anno questi due Paesi, insieme all'Australia, guideranno la produzione globale di litio. L'Argentina, in particolare, dovrebbe diventare un produttore più grande entro il 2020, lo sviluppo, anche in questo caso, dipenderebbe da un ambiente politico e normativo favorevole a nuove esplorazioni sul territorio per l'apertura di nuove cave. In Cile, dopo l'elezione del presidente Sebastián Piñera, sembra che almeno sei società tra le più importanti si siano proposte con progetti per la coltivazione di nuove miniere di litio.

Nella figura 17 sono riportati i nuovi progetti avviati in Cile e Argentina fino al 2017 e poi dal 2018 le previsioni fatte con dati di USGS da BMI Research di aperture di nuove miniere. Sull'ordinata sono segnate le migliaia di tonnellate di litio che verranno estratte in complessivo dall'apertura dei nuovi impianti di estrazione.



**Figura 17: Quantitativi estratti in Cile e in Argentina fino al 2017 e previsione per i prossimi anni, in funzione dei progetti di apertura di nuove miniere**

Fonte dati di USGS, previsioni di BMI Research, Gennaio 2018

Come si può ben vedere dal grafico, le quantità estratte che si prevedono per il futuro saranno raddoppiate rispetto al 2017 in Argentina e più che centuplicate per il Cile. Sono trapelate notizie che indicano sia in fase di studio una zona dell'Afghanistan che potrebbe avere grandi potenzialità minerarie. In Europa invece sono stati scoperti corposi giacimenti nell'est della Repubblica Ceca e in Serbia. In quest'ultimo Paese è già in opera uno studio di fattibilità su una miniera nella regione dello Jadar, una casa di produzione britannica avrebbe

già investito in ricerche 90 milioni di Euro. Sembra quindi che oltre all'aumento di produzione delle miniere già esistenti ci sia molto movimento anche nella ricerca di nuovi giacimenti da sfruttare.

A causa degli alti margini di cui godono gli operatori storici, ai prezzi correnti e la loro ambiziosa capacità di espansione dei programmi, i maggiori produttori sono in grado di catturare la maggior parte della crescita dell'offerta negli anni a venire, secondo l'analista di Bloomberg Intelligence Christopher Perella.

Una problematica a cui si dovrà far fronte sarà la qualità del litio estratto, infatti per le batterie ad esempio, serve un prodotto a basso contenuto di impurità, questa sarà quindi una sfida importante per i nuovi produttori, visto che il mercato del litio verrà sicuramente trainato da quello delle batterie.

Albemarle, in particolare, è in procinto di ottenere l'approvazione per una proposta presentata nel settembre 2017, che vedrebbe l'azienda aumentare la produzione di litio cileno a 125.000 t entro il 2020. La SQM, in quanto il maggiore produttore del Cile, prevede di aumentare la capacità di carbonato di litio a 63.000 t da 48.000 t attuali. La notizia ha provocato forti vendite sui titoli del settore. SQM ha inoltre ottenuto di poter produrre fino a 216.000 tonnellate l'anno di carbonato di litio nel Salar de Atacama e di poter lavorare con la statale Codelco nello sviluppo del deposito di Maricunga, purché riservi parte della produzione al mercato domestico. «I volumi addizionali di SQM non dovrebbero impattare il mercato fino al 2020 ma potrebbe esserci un impatto sul sentiment», afferma Deutsche Bank. La banca ritiene che domanda e offerta di litio torneranno comunque in equilibrio già a fine 2018.

Secondo gli analisti della stessa banca, la domanda di litio salirà a 534.000 tonnellate nel 2025, il 70% della quale sarà dovuta alla produzione di batterie.

McKinsey & Co. stima che in uno scenario base, la crescente adozione di veicoli elettrici e la necessità di batterie EV con densità di energia più elevate, vedrà aumentare la richiesta di litio più di tre volte tra il 2017 e il 2025, raggiungendo un livello di 669.000 t di LCE (76% del quale legato al settore delle batterie) per poi arrivare all'incirca a 1,3 milioni di tonnellate nel 2030. In quest'anno, in uno scenario di penetrazione di diffusione dei veicoli elettrici più aggressivo, la domanda di litio potrebbe arrivare addirittura a circa 1,9 milioni di tonnellate.

Secondo quanto riportato in un rapporto dell'Unione Europea del 2018 relativo alle applicazioni delle materie prime nel settore delle batterie, nel 2025 si stima che la sola domanda di veicoli elettrici possa utilizzare 200.000 tonnellate di LCE, all'incirca l'attuale fornitura globale di LCE.

Wood Mackenzie si aspetta che la domanda di litio cresca a 330.000 tonnellate di LCE nel 2020 e 405.000 nel 2022, determinando un aumento dell'offerta. Tuttavia per gli analisti di questa società ci vorrà del tempo perché questa nuova capacità si materializzi come sostanze chimiche per batterie. Pertanto, la Wood Mackenzie prevede livelli di prezzo relativamente elevati nel 2018. Tuttavia, per il 2019 e oltre, l'offerta si suppone inizierà a superare la domanda in modo più aggressivo e i livelli dei prezzi diminuiranno a loro volta. La società di consulenza prevede che i prezzi scenderanno a meno di 9.000 dollari a tonnellata nel 2019 e in seguito arriveranno ad un livello in media di 6.500 dollari entro il 2022.

Secondo gli analisti di BofA, l'offerta di litio potrebbe raggiungere le 815.000 tonnellate entro il 2025, superando l'incremento della domanda durante tale periodo. L'espansione della produzione potrebbe far calare i prezzi del carbonato di litio a 10.000 dollari a tonnellata.

L'ultimo rapporto di Morgan Stanley del 2018, ritiene che la crescente domanda proveniente dal settore delle auto elettriche sarà insufficiente a compensare l'aumento dell'offerta dal Cile nei prossimi anni. Secondo la banca, i nuovi progetti per le miniere di litio e le espansioni pianificate dai maggiori produttori in Cile minacciano di aggiungere entro il 2025, circa 500.000 tonnellate all'anno di LCE alla attuale fornitura globale, di circa 220 mila tonnellate. Gli analisti della società ritengono che il 2018 sarà l'ultimo anno di un deficit globale del litio, in quanto prevedono significativi avanzi dal 2019 in poi. Un surplus potrebbe essere evitato solo se la quota di auto elettriche sul totale delle immatricolazioni globali salisse dal 2% al 31% entro il 2025. La banca lo esclude ed è convinta che il prezzo del carbonato di litio scenderà a meno di 9.000 dollari a tonnellata nel 2019, 7.332 entro il 2021 e quindi scivolerà verso il suo costo marginale di produzione a 7.030 dollari a tonnellata in seguito.

Secondo il Financial Times, se i veicoli elettrici raggiungeranno il 5% delle vendite di automobili e autocarri entro il 2025 i prezzi del litio scenderanno a 6.900 dollari. Tuttavia, seguendo un'altra ipotesi, se si arriverà al 12% delle vendite, i prezzi del litio si stabilizzeranno a 13.600 dollari a tonnellata.

Di seguito un una sintesi di alcune delle principali aspettative legate alla domanda e ai prezzi del litio (tabella 1, 2).

**Tabella 1: Aspettative future sulla domanda del litio**

Fonte	Commodity	tonnellate LCE																		
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030					
Deutsche Bank	Lithium carbonate equivalent													534.000						
European Union	Lithium carbonate equivalent for EV battery													200.000						
Mckinsey & Co.	Lithium carbonate equivalent													472.000					1.300.000-1.900.000	
	Lithium carbonate equivalent for battery													509.000						
Wood Mackenzie	Lithium carbonate equivalent				130.000			405.000												
BofA	Lithium carbonate equivalent													815.000						

**Tabella 2: Aspettative future sui prezzi del litio**

Fonte	Commodity	Prezzi (\$/t)									
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Futuro
Benchmark Mineral Intelligence (1)	Lithium Carbonate	13.000	13.000	13.000	13.000						
	Lithium Hydroxide	18.000	18.000	18.000	18.000						
Benchmark Mineral Intelligence (2)	Lithium Hydroxide, China EXW, 55% min LiOH		15.500								
	Lithium Carbonate, 99% Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , EXW China, Technical Grade		11.500								
	Lithium Carbonate, EXW China, Battery Grade, 99.0%		12.000-14.000								
	Lithium Carbonate (weighted average)		14.350								
	Lithium Hydroxide (weighted average)		18.588								
Fastmarkets	Spodumene Concentrate (6% Li <sub>2</sub> O)		890								
	Lithium Metal		150.000								
Fastmarkets	Lithium Carbonate, min 99.5% Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , battery grade, spot price CIF China		14.000-16.000								
	Lithium Hydroxide monohydrate, min 56.5% LiOH.H <sub>2</sub> O, battery grade, spot		18.000-19.000								
Morgan Stanley	Lithium Carbonate		13.375				7.332				7.030
Wood Mackenzie	Lithium Carbonate		17.509	8.911	7.364	6.778	6.489				
	Spodumene Concentrate		575	332	345	469	523				
BofA	Lithium Carbonate										10.000
Financial Times	Lithium Carbonate										6.900-13.600

**BOX: Il mercato finanziario**

Escludendo la possibilità di acquistare il litio fisicamente, vi sono tre modi per investire nel litio:

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

E' possibile acquistare azioni delle singole aziende operanti nell'industria del litio. Ci sono tuttavia alcune importanti fattori da prendere in considerazione:

- investire sulle azioni di queste aziende che producono litio rappresenta in qualche modo una sorta di investimento in leva sullo stesso litio<sup>4</sup>;
- molte di queste aziende non producono soltanto litio (quindi il prezzo delle loro azioni sarà influenzato anche dall'andamento delle quotazioni degli altri metalli prodotti, oltre che da una serie di fattori legati alla produzione di quella specifica miniera);
- un'ampia parte delle aziende che producono litio sono in Australia, Sudamerica o Cina, quindi le azioni di queste aziende sono spesso quotate nei listini locali (o quantomeno non in Europa), quindi per questa particolare modalità di investimento sul litio risulta opportuno coprirsi dal rischio di cambio.

Il vantaggio nell'acquistare azioni di aziende è la massima autonomia nella scelta delle società su cui investire, mentre lo svantaggio è la necessità di conoscere profondamente il mercato per capire quali sono le migliori aziende su cui puntare.

Nel corso del 2017, Sociedad Química Y Minera de Chile S.A ha guadagnato oltre il 100% in borsa, ma anche gli altri grandi nomi del settore come FMC Corporation, ed Albemarle hanno mostrato progressi importanti (superiori al 50%) grazie alla crescente domanda di litio. In termini di capitalizzazione di mercato, ad Agosto 2018, SQM. è la più grande con un valore di 12,94 miliardi di dollari, seguita dalla FMC con valore di 11,56 miliardi di dollari; poi Albemarle con 10,37 miliardi di dollari; Tianqi Lithium con 6,68 miliardi di dollari; infine Jiangxi Ganfeng Lithium con una capitalizzazione di 5,15 miliardi di dollari.

Gli exchange traded funds sono una particolare tipologia di fondo d'investimento. Tra i più importanti legati al settore del litio troviamo il Global X Lithium & Battery Tech (figura 18). Questo fondo cerca di replicare l'andamento del Solactive Global Lithium Index (l'indice che indica le performance dell'industria del litio) investendo su titoli di 27 società operanti in tutto il ciclo del litio: dall'estrazione e raffinazione della materia prima fino alla produzione delle batterie. Benché oggi sia di piccole dimensioni, questo fondo include quattro importantissime società per quello che riguarda questo mercato come Panasonic, Samsung, LG e Tesla.

Prime 5 Regioni	%	Primi 5 Settori	%
Stati Uniti	46,50	Materie prime	61,64
Asia - Paesi Sviluppati	15,50	Tecnologia	25,78
America Latina e Centrale	9,45	Beni di consumo ciclici	12,33
Giappone	9,42	Beni industriali	0,25
Australasia	9,18		

Primi 5 Titoli	Settore	%
Albemarle Corp	Materie prime	18,44
FMC Corp	Materie prime	16,79
Sociedad Quimica Y Minera De Chi...	Materie prime	9,38
Tesla Inc	Beni di consumo ciclici	5,83
Samsung SDI Co Ltd	Tecnologia	4,84

**Figura 18: Composizione del Fondo Global X Lithium & Battery Tech ETF**

Fonte: "Global X Lithium & Battery Tech ETF | LIT", 2018

<sup>4</sup> Esempio: dato un prezzo di mercato per ipotesi di 100 dollari per tonnellata di litio ed un costo dell'azienda di 90 dollari per estrarre ogni tonnellata di litio, questa avrebbe un profitto di 10. Nel momento in cui il prezzo del litio salisse da 100 a 120 dollari a tonnellata (+20%), l'ipotetico guadagno per la nostra azienda produttrice di litio, salirebbe da 10 a 30 \$ (+300%), con ovvie ripercussioni sul prezzo dell'azione in questione.

Dopo rendimenti negativi nel 2013-2014-2015 e 2016 le cose sono nettamente cambiate nel 2017, quando questo ETF sul litio ha messo a segno un rally vicino al 50%, testimoniando il grande interesse dei mercati verso le aziende operanti nel business del litio.

Oltre agli ETF "di settore", come il Global X Lithium & Battery Tech, si può investire anche su gli ETF "di nazione", che si rivolgono esclusivamente a compagnie del litio operanti in una determinata nazione. Tra i migliori, ci sono gli ETF australiani e cileni.

Il vantaggio di investire in questi ETF è legato al fatto che, con un solo investimento, si entra in maniera notevole all'interno del settore. Lo svantaggio è che i rischi sono maggiori, proprio per questo motivo.

I CFD, cioè i contratti per differenza, sono strumenti derivati che possono essere acquistati tramite un broker di trading. Il vantaggio di questo modo di investire è che lo si può fare anche con somme minime (100 euro, ad esempio) e tenendo sotto controllo i rischi per quanto possibile. Altro vantaggio è che si può guadagnare sia se i prezzi del litio salgono, sia se scendono.

## 2.2 Il Cobalto

### 2.2.1 La value chain

Il cobalto (Co) in natura si trova in maniera molto diffusa, ma altrettanto dispersa. Tracce, infatti, di cobalto sono presenti in molte rocce emerse così come nel sottosuolo, ma in concentrazioni talmente basse da renderne impossibile lo sfruttamento in maniera diretta. Infatti in natura non viene estratto come materiale puro ma come prodotto secondario derivante dall'estrazione e raffinazione di metalli più abbondanti, quali rame e nickel. Le forme più comuni sono:

- cobaltite (CoAsS), il minerale più abbondante nel sottosuolo dell'Idaho negli USA e presente anche nelle miniere di argento in Canada,
- carrolite (CuCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub>), estratto nelle miniere a cielo aperto dello Repubblica Democratica del Congo (DRC),
- linneite (Co<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) con atomi di nichel o rame come costituzionali del Co, è presente soprattutto in Africa centro-meridionale (DRC, Zambia) nonché in alcune zone della valle del Mississippi negli Stati Uniti;
- heterogenite è formata da ossidi idrati di cobalto e rame dalle varie formule chimiche (CoO, Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, ....), costituisce la principale fonte di cobalto delle miniere congolesi.

Una volta estratti, i minerali vengono inviati agli impianti di raffinazione diffusi soprattutto in Cina e in Europa settentrionale (Norvegia, Germania, Francia, solo per citarne alcuni). Esistono perciò, in funzione dei diversi tipi di minerali estratti, vari metodi di raffinazione. Nella figura 19 è disegnato lo schema della value chain del cobalto, dall'esplorazione delle miniere fino alla raccolta e il riciclo. Vengono evidenziati in particolare i diversi processi per la raffinazione del metallo e nel blocco successivo i diversi campi di utilizzo.

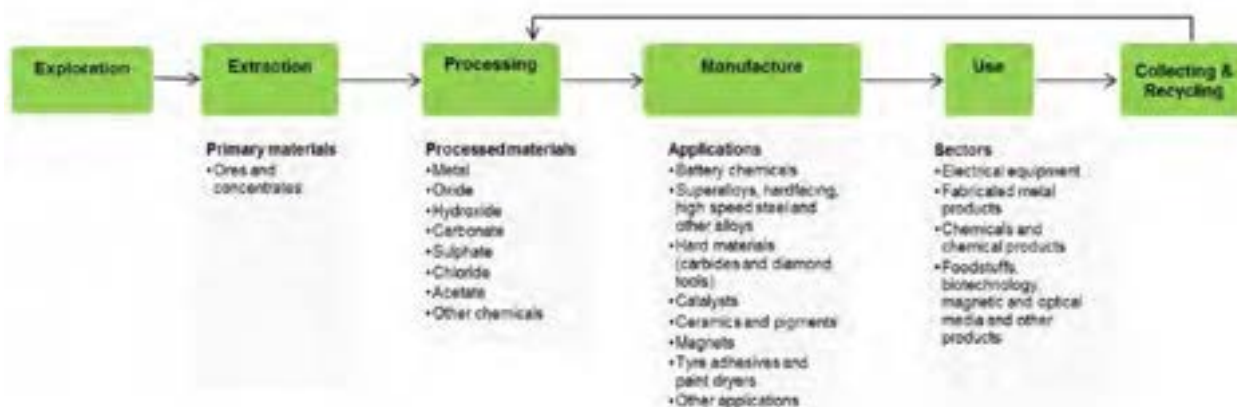


Figura 19: Value chain del cobalto<sup>1</sup>

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

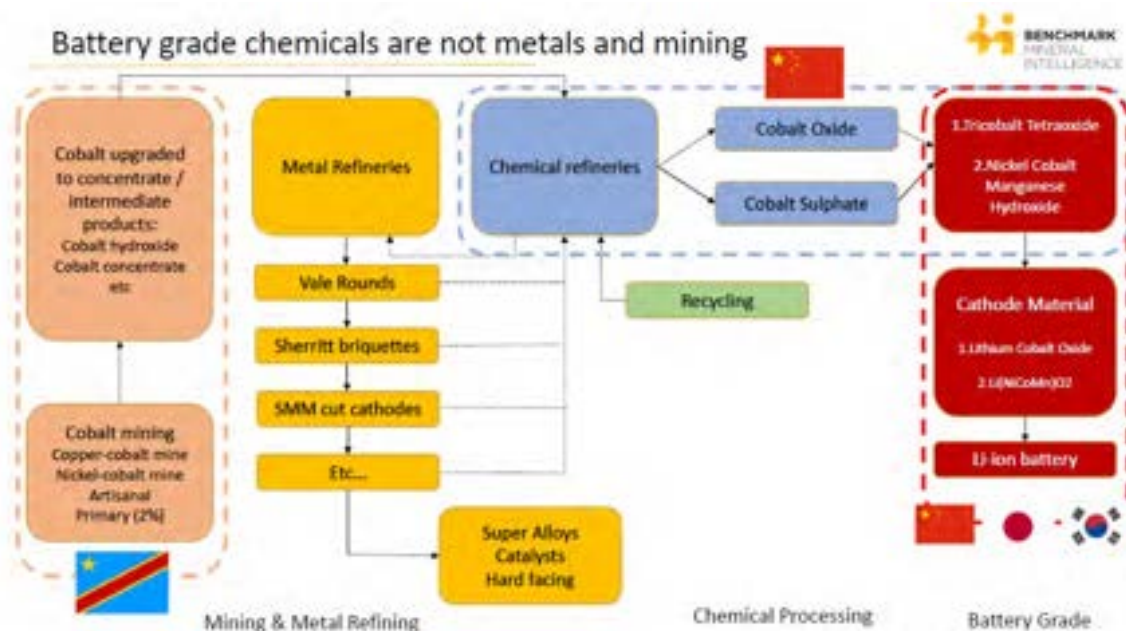
Il mercato del cobalto può essere segmentato in due categorie principali:

- il cobalto metallico che viene utilizzato per la produzione di superleghe ad alta temperatura, acciai inossidabili, protesi mediche, prodotti con rivestimento duro e altre applicazioni di nicchia. Normalmente viene venduto sotto forma di lingotto di cobalto o catodo di cobalto di purezza al 99,8% e 99,3% sul London Metal Exchange (LME), oppure valutato in base al rilevamento dei prezzi da un'ampia gamma di fonti<sup>5</sup>.
- le sostanze chimiche di cobalto che hanno molte applicazioni, ma il loro uso più importante è nella produzione di batterie agli ioni di litio.

Altri usi chiave includono la produzione di catalizzatori, pigmenti, polimeri e pneumatici.

Per quanto riguarda il mercato del cobalto è importante evidenziare che:

- come altri mercati (incluso il litio) la maggior parte degli affari è concordata su contratti a lungo termine, con un tonnellaggio relativamente piccolo acquistato e venduto sul mercato spot;
- le batterie al litio non contengono il metallo quotato al LME, quanto piuttosto le sostanze chimiche come l'ossido e il solfato di cobalto. Tuttavia, il fatto che il cobalto sotto forma metallica sia quotato in un mercato regolamentato come il LME, aggiunge una maggiore trasparenza sull'andamento dei prezzi, dal momento che le diverse forme di cobalto sono intrinsecamente legate;
- nonostante l'importanza crescente delle sostanze chimiche nel mercato del cobalto, attualmente non esiste un prezzo di riferimento ampiamente accettato per qualsiasi prodotto chimico ottenuto dalla raffinazione del cobalto;
- circa il 60% del cobalto raffinato è prodotto in Cina (vedi figura 20, blocchi azzurri);
- l'80% della produzione mondiale di prodotti chimici a base di cobalto, come l'ossido o il solfato, vengono prodotti dalla Cina, che importa la materia prima necessaria dalla Repubblica Democratica del Congo, un Paese ad altissima instabilità politica, in cui viene estratto circa il 60% del cobalto del mondo (vedi figura 20, blocchi rosa).



**Figura 20: La value chain del cobalto legata alla produzione delle batterie a ioni di litio**

Fonte: "Cobalt & Cathodes: How are materials evolving to deal with the cobalt conundrum. Benchmark World Tour – Australia", Sept 2018.

<sup>5</sup> Per molti anni i prezzi del cobalto erano disponibili solo dalla quotazione sul mercato libero del London Metal Bulletin. Il London Metal Exchange (LME) ha iniziato a negoziare il cobalto nel 2010.

Importante sottolineare che in alcune applicazioni, la sostituzione del cobalto comporterebbe una perdita delle prestazioni del prodotto, questo indica come sia rilevante dove sia localizzata la filiera di questo materiale. Comunque potenziali sostituti potrebbero essere ferriti di bario o di stronzio, leghe di ferro al neodimio e ferro o leghe di nichel-ferro nei magneti; cerio, ferro, piombo, manganese o vanadio nelle vernici; cobalto-ferro-rame o ferro-rame in utensili “diamantati”; rame-ferro-manganese per la polimerizzazione di resine di poliestere insature; ferro, ferro-cobalto-nichel, nichel, ceramica in materiali taglienti e resistenti all'usura; ferro-fosforo, manganese, nichel-cobalto-alluminio o nichel-cobalto-manganese in batterie agli ioni di litio; leghe o ceramiche a base di nichel nei motori a reazione; nichel in catalizzatori di petrolio; e rodio in catalizzatori.

In particolare nel settore delle batterie EV la completa sostituzione del cobalto risulta ancora molto difficile, nella figura 21 vengono mostrati alcuni utilizzi del cobalto come componente all'interno delle batterie con le rispettive quantità.



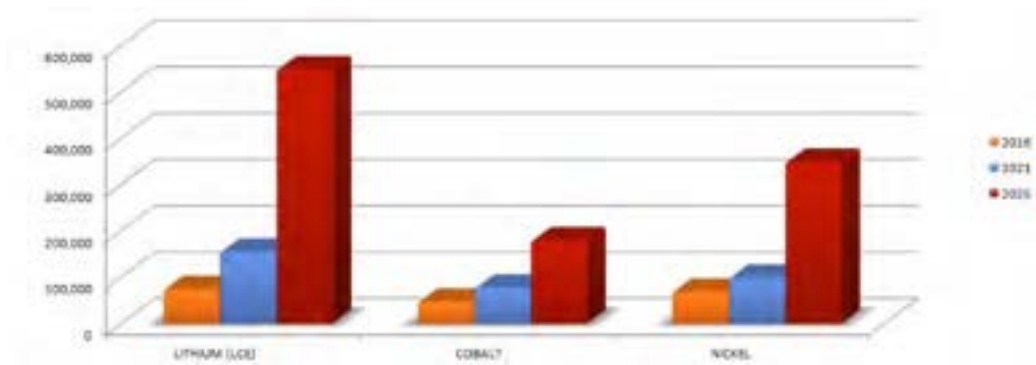
**Figura 21: Alcuni usi del cobalto nell'elettronica e nei veicoli elettrici con le rispettive quantità utilizzate**

Fonte: American Manganese Inc.

Il cobalto è un metallo essenziale per le batterie, è stato uno dei metalli con le migliori prestazioni dal 2016 e negli ultimi due anni ha quasi quadruplicato il prezzo, principalmente grazie al mercato delle auto elettriche emergente e all'elettronica personale che ha aumentato la domanda. 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 (il punto di fusione è a 1.495° C). Per questo motivo non è facile pensare ad una sua sostituzione, ma più probabile una diminuzione di questo materiale all'interno del catodo.

Nel 2017 il mercato globale del cobalto è stato all'incirca di 105.000 tonnellate. Attualmente, le batterie ricaricabili costituiscono più del 50% della domanda globale di cobalto su una varietà di applicazioni per batterie. Un aumento delle vendite di EV e una continua crescita dell'elettronica di consumo continueranno a far aumentare drasticamente la domanda di cobalto.

D'altra parte l'industria delle batterie del futuro è in gran parte focalizzata sul cambiamento dell'elettrochimica interna delle batterie a ioni di litio esistenti, per il miglioramento degli elettrodi e dell'elettrolita, al fine di ridurre i costi e migliorare le prestazioni. A causa dei vincoli di fornitura del cobalto, i produttori di batterie stanno studiando l'opportunità di ridurre il contenuto di cobalto nel catodo, ma non rimuoverlo interamente perché stabilizza la batteria. L'evoluzione delle batterie NMC è partita da il modello NMC-111 (dove 111 è la proporzione tra nichel, manganese e cobalto) a una NMC 622, in cui la proporzione è sbilanciata verso il nichel, materiale molto meno costoso e più facilmente reperibile. Al momento si stanno studiando le NMC-811 in cui si ha l'80% di nichel, il 10% di manganese e il 10% di cobalto, anche se i produttori dovranno affrontare le conseguenze di una minore stabilità termica e una minore longevità. Nella figura 22 si nota, in effetti, come le previsioni della richiesta di nichel e litio per il 2026 aumentano maggiormente rispetto a quella di cobalto.

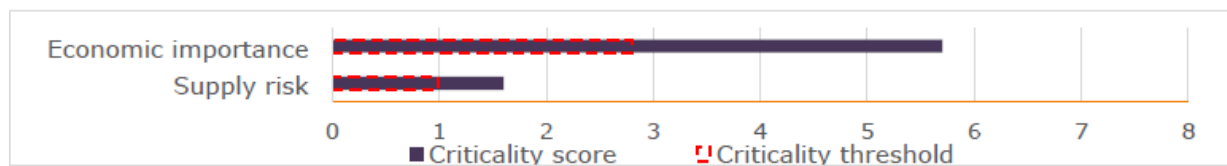


**Figura 22: Previsione della richiesta di litio, cobalto e nichel nel 2016, 2021 e 2026**

Fonte: "Metal recyclers prepare for electric car revolution", 17/11/2017

D'altra parte diminuire troppo la percentuale di cobalto aumentando quella di nickel porta ad una minor vita della batteria legata alla minore resistenza ai diversi cicli di ricarica. In base ad alcuni esperimenti, le batterie con l'aggiunta di cobalto durano sette volte di più, principio valido sia per le batterie degli smartphone, che per quelle dell'auto elettrica. Per questo motivo almeno per i prossimi 10 anni la presenza di cobalto nelle batterie per la trazione elettrica sarà sicura.

Per l'UE, come si nota in figura 23, il cobalto è stato classificato come una materia prima critica.



**Figura 23: Importanza economica e rischio di approvvigionamento del cobalto per l'UE**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

Il diagramma di Sankey semplificato per il cobalto nell'UE-28 di seguito (figura 24) mostra il livello di circolarità di questa materia prima critica in Europa. A differenza del litio, il flusso del riciclo del cobalto ha una sua importanza. Questo materiale ha un buon valore economico anche come materia prima seconda che può essere riutilizzata direttamente anche all'interno delle batterie stesse. La sua importanza come materia prima critica inoltre ha spinto l'Europa a costruire impianti di riciclo per poter mantenere questa risorsa a disposizione nei confini dell'UE.

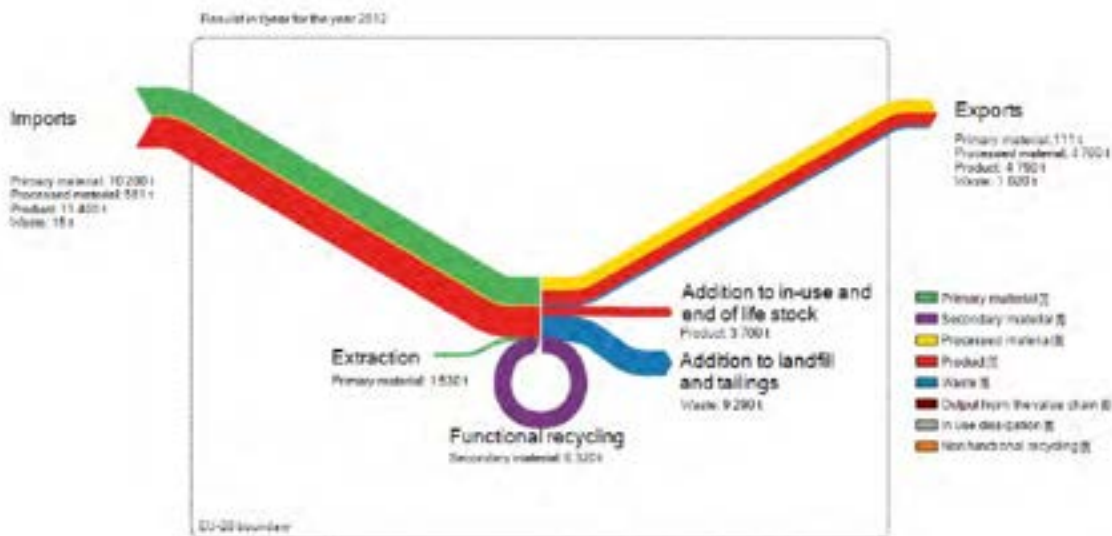


Figura 24: Diagramma di Sankey semplificato per cobalto nell'UE-28

Fonte: “Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials”, 2015

### 2.2.2 L’offerta

Il 98% del cobalto che arriva dalle miniere viene prodotto come sottoprodotto di rame o di nichel, costituito per il 66% da sottoprodotti di miniere di rame e per il 32% da sottoprodotti di miniere di nichel, solo in Marocco si ha una miniera di cobalto puro.

Il Congo è la principale fonte mondiale di cobalto estratto, fornendo oltre la metà della produzione mondiale. La risorse di cobalto si trovano principalmente in: rame stratiforme presente nei depositi in Congo e Zambia; depositi di laterite con nichel in Australia e nelle isole vicine a Cuba; infine in depositi magmatici di solfuro di nichel-rame in Australia, Canada, Russia e negli Stati Uniti. Nella Comunità Europea l’unico produttore è la Finlandia con un modesto 1% della produzione mondiale, come sottoprodotto della raffinazione del nichel e del rame. Più di 120 milioni di tonnellate di risorse di cobalto sono state identificate nelle miniere di manganese sul fondale degli oceani Atlantico, Indiano e Pacifico. Molti depositi di cobalto sono conosciuti (Stati Uniti, Canada, Australia), ma questi non sono stati coltivati in passato a causa di rischi economici e di lontananza. Il cobalto, che non è fortemente legato al nichel, di solito contiene livelli elevati di altre impurità come l'arsenico. Inoltre, sono necessari milioni (se non miliardi) di investimenti in infrastrutture per essere in grado di portare sul mercato la risorsa.

Nella figura 25 sono riportate le quantità di cobalto estratte nel 2016 e nel 2017 e le riserve valutate per ogni Paese.

	Mine production		Reserves <sup>2</sup>
	2016	2017*	
United States	690	650	23,000
Australia	5,500	5,000	~1,200,000
Canada	4,250	4,300	250,000
Congo (Kinshasa)	64,000	64,000	3,500,000
Cuba	4,200	4,200	500,000
Madagascar	3,800	3,800	150,000
New Caledonia <sup>3</sup>	3,390	2,800	—
Papua New Guinea	2,190	3,200	51,000
Philippines	4,100	4,000	280,000
Russia	5,500	5,600	250,000
South Africa	2,300	2,500	29,000
Zambia	3,000	2,900	270,000
Other countries	7,600	5,900	560,000
World total (rounded)	111,000	110,000	7,100,000

Figura 25: Produzione e riserve di cobalto nel mondo

Fonte: US Geology Survey “Mineral commodity summaries 2018”, 2018

Nel 2016 la produzione mondiale di miniere di cobalto è diminuita, principalmente a causa della minore produzione di nichel, anche nel 2017 c'è stato un lieve calo.

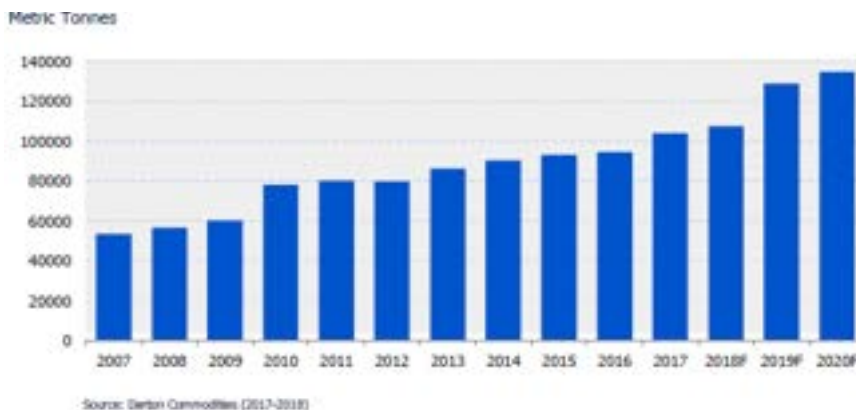
Come si vede nella figura 25 circa il 60 % della fornitura mondiale di cobalto, proviene dalla Repubblica Democratica del Congo, con quasi il 20 % estratto da minatori artigianali. A causa della mancanza di informazioni affidabili e della complessità della catena di approvvigionamento (figura 26), l'estrazione artigianale è in genere molto più difficile da tracciare rispetto alle fonti minerarie industriali tradizionali. Tuttavia, secondo CRU, questo è un meccanismo chiave nel mantenere il mercato del cobalto bilanciato durante i periodi di carenza di offerta. L'offerta mineraria artigianale ha mostrato un'enorme crescita negli ultimi anni per colmare il divario nella fornitura lasciata da progetti di rame e nichel e per rispondere al forte prezzo del cobalto, passando da appena 6.500 tonnellate nel 2016 a oltre 19.000 tonnellate nel 2017. Ciò ha contribuito al mantenimento del mercato relativamente equilibrato.



**Figura 26: Diagramma di flusso della catena di fornitura del cobalto proveniente dalle miniere artigianali**

Fonte: "This is What We Die For: Human Rights Abuses in the Democratic Republic of the Congo Power the Global Trade in Cobalt", 2016

Il cobalto viene tipicamente raffinato in metallo (polvere o mattonella) o chimico (idrossido o carbonato) dal produttore primario. La fornitura di cobalto raffinato è raddoppiata da circa 50.000 tonnellate/anno nel 2007 a oltre 100.000 tonnellate/anno nel 2017 e può continuare ad espandersi (figura 27), ma gli aspetti economici e geopolitici possono creare delle problematiche.

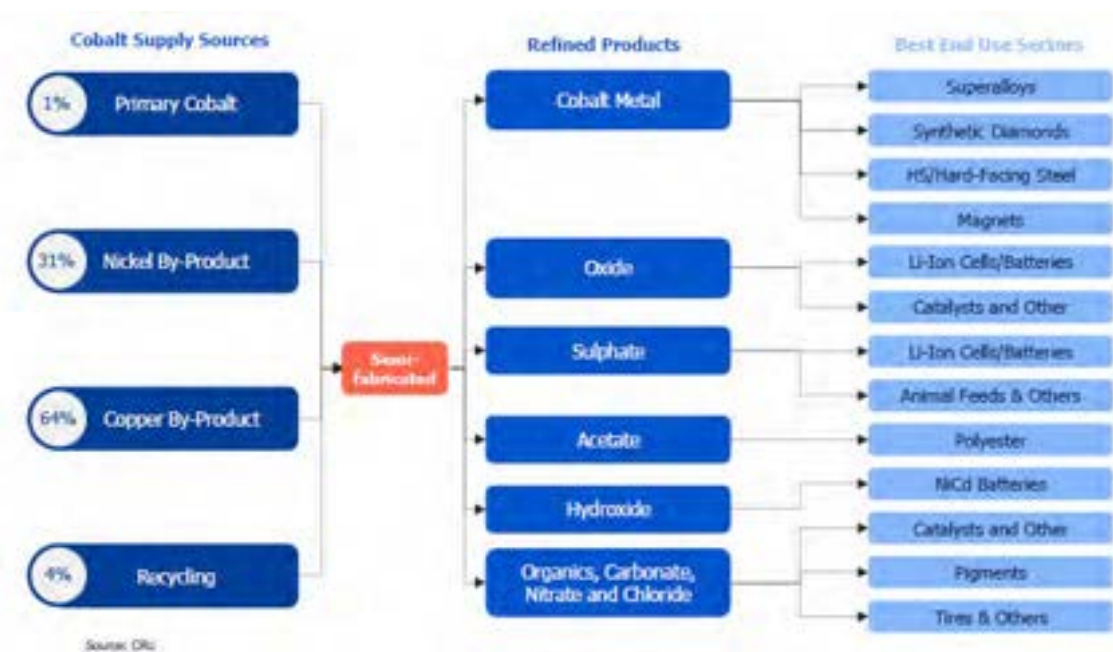


**Figura 27: Trend della produzione di cobalto raffinato**

Fonte: "Benchmark World Tour Asia Battery Technologies - the Path to Mass Adoption", 2018

Una volta estratto, qualsiasi forma abbia il minerale, deve essere raffinato (figura 28), i prodotti della raffinazione sono quelli indicati in figura: cobalto metallico, ossido, solfato, acetato, idrossido, ecc. Ognuno dei prodotti ha poi un utilizzo specifico, nelle batterie per esempio può essere utilizzato ossido di cobalto o solfato di cobalto a seconda del tipo di batteria. La maggior parte del cobalto viene inviato in Cina, dove viene trasformato nei prodotti chimici utilizzati nelle batterie ricaricabili.

La Cina è il principale produttore mondiale di cobalto raffinato, gran parte della produzione cinese proviene da miniere del Congo, in parte parzialmente raffinato; anche i rottami contenenti cobalto contribuiscono alla fornitura della Cina. 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. La maggior parte del materiale necessario all'Europa è comunque importato.



**Figura 28: Fasi della filiera del cobalto**

Fonte: "Cobalt27 Corporate Presentation October 2018. Benchmark World Tour Asia Battery Technologies - the Path to Mass Adoption", 2018

La Cina inizialmente acquista il cobalto in forma grezza di solfuro e ossido, prima di perfezionarlo per isolare il cobalto da utilizzare nel processo di fabbricazione dei catodi per le batterie che alimentano gli smartphone e per i veicoli elettrici. Oggi la Cina produce oltre l'80% del cobalto raffinato del mondo per l'utilizzo all'interno delle batterie.

### 2.2.2.1 Problematiche dell'offerta

Un prima problematica nel mercato del cobalto è l'insicurezza di approvvigionamento, dal momento che il 97% del cobalto viene estratto come sottoprodotto di miniere di rame e di nichel, rendendo il cobalto vulnerabile alle fluttuazioni di questi mercati. La classificazione del cobalto come "sottoprodotto" è imprecisa. Tradizionalmente il mercato del cobalto, essendo un sottoprodotto dell'estrazione di rame e nichel, rende l'offerta naturalmente disconnessa dalla domanda, rendendo il cobalto più suscettibile rispetto ad altre materie prime. Tuttavia, alcune analisi, come quella di CRU, suggeriscono che questa ipotesi non è completamente vera. In tempi di scarsità dell'offerta, il settore minerario artigianale del Congo può aumentare rapidamente la produzione e agire da "tonnellaggio" del mercato, attenuando l'effetto della riduzione della produzione in altri settori minerari. Questo è uno dei fattori che contribuisce a far credere che il mercato del cobalto non dovrà affrontare disavanzi su vasta scala nell'immediato futuro.

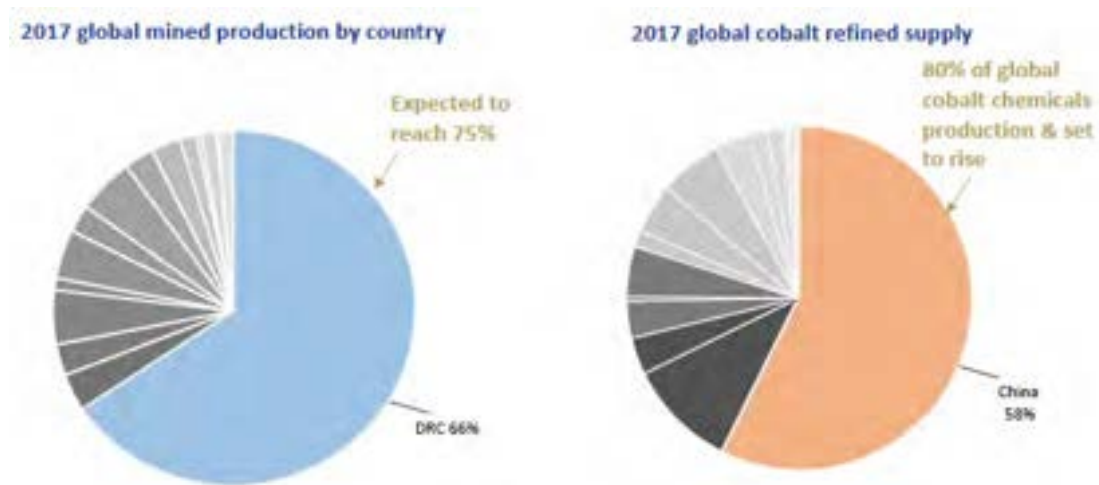
Un'altra problematica nasce dal fatto che la maggior parte della produzione mondiale di cobalto è ottenuta dalla DRC, Paese instabile politicamente, dove la violenza politica, i diritti umani e il lavoro minorile rendono incerta la produzione del minerale nonché pone problemi etici. Nel 2016 un'indagine di Amnesty International ha rivelato come le batterie agli ioni di litio potrebbero essere collegate al lavoro minorile. Il Paese ha una lunga storia di sfruttamento estero delle sue risorse naturali ed è ora un punto caldo per le compagnie straniere per estrarre minerali di alto valore. Come già evidenziato, circa il 20% delle esportazioni di cobalto congolese provengono da miniere "artigianali", la maggior parte delle quali non regolamentate e talvolta gestite illegalmente. Nell'indagine è stato rivelato lo sfruttamento del lavoro per 7 dollari al giorno, ma anche il lavoro minorile impiegato all'interno di queste miniere, inoltre non viene applicata nessuna norma di sicurezza. Secondo una stima dell'UNICEF del 2014, lavorano in queste miniere circa 40.000 bambini., che a volte lavorano fino a 24 ore al giorno, esposti a micro polveri che provocano gravi malattie polmonari, trasportando sacchi del peso tra i 20 e i 40 kg di pietre. Alcuni lavorano in cunicoli sotterranei, altri in ruscelli o laghi dove lavano le pietre estratte. Inoltre l'attività mineraria espone le comunità locali a livelli di metalli tossici che sembrano essere collegati a disturbi che includono problemi respiratori e difetti alla nascita, dicono i funzionari sanitari del Paese. Questo tema è stato molto dibattuto tanto da far stipulare delle linee guida etiche a molte industrie che hanno necessità di approvvigionarsi di cobalto per i loro prodotti. Un problema serio quest'ultimo, che si sta cercando di fronteggiare anche attraverso la tecnologia *blockchain*: con un progetto pilota per tracciare le forniture, chiamato "Better Cobalt".

Oltre alle problematiche etiche si inseriscono anche problematiche di mercato, il presidente della Repubblica del Congo a Marzo di quest'anno ha dichiarato di voler aumentare le royalties sull'estrazione dei metalli che dovrebbero salire dal 2 al 10% e tassare i profitti delle compagnie minerarie. L'aumento avverrà a fronte del fatto che il governo classificherà il cobalto come materiale "strategico". Ci sarà inoltre un tasso del 50% sui profitti extra, generati quando il prezzo di una materia prima sale di oltre il 25% rispetto al periodo in cui è stata concessa la licenza. Infine viene abolito il periodo di grazia di 10 anni, in cui i partner stranieri vengono esonerati da qualunque variazione delle normative, fiscali e non. Perciò, se Kinshasa aumenterà le tasse sui metalli, il prezzo di quest'ultimo sarà destinato a crescere.

Tra le problematiche del mercato del cobalto rientra anche l'argomento già affrontato della predominanza della Cina come raffinatore del minerale. La maggior parte della raffinazione di cobalto avviene in Cina, dove i concentrati vengono importati principalmente dalla DRC, trasformati in prodotti chimici e intermedi e poi venduti in vari settori. I produttori di sostanze chimiche senza la capacità di processare concentrati di cobalto sono costretti ad acquistare i lingotti di cobalto al 99,3% e quindi utilizzare tecniche di dissoluzione con l'acido per produrre forme intermedie di cobalto. Importante sottolineare che i quattro quinti dei solfati e degli ossidi di cobalto usati per fabbricare gli importantissimi catodi per le batterie agli ioni di litio, sono raffinati in questo Paese. Gran parte del restante 20% viene elaborato in Finlandia, ma la materia prima che raffinano, proveniente da una miniera in Congo, è comunque di proprietà di maggioranza di un'azienda cinese (China Molybdenum).

Nella figura 29 è ben evidenziato come la produzione è chiaramente sbilanciata, avendo come attore principale un unico Paese, il Congo, ma anche la catena della raffinazione è saldamente nelle mani di un unico

protagonista, la Cina . Quando i mercati si basano su pochi attori sono sicuramente più vulnerabili alle incertezze politiche e a rischi di imposizioni di dazi doganali.



**Figura 29: Sulla sinistra: produzione globale nel 2017 di cobalto e previsione. Sulla destra: catena della raffinazione nel 2017 e previsione**

Fonte: "Creating a vertically integrated north american cobalt company", September 12, 2018

Nel 2015 e nel 2016, la Cina ha acquistato cobalto per le scorte, poiché è anche il principale consumatore mondiale, con quasi l'80% del suo consumo utilizzato dall'industria delle batterie ricaricabili. Questo predominio cinese dei materiali catodici potrebbe porre la Cina come maggior produttore di batterie, con quote molto più elevate di quelle attuali.

**Tabella 3: 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, questo lo rende vulnerabile alle fluttuazioni di questi mercati
<b>Concentrazione geografica</b>	Il Congo: <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> La Cina: <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 congolese utilizzato lavoro minorile e non ha nessuna attenzione alla sicurezza dei lavoratori

### 2.2.2.2 I player

Nel 2017 il leader del mercato in termini di tonnellate di cobalto prodotte è stata la Glencore con una produzione di 27.400 t. La China Molybdenum (parzialmente posseduta dal governo cinese) è stato il secondo maggiore produttore con una produzione di cobalto di 16.419 t, seguito poi dalla Norlisk e dalla Vale con una produzione di circa 5.800 tonnellate ciascuna (figura 30).



**Figura 30: I migliori produttori di cobalto del 2017 (kt)**

Fonte: "The Battery Revolution. Benchmark World Tour 2018", UBS. September 2018.

La maggior parte dell'estrazione di cobalto risulta quindi essere nelle mani della svizzera Glencore, che controlla miniere in Congo, Australia e Canada. L'azienda prevede di aumentare la sua produzione dalle 27.000 tonnellate ottenute nel 2017 a 38.000 del 2018, per poi arrivare a 63.000 nel 2020, cioè più della metà del fabbisogno mondiale stimato per quella data.

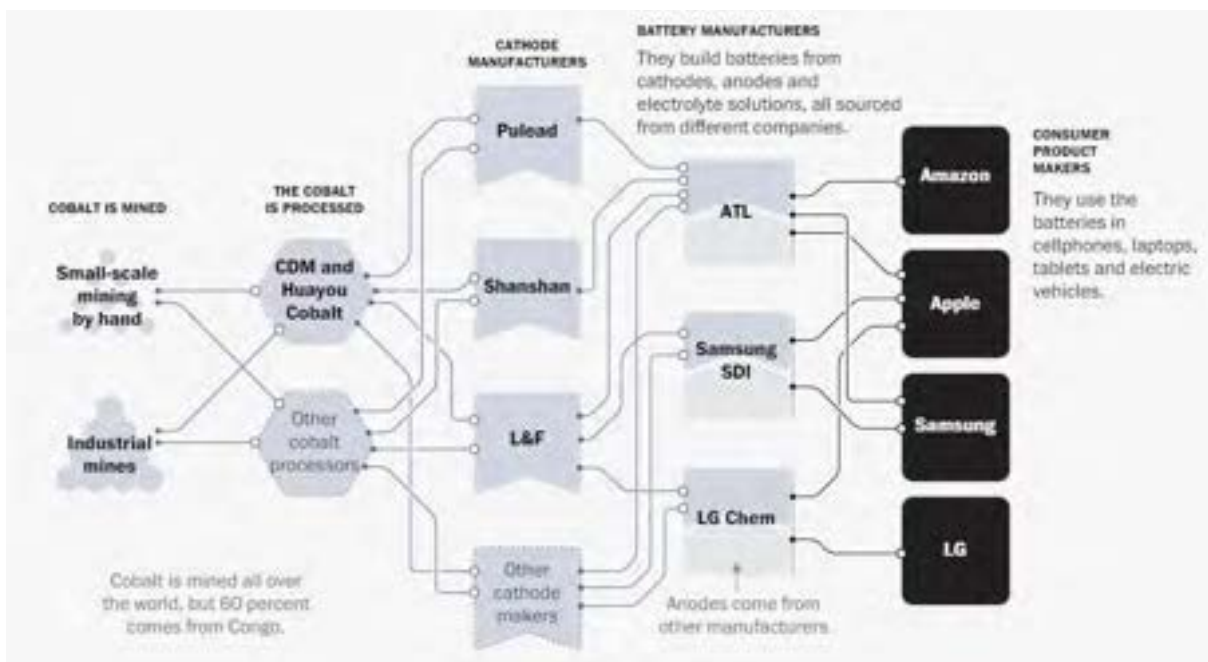
È interessante rilevare che il maggiore cliente di Glencore è da molto tempo la Cina, che si è specializzata nella raffinazione del cobalto. I legami tra la Glencore e la Cina sono diventati così stretti, che una sola società cinese, la Gem, produttore e riciclatore di batterie con sede a Shenzhen (hub cinese di nuove tecnologie), ha siglato quest'anno un accordo per l'acquisto di 52.000 t di cobalto in tre anni (13.800 t di cobalto nel 2018 - circa il 12% della produzione globale attesa - 18.000 nel 2019 e 21.000 nel 2020), circa la metà di quanto è stato estratto nel 2017 in tutte le miniere del mondo.

La Gem è tra i primi fornitori del gigante delle batterie Contemporary Amperex Technology (Catl), gruppo cinese nato solo nel 2011, come spin-off della giapponese Atl, ma già cresciuto al punto da potersi vantare di essere il maggior produttore di batterie a ioni di litio del pianeta. La Catl afferma di aver venduto accumulatori per 12 GWh l'anno scorso, contro i 10 GWh di Panasonic, socia della Gigafactory di Tesla. Questa azienda annovera tra i suoi clienti, tra l'altro, anche Volkswagen, una delle case automobilistiche occidentali più attive nella conversione all'elettrico. Tra i suoi clienti nel mercato interno cinese figurano la SAIC Motor, la BAIC Group, la Geely, la Dongfeng Motor e la Changan Auto.

È importante sottolineare che 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), agli impianti di lavorazione del metallo, fino alle grandi fabbriche che producono batterie per EV e le vendono nel resto del mondo.

Per quanto riguarda l'UE, il cobalto raffinato viene prodotto principalmente dalla Freeport Cobalt in Finlandia (13% della produzione globale), dalla Umicore in Belgio (5%) e dalla Eramet in Francia (<1%) e piccole quantità sono prodotte anche in Repubblica Ceca, Germania, Italia, Irlanda, Paesi Bassi, Portogallo, Spagna e Regno Unito.

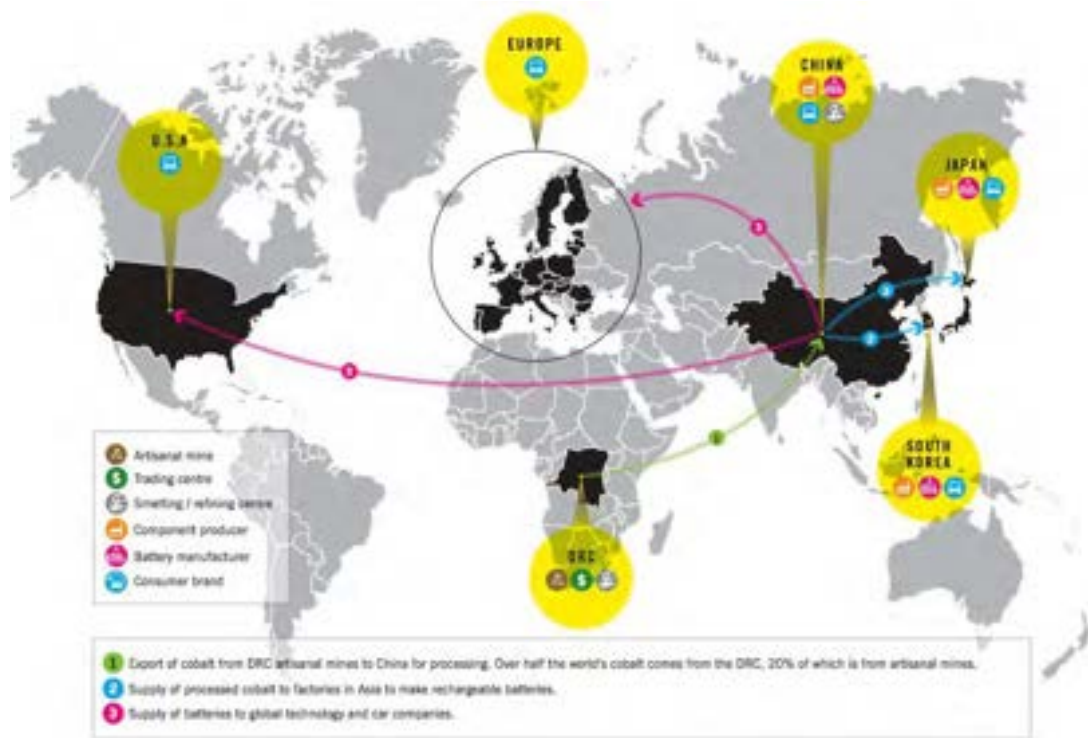
È rilevante sottolineare che l'industria delle batterie agli ioni di litio ha una catena di approvvigionamento enormemente complicata. Ogni azienda di consumo fa affari con più fornitori e i loro fornitori a loro volta acquistano da più fornitori. La figura di seguito (figura 31) mostra alcune delle connessioni all'interno del settore.



**Figura 31: Alcune delle connessioni nella catena di approvvigionamento del cobalto per la fornitura delle batterie**

Fonte: "The Cobalt Pipeline", September 30, 2016.

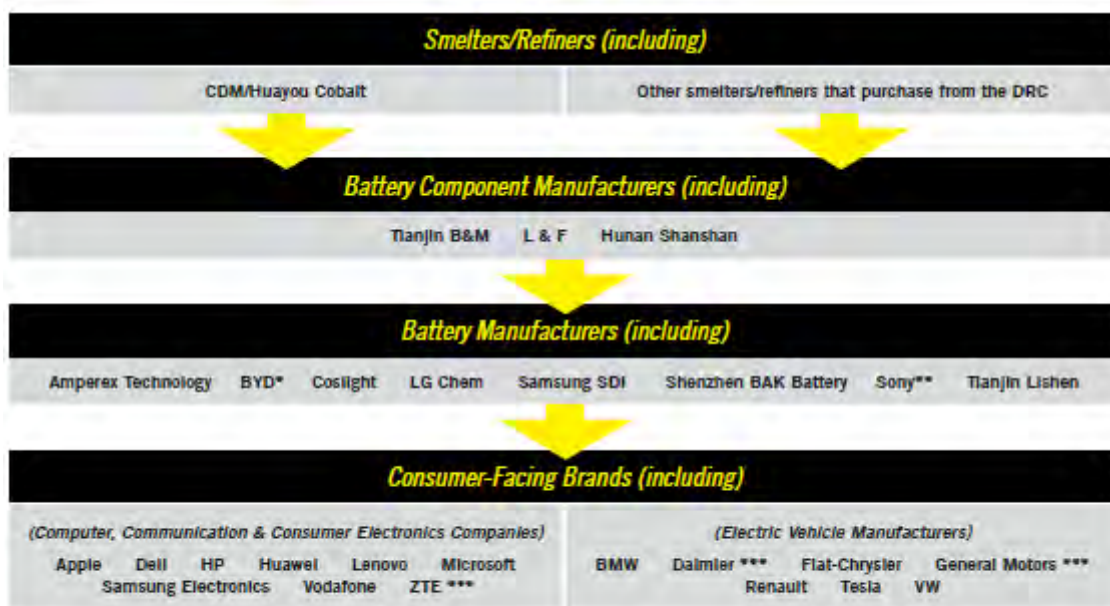
Negli ultimi anni si è provato sempre più a tracciare la catena di approvvigionamenti del cobalto. E' stata così scoperta l'importanza che ha l'industria mineraria artigianale congolese in questa filiera. A tal riguardo, il cobalto artigianale è solitamente più economico del prodotto proveniente dalle miniere industriali, in quanto le aziende sottopagano gli stipendi dei minatori e non devono finanziare le operazioni di una miniera su larga scala. In tale contesto, la Congo Dongfang Mining (CDM), una consociata della cinese Zhejiang Huayou Cobalt, è di gran lunga il principale esportatore di cobalto artigianale, secondo gli analisti e l'azienda stessa. Questa società è salita alla ribalta nel 2016, grazie al report di Amnesty International, in cui veniva messo in evidenza lo stretto legame tra il lavoro minorile e catene di approvvigionamento di cobalto per la produzione delle batterie delle principali società elettriche ed elettroniche. Amnesty International, con questo rapporto, ha scoperto che i commercianti acquistano il metallo in varie località della DRC, per poi rivenderlo alla CDM che lo spedisce alla sua società madre, Huayou, in Cina, per la raffinazione. Il cobalto raffinato viene poi venduto ai produttori di componenti di batterie cinesi e sudcoreani. Successivamente, infine, tali componenti vengono acquistati dai produttori di batterie che riforniscono tutte le aziende dell'high tech e del settore automobilistico (nella figura 32 sono schematizzati i diversi flussi di materiali descritti provenienti dalle miniere artigianali).



**Figura 32: Esportazioni dalle miniere "artigianali" verso il resto del mondo**

Fonte: "This is What We Die For: Human Rights Abuses in the Democratic Republic of the Congo Power the Global Trade in Cobalt", 2016

Aziende come Apple, Microsoft, Vodafone, Samsung, GM, Renault-Nissan, Fiat Chrysler, Volkswagen, Daimler e Tesla non sono in grado di escludere totalmente che nella loro catena di approvvigionamento ci sia cobalto proveniente dai bambini-minatori (nella figura 33 si vedono schematizzati i passaggi tramite le diverse società afferenti alla catena del valore).



\*BYD is also an electric vehicle manufacturer

\*\*In September 2017, Sony completed the transfer of its battery cell business to Murata Manufacturing Co., Ltd. Group and is also a computer, communication and consumer electronics company.

\*\*\*Indicates companies which deny a connection to this potential supply chain and/or cobalt originating in the DRC.

**Figura 33: La catena di approvvigionamento del cobalto dalla DRC**

Fonte: "Time to Recharge", 2017

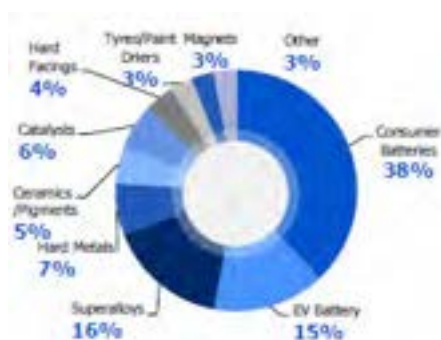
Nel 2017, Amnesty International ha rilasciato un nuovo rapporto sulla questione, in cui rileva che dopo quasi due anni dalle prime rivelazioni nessuna delle 29 compagnie presenti nel rapporto, compresi i principali produttori di auto elettriche (Bmw, Daimler AG, Fiat-Chrysler, General Motors, Volkswagen, Renault e la Tesla), stia mantenendo una giusta condotta sui diritti umani rispetto alla propria fornitura di cobalto in linea con gli standard internazionali. La Zhejiang Huayou Cobalt Ltd si sta muovendo nella giusta direzione e sta dimostrando ai suoi competitor che è possibile rafforzare una linea etica in un breve lasso di tempo, ma c'è ancora un significativo margine di miglioramento. Tra le case automobilistiche, il rapporto afferma che BMW ha apportato i maggiori miglioramenti, mentre Renault e Daimler sono ancora indietro.

Nonostante possa stupire il fatto che giganti del calibro di Apple e Samsung non siano in grado di respingere le accuse mosse da Amnesty International, è opportuno rilevare che controllare la catena delle forniture è un compito assai difficile, nonostante gli sforzi che le diverse società possono mettere in campo per evitare i cosiddetti conflict minerals, minerali provenienti da zone di guerra o da aree del pianeta dove le violenze sulla popolazione sono sistematiche.

A tal proposito, il London Metal Exchange potrebbe vietare in futuro alle aziende di vendere cobalto e altri metalli se non venissero rispettati gli standard di approvvigionamento responsabili. La LME afferma che si sta impegnando a facilitare l'implementazione di standard riconosciuti di approvvigionamento responsabile per i produttori quotati nel suo mercato e prevede di fornire ulteriori orientamenti su questo argomento nei prossimi mesi. È importante evidenziare che attualmente non esiste uno standard unico per tutte le catene di approvvigionamento minerario responsabile: l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico ha una framework in cinque fasi e il Cobalt Institute sta sviluppando dei propri standard.

### 2.2.3 La domanda

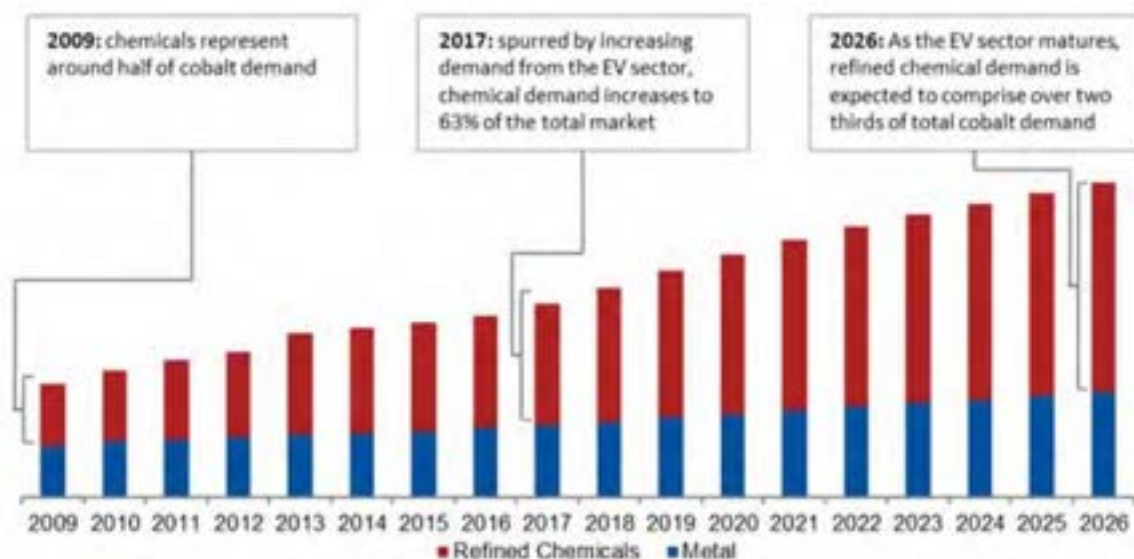
Nel 2017 la domanda mondiale di cobalto è stata all'incirca di 105.000 t. Circa la metà del consumo globale di cobalto è stato realizzato nel settore delle batterie ricaricabili a ioni di litio (era il 20% nel 2006); il 16% in quello delle superleghe; e la restante parte nei settori dei magneti, metalli duri, pigmenti, catalizzatori e additivi agricoli/alimentari (figura 34).



**Figura 34: Domanda di cobalto suddivisa per settori**  
 Fonte: Cobalt27 Corporate Presentation October 2018.

È interessante evidenziare come negli ultimi anni si sia determinato un graduale spostamento della domanda di cobalto. Il cobalto metallico, utilizzato nella fabbricazione di superleghe per motori a reazione, pale di turbine e altri prodotti, è stato tradizionalmente la parte più importante del mercato del cobalto. Tuttavia, negli ultimi dieci anni i prodotti chimici del cobalto, come il solfato di cobalto e l'ossido di cobalto, hanno eclissato quello metallico in termini di domanda totale, a causa principalmente della standardizzazione delle batterie agli ioni di litio attraverso l'elettronica di consumo e in particolare nel mercato dei veicoli elettrici.

Secondo la CRU, se nel 2009 le sostanze chimiche rappresentavano il 55% della domanda totale di cobalto raffinato (parte rossa dell'istogramma della figura 35), mentre la restante parte della domanda era costituita dal cobalto metallico (parte blu), nel 2017 tali sostanze hanno rappresentato il 63% della domanda.



**Figura 35: Domanda di cobalto suddivisa tra metallo e sostanze chimiche raffinate**

Fonte: "Cobalt shifts from metal to chemical market", 08 September 2017

A livello mondiale, la Cina è stata il principale consumatore di cobalto negli ultimi anni rappresentando circa il 44% del consumo globale, con quasi l'80% del suo consumo utilizzato dall'industria delle batterie ricaricabili.

Il consumo dell'UE, per quanto riguarda il cobalto estratto, è stato di circa 1.876 tonnellate all'anno, in media nel periodo 2010-2014. Di queste, 1.233 tonnellate all'anno (in media nel periodo 2010-2014) provenivano dall'UE e le rimanenti quasi 642 tonnellate sono state importate al di fuori dell'UE-28.

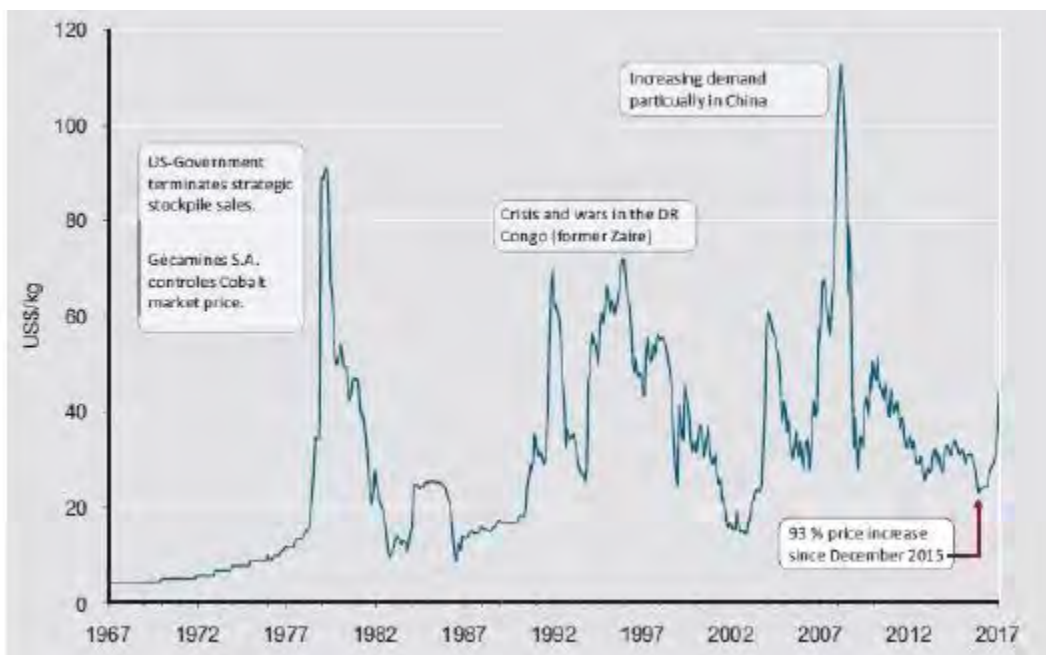
Nello stesso periodo nell'UE, i più importanti usi finali per il cobalto sono stati, per:

- 42 %, i prodotti chimici per batterie;
- 23%, le superleghe, acciaio e altre leghe;
- 10 %, come indurente per alcuni materiali (carbides/diamond drills).

In termini di valore aggiunto, nel 2013 i settori più importanti, sono stati quelle delle superleghe e quello dei materiali duri.

#### 2.2.4 I prezzi

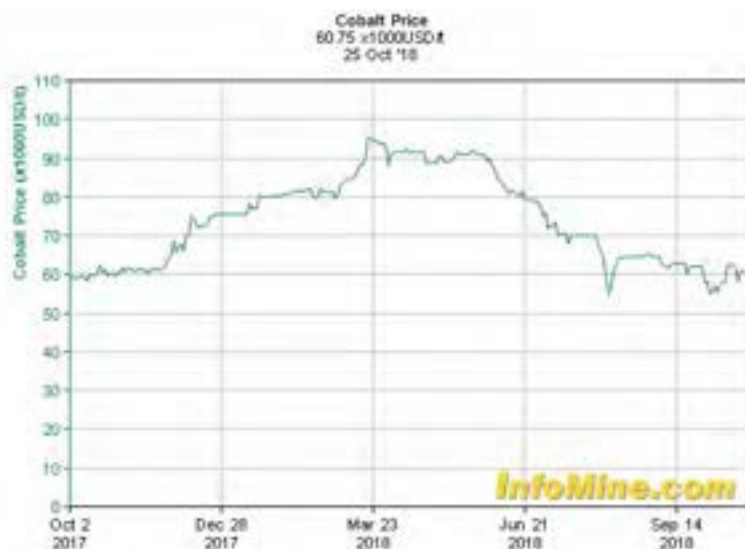
I prezzi del cobalto sono disponibili per due gradi di purezza principali del 99,80% (alto) e 99,30% (basso). L'andamento del prezzo del cobalto negli ultimi 50 anni è stato fortemente influenzato dall'offerta (in particolare proveniente dalla Repubblica Democratica del Congo) e dalla domanda (proveniente specialmente dall'Asia). I prezzi del cobalto hanno toccato il picco nel 2008 raggiungendo quasi 120 dollari per kg. Dopo un forte calo nel 2009-2016, i prezzi sono nuovamente quadruplicati negli ultimi due anni, raggiungendo nuovamente intorno a 90 dollari per kg all'inizio del 2018 (figura 36).



**Figura 36: Prezzo medio mensile del cobalto (99,8%) dal 1967 a febbraio 2017**

Fonte: "Cobalt from the DRC – Potential, Risks and Significance for the Global Cobalt Market (translated, original in German)", 2017

Ad ottobre 2018 i prezzi del metallo di cobalto (99,8%) sono diminuiti fino all'incirca a 60,75 dollari per kg (figura 37).



**Figura 37: Andamento prezzo del cobalto nell'ultimo anno**

Fonte: "1 Year Cobalt Prices and Price Charts", 2018

Secondo Benchmark Mineral Intelligence ci sono diversi fattori che hanno influenzato il mercato. Tra questi figurano i rapidi aumenti dei prezzi nel 2017 e il primo trimestre 2018, le variazioni dei termini di pagamento in Cina, la mancanza di credito legata al deleveraging cinese, il cambiamento della politica di sovvenzioni dei veicoli energetici cinesi e le tensioni commerciali con gli Stati Uniti, che hanno colpito l'economia in generale.

Con una traiettoria simile alle quotazioni del metallo, i prezzi in Cina del solfato di cobalto (20,5% CoSO<sub>4</sub>, EXW) hanno raggiunto un picco nell'aprile 2018 a un prezzo medio di 22.515 dollari a tonnellata per poi ridursi a 13.870 dollari a tonnellata nell'Agosto 2018 (figura 38).



**Figura 38: I prezzi del solfato di cobalto da gennaio 2017 ad agosto 2018**

Fonte: "Download: lithium, cobalt prices enter new period of volatility as era of ev begins; vanadium awaits lithium ion moment", 24th September 2018.

### 2.2.5 Le aspettative

Il Market Research Future stima che la dimensione del mercato globale del cobalto crescerà a un CAGR dell'8,25% durante il periodo 2018-2023.

La Exane BNP Paribas prevede che il mercato del cobalto arriverà all'incirca ad un livello di 240.000 tonnellate entro il 2025.

US Geology Survey prevede che la crescita nell'offerta mondiale di cobalto raffinato aumenterà a un tasso inferiore a quello del consumo mondiale di cobalto, che è stato guidato principalmente dalla forte crescita delle batterie ricaricabili e delle industrie aerospaziali.

Per l'Agencia Internazionale dell'Energia anche tenendo conto degli sforzi dei produttori di batterie di ridurre la dipendenza dal cobalto, la domanda potrebbe salire a quasi 300.000 tonnellate nel 2030.

Per la Darton Commodities nel 2020 il consumo del cobalto salirà a 120.000 tonnellate/anno, con circa il 62% del mercato assorbito dagli accumulatori elettrochimici, come si vede bene in figura 39, grazie soprattutto alla maggiore richiesta dei costruttori auto per i veicoli a zero emissioni.



**Figura 39: Il mercato finale del cobalto**

Fonte: Global Energy Metals Corp, 2018. Cobalt Demand.

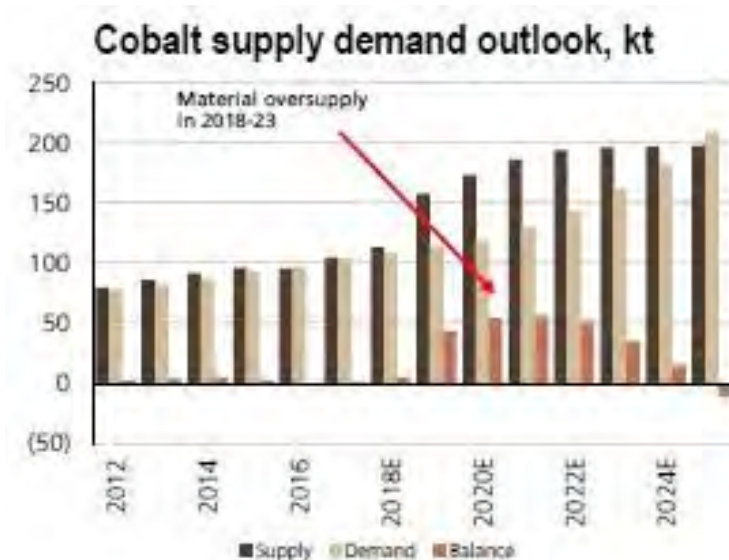
Per la Cobalt 27 è prevista una crescita della domanda di cobalto fino a circa 190.000 tonnellate al 2025, con approssimativamente due terzi di quest'aumento proveniente dal settore delle batterie EV (con un CAGR del 30%) e la restante parte da batterie non EV e applicazioni metallurgiche (con un CAGR del 3%).

La Benchmark Mineral Intelligence a causa della crescente domanda di auto elettriche si aspetta che la domanda di cobalto per la produzione di batterie possa arrivare a 80.000 tonnellate alla fine del 2020 e a 180.000 tonnellate nel 2026.

Anche secondo Roskill la domanda di cobalto crescerà a dismisura nei prossimi anni. Soltanto considerando il settore delle batterie, la domanda aumenterà del 14,5% all'anno da qui al 2027, raggiungendo oltre 240.000 tonnellate, determinando in particolare la richiesta di enormi volumi di ossidi di cobalto e solfato aggiuntivi. Roskill afferma che la domanda di cobalto aumenterà anche rispetto ad altri usi chiave, come le leghe utilizzate nell'industria aerospaziale, e complessivamente la domanda totale potrebbe superare le 310.000 tonnellate entro il 2027. Gli analisti si aspettano che i piani di espansione aggressivi dei grandi produttori siano sufficienti a rifornire il mercato per i prossimi cinque anni, ma dopo sarà necessario costruire più capacità. Roskill fa notare tra l'altro che con la stragrande maggioranza del cobalto estratto come sottoprodotto dell'estrazione di rame e nichel, la futura fornitura di tale materia prima è complicata dal fatto che la produzione di cobalto è principalmente regolata dalla domanda e dalla successiva fornitura dei due mercati. Per il 2019 gli analisti si aspettano che il prezzo del cobalto metallico possa variare in un intervallo compreso tra 77 e 88 dollari al kg.

Secondo la Wood Mackenzie entro il 2022 si prevede che la domanda di cobalto derivante dalle batterie possa raggiungere le 98.000 tonnellate, ovvero il 61% del mercato complessivo del cobalto. Gli analisti si aspettano significativi surplus dell'offerta negli anni dal 2019 al 2022. Queste eccedenze avranno un effetto al ribasso sui livelli dei prezzi. In tale direzione, la Wood Mackenzie si aspetta che i prezzi raggiungano nel 2019 un livello all'incirca di 55.000 dollari per tonnellata, per poi scendere a un minimo di poco più di 33.000 dollari tra il 2020 e il 2021 e risalire all'incirca a poco meno di 40.000 dollari nel 2022.

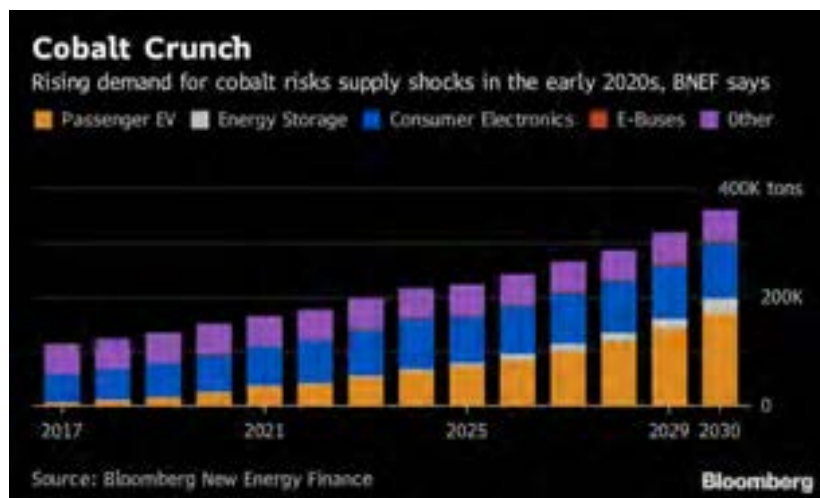
Anche UBS prevede che nei prossimi anni ci possa essere un eccesso di offerta per poi andare in deficit dopo il 2024 (figura 40).



**Figura 40: Previsione della domanda e dell'offerta di cobalto**

Fonte. "The Battery Revolution. Benchmark World Tour 2018", September 2018.

Bloomberg ritiene che esista una reale possibilità di shock dell'offerta di cobalto nei primi anni del 2020 a causa principalmente dei tempi lunghi di consegna delle nuove miniere e della concentrazione delle riserve di cobalto nella Repubblica Democratica del Congo. Tale situazione si prevede non permetterà di soddisfare la crescita della domanda che si stima possa triplicare entro il 2030 (figura 41).



**Figura 41: Previsione della domanda di cobalto**

Fonte: "Threat of Cobalt Shock Is a Top Risk for Electric Vehicles", May 22th, 2018.

Anche BNEF prevede che il lungo tempo di consegna delle nuove miniere e la concentrazione delle riserve di cobalto nella DRC indicano che esiste una reale possibilità di shock di fornitura nei primi anni del 2020. BNEF stima che l'offerta sarà sufficiente fino al 2021 e che le nuove operazioni dovrebbero essere commissionate dopo il 2020 per evitare un deficit.

Secondo uno studio realizzato del Massachusetts Institute of Technology, al 2025 la domanda di cobalto potrebbe raggiungere le 330.000 tonnellate, mentre l'offerta disponibile in quel momento sarebbe al massimo di 290.000 tonnellate.

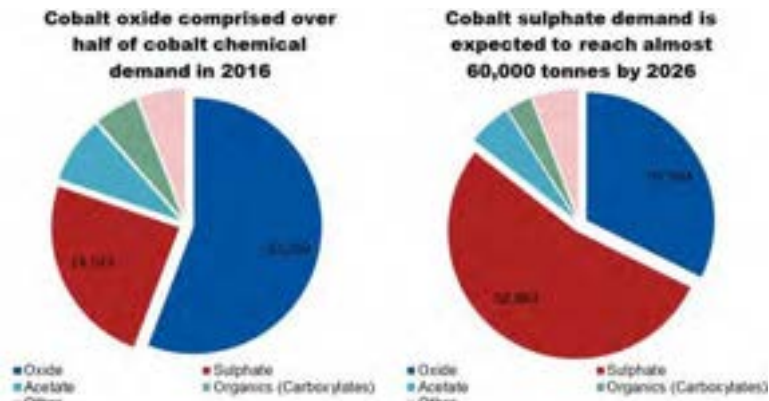
Per *Research and Markets*, invece, il mercato globale del cobalto dovrà affrontare una situazione di fornitura limitata nel 2017-2021, con un gap di 12.000 tonnellate entro il 2021 (da una perdita stimata di 3.320 tonnellate nel 2017).

Per CRU Group la domanda totale di cobalto aumenterà a un CAGR dell'11,6% entro il 2027. Tale aumento sarà dovuto principalmente al rapido sviluppo delle tecnologie legate alle batterie agli ioni di litio, in tale direzione gli analisti prevedono che l'industria delle batterie avrà bisogno di oltre 75.000 tonnellate di cobalto all'anno entro il 2025.

È interessante rilevare che per CRU questo grande aumento della domanda sarà accompagnato anche a cambiamenti nel modo in cui il cobalto raffinato viene scambiato e prodotto a causa principalmente dello spostamento della domanda di cobalto dai prodotti metallici ai prodotti chimici, come schematizzato nella figura 35. Dato che i prodotti chimici delle batterie si stanno progressivamente standardizzando nel mercato EV, si ritiene che cominceranno a diventare più commerciabili e ampiamente scambiati rispetto al cobalto in forma di metallo. Oltre a questo, si prevede che molti progetti di produzione integrata cominceranno a passare dalla produzione di cobalto metallico alla produzione di prodotti chimici di cobalto. Supponendo che questi produttori possano fornire sostanze chimiche standardizzate accettate nel mercato (come avviene per il cobalto metallico al 99,8%), ciò potrebbe semplificare efficacemente la catena di approvvigionamento e consentire ai produttori di commerciare direttamente con gli utenti finali della batterie e nell'industria chimica.

A tal riguardo è importante evidenziare che la maggior parte della domanda chimica di cobalto negli ultimi anni era originata dal settore dell'elettronica portatile per applicazioni ad alta densità di carica come telefoni cellulari, tablet, laptop e altri dispositivi elettronici. La chimica industriale standard per le batterie per queste applicazioni è LCO (ossido di cobalto di litio) che utilizza l'ossido di cobalto come materia prima e, di conseguenza, tale sostanza rappresenta attualmente oltre la metà di tutta la domanda di cobalto. Tuttavia, i mercati dei veicoli elettrici e dei sistemi di accumulo dell'energia dovrebbero essere i principali motori della crescita della domanda di cobalto nei prossimi dieci anni. Questa industria richiede quantità molto più grandi e, di conseguenza, i produttori sono desiderosi di limitare la dipendenza da cobalto, al fine di ridurre i costi e

limitare il rischio di incorrere in problemi di acquisizione di materie prime. Di conseguenza, secondo la CRU, ipotizza che la NCA (Nickel Cobalto Alluminio) potrebbe diventare lo standard del settore per EV ed ESS rispetto a LCO per l'elettronica convenzionale. Le sostanze chimiche NCA hanno tipicamente un contenuto di cobalto molto più basso in termini di peso e richiedono il solfato di cobalto come materia prima - al contrario dell'ossido di cobalto per l'LCO. Di conseguenza, CRU prevede che la quota delle sostanze chimiche di cobalto aumenterà costantemente fino a rappresentare oltre i due terzi del mercato entro il 2026 (la restante parte sarà rappresentata dal cobalto metallico) e che il solfato di cobalto, entro quell'anno, sarà la sostanza chimica di cobalto più ampiamente commercializzata, con una domanda totale di circa 60.000 tonnellate (figura .42).



**Figura 42: La composizione della domanda di sostanze chimiche raffinate legate al cobalto nel 2016 e nel 2026**  
 Fonte: "Cobalt shifts from metal to chemical market. 08 September 2017", 2017

Di seguito una sintesi di alcune delle principali aspettative legate alla domanda e ai prezzi del cobalto (tabella 1,2).

**Tabella 4: Aspettative future sulla domanda di cobalto**

Fonte	Commodity	Tonnellate												
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Exane BNP Paribas	Cobalt								340.000					
Agenzia Internazionale dell'Energia	Cobalt													300.000
Darton Commodities	Cobalt			120.000										
	Cobalt for batteries			74.400										
Cobalt27	Cobalt								190.000					
	Cobalt for EV batteries								126.000					
Benchmark Mineral Intelligence	Cobalt for batteries			80.000						180.000				
Roskill	Cobalt										310.000			
	Cobalt for batteries										340.000			
Wood Mackenzie	Cobalt					160.000								
	Cobalt for batteries					98.000								
Massachusetts Institute of Technology	Cobalt													
CRU group	Cobalt for batteries								75.000					

**Tabella 5: Aspettative future sui prezzi del cobalto**

Fonte	Commodity	Prezzi (\$/t)				
		2018	2019	2020	2021	2022
Infomine	Cobalt Metal	62.500				
Wood Mackenzie Ltd	Cobalt Metal		55.116	33.069	33.069	39.683
Roskill	Cobalt Metal		77.000-88.000			
Trading Economics	Cobalt Metal		60.428			
Benchmark Mineral Intelligence	Cobalt Sulphate, 20.5% CoSO <sub>4</sub> , EXW	13.870				

Infine a causa delle preoccupazioni relative alle forniture che continuano a colpire il mercato, è interessante rilevare un'altra opzione che i partecipanti del mercato stanno tenendo d'occhio: è l'aumento della diffusione e l'affermazione della tecnologia per il riciclaggio delle batterie. Secondo la CRU Group, il cobalto delle batterie esauste potrebbe aggiungere 25.000 tonnellate di scorta entro il 2025. Analogamente, il produttore di batterie con sede in Belgio, Umicore, si aspetta che il riciclaggio diventi una fonte crescente di cobalto per il mercato, mentre Samsung SDI ha già annunciato piani di riciclaggio per ridurre la sua dipendenza dalla DRC.

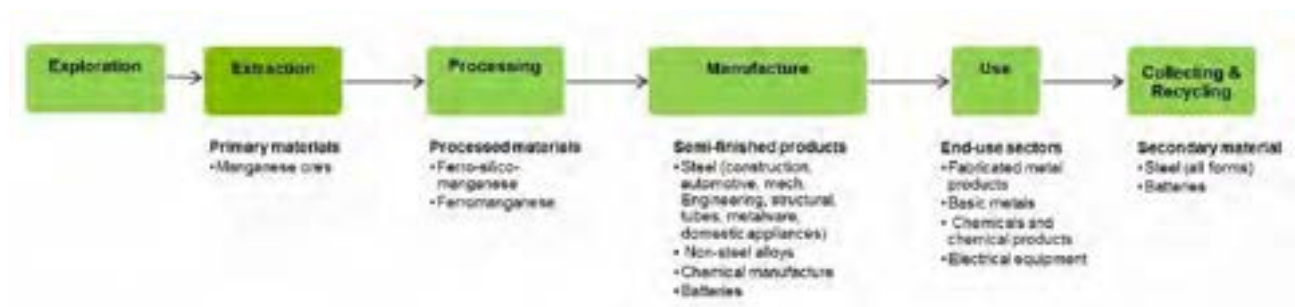
Il riciclaggio potrebbe teoricamente aiutare ad affrontare i problemi di fornitura procurando 100.000 tonnellate di cobalto all'anno entro il 2030, se tutte le batterie di elettronica di consumo venissero raccolte. Tuttavia, gli attuali tassi di riciclaggio sono compresi tra il 25 e il 50 per cento. Samsung SDI, un fornitore di batterie per le case automobilistiche tra cui BMW, mira a recuperare il metallo dai telefoni cellulari usati. Tassi di riciclaggio più elevati e il passaggio a batterie con meno cobalto, possono alleviare, ma non rimuoveranno, i rischi di vincoli di fornitura, secondo BNEF.

## 2.3 Il Manganese

### 2.3.1 La value chain

Il manganese (Mn) è un metallo paramagnetico, relativamente duro ma fragile, molto diffuso in natura nelle rocce e nelle acque. L'estrazione di minerali di manganese viene solitamente effettuata in fosse aperte, alcuni minerali vengono puliti con un lavaggio e i minerali sottodimensionati possono essere agglomerati mediante sinterizzazione. Il manganese ha una buona reattività chimica del metallo che spiega la sua utilità nella metallurgia e in vari composti chimici. Tra circa 300 minerali contenenti manganese, solo una dozzina sono di interesse minerario, in particolare viene estratto da un certo numero di tipi di deposito generalmente sedimentario. La tipologia principale di manganese è la pirolusite (MnO<sub>2</sub>), altre forme sono: manganite (MnOOH) e hausmannite (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), rodochroite (MnCO<sub>3</sub>), che si ritrova in suoli alcalini, e la birnessite, presente nelle acque di falda e nei fondali oceanici.

Il manganese viene principalmente estratto come prodotto primario. I metodi di estrazione impiegati per estrarre manganese dipenderanno in gran parte dal tipo di deposito. Indipendentemente dal metodo di estrazione impiegato, i minerali di manganese sono frantumati e macinati, prima che i minerali siano separati dalla ganga (parte inutilizzabile del minerale) mediante tecniche di separazione fisiche (per esempio per gravità) e/o chimiche (per esempio flottazione). La scelta del processo utilizzato dipende dalla composizione del minerale estratto. Nella figura 43 vediamo la value chain del manganese dall'esplorazione delle miniere alla raccolta e riciclo del materiale.



**Figura 43: Value chain del manganese<sup>6</sup>**

Fonte: “Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets”, 2017

Il manganese ha due principali categorie di applicazione: metallurgiche e non metallurgiche. Per quanto riguarda le applicazioni metallurgiche, il manganese è molto efficace nel fissare lo zolfo e agisce come un potente disossidante e legante, proprietà che lo rendono essenziale nella produzione di acciaio, come si vede nella parte sinistra della figura 44, tra le applicazioni metallurgiche ferrose. Circa il 90% del manganese viene utilizzato proprio in questo settore. Questo minerale viene anche utilizzato nella produzione di leghe, nella figura in particolare si vedono leghe di rame, alluminio e zinco elettrolitico, nelle applicazioni metallurgiche non ferrose parte destra del grafico.

<sup>6</sup> I riquadri in verde indicano le fasi della value chain che sono svolte anche all'interno dell'UE



**Figura 44: Le principali applicazioni del manganese**

Fonte: Asian Metal, "Manganese: uses", 2018

Per quanto riguarda le applicazioni non metallurgiche<sup>7</sup>, il più importante impiego finale 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), 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). Nella figura 45 è riportata la suddivisione di utilizzo delle diverse tipologie di manganese lavorato. Da notare come sia ben evidente il maggior utilizzo nel campo della produzione di acciaio rispetto alle applicazioni non metallurgiche.

<sup>7</sup> Il manganese, inoltre, viene anche utilizzato nei mangimi e fertilizzanti, coloranti per vari cosmetici, plastiche e smalti di artisti, pigmenti per mattoni, vetro, vernici, piastrelle e prodotti chimici per il trattamento delle acque.

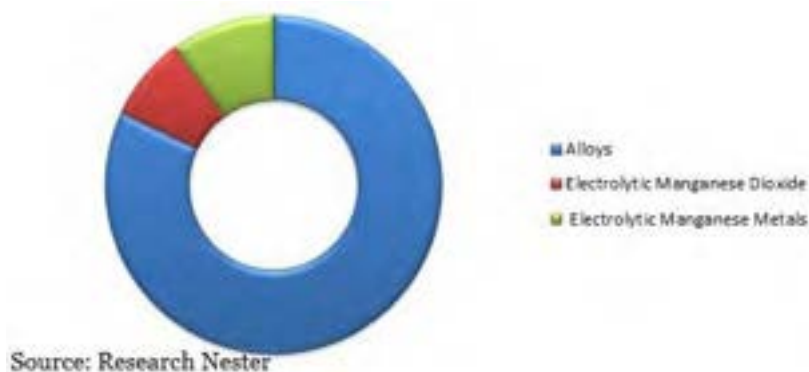


Figura 45: Mercato del manganese diviso per le diverse applicazioni: Acciaio, EMD e EMM (2016)

Fonte: Research Nester 2018. *Manganese Mining Market : Global Demand Analysis & Opportunity Outlook 2024.*

Gli ossidi di manganese sono attualmente utilizzati nella produzione di tre tipi di batterie: alcaline, al litio monouso e agli ioni di litio ricaricabili. È importante rilevare che il diossido di manganese è stato a lungo utilizzato come depolarizzatore in batterie alcaline, ma questo non è il mercato delle batterie al manganese attualmente più interessante. Vi è sempre una maggiore attenzione, infatti, sulle chimiche delle batterie agli ioni di litio che richiedono manganese come le batterie agli ossidi di litio-manganese (LMO) e batterie all’ossido di litio-nichel-manganese-cobalto (NMC).

Per quanto riguarda il manganese non ci sono timori circa la sua disponibilità generica, sono piuttosto i problemi relativi alla purezza chimica richiesta e alla capacità di produrre questi sali che creano più incertezza. Sebbene attualmente rappresenti solo il 10% del mercato globale del manganese in termini di volume (circa 2,5 Mtpa), in termini di valore di mercato globale il manganese con purezza elevata rappresenta circa il 40%. Questo viene utilizzato principalmente in batterie, acciaio inossidabile serie 200, leghe speciali, fertilizzanti e oligoelementi. Il manganese di elevata purezza può essere: manganese elettrolitico (EMM), biossido di manganese elettrolitico (EMD) e solfato di manganese (MS) (tabella 6).

Product	Key Use
Electrolytic Manganese Metal	Speciality Alloys, Batteries
Electrolytic Manganese Dioxide	Batteries
Manganese Sulphate	Batteries

Tabella 6: I principali utilizzi dei prodotti di manganese ad alta purezza

Fonte: “Manganese. is it the forgotten battery mineral?”, 2018

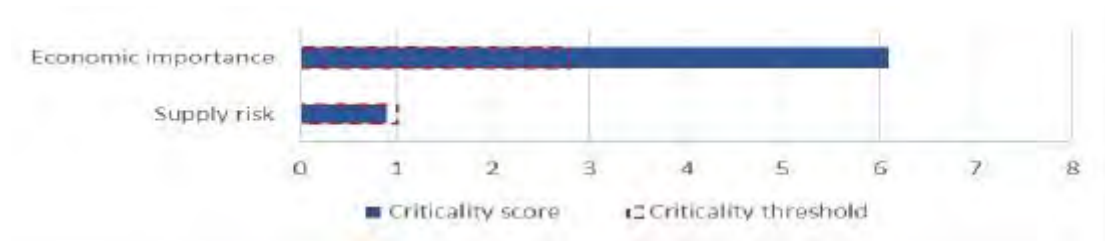
Per ottenere il manganese elettrolitico i minerali di manganese vengono tostati per ottenere MnO, questo viene sciolto in acido solforico per formare una soluzione di solfato di manganese. L'aggiunta di ammoniaca precipita ferro e alluminio e l'aggiunta di acido solfidrico precipita arsenico, rame, zinco, piombo, cobalto e molibdeno. La soluzione purificata viene quindi introdotta nella porzione catodica di una cella elettrolitica e, con il passaggio della corrente elettrica, il manganese viene depositato in strati di alcuni millimetri di spessore su un foglio catodico di acciaio inossidabile. I catodi vengono estratti periodicamente e i depositi di manganese vengono rimossi. Le scaglie vengono riscaldate a 500 ° C per rimuovere l'idrogeno, il risultato è un manganese in polvere di purezza superiore al 99,9%. Negli ultimi anni è stata sviluppata una nuova tecnica idrometallurgica alternativa per estrarre manganese da minerali di ossido di manganese di bassa qualità. Il processo converte il minerale in EMD molto puro e di alta qualità. Questo materiale , come abbiamo detto, viene utilizzato nella produzione di batterie agli ioni di litio e alcaline.

La dimensione globale del mercato del biossido di manganese elettrolitico (EMD) è stata stimata dalla Grand View Research a 586.100 tonnellate nel 2016.

Geograficamente, l'Asia della costa pacifica rappresenta il più grande mercato minerario globale di manganese. In particolare la Cina 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).

L'UE non classifica al momento il manganese come una materia prima critica (figura 46).



**Figura 46: Importanza economica e rischio di approvvigionamento del manganese per l'UE**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

Ma nel grafico si nota come la sua importanza economica abbia un alto valore, ricordiamo, infatti, che il manganese è uno dei costituenti base per la produzione di acciaio, industria molto sviluppata nell'Unione europea (secondo produttore mondiale di acciaio).

### 2.3.2 L'offerta

Le risorse di manganese sulla Terra sono grandi ma distribuite in modo irregolare; spesso hanno una qualità molto bassa e hanno costi di estrazione potenzialmente elevati.

In generale c'è stata una diminuzione della produzione di minerale di manganese nel mondo nel 2016 e all'inizio del 2017, in particolare da parte di grandi produttori in Australia, Gabon e Sud Africa, come si vede nella tabella. Dopo 2 anni di declino, la produzione mondiale di minerale di manganese è aumentata nel 2017 in seguito all'aumento della domanda di lega di manganese. L'eccesso di offerta accumulato dal 2013 lungo la filiera è stato consumato nel 2015 e nel 2016, e i prezzi sono aumentati costantemente nel 2017. Il 68% degli extra di produzione nel 2017 proveniva dal Sud Africa, con il resto condiviso tra Australia, Gabon, Ghana.

	Mine production		Reserves <sup>10</sup>
	2016	2017*	
United States	—	—	—
Australia	2,240	2,200	194,000
Brazil	1,080	1,200	120,000
China	2,330	2,500	48,000
Gabon	1,620	1,600	20,000
Ghana	553	550	13,000
India	745	790	34,000
Kazakhstan, concentrate	212	230	5,000
Malaysia	266	270	NA
Mexico	206	220	5,000
South Africa	5,300	5,300	200,000
Ukraine, concentrate	425	380	140,000
Other countries	681	760	Small
World total (rounded)	15,700	16,000	680,000

**Figura 47: Produzione e riserve del Manganese nel mondo (in migliaia di t)**

Fonte: US Geology Survey, 2018. "Mineral commodity summaries 2018".

Il Sud Africa rimane il maggior produttore di questo materiale, segue la Cina, che in controtendenza con gli altri Paesi, aumenta la sua produzione nel 2017, questo perché il mercato dell'acciaio in Cina ha dimostrato di essere un mercato molto attivo. Le miniere sudafricane sono anche quelle con maggior tenore di manganese (superiore al 44%), seguita dall'Ucraina (meno del 30%). I quantitativi calcolati per le riserve vedono ancora il Sud Africa primo seguito nuovamente dall'Ucraina e dall'Australia (figura 47).

La produzione globale di silico-manganese ha continuato ad aumentare per il secondo anno consecutivo nel 2017, raggiungendo il massimo storico a 13,8 milioni di tonnellate, anche se la produzione di acciaio grezzo è rimasta stabile dal 2016 a circa 1,72 miliardi di tonnellate. Nel 2017, la produzione di ferro-manganese ad

alto contenuto di carbonio è arrivata a 4,2 milioni di tonnellate, il 16% in più rispetto al 2016. Di questa produzione aggiuntiva di 568.000 tonnellate, l'89% è arrivato dall'Asia in particolare da Cina, Malesia e Giappone, nonostante la contrazione della produzione. La fornitura globale di ferro-manganese raffinato è aumentata di circa il 23% nel 2017 dall'anno precedente, raggiungendo 1,6 milioni di tonnellate. La nuova fornitura proveniva principalmente dalla Cina e dalla Corea del Sud.

La produzione di manganese metallico è aumentata del 37% su base annua a 1,74 milioni di tonnellate nel 2017, con la maggior parte di questa produzione extra proveniente dalla Cina. La produzione di EMM in Cina è aumentata del 38% nel 2017 a 1,7 milioni di tonnellate, mentre la produzione di metallo di manganese nel resto del mondo è cresciuto solamente del 3% a 42.000 tonnellate. La produzione globale di biossido di manganese elettrolitico (EMD) è aumentata nel 2017 a quasi 400.000 tonnellate secondo i dati raccolti dall'Istituto Internazionale Manganese di CITIC Dameng, Tosoh e altri produttori. Questo aumento del 4% su base annua era dovuto solo alla Cina, mentre la produzione EMD nel resto del mondo si è contratto del 2% rispetto al 2016. Suddividendo la richiesta globale di EMD per i diversi prodotti vediamo:

- un aumento di produzione del 47% dal 2016 per le batterie LMO;
- una crescita più moderata (+ 3%) per le batterie a ioni di litio primarie e le batterie alcaline;
- una contrazione della produzione del 7% nel 2017 rispetto al 2016 per le batterie a zinco-carbone (C-Zn).

Il manganese elettrolitico è controllato per circa il 97% del commercio dalla Cina, il che rappresenta una grave preoccupazione, aggravata dalla limitata possibilità di sostituzione per la maggior parte delle applicazioni di EMM. E' anche vero che l'EMM e l'EMD cinese, soprattutto quello della zona del sud, tendono ad avere purezze minori. Il 50% della produzione globale proviene da due soli produttori, Ningxia Tianyuan Manganese Industry (TMI) e Citic Dameng, mentre circa il 35% della produzione si basa su forniture da una sola miniera, situata in Ghana.

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

È importante rilevare che la spinta ambientale della Cina ha causato un improvviso deficit strutturale in molti mercati delle materie prime dal 2016 e non ci sono poche ragioni per credere che per il 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 diesel.

In generale per alcuni analisti potrebbe essere decisiva una crescente consapevolezza da parte degli investitori dell'importanza del manganese nelle batterie agli ioni di litio. C'è, inoltre, la possibilità che la produzione interna cinese diminuisca bruscamente a causa della scarsa qualità del minerale disponibile e, di conseguenza, aumentino le importazioni di metallo in Cina. Questi due fattori potrebbero influenzare il mercato del manganese.

I player del mercato del manganese, cioè le grandi aziende che hanno una certa esposizione al manganese sono: South32 (Australia), Eramet (Francia), Anglo American (Gran Bretagna) e Vale (Brasile). Alcune delle più importanti aziende più piccole (con una capitalizzazione di mercato superiore a 5 milioni di dollari al 20 agosto 2018) sono: American Manganese, Giyani Metals, Manganese X, MaxTech Ventures, Element 25.

### 2.3.3 La domanda

Secondo USGS, il settore siderurgico rappresenta la maggior parte della domanda di manganese. In tutto, l'industria consuma dall'85 al 90 % del manganese, utilizzandolo come additivo disossidante e desolforante e come componente legante. La forza del settore siderurgico è stata un fattore chiave nel determinare il prezzo del manganese nel 2017 e continua a influenzare la domanda. Il consumo di manganese direttamente

correlato all'industria siderurgica è leggermente aumentato di anno in anno, grazie in parte a paesi come l'America, il Giappone e la Cina.

Nel corso dell'ultimo decennio, il consumo di manganese in leghe di silicomanganese è aumentato rispetto alle leghe di ferromanganese. Dell'85-90% del manganese utilizzato nelle ferroleghie, circa il 60-65% del prodotto è silicomanganese, mentre il restante 25-30% è ferromanganese.

Dopo l'acciaio, 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 nelle batterie, ma un altro settore in cui ha un'applicazione interessante è quello del trattamento delle acque.

La domanda per le batterie ricaricabili agli ioni di litio, utilizzate per alimentare le auto elettriche, ha fatto sì che l'ossido di manganese avesse la crescita più rapida nel settore nell'ultimo periodo.

Le batterie sono il segmento di applicazione attualmente dominante nel mercato del biossido di manganese elettrolitico (EMD), con una quota totale di poco più del 90% della domanda globale di EMD del 2016. Il Nord America ha dominato l'industria EMD globale, rappresentando oltre il 41% della domanda totale nel 2016, seguito dall'Asia.

CRU group stima che la domanda di EMM sia stata all'incirca di 15-20.000 tonnellate nel 2017, di cui il più grande utente finale sia stato il settore delle automobili.

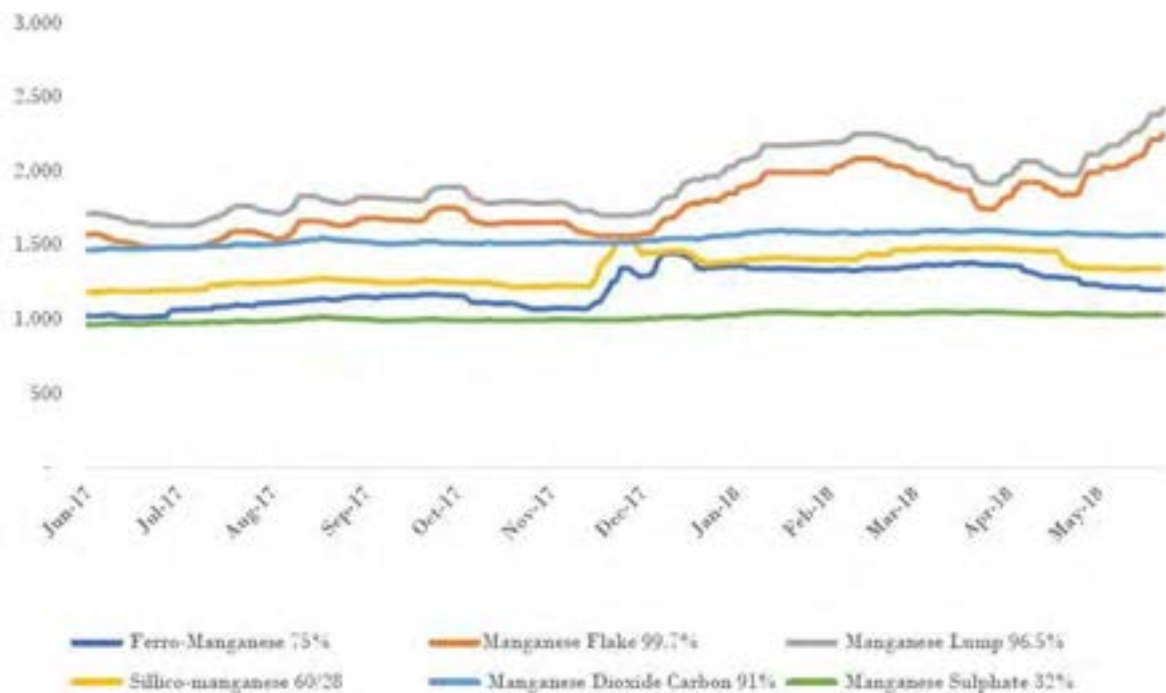
Per quanto riguarda UE, il consumo apparente di manganese nel periodo 2010-2014 è stato di quasi 1,4 milioni di tonnellate, la maggior parte delle quali (circa l'87%) è stata utilizzata nella produzione di acciaio. Meno del 4% del manganese consumato (in media quasi 53.000 tonnellate all'anno) proveniva 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.

#### 2.3.4 I prezzi

L'andamento dei prezzi del manganese sembra essere legato alla produzione globale di acciaio, che ha visto anche un calo in molte parti del mondo, ad eccezione della Cina, dal 2011.

Verso la fine del 2016 i prezzi del minerale di manganese sono aumentati in risposta al forte calo dei livelli delle scorte del settore. Ciò ha comportato sostanziali riduzioni della produzione causate da prezzi bassi rispetto all'anno precedente, in combinazione con problemi logistici in Sud Africa e una ripresa della domanda dalla Cina. Nel 2017, i prezzi del minerale sono rimasti elevati, il che ha a sua volta sostenuto elevati prezzi della lega di manganese.

È importante rilevare che a causa della crescente regolamentazione ambientale nelle miniere di manganese cinese e nella lavorazione a valle, c'è stato un cambiamento nel prezzo del mercato del manganese nell'ultimo periodo (figura 48).



**Figura 48: Andamento dei prezzi del manganese**

Fonte: "Manganese. is it the forgotten battery mineral?", 2018

Il flake di manganese elettrolitico ha visto un forte aumento dei prezzi nei primi 6 mesi del 2018 a causa della sospensione delle attività da parte della Ningxia Tianyuan (il più grande produttore al mondo di flake di manganese). A Gennaio è stata imposta una sospensione delle operazioni a causa di ispezioni ambientali, con una conseguente diminuzione della produzione mensile da parte della Cina. Successivamente con la ripresa della produzione del flake, i prezzi nella parte centrale dell'anno sono diminuiti per poi aumentare nuovamente a causa delle notizie di ulteriori diminuzioni della produzione previste a Ningxia Tianyuan, con tre impianti che hanno interrotto la produzione per la manutenzione.

Fino ad oggi, un inasprimento a livello nazionale dei controlli sulle violazioni delle normative ambientali ha costretto a chiudere imprese minerarie, fonderie e impianti di flottazione più piccoli in 30 diverse province cinesi. Con la Cina che controlla circa il 97% del commercio mondiale di EMM, la regolamentazione ambientale irrigidisce ulteriormente l'offerta. Questa 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.

Secondo Fastmarkets, i prezzi del manganese legato alla produzione di batterie a ioni di litio ad ottobre 2018 sono i seguenti:

- Manganese Ore Index, 37% Mn, FOB, South Africa (Port Elizabeth), \$ 5,95 per dmtu (Dry Metric Ton Unit) (figura 49);
- Manganese Ore Index, 37% Mn, CIF, China (Tianjin), \$ 6,64 per dmtu;
- Manganese Ore Index, 44% Mn, CIF, China (Tianjin), \$ 7,18 per dmtu.



**Figura 49: Indice del minerale di manganese, 37% Mn, FOB Port Elizabeth, Sud Africa, \$ per dmtu di metallo contenuto**

Fonte: Jupiter Mines Limited, 2018. *Manganese Price Information*.

### 2.3.5 Le aspettative

Secondo Global Industry Analysts, il mercato del manganese raggiungerà i 28,2 milioni di tonnellate entro il 2022, trainato dagli investimenti crescenti nei progetti di sviluppo delle infrastrutture, dalla crescente produzione automobilistica e dalla rapida urbanizzazione nei mercati. Altri fattori individuati come fattori chiave della crescita a medio-lungo termine sono: la ripresa dei prezzi del minerale di manganese e delle ferroleghie di manganese; l'emergere di nuovi mercati applicativi; e l'uso crescente di batterie NiMH e Li-ion in una moltitudine di applicazioni, compresi i veicoli elettrici. Si prevede che l'America Latina emergerà come il mercato in più rapida crescita con un CAGR del 4,1% entro il 2022.

Research Nester si aspetta che il mercato minerario globale di manganese possa crescere a un CAGR del 3,6% entro il 2024, trainato dal rapido sviluppo industriale nelle economie in crescita. Il manganese è l'ingrediente chiave per la produzione di qualsiasi tipo di acciaio. Per questo la Research Nester prevede che la crescita globale del consumo di acciaio sarà il fattore chiave alla base della crescita del mercato minerario globale di manganese. Inoltre, la crescita del settore delle infrastrutture testimoniata negli ultimi anni, potrebbe trainare questo settore. Oltre a questo, le industrie automobilistiche sono un importante consumatore dell'acciaio da decenni. Negli ultimi anni, le industrie automobilistiche hanno ampliato la loro presenza nelle economie in via di sviluppo. Questi fattori dovrebbero garantire la crescita del mercato minerario globale di manganese. Secondo la stessa ricerca l'uso intensivo delle batterie e l'adozione crescente di veicoli elettrici potrebbero favorire la crescita del mercato minerario del manganese durante il periodo 2018-2024. Inoltre, la disponibilità di attrezzature tecnicamente avanzate per estrarre dalle miniere è destinata a completare la crescita del mercato globale delle miniere di manganese. Tuttavia, le emissioni di energia e di elettricità in Sud Africa potrebbero frenare la crescita del mercato minerario globale durante il periodo di previsione. Inoltre, la mancanza di investimenti, della manodopera specializzata e inadeguata e la scarsa manutenzione del settore potrebbero rallentare la crescita del mercato globale del manganese.

Per Grand View Research l'aumento della domanda di batterie in vari settori di uso finale, come quello automobilistico ed elettrico, dovrebbe stimolare la crescita del settore entro 2025. La società si aspetta che il mercato del biossido di manganese elettrolitico abbia una rapida crescita (CAGR del 7,0%) nel periodo di previsione, grazie alla crescente domanda di batterie nei veicoli elettrici. Si prevede che l'aumento della domanda di batterie ad alte prestazioni nelle economie emergenti come l'India e la Cina possa guidare il mercato globale in futuro.

CRUgroup prevede che il consumo nelle batterie di biossido di manganese elettrolitico (EMD) possa essere il segmento a più rapida crescita nell'industria del manganese in tutto il mondo, con un aumento della

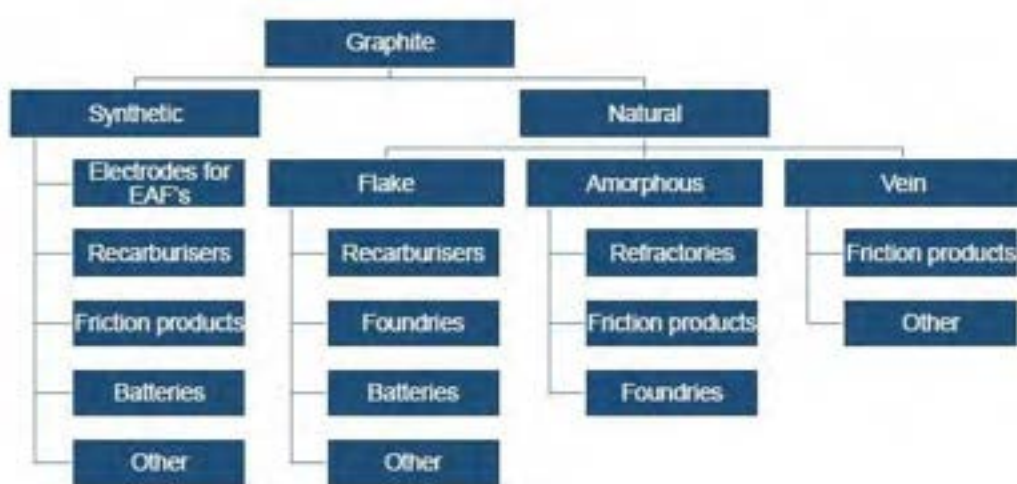
domanda stimata da circa 15-20.000 tonnellate nel 2017 a 130-150.000 tonnellate nel 2025, in uno scenario di penetrazione moderata dei EV, circa l'8-10% della domanda globale.

Technavio, infine, prevede che il consumo di batteria di biossido di manganese elettrolitico (EMD) sarà il segmento in più rapida crescita della produzione di manganese con un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 5,1% dal 2015 al 2022 . Il manganese in agricoltura e leghe speciali spingerà anche la domanda di elevata purezza, con il mercato dei micronutrienti pronto a raggiungere 7,7 miliardi di dollari entro il 2020. Inoltre l'industria siderurgica dovrebbe mantenere una crescita sostenuta a lungo termine con una crescita media prevista di circa il 2% p.a. fino al 2020.

## 2.4 La Grafite

### 2.4.1 La value chain

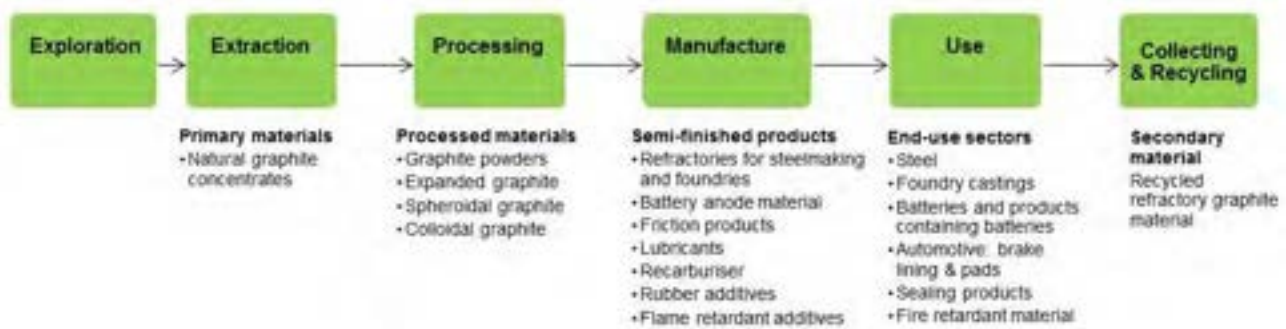
La grafite è una forma allotropica di carbonio che può essere derivata naturalmente dalle miniere così come prodotta dalla lavorazione di idrocarburi, come coke, petrolio e catrame di carbone. Pertanto, è possibile segmentare il mercato in grafite naturale e sintetica, nel diagramma sottostante (figura 50) sono evidenziate le due suddivisioni e le diverse classificazioni. In particolare tre sono i diversi tipi di minerali di grafite naturale estratti in natura, ognuno dei quali richiede una lavorazione diversa: grafite cristallina o flake, grafite microcristallina o amorfa e vein o lump di grafite.



**Figura 50: Suddivisione del mercato della grafite: naturale e sintetica**

Fonte: "Specialty Minerals and Metals, Industry Overview", Canaccord Genuity, 2016

La prima 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 successivamente richiesta un'ulteriore lavorazione riguardante la fresatura, la sferoidizzazione e la purificazione (questi ultimi due passaggi sono richiesti solo per i materiali anodici, per grafite espansa e applicazioni nucleari). Nel diagramma a blocchi sono schematizzati i processi per cui passa la grafite dall'estrazione fino alla raccolta e il riciclo (figura 51).



**Figura 51: Value chain della grafite naturale<sup>8</sup>**

Fonte: "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets", 2017

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). Flocchi più grandi e più puri presentano prezzi più alti.

A proposito di prezzi, può essere difficile ottenere valori esatti. Questo perché, anche la grafite non viene scambiata su una borsa. I produttori di grafite di solito stabiliscono accordi off-take cioè dei contratti con cui il produttore di una risorsa si impegna a vendere a un acquirente determinate quantità di prodotti a prezzi stabiliti e per un determinato numero di anni. 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 amorphous è controllato dalla società gestita dal governo che produce circa il 90% della fornitura mondiale, nella provincia di Hunan. Il trasporto, in particolare quello via mare, può rappresentare fino al 30% del prezzo totale.

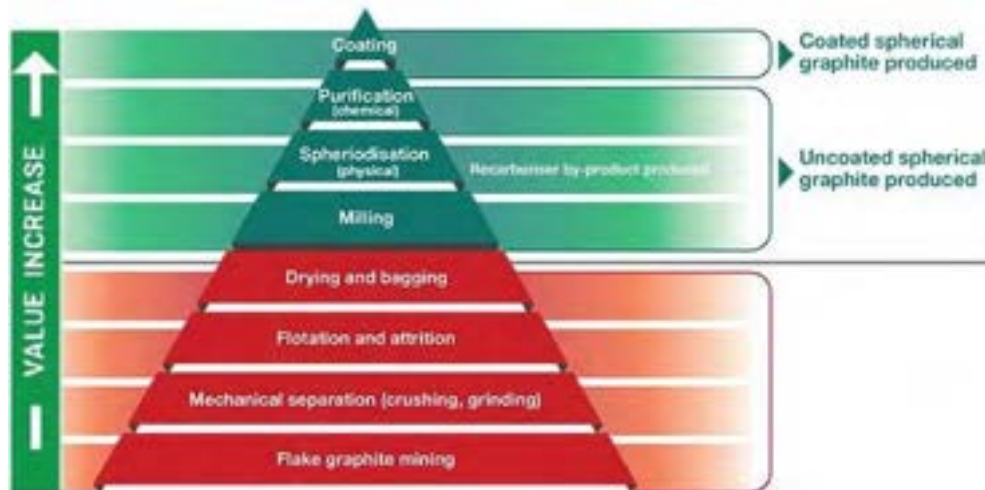
I principali usi della grafite naturale, come prodotti finiti, comprendono materiali refrattari, materiali anodici per celle agli ioni di litio e batterie primarie perché è altamente conduttiva, materiali resistenti all'attrito (come rivestimenti per i freni per esempio), lubrificanti e per la produzione 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 nei settori nucleari (reattori a ghiaia). I progressi nella tecnologia termica e nelle tecniche di lisciviazione degli acidi che consentono la produzione di polveri di grafite di elevata purezza, porteranno probabilmente allo sviluppo di nuove applicazioni per la grafite nei campi ad alta tecnologia. Tali tecniche di raffinazione innovative hanno permesso l'uso di grafite migliorata in compositi di grafite di carbonio, elettronica, fogli, materiali di attrito e applicazioni di lubrificanti speciali. Le linee di prodotti in grafite flessibile, come il graphoil (un sottile tessuto di grafite), sono probabilmente il mercato in più rapida crescita. Sono in fase di sviluppo applicazioni per celle a combustibile su larga scala che potrebbero consumare tanta grafite quanto tutti gli altri usi combinati. Nel 2015 la maggior parte della grafite veniva utilizzata per la produzione di acciaio, solo il 5% veniva impiegata nella mobilità elettrica, ma negli ultimi anni le proporzioni di utilizzo di questo materiale stanno cambiando.

Sostituti che competono con la grafite sono la polvere di grafite sintetica, rottami di forme lavorate scartate e 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. Il coke finemente macinato con olivina è un potenziale concorrente nelle applicazioni di fonderia. Il disolfuro di molibdeno compete come lubrificante secco ma è più sensibile alle condizioni di ossidazione. Anche il grafene può essere utilizzato come sostituto della grafite nelle batterie, ma essendo un prodotto di raffinazione dalla grafite stessa, non può essere considerato un vero e proprio competitor, ma più che altro una forma lavorata del materiale stesso.

Sia il flake di grafite naturale che la grafite sintetica, abbiamo visto, vengono utilizzati per l'uso nelle batterie agli ioni di litio. La scelta tra questi due tipi di grafite, in linea di massima, si basa su due fattori: costi e purezza. La grafite sintetica ha specifiche preferite in termini di purezza, ma è più costosa.

<sup>8</sup> I riquadri in verde indicano le fasi della value chain che sono svolte anche all'interno dell'UE.

Il flake di grafite naturale, che poter essere utilizzato negli anodi a batteria agli ioni di litio, deve essere lavorato attraverso due fasi principali, la sferoidizzazione e il rivestimento. Gli stati della lavorazione della grafite da flake alla grafite sferoidale sono schematizzati nella figura 52.



**Figura 52: Incremento del valore nella produzione della grafite sferica dal flake**

Fonte: “Alabama Graphite, CEO Interview, Why Company Unique?”. 11 Jan 2016; e “Syrah Resources”, 2018

La grafite naturale per essere utilizzata nelle batterie (battery grade) richiede infatti particelle sferoidali di elevata purezza (> 99,95% in peso di C) con dimensioni comprese tra 10 e 25 µm. Dopo la prima lavorazione che avviene spesso nei luoghi da cui è estratta (blocchi rossi della piramide), la grafite viene ulteriormente processata per arrivare alla forma sferica (micronizzazione e purificazione, blocchi verdi). Infine il materiale di grafite sferico non rivestito (uncoated) viene rivestito (coated) con carbonio mediante decomposizione termica del vapore (punta della piramide). Come è evidenziato anche nella figura, naturalmente all’aumentare delle lavorazioni subite, la grafite assume un maggior valore economico. Dopo la lavorazione per arrivare alla forma sferica, che come abbiamo visto rappresenta la punta della piramide, cioè la grafite di più alta qualità, questa può essere utilizzata per produrre l’anodo di una batteria a ioni di litio, sia per trazione elettrica che per batterie per l’elettronica di consumo. La piramide rappresenta anche l’assottigliamento della quantità di materiale che viene perso durante le raffinazioni, per dare un’idea dei quantitativi mediamente servono 93.000 tonnellate di grafite in scaglie per produrre 35.200 tonnellate di grafite sferica da utilizzare come materiale anodico per batterie agli ioni di litio. Si ha quindi una perdita in peso di circa il 38% del materiale.



Source: Washington Post, Canaccord Genuity

**Figura 53: Supply chain dell’anodo**

Fonte: “Specialty Minerals and Metals, Industry Overview”, Canaccord Genuity, 2016

Come si è già detto oltre alla grafite naturale, per produrre anodi può essere utilizzata anche la grafite sintetica, che entra nella filiera delle batterie per supplire a mancanze di mercato o di purezza del materiale (figura 53). Infatti la grafite sintetica ha una maggiore stabilità sia alle alte che alle basse temperature e

mantiene la carica meglio della naturale. Quindi, in generale, opera in modo più affidabile e prevedibile durante l'utilizzo. La grafite sintetica però è in genere molto più costosa della grafite sferica naturale rivestita, a causa del costo dell'energia spesa nel processo di produzione. Questo fa sì che l'uso della grafite naturale possa essere utilizzato per ridurre il costo dell'anodo nella produzione della batteria. All'incirca il 75% del mercato degli anodi di grafite per le batterie a ioni di litio è ottenuto da grafite naturale mentre il 25% da grafite sintetica.

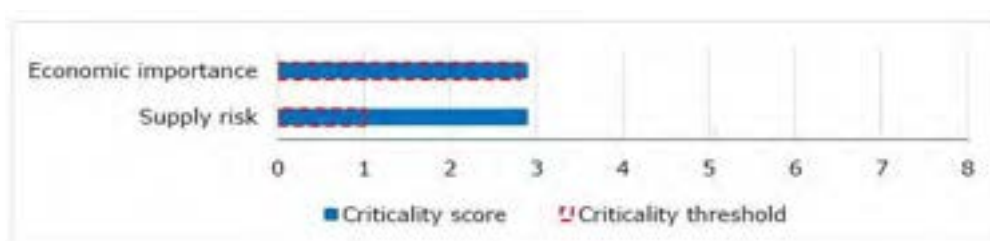
Attualmente tutta la produzione di grafite sferica si svolge in Cina vicino alle miniere. Anche la maggior parte della produzione di batterie, anodi e materiali anodici si trova in Cina, invogliato da costi di produzione inferiori e minori restrizioni ambientali sull'uso dei reagenti.

Anche l'ultimo step, il processo di rivestimento della grafite, attualmente avviene principalmente in Cina, seguita da Giappone, Corea e Taiwan.

Nel 2017 sono state utilizzate circa 120.000 tonnellate di grafite flake per produrre materiale anodico.

Secondo la Future Market Insights tutto il mercato della grafite nel 2016 valeva 15.763 milioni di dollari per un consumo globale di grafite stimato all'incirca di 2,8 milioni di tonnellate.

L'UE classifica la grafite naturale come una materia prima critica.



**Figura 54: Importanza economica e rischio di approvvigionamento della grafite naturale per l'UE**

Fonte: European Commission, 2017. Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets.

Nella figura 54 si nota come l'importanza economica abbia sfiorato di poco la soglia critica, ma come sia, invece, molto al di sopra nel rischio di approvvigionamento. Come abbiamo già visto, infatti, la filiera della grafite si svolge quasi completamente al di fuori dei confini dell'Unione Europea, andremo nel prossimo paragrafo ad analizzare proprio questo aspetto critico.

Un'ultima considerazione per terminare il discorso della value chain della grafite è sul riciclaggio di questo materiale. Nel diagramma di Sankey semplificato per la grafite nell'UE-28 di seguito (figura 55), viene mostrato il livello di circolarità di questa materia prima critica in Europa. La grafite riciclata nel 2012 risultava essere di 2.520 t, materiale che veniva rimesso nel sistema all'interno dei confini europei. Il discorso verrà approfondito successivamente, ma comunque bisogna specificare che questi quantitativi non arrivano dal riciclaggio delle batterie, se non in quantità minime, ma solitamente da materiali refrattari e lubrificanti. Questo è ben visibile osservando i quantitativi destinati a discariche, ben 42.100 t.

In generale l'abbondanza di grafite nel mercato mondiale a prezzi non particolarmente alti inibisce l'aumento degli sforzi nel riciclaggio di questo materiale.

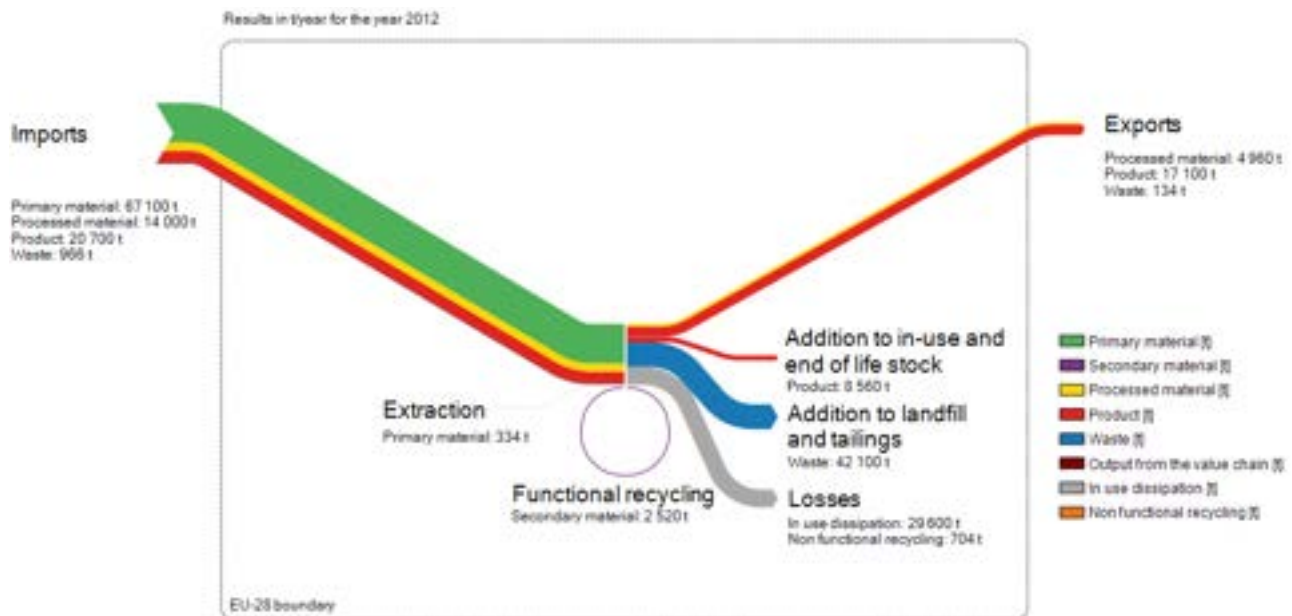


Figura 55: Diagramma di Sankey semplificato per la grafite naturale nell'UE-28

Fonte: "Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials", 2015

### 2.4.2 L'offerta

La produzione della grafite naturale tra il 2016 e il 2017 è rimasta pressoché invariata: la Cina rimane il maggior produttore con una produzione mineraria di 780.000 tonnellate, il paese rappresenta circa il 70% della produzione di grafite mondiale e il 35% dei consumi. Nonostante lo straripante predominio cinese in questo settore, gli esperti dicono che questo primato non continuerà per sempre. Infatti, negli ultimi anni, molte miniere hanno chiuso a causa del mancato rispetto delle nuove normative ambientali e questo trend dovrebbe proseguire. Come si vede dalla tabella (figura 56) la produzione di grafite è diminuita leggermente in Madagascar ma è aumentata esponenzialmente in Mozambico. Il secondo produttore rimane l'India. A seguire come per lo scorso anno ci sono Brasile, i cui produttori sono privati per cui non è facile reperire notizie, e Canada, che sta aumentando il suo interesse per questa materia prima da quando Tesla ha dichiarato di volerlo come fornitore. Rimangono stabili anche Ucraina, Pakistan, Norvegia e Russia, anche se quest'ultima ha dichiarato di avere 2 grossi progetti in via di sviluppo.

	Mine production		Reserves <sup>2</sup>
	2016	2017*	
United States	—	—	(?)
Brazil	95	95	70,000
Canada	30	30	(?)
China	780	780	55,000
India	149	150	8,000
Korea, North	6	6	(?)
Madagascar	8	7	1,600
Mexico	4	4	3,100
Mozambique	—	23	17,000
Norway	8	8	(?)
Pakistan	14	14	(?)
Russia	19	19	(?)
Sri Lanka	4	4	(?)
Tanzania	—	—	17,000
Turkey	4	4	90,000
Ukraine	15	15	(?)
Vietnam	5	5	(?)
Zimbabwe	6	6	(?)
Other	2	2	(?)
World total (rounded)	1,150	1,200	270,000

Figura 56:Produttori di grafite per il 2016 e il 2017 e riserve (migliaia t)

Fonte: US Geology Survey, 2018. Mineral commodity summaries 2018

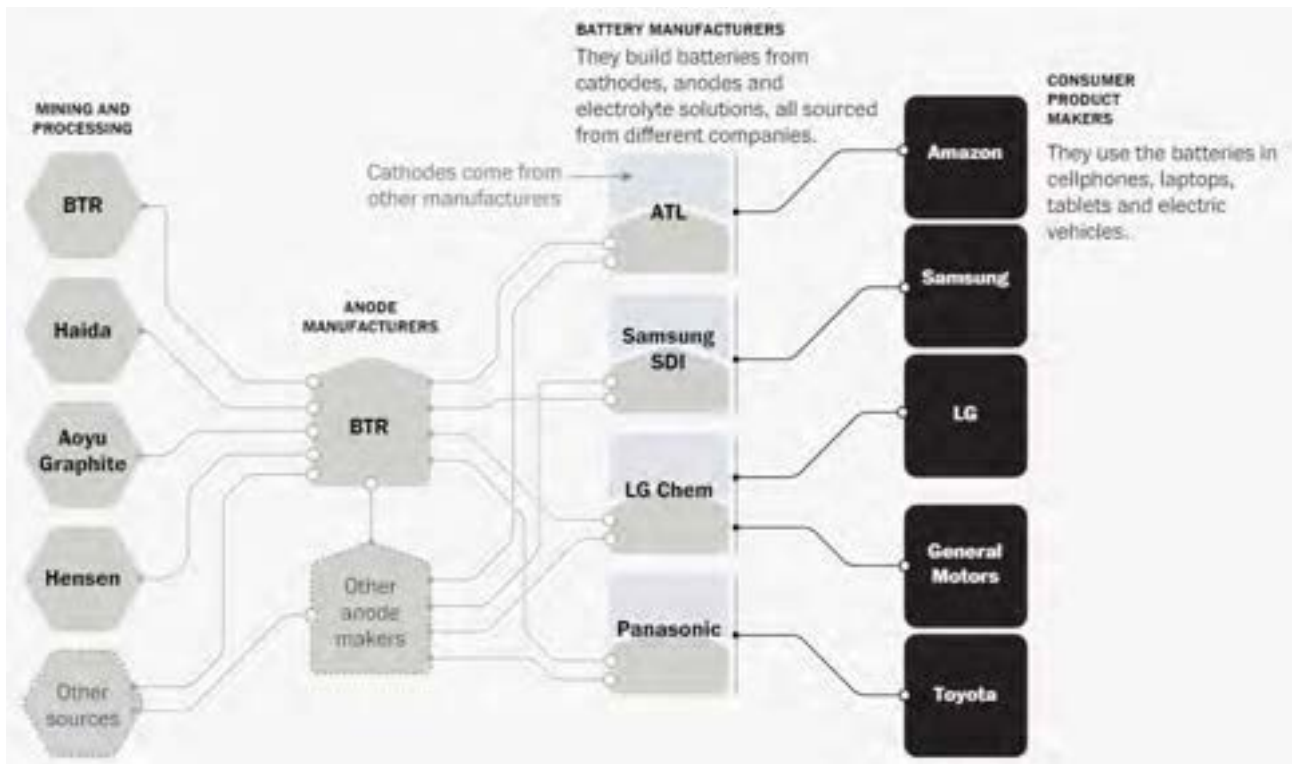
La crosta terrestre ha un'abbondanza di grafite piuttosto alta, oltre al potenziale aumento della produzione in India, Brasile e in tutta l'Africa, ci sono ulteriori esplorazioni e sviluppi negli Stati Uniti, in modo tale che la concentrazione geografica dell'offerta sia probabilmente solo di breve durata. Data l'elevata abbondanza e la facilità di estrazione della grafite naturale, la produzione diverrà geograficamente più diversificata con l'aumento della domanda. Infatti nuovi giacimenti si stanno sviluppando in Madagascar, Mozambico, Namibia e Tanzania, le miniere sono progettate per iniziare la produzione nel prossimo futuro. Già nel corso del 2017, alcune miniere in Mozambico e Tanzania hanno iniziato a produrre grafite. La Russia, che nel 2017 ha mantenuto invariata la sua produzione, prevede di aumentare significativamente la propria produzione grazie ai due grandi progetti di Dalgrafit e di Uralgraphite. In Europa la Norvegia ha tutti i depositi di grafite che contengono grafite in flake ma, generalmente, hanno un basso tonnellaggio. Tuttavia, si trovano in posizioni strategiche poiché sono vicini al mare e alla rete elettrica. Il Messico ha fornito quasi esclusivamente grafite amorfa e lo Sri Lanka invece tutta la varietà di polvere e flake. La Cina, il Canada, il Brasile e il Madagascar erano, in ordine decrescente di stazza, i principali fornitori di grafite cristallina e di flake. La Cina produce circa il 30% di grafite amorfa e il 65% in flake, di questa in parte sono flake di grandi dimensioni, ma la maggior parte della sua produzione è di flake molto piccoli. E' importante sapere che la grafite a scaglie larghe è quella più adatta per le batterie agli ioni di litio, al contrario, quella a scaglie piccole è meno pura e non adatta per le batterie. Perciò, poiché la Cina produce soprattutto grafite a scaglie piccole ci saranno grandi opportunità per quelle società che riusciranno a riempire il vuoto tra domanda e offerta a livello globale. Il Canada è il principale candidato poiché possiede giacimenti di grafite a scaglie larghe. Il mercato sarà sempre più affamato di grafite di alta qualità, non solo nel settore *EV*, ma anche nell'elettronica di consumo.

Inoltre, la grafite naturale può essere sostituita alla grafite sintetica e le fonti di produzione di quest'ultima sono abbastanza ben distribuite (la produzione di grafite sintetica è stata di circa 130.000 t negli Stati Uniti nel 2013). Le materie prime per la grafite sintetica possono essere materie prime come pet coke o pece di catrame di carbone, che vengono poi lavorati attraverso varie fasi di macinazione, miscelazione, riscaldamento, formatura e grafitizzazione per rendere utilizzabili come materiali anodici. La grafite sintetica è più costosa (secondo alcune stime, quasi il doppio), tuttavia, questo compromesso tra costo e concentrazione dell'offerta continuerà a influenzare l'uso di ciascuna di queste grafiti.

#### 2.4.2.1 *1 player*

Ad occupare una posizione centrale nella catena di fornitura della grafite è BTR, il più grande fornitore mondiale di materiale di grafite naturale per batterie agli ioni di litio. In un'intervista al Washington Post, Chen Bifeng, il 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 BTR distribuisce la grafite in tutto il mondo. La società vende grafite direttamente ai maggiori produttori di batterie agli ioni di litio, tra cui Samsung SDI, LG Chem e Panasonic. Queste aziende, a loro volta, producono batterie per Samsung, LG, GM, Toyota e altre società di consumo. BTR ha anche fornito la grafite ad Amperex Technology Ltd. (ATL) che realizza la batteria per Amazon Kindle (figura 57).



**Figura 57: Alcune delle connessioni nella catena di approvvigionamento della grafite per la fornitura delle batterie a ioni di litio**

Fonte: Whoriskey P., 2016. *In your phone, in their air*. The Washington Post. October 2, 2016.

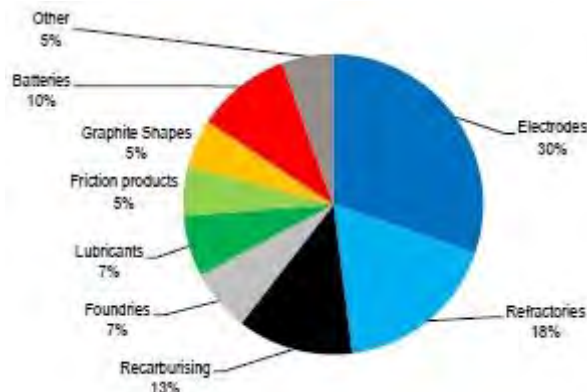
Il predominio della Cina nel settore della grafite è in parte dovuto al prezzo. Mentre il minerale può essere trovato altrove, il basso costo della grafite cinese scoraggia le aziende altrove dall'aprire le miniere. Secondo Stephen A. Riddle, presidente degli Asbury Carbons, con sede negli Stati Uniti, che ha iniziato a importare grafite dalla Cina negli anni '70, la ragione per cui la Cina è riuscita a catturare la maggior parte del mercato della grafite è principalmente una questione di "prezzo, purezza e quantità".

### 2.4.3 La domanda

Il consumo mondiale di grafite è aumentato costantemente dal 2013 fino al 2017. Tale aumento è il risultato del miglioramento delle condizioni economiche globali e del suo impatto sulle industrie che utilizzano grafite.

L'industria siderurgica è il motore storico della produzione e dei prezzi della grafite. Questo settore ha subito una serie di cambiamenti radicali dal 2017 legati all'introduzione in Cina di una nuova legislazione sulla protezione ambientale. La produzione di acciaio influenza i principali mercati della grafite sintetica negli elettrodi e della grafite naturale nei refrattari.

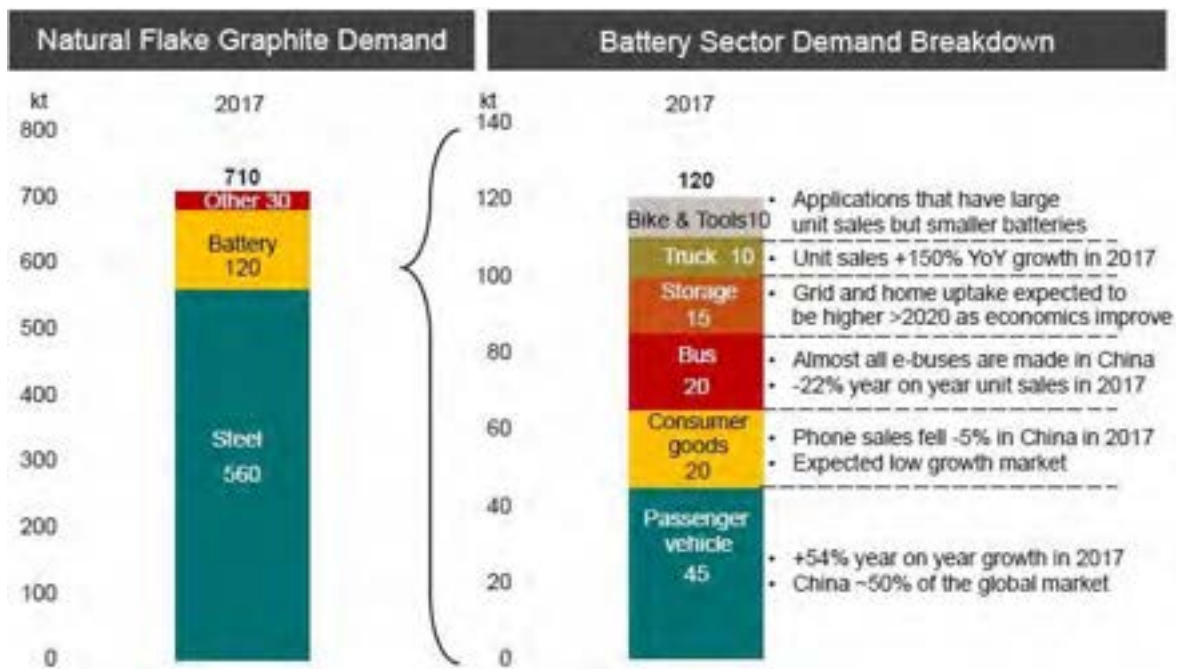
Nell'ultimo periodo il mercato dei veicoli elettrici è stato in continua crescita, ma le batterie sono ancora una piccola parte della domanda di grafite (figura 58).



**Figura 58: Il mercato della grafite ripartito per usi finali**

Fonte: "The Battery Revolution. Benchmark World Tour 2018", September 2018

Nel 2017 sono state utilizzate circa 120.000 tonnellate di flake di grafite per la produzione del materiale anodico nelle batterie agli ioni di litio. La crescita della domanda nel settore delle batterie per il flake di grafite nel 2017 è stata determinata dai veicoli per passeggeri e camion (figura 59).



**Figura 59: La domanda di flake di grafite suddivisa per settori**

Fonte: "Resources and Graphite Market Macquarie Bank Australia Conference", May 2018.

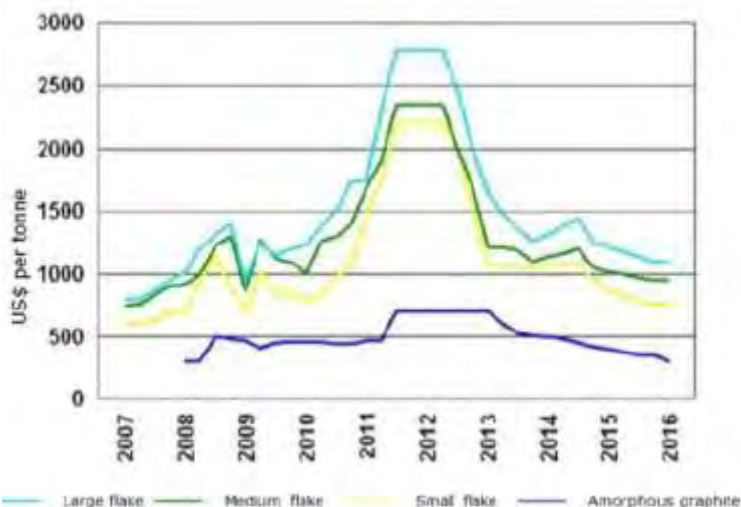
Nell'UE i principali usi finali della grafite naturale nel 2014 sono stati: refrattari per la produzione di acciaio (52%), refrattari per fonderie (14%), batterie (8%).

Con un consumo apparente di grafite naturale di circa 91.000 tonnellate all'anno in media nel periodo 2010-2014 e una produzione mineraria molto limitata, l'UE dipende fortemente da fonti di approvvigionamento esterne (dipendenza dalle importazioni del 99%). Tutto il flake di grafite è importato.

#### 2.4.4 I prezzi

I prezzi del flake di grafite sono rimasti relativamente stabili per molti anni fino al 2005, dopodiché sono gradualmente saliti al 2008, prima di calare nel 2009 in seguito alla crisi finanziaria globale. A causa dell'enorme fabbisogno di acciaio della Cina, i prezzi del flake di grafite sono aumentati vertiginosamente nel 2011-2012, ma da allora sono tornati ai livelli del 2008 a causa dell'eccessiva produzione e della riduzione

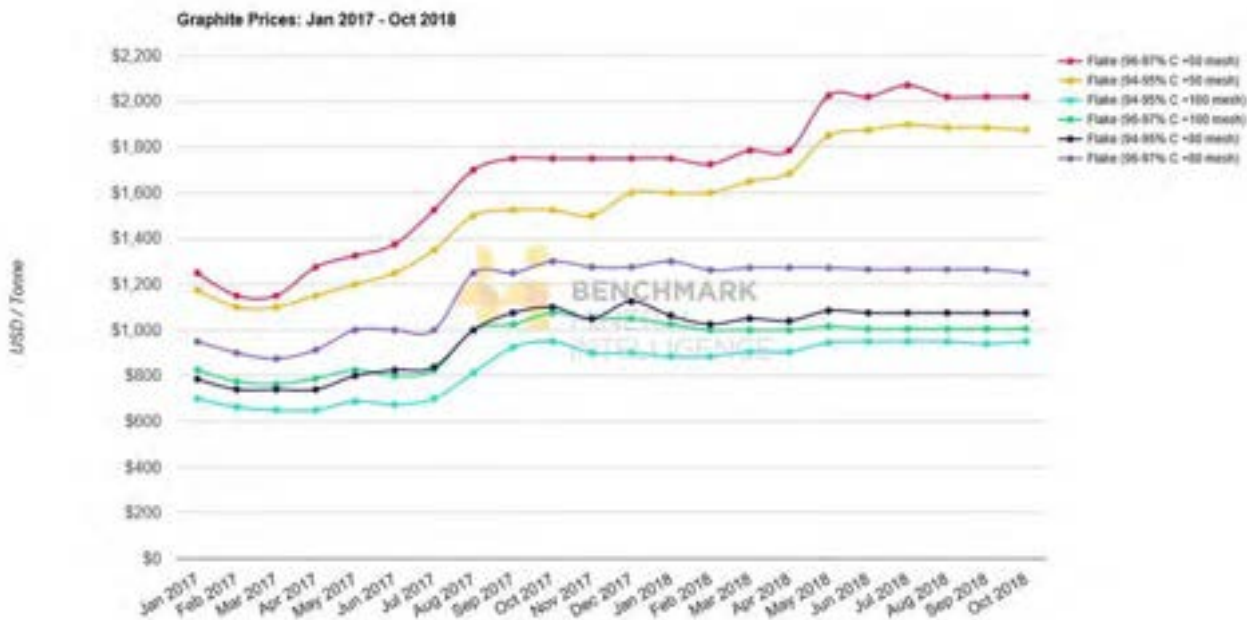
della domanda da parte dell'industria siderurgica. I prezzi della grafite amorphous hanno avuto un andamento più basso (figura 60).



**Figura 60: Trend dei prezzi della grafite amorphous e flake dal 2007 al 2016**

Fonte: “Commission Staff Working Document, Report on Raw Materials for Battery Applications”, 17.5.2018

Nel 2017, ad inizio anno, la Cina ha rimosso i suoi dazi sulle esportazioni, trascinando i prezzi del flake di grafite a nuovi minimi. Successivamente, l’introduzione di restrizioni ambientali alla produzione sempre in Cina, hanno avuto un effetto opposto sui prezzi (figura 61).



**Figura 61: Andamento dei prezzi del flake di grafite dal 2017 al 2018**

Fonte: Triton Minerals, “Graphite Industry and Price Update”, 2018.

Secondo la Northern Graphite ad Agosto 2018 i prezzi EXW China del flake di grafite erano i seguenti:

- XL Flake (+50 mesh, 94-97%C), 1.950 dollari per tonnellata;
- Large Flake (+80 mesh; 94-97%C ), 1.200 dollari per tonnellata;
- Medium Flake (+100 to -80 mesh, 94-97%C), 1.050 dollari per tonnellata;
- Small Flake (-100 mesh, 94-97%C), 850 dollari per tonnellata.

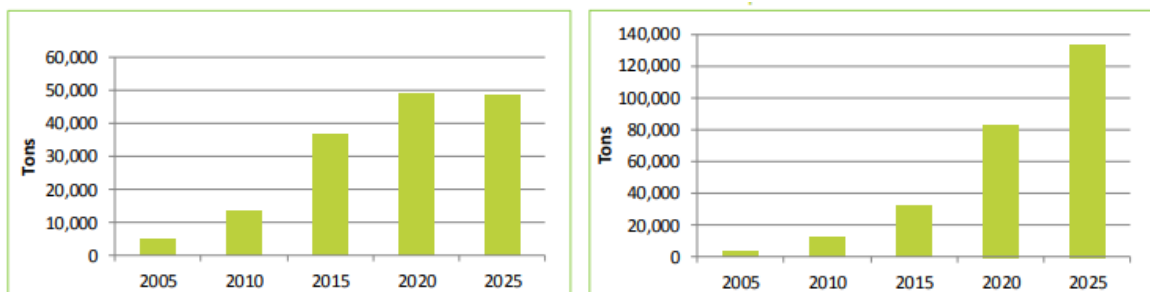
Fastmarkets ha stimato ad aprile 2018 il prezzo della spherical graphite uncoated (99.95% C, 15 microns) - FOB China a 2.700-2.800 dollari per tonnellata.

#### 2.4.5 Le aspettative

Secondo la Future Market Insights, la grafite sintetica dominerà il mercato complessivo della grafite grazie alla sua vasta applicazione in tutti i principali settori di utilizzo finale. La domanda di grafite naturale aumenterà a causa della sua crescente adozione in applicazioni come le batterie. Tuttavia, il segmento dei refrattari dovrebbe dominare il mercato globale della grafite in futuro. In tale direzione gli analisti prevedono che quest'ultimo segmento deterrà il 42,7% della quota complessiva di volumi entro il 2027, anche se il segmento batterie sarà quello più attraente nel mercato globale della grafite con un CAGR del 10,9%. La Future Market Insights prevede inoltre che l'area Asia-Pacifico continuerà a dominare il mercato globale della grafite in futuro. Ci si aspetta che la regione crescerà a un CAGR dell'8 % entro il 2027 a causa di una forte domanda di prodotti correlati alla grafite. L'aumento della domanda di veicoli elettrici, in particolare in Cina, trainerà l'elevata domanda complessiva di grafite della regione.

Per il National Graphene Institute la domanda di grafite è destinata a crescere già nei prossimi anni, e i vincoli di fornitura potrebbero essere ulteriormente stressati se il grafene dovesse davvero decollare come materiale per le batterie. Molti offrono grandi speranze per il minerale creato dall'uomo e la sua influenza sulle tecnologie delle batterie. Si prevede una forte crescita del grafene nei prossimi 10 anni. Il suo maggiore sviluppo e commercializzazione influenzeranno senza dubbio l'attenzione sulla grafite. La tecnologia sta rapidamente migliorando la lavorazione della grafite, aumentando l'attrattiva della grafite naturale.

La previsione per il futuro di Avicenne Energy del 2017 è che la richiesta di grafite continuerà a crescere anche se probabilmente in modo minore rispetto al passato, si pensa che dal 2025 potrebbe esserci anche un'inversione di tendenza, infatti potrebbe essere sostituita dalla grafite artificiale, come si può vedere dal grafico sottostante (figura 62).



**Figura 62: Richiesta di grafite e previsione fino al 2025. A sinistra per la grafite naturale a destra per la grafite artificiale**

Fonte: Avicenne Energy, 2017.

La diminuzione della richiesta potrebbe essere anche dettata da un cambio di tecnologia all'interno delle nuove batterie, infatti è in corso di studio la possibilità di mischiare del silicio alla grafite, fino a sostituirla per il 50% in peso di tutto l'anodo, ma questa soluzione probabilmente non sarà utilizzata a livello industriale fino al 2025.

Per Roskill, la domanda di grafite sta per entrare in un periodo di rapida crescita e di aumento dei prezzi. La società nota che, sebbene la domanda di acciaio ha tradizionalmente guidato i prezzi della grafite, la rapida crescita della domanda del flake di grafite naturale e della grafite sintetica nel settore delle batterie al litio, sosterrà la crescita totale della domanda di grafite tra il 5 e il 7% all'anno tra il 2017 e il 2027. Entro il 2027, il consumo di grafite nelle applicazioni della batteria potrebbe essere da 5 a 10 volte superiore rispetto al livello attuale, a seconda del livello di penetrazione delle batterie agli ioni di litio nei veicoli elettrici e nelle altre applicazioni. La grafite naturale è destinata a diventare il sottoinsieme di grafite a più rapida crescita fino al 2022 e i miglioramenti in purezza stanno aiutando la grafite naturale a penetrare nella tecnologia nucleare e nei mercati delle batterie di fascia alta, che in genere utilizzano materiali sintetici. Il prezzo

continuerà certamente ad essere un fattore determinante nella competizione tra grafite naturale e sintetica. Nel complesso, l'industria globale della grafite potrebbe valere 29,05 miliardi di dollari entro il 2022.

La Syrah Resources si aspetta che il mercato globale del flake di grafite vada in deficit tra la fine del 2019 e l'inizio del 2020, a causa della domanda di batterie agli ioni di litio che continua a crescere rispetto alla domanda di veicoli elettrici da trasporto. Syrah stima un aumento della domanda di quasi 400.000 tonnellate dal settore delle batterie tra il 2017 e il 2021, fino ad arrivare a 500.000 tonnellate rispetto ad un mercato globale di poco più di un milione di tonnellate in quell'anno (figura 63).

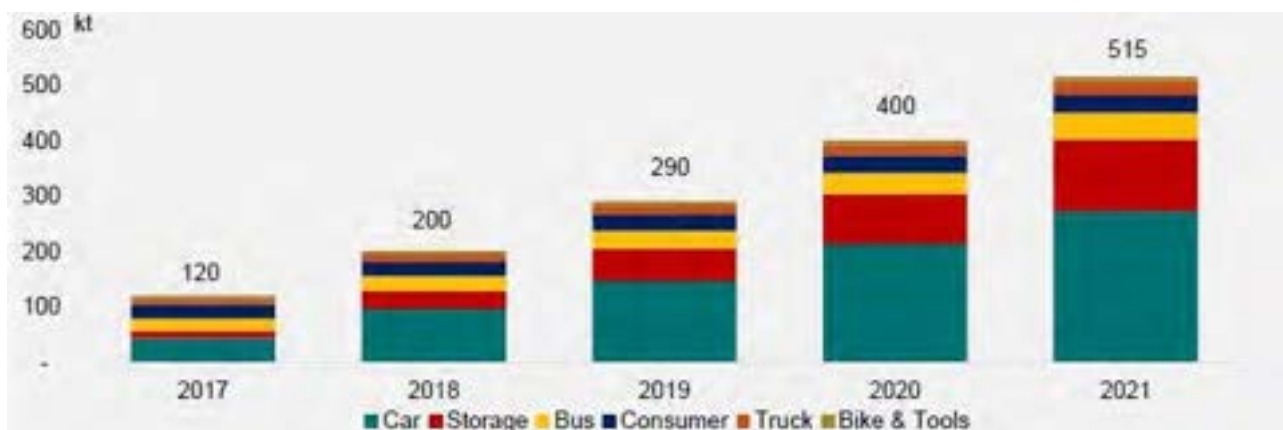


Figura 63: Aspettative della domanda di flake di grafite suddivisa per settori

Fonte: "Syrah Resources and Graphite Market Macquarie Bank Australia Conference", May 2018.

Di seguito un una sintesi di alcune delle principali aspettative legate ai prezzi della grafite (tabella 7).

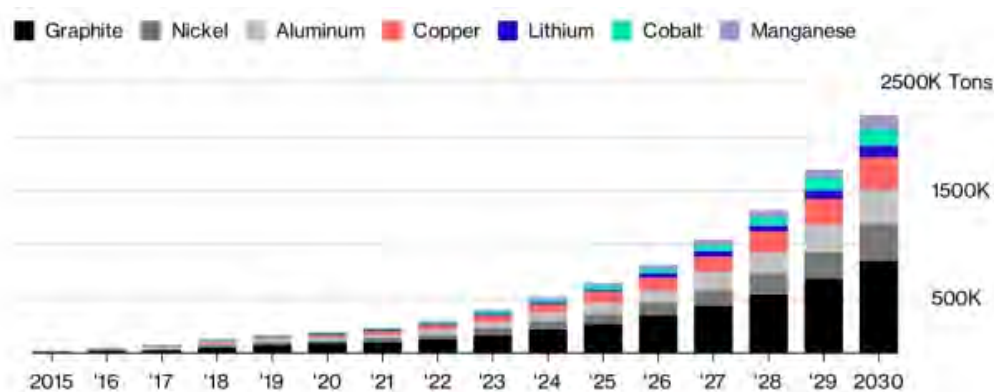
Tabella 7: Aspettative future sui prezzi della grafite

Fonte	Commodity	\$/Tonnellate				
		2018	2019	2020	2021	2022
Northern Graphite	XL Flake (+50 mesh, 94-97%C) - EXW China	1.950				
	Large Flake (+80 mesh; 94-97%C) - EXW China	1.200				
	Medium Flake (+100 to -80 mesh, 94-97%C) - EXW China	1.050				
	Small Flake (-100 mesh, 94-97%C) - EXW China	850				
UBS	- 100 Mesh Size, Flake, 94-95% C, FOB China	800	900	838	788	788
	+ 80 Mesh Size, Flake, 94-95% C, FOB China	1091	1125	1038	1.050	1.050
	+ 50 Mesh Size, Flake, 94-95% C, FOB China	1755	1688	1556	1.575	1.575
	Spherical Uncoated	3763	4500	4125	3.525	2.925
	Spherical Coated	7000	6000	5000	4.500	4.500
Fastmarkets	Spherical Graphite Uncoated (99.95% C, 15 microns) - FOB China	2.800-2.900				

### 3 Considerazioni riguardanti le materie prime utilizzate nelle batterie per ev

Il mercato delle auto elettriche è decisamente in espansione, sia perché intervengono fattori legislativi, primo tra tutti l'Accordo di Parigi per la riduzione di CO<sub>2</sub>, sia perché in alcune zone del Mondo il livello di inquinamento è arrivato a soglie ormai insostenibili. Sono infatti questi i primi Paesi dove abbiamo visto uno sviluppo sia delle produzioni che delle vendite delle auto elettriche.

Qualunque siano le cifre, sono comunque tutti concordi che il futuro dell'auto è nell'autotrazione elettrica. Sarà centrale, quindi il tema delle batterie e con queste i materiali che vi sono all'interno, soprattutto quelli particolarmente preoccupanti per approvvigionamento, costi, problemi geopolitici, socio-ambientali che abbiamo esaminato in questo studio. Nella figura 64 sono riportate le domande dei materiali che avranno un ruolo cruciale nella costituzione delle batterie almeno fino al 2030.



**Figura 64: Previsione della domanda di dei materiali per le batterie a ioni di litio per le auto elettriche fino al 2030**

Fonte Bloomberg new energy finance, 2018

Se le previsioni dello sviluppo delle auto elettriche saranno confermate ci sarà un ragguardevole aumento della produzione delle batterie per queste auto.

Le problematiche emerse in questo studio sono legate principalmente alle concentrazione delle filiere di questi materiali in pochi Paesi, che spesso hanno situazione politiche instabili o con poco rispetto della sicurezza e dell'ambiente. Si parte dalle posizioni geografiche in cui sono localizzate le miniere, alle aziende minerarie che operano in esse e infine all'identificazione degli impianti di lavorazione di questi materiali.



**Figura 65: Provenienza delle materie prime presenti nelle batterie per EV**

Fonte: "Lithium-Ion battery supply chain consideration: Analysis of Potential Bottlenecks in critical metals", Agosto, 2017

In figura 65 sono riportati solo i Paesi produttori principali per i diversi materiali presenti nelle celle delle batterie. Subito si nota la scarsità di materie prime in Europa di questi materiali, ma anche l'enorme concentrazione in alcune zone del Mondo che non hanno assetti geopolitici stabili. I materiali che risentono di più dei problemi geopolitici sono soprattutto cobalto e grafite. Queste concentrazioni sono state citate come una preoccupazione, poiché un fattore che rende i 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 l'incertezza dei prezzi delle materie prime. Infatti il Congo, maggior produttore di cobalto, ha una forte instabilità politica e l'avvicinarsi di diversi governi ha cambiato spesso le carte in tavola con le società che coltivano miniere nel proprio territorio, ricordiamo 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 di quest'anno. 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. D'altra parte le alternative non sono molte, infatti il Congo detiene più del 65% della produzione di cobalto mondiale (figura 66) e più del 50 % delle riserve stimate. La Russia, il secondo Paese per produzione di cobalto, nel 2017 ha estratto solo il 5% del cobalto mondiale, il che rende bene l'idea di come, al di fuori del Congo, le altre miniere abbiano capacità molto minori. L'unica alternativa nel futuro potrebbe essere l'Australia, che pur essendo al momento al di sotto del 5%, potrebbe incrementare la sua produzione grazie a delle riserve stimate che si aggirano intorno al 17% delle riserve mondiali. In effetti si stanno aprendo nuove possibilità proprio in questo Paese, grazie a esplorazioni per l'apertura di nuove miniere. Per il cobalto un'ulteriore preoccupazione nasce dal fatto che è un materiale 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 può essere affiancato al cobalto, anche in questo caso la produzione si concentra in gran parte in un unico Paese: la Cina (65% della produzione mondiale) (figura 66). La Cina, pur non avendo instabilità politiche, ha una politica di dazi che più volte ha inciso nel 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. Ma rimane il problema della poca attenzione all'ambiente, solo dal 2017 sono cominciate dei controlli sulle miniere cinesi, che hanno rilevato che molte di queste non rispettavano la normativa ambientale, con conseguente chiusura delle miniere stesse. Anche in questo caso l'alternativa vede l'India come secondo produttore ma con solo il 13% della produzione globale. Per il futuro fanno ben sperare le riserve di Brasile e Turchia con rispettivamente il 26 e il 33% delle riserve mondiali.

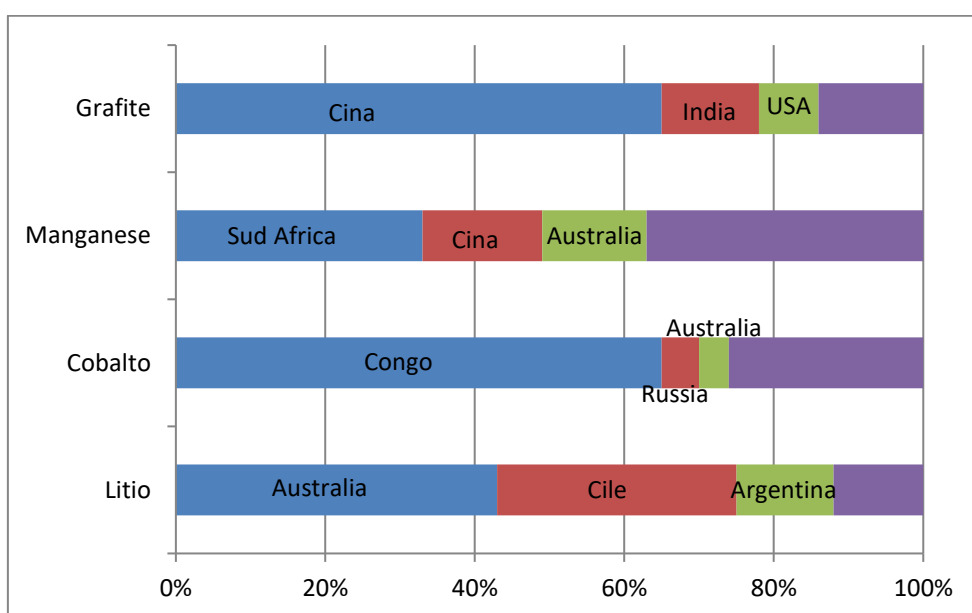


Figura 66: Paesi produttori di litio, cobalto, manganese e grafite

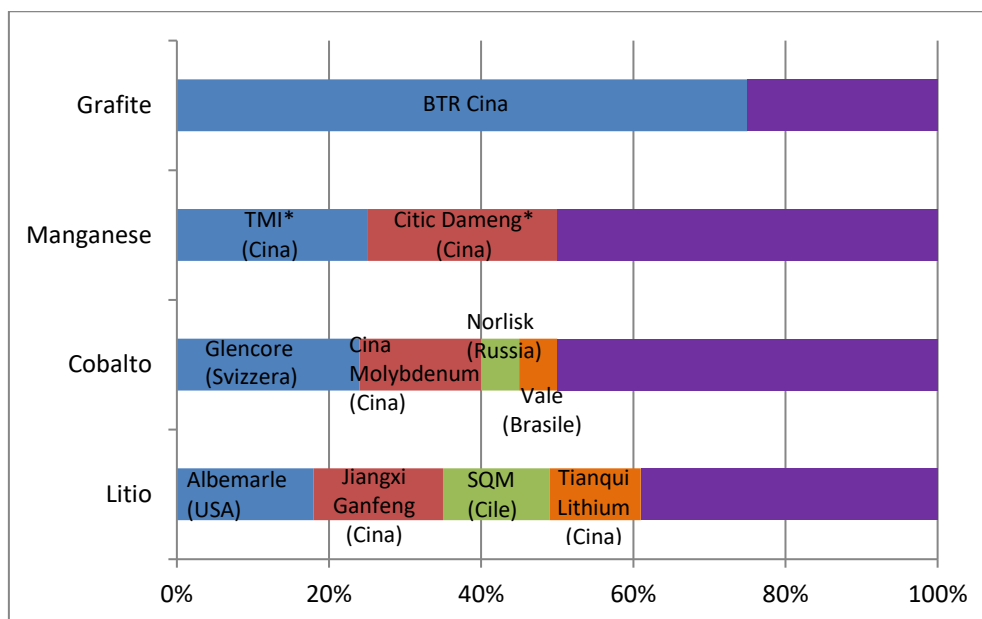
Fonte: Dati U.S. Geological Survey, "Mineral Commodity Summaries 2018"

Per il litio la produzione non è concentrata in un unico Paese, ma i primi due produttori detengono comunque il 75% del materiale estratto nel 2017. Australia (43%) e Cile (32%) dominano sicuramente il mercato, in particolare il Cile possiede anche le riserve maggiori con un 46% delle riserve mondiali. La politica cilena influenza molto la produzione dei minerali. Con il nuovo governo insediato a Marzo sembra che si apriranno molte possibilità per la coltivazione di nuove miniere.

La situazione del manganese è più frammentata, si hanno più Paesi produttori. Il caso del manganese è un po' particolare, mentre per gli altri flussi il mercato trainante era quello delle batterie, il manganese per batterie è una piccolissima fetta del mercato, all'incirca il 10%, per cui l'approvvigionamento in effetti è meno critico che per gli altri materiali.

Non si riassumeranno in questo paragrafo le problematiche relative alle tipologie di materiali estratti e alle loro purezze, ma ricordiamo come possano essere diverse le miniere per materiali prodotti (flake, sali, carbonati, ossidi, ecc...) e come questo sia importante per il loro uso finale. L'argomento è molto complesso e crea non pochi problemi all'interno della filiera, rimandiamo ai paragrafi che trattano l'argomento per l'approfondimento del tema, ma lo segnaliamo tra i punti nodali della catena del valore dei minerali.

I problemi non sono ristretti alla produzione, infatti le società estrattrici non hanno spesso le stesse bandiere del Paese in cui estraggono, oppure, come nel caso del litio, le miniere stesse sono in parte detenute da Paesi stranieri. Nel grafico (figura 67) si riportano questi dati per far emergere ancora più chiaramente come la situazione vede il mercato dei materiali utilizzati all'interno delle batterie in pratica in mano a pochi Paesi.



**Figura 67: Player dei mercati di litio, cobalto, manganese e grafite**

\* Non si conoscono esattamente le quote di mercato delle 2 società cinesi, nel complesso coprono il 50% del mercato

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, vedi la svizzera Glencore per il cobalto o la statunitense Albemarle per il litio.

La suddivisione che si è provato a fare 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, infatti, fanno accordi con più fornitori che allora 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.

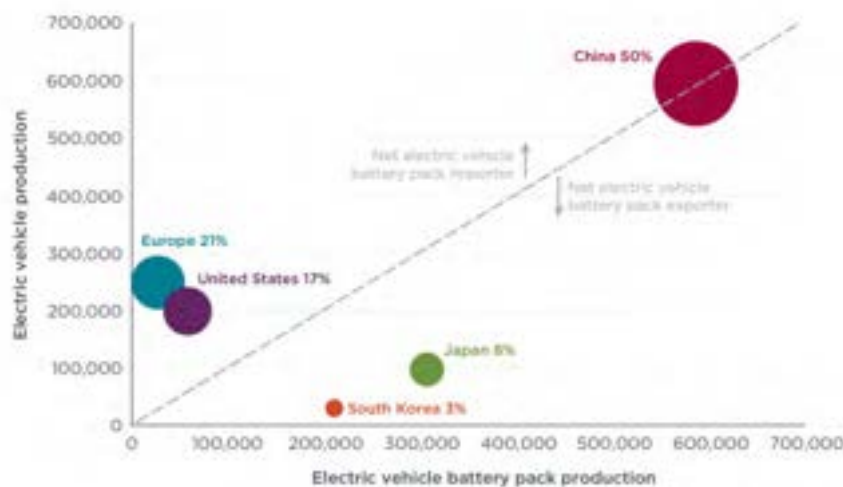
Per quanto riguarda la supply chain particolare attenzione viene sempre più posta alla produzione delle sostanze chimica per la batteria. Al crescere e/o al variare della domanda legata alle sostanze chimiche usate

nelle batterie per EV, infatti, possono determinare rigidità dal lato dell'offerta legate non soltanto alla fase di estrazione delle materie prima dalle miniere ma anche alla successiva fase di raffinazione realizzata da appositi impianti. La carenza di impianti di raffinazione, in combinazione anche con i più stringenti controlli ambientali, fanno sì che ci voglia un maggior lasso di tempo perché nuova capacità si possa materializzare nel mercato. La raffinazione a volte avviene in loco, dove vengono estratte le materie prime, ma spesso viene effettuata in altri Paesi, dove sono presenti impianti adatti ad ottenere il grado di purezza richiesto per i materiali presenti nelle batterie.

In questo caso la predominanza cinese è indubbia, infatti per litio, cobalto, manganese e grafite, il Paese che ha la più grande percentuale di quantitativi raffinati è appunto la Cina.

D'altra parte la scelta è chiara: avere una forte impronta su tutta la filiera e in particolare sui materiali lavorati. Infatti una volta che cobalto, grafite, litio e manganese sono trasformati in catodi, anodi e elettroliti, le compagnie vendono i loro prodotti ai produttori di batterie che hanno sede soprattutto in Cina, Giappone e Corea, 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, infatti a differenza di altri Paesi, come si vede dalla figura 68, non solo ha impianti per costruire batterie ma produce in casa anche gli autoveicoli elettrici.



**Figura 68: Produzione delle batterie per auto elettriche per i 5 maggiori produttori di auto elettriche nel 2017**

Fonte: "Power play: How governments are spurring the electric vehicle industry", Maggio 2018

La linea diagonale sovrapposta nella 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 produzione di batterie nella loro regione, quindi sono importatori di batterie, mentre quelli sottostanti sono esportatori. Quello che mostrata la figura è che Giappone e Corea del Sud stanno esportando batterie in Europa e negli Stati Uniti per la produzione di veicoli elettrici in queste due regioni. Nonostante ci siano quasi 50.000 vendite di veicoli elettrici in Giappone, in realtà si producono batterie per più del doppio delle auto che costruiscono. Anche la Corea del Sud ha venduto circa 14.000 veicoli elettrici in Australia nel 2017, ma hanno prodotto batterie 15 volte più dei veicoli elettrici. D'altra parte, gli Stati Uniti hanno prodotto solo il 29% di tutte le batterie dei veicoli elettrici che hanno assemblato. Per l'Europa vale lo stesso discorso solo l'11% delle auto che ha prodotto montavano batterie proveniente dai loro confini. La Cina è l'unica ad avere praticamente un equilibrio tra le batterie prodotte e il numero di auto.

Generalmente 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. Mentre questo potrebbe cambiare in futuro, le tendenze attuali indicano che la Cina svolgerà ancora un ruolo fondamentale in questa catena di approvvigionamento. Ad esempio, mentre la gigafactory in Nevada è stata progettata per raggiungere una capacità di 35 GWh entro la fine del 2020, la capacità della Cina potrebbe essere quasi il doppio rispetto allo stesso anno.

## 4 Riciclo delle batterie degli autoveicoli elettrici

### 4.1 *Fine vita: riuso e riciclo*

I metalli all'interno delle batterie a differenza del petrolio, che una volta utilizzato è perduto per sempre, possono essere riciclati, per cui oltre ai mercati delle materie prime è necessario considerare quello delle materie prime seconde, che soprattutto per litio e cobalto sta sviluppando un'industria interessante, come è avvenuto con il piombo delle vecchie batterie.

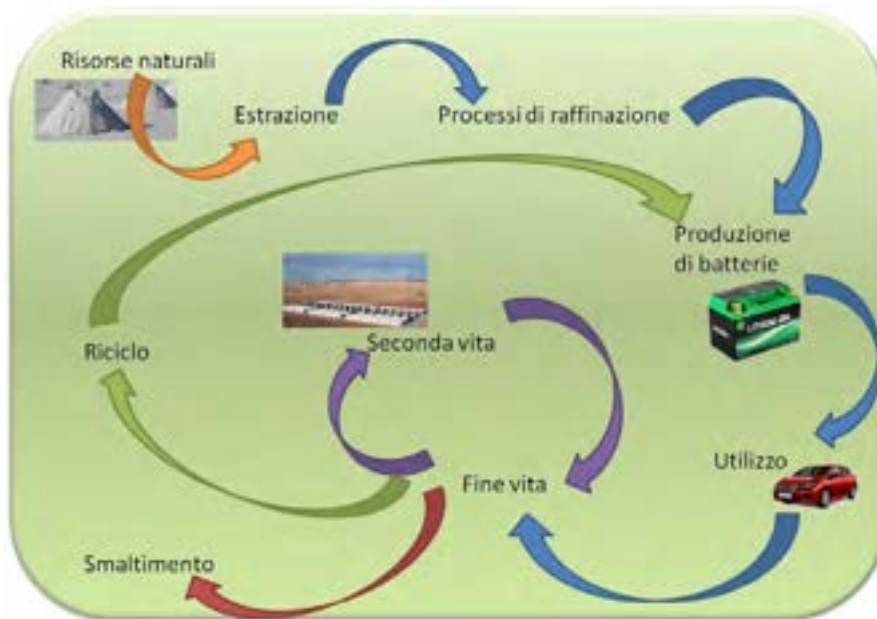
Capire la strada giusta per le batterie al termine della loro vita è complesso, date le molte opzioni disponibili e lo sviluppo tecnologico rapido delle batterie a ioni di litio, che variano per materiali, dimensioni, forma e quantità degli elementi catodici. La gerarchia delle opzioni include il riutilizzo nell'applicazione originale, l'uso a cascata in altre applicazioni, la rigenerazione o ristrutturazione, il riciclaggio e, infine, lo smaltimento.

La direttiva 2006/66/CE del Parlamento europeo (Allegato III) stabilisce che almeno il 50% in peso di materiali delle batterie debba essere riciclato. La direttiva permette di mandare fuori dai confini nazionali le batterie da riciclare, purché siano rispettate certe norme di sicurezza. L'esportazione può avvenire anche in Paesi al di fuori della Comunità europea. In Italia in effetti la prassi seguita è quella dell'esportazione, abbiamo infatti numerosi centri di raccolta con buone percentuali di recupero delle batterie usate ma non ci sono impianti di riciclaggio. Finora le batterie a ioni di litio, nonostante siano state sviluppate procedure di riciclaggio dei materiali strategici di cui sono costituite, non sono generalmente applicate e le batterie vengono smaltite senza essere riciclate. Questo perché il prezzo attuale sul mercato dei materiali non è sufficientemente elevato da rendere conveniente il riciclo, a differenza di quanto avviene per altre tecnologie. Un tema di ricerca importante potrebbe essere proprio la messa a punto di procedure di riciclaggio economicamente convenienti, finché non si arrivi ad avere quantitativi interessanti anche a livello industriale. Francisco Carranza, responsabile Energy service di Nissan, afferma che il problema fondamentale è che mentre il costo del riciclaggio completo di una batteria scende a 1 € al chilo, il valore delle materie prime che possono essere recuperate è solo un terzo di quello.

Un altro aspetto da considerare, è che la vita attesa di una batteria a ioni di litio per EV è superiore a quella del veicolo (spesso pari all'80% della capacità). Si potrebbero sviluppare quindi procedure per il suo riutilizzo in altre applicazioni (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.

Molte case automobiliste, tra cui BMW, Nissan, Renault ed altre, hanno proposto, almeno finché gli impianti di trattamento non siano a regime, di utilizzare le batterie per l'energy storage, cioè un riutilizzo come stoccaggio della rete, allungando la vita delle batterie potenzialmente per un altro decennio. I sistemi di stoccaggio a griglia utilizzano batterie che non funzionano più per alimentare le auto elettriche, ma che possedendo ancora tra il 70 e l'80% della capacità di alimentazione originaria, possono essere riutilizzate in modo efficiente per questo servizio. Joe Romm su ThinkReport sottolinea che la possibilità di riutilizzare le batterie delle auto elettriche in effetti potrebbe avere due grandi vantaggi: primo, queste batterie usate possono offrire uno stoccaggio di elettricità più economico per le rinnovabili rispetto a quello oggi disponibile. Secondo, se le batterie usate hanno un valore, allora i produttori possono caricare meno il costo per le loro auto, perché possono fare la differenza rivendendo la batteria in seguito, rendendole ancora più convenienti. Si potrebbe aggiungere a queste due considerazioni anche la riduzione dell'impatto ambientale complessivo di questi prodotti.

Al momento la Bloomberg New Finance stima che circa il 27% delle batterie a ioni di litio per la trazione elettrica siano riutilizzate in una seconda vita. L'analisi di Creation Inn, una società di consulenza specializzata in energy storage e in economia circolare, prevede che almeno il 60% delle batterie dei veicoli elettrici servirà in soluzioni di secondo utilizzo prima che vengano inviate al riciclaggio. Probabilmente il dato è sovrastimato, infatti le nuove linee guida sia in Europa che in Cina assicurano che almeno del 50% delle batterie esauste vengano avviate al riciclaggio, ma è anche vero che molte case automobilistiche stanno prendendo accordi perché una buona parte delle batterie vengano, almeno nei primi periodi, mandati al riutilizzo per l'accumulo. La Nissan Leaf, ad esempio, ha preso accordi perché le batterie a fine vita vadano a fare da tampone per le luci della Amsterdam arena. La strada del riuso viene prospettata anche da Giancarlo Morandi, presidente di Cobat, sottolineando che il secondo ciclo di vita determinerà molto probabilmente una riduzione considerevole dei loro costi di trattamento e recupero finali. Nella figura 69 viene riportato il ciclo di vita dei materiali di una batteria, dopo l'estrazione dalla miniera i materiali iniziano una strada ipoteticamente infinita visto che alcuni di loro potrebbero essere riciclati e riutilizzati all'infinito. Come abbiamo appunto detto precedentemente, alla fine dell'utilizzo della batteria in un'auto elettrica la sua capacità residua la rende disponibile per una seconda vita, con un uso differente dalla prima ma che può allungare la sua attività per altri 5/10 anni, a seconda della destinazione. Arrivata nuovamente al fine vita si troverà come unica strada percorribile quella del riciclo.



**Figura 69: Ciclo dei materiali presenti in una batteria**

Comunque la seconda vita delle batterie non dovrebbe frenare il riciclaggio, in quanto il valore all'interno delle batterie stesse ha un valore economico molto alto e rappresentano un'alternativa alle miniere, sia da un punto di vista ambientale che geopolitico. La possibilità di avere una produzione di materie critiche o problematiche all'interno del proprio Paese rappresenta una grande opportunità per tutti quei luoghi che ne sono poveri o sprovvisti completamente. Nonostante i vantaggi economici e ambientali del riutilizzo, permangono ostacoli significativi. La maggior parte delle vie di riutilizzo richiede protocolli di test e sistemi di gestione della batteria, soprattutto inerenti ai possibili problemi di sicurezza emersi. Altre barriere di riutilizzo includono l'affidabilità, le prestazioni e il disallineamento dei requisiti di progettazione tra le applicazioni originali e secondarie, come per esempio il caso di Tesla, il più grande produttore di auto elettriche Usa, che ha dichiarato le sue batterie probabilmente non adatte per stoccare energia dopo 10 o 15 anni di utilizzo e che ha quindi deciso di puntare direttamente sul recupero delle materie prime per produrre nuove batterie.

A livello globale le percentuali di batterie a ioni di litio esauste riciclate al momento sono intorno al 5%, ma in diversi Paesi si stanno muovendo sia a livello legislativo che finanziario per la costruzione di impianti che

possano gestire i quantitativi previsti per i prossimi anni. In particolare in Cina all'inizio del 2018 sono state pubblicate delle linee guida specifiche per questa tipologia di rifiuto.

Si prevede che per essere all'altezza degli obiettivi dell'Accordo di Parigi per mitigare il riscaldamento globale, i governi dovranno garantire sia che le auto elettriche diventino predominanti nel trasporto, diminuendo le emissioni di CO<sub>2</sub>; sia che le loro batterie non lascino una pesante impronta ambientale al termine della loro vita. Un'altra motivazione per cui è necessario intraprendere una politica del riciclo delle batterie sono gli enormi costi umani e ambientali rivelati in un rapporto di Amnesty International, in cui si evidenzia l'uso prevalente del lavoro minorile nell'estrazione di cobalto. Materiali quali litio, nichel, manganese e grafite sono stati anche collegati all'inquinamento, alla scarsità d'acqua e ad altri problemi ambientali e sociali.

Le batterie al momento presenti sul mercato delle auto elettriche sono molto diverse tra loro, per struttura e tipo di materiali presenti al loro interno. Linda Gaines, analista dei sistemi di trasporto e esperta di batterie per veicoli elettrici presso l'Argonne National Laboratory negli Stati Uniti, afferma: "La linea di fondo è che c'è tempo per costruire impianti". "Ma", aggiunge, "non sappiamo che tipo di batterie esisteranno. Sarebbe utile se le batterie fossero standardizzate e progettate per il riciclaggio, ma non lo sono."

Sono state condotte molte ricerche sul riciclaggio, che coprono una vasta gamma di tecnologie tra cui il pre-trattamento come lo smontaggio, la triturazione e le operazioni di segregazione, nonché tecnologie di recupero come pirometallurgia, idrometallurgia, estrazione con solvente ed elettro-raffinazione. Anche le infrastrutture industriali sono progredite, con alcune aziende che riciclano le batterie a ioni di litio su scala commerciale. In alcuni casi, tuttavia, il litio non viene recuperato o viene recuperato con impurità che lo rendono non adatto per il riutilizzo nella produzione di batterie.

Gli studi hanno rilevato risparmi di risorse derivanti dal riciclo e la potenziale notevole riduzione dell'impatto ambientale. L'obiettivo degli sforzi di riciclaggio è sui materiali catodici, in quanto costituiscono un'alta percentuale della massa totale della batteria e del costo, inoltre contiene anche metalli critici di interesse sopra esposti. Naturalmente, gli scenari di utilizzo secondari sopra descritti ritarderebbero l'arrivo di questi materiali alle operazioni di riciclaggio a fine vita.

Alcune previsioni stimano che il mercato del riciclaggio di batterie da EV potrebbe valere fino a 2 miliardi di dollari entro il 2022; tuttavia, l'incentivo economico per il riciclo dipenderà molto dalla chimica catodica delle future batterie per veicoli. Ad esempio, il recupero di manganese e litio da batterie LiFePO<sub>4</sub> e LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> tramite riciclaggio è più costoso rispetto all'estrazione di questi materiali, perché non presente il componente al momento più remunerativo: il cobalto.

Il recupero avviene quasi esclusivamente su materiali catodici, per l'anodo non si hanno informazioni che avvenga un qualche tipo di recupero.

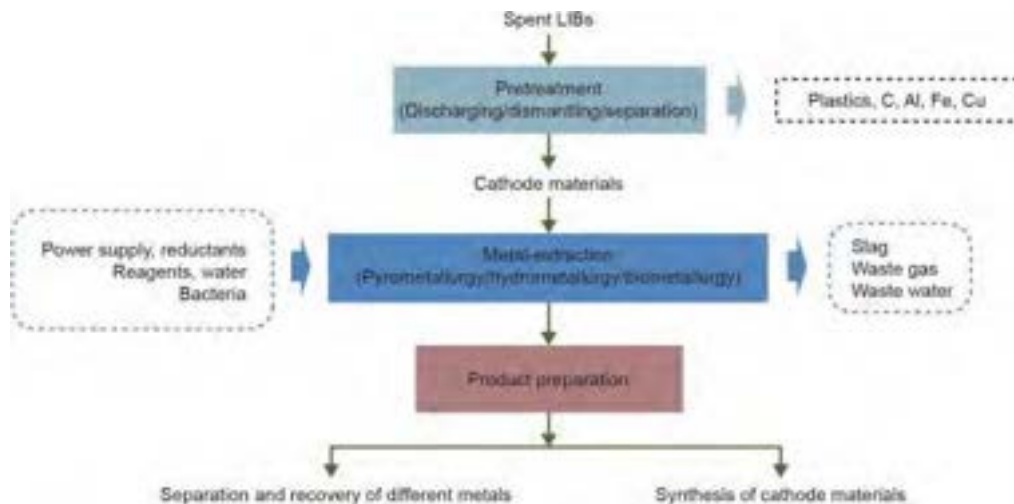
Un'ultima considerazione su cui è bene porre l'accento è il "caso cobalto". Infatti mentre si è visto come si cerchi di staccarsi dalla dipendenza di questo materiale a causa delle problematiche analizzate per l'approvvigionamento, si è altresì verificato come attualmente sia il materiale che rende economicamente conveniente il riciclo delle batterie. Abbassare i quantitativi del cobalto presenti nelle batterie rende il mercato delle materie prime probabilmente più sicuro, ma d'altra parte soffoca il mercato del riciclo, che, come abbiamo visto, viene trainato dagli alti prezzi di questo materiale. La progettazione e la scelta dei materiali per la realizzazione delle batterie dovrebbe quindi prevedere l'intero ciclo dei prodotti, non possono essere fatte delle scelte dettate da un unico settore, altrimenti si rischia di penalizzare una parte della value chain.

## 4.2 Tecnologie di trattamento

I processi di trattamento industriali per il riciclo delle batterie prevedono 3 fasi:

- pretrattamento,
- estrazione dei metalli (trattamento pirometallurgico, idrometallurgico o entrambi),
- processo di produzione dei prodotti.

Nella figura 70 sono riassunte le fasi solitamente presenti nei processi di trattamento e quali sono i materiali recuperati nei diversi momenti della linea di trattamento.



**Figura 70: Fasi di trattamento per il riciclo delle batterie esauste**

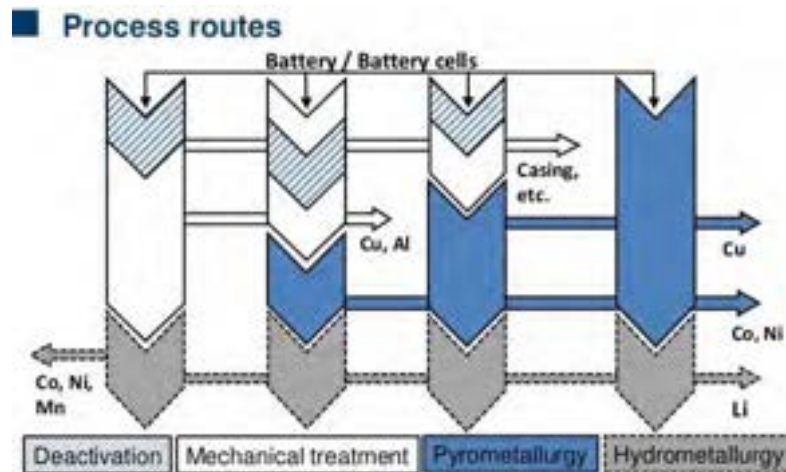
Fonte: "A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries", 3, Giugno 2018

Il pretrattamento serve solitamente per scaricare la batteria, per eliminare pericoli durante il trattamento, viene poi smantellata per cui sono recuperati i materiali del case di copertura: pastiche, alluminio, ferro, rame, ecc..

Il processo di estrazione del metallo è una parte significativa dell'intero processo di recupero; si concentra sul cambiamento dei metalli solidi nella loro forma di lega o stato di soluzione, che facilita la successiva separazione e recupero dei componenti metallici. Gli approcci principali adottati durante il processo di estrazione includono pirometallurgia e idrometallurgia. Di questi approcci, l'idrometallurgia è diventata un processo promettente grazie al suo buon tasso di recupero e all'elevata purezza del prodotto, anche se l'utilizzo di una grande quantità di reagenti crea il problema del trattamento dei fluidi in uscita. La pirometallurgia ha il vantaggio di essere una tecnologia più semplice, ma meno ecologica a causa del suo elevato consumo di energia e dell'inquinamento secondario, anche se, come vedremo, si stanno sviluppando tecniche a temperature più basse e impianti per trattamenti dei fumi molto efficienti.

I processi di estrazione descritti in realtà non sono necessariamente uno l'alternativa dell'altro. Nella figura 71 sono ben schematizzati diversi tipi di trattamento, come si può vedere le diverse tecnologie possono essere associate in diversi modi. Se si osservano le 4 linee di processo schematizzate si vede che quasi sempre è presente una fase di disattivazione della batteria (deactivation, frecce con linee), in cui la batteria viene privata di una carica residua, si può mettere in sicurezza anche con un pretrattamento termico o con un congelamento criogenico dell'elettrolita. In questa fase in pratica si eliminano i fattori di pericolo per le fasi successive e non abbiamo recupero di nessun materiale. Una seconda fase quasi sempre presente è quella di smantellamento (mechanical treatment, frecce bianche), che può avvenire manualmente, oppure può esserci una triturazione e successivamente una classificazione o una setacciatura. Può essere effettuata anche una separazione magnetica, con correnti parassite, ecc.. Questo permette di recuperare rame, alluminio, ferro, plastiche, in pratica i materiali che compongono l'involucro. Si passa poi al trattamento vero e proprio che può essere pirometallurgico (frecce blu) o idrometallurgico (frecce celesti) o una combinazione dei due. Entrambe le soluzioni pirometallurgico e idrometallurgico possono gestire una varietà di tipi di batterie diverse, ma i processi alterano la chimica originale delle sostanze che abbassano il valore dei prodotti che possono essere recuperati e riciclati. In questa fase possono essere inviati tutti i materiali della batteria o solo parti di questa (celle, elettrodi, ecc...). Come vedremo esistono diversi processi sia pirometallurgici che idrometallurgici, per semplificare la schematizzazione comunque possiamo vedere che i prodotti che escono da questa fase, sono in definitiva rame, cobalto e nichel per il processo pirometallurgico e litio, cobalto, nichel e manganese per il processo idrometallurgico. Come si nota, da ogni processo escono materiali differenti

legati a tutti i trattamenti subiti, per cui nella quarta linea di processo dove c'è stato un trattamento pirometallurgico seguito da uno idrometallurgico, abbiamo recupero di rame, cobalto e nichel dal primo trattamento e di litio nel secondo trattamento.



**Figura 71: Schematizzazione dei processi di trattamento delle batterie a ioni di litio**

Fonte: "From battery to precursor and back again - Recycling of Lithium-Ion batteries", Presentazione a Lion Engineering, 7 Aprile 2016

Gli schemi di processo degli impianti industriali che riciclano batterie sono molto più complessi, i trattamenti dopo il processo pirometallurgico, per esempio, cercano di ottenere materiali sia dai fumi che dalle scorie rimaste, per cui utilizzano differenti tecnologie e differenti reagenti per estrarre materiali.

Gli impianti in Europa che trattano batterie a ioni di litio sono quelle riportate nella figura 72, sono segnati anche i tipi di trattamento utilizzati e i materiali recuperati.

Company	Location	Recycling process	Materials recovered
Accurec	Germany	Pyrolysis and hydrometallurgy.	Aluminium, copper, iron scrap, iron/magnesium, nickel/cobalt, future: LiCO <sub>3</sub> .
Recupyl	France	Mechanical separation, hydrometallurgical leaching and refining.	Aluminium, cobalt, stainless steel, lithium products.
SNAM	France	Crushing, pyrolysis, distillation, pyro-metallurgy.	Ca, ferro nickel alloys, ferro cobalt alloys
Umicore	Belgium (Sweden)	Pyrometallurgical smelting followed by hydrometallurgical refining.	Cobalt, nickel
Batrec	Switzerland	Pyrolysis, pyrometallurgy.	Ferromanganese, Zn, mercury.
G & P Batteries	UK	Pyrometallurgical or hydrometallurgical.	
Pilagest	Spain	Mechanical separation, chemical treatment.	Plastic, paper, ferro compounds, ferric components, metals, zinc sulphate, manganese salts/dioxide/graphite.
Eurodieuze	France	Hydrometallurgy	Nickel, cadmium, steel
GRS Batterien	Germany	Pyrometallurgy	Cobalt, nickel, copper

**Figura 72: Società che riciclano batterie a ioni di litio in Europa (2015)**

Fonte: "Lithium Ion battery recycling technology", 2015

Vedremo ora schematicamente in cosa consistono il processo pirometallurgico e quello idrometallurgico evidenziando quali impianti utilizzano uno o l'altro e con quali modalità particolari.

#### 4.2.1 Processo pirometallurgico

La pirometallurgia coinvolge tipicamente la fusione diretta di rifiuti ad alte temperature e in genere ha un

elevato recupero di metalli preziosi, come cobalto e nichel, da scarti di batterie. I processi sono molto adattabili alle diverse tipologie di batterie e, il che costituisce un vantaggio per rifiuti eterogenei come i rifiuti elettronici e batterie.

Tuttavia, vi sono impatti ambientali negativi a causa dell'alto consumo di energia e delle emissioni di inquinanti (ad esempio CO<sub>2</sub>, diossine e furani) e della perdita di metalli e materiali come litio, manganese, ferro o alluminio e plastica, che sono difficili da recuperare. Qualsiasi processo pirometallurgico comporta il riscaldamento e l'aggiunta di energia termica perché le reazioni trasformino il materiale. A temperature più basse le reazioni coinvolgono transizioni di fase e cambiamenti strutturali mentre a temperature più elevate le reazioni chimiche sono coinvolte in misura maggiore. Usando le temperature elevate le batterie possono essere fuse. Il risultato finale è una frazione metallica, scorie e gas. La fase gassosa contiene prodotti di decomposizione volatili dei materiali organici; contiene anche qualsiasi metallo volatile (come Hg e Zn se presenti).

La tecnica pirometallurgica viene solitamente utilizzata in forni industriali. I processi sono gestiti con ossidazione o processi di riduzione. Il processo metallurgico è una tecnica di fusione con agente riducente per ottenere metallo. Il metallo viene raffinato, cioè avviene una rimozione diretta del contaminante dai metalli. È anche possibile un processo di distillazione. I processi pirometallurgici sono veloci e facili da gestire. Dopo aver fuso le batterie o le celle vengono prodotte delle leghe metalliche e delle scorie. Inoltre viene raggiunta una riduzione del consumo di carburante riutilizzando per la combustione le materie plastiche. D'altra parte la formazione della lega metallica rende quasi impossibile ottenere metalli specifici. I componenti organici della batteria sono bruciati e non riciclabili. Il recupero dalle scorie potrebbe essere realizzato mediante condensazione o processi idrometallurgici. Inoltre i gas di combustione vanno trattati con complessi e costosi processi.

Di seguito si elencheranno le fasi più comuni che avvengono durante un processo pirometallurgico:

1. Calcinazione/Pirolisi: è il processo di riscaldamento moderato per decomporre termicamente il materiale, ad esempio per cambiare la struttura di una fase cristallina. Può anche essere utilizzato per far evaporare i componenti volatili. Le reazioni che si verificano durante la calcinazione sono reazioni interne che coinvolgono solo il materiale stesso. A temperature intorno ai 700 ° C i composti organici si sono decomposti. I componenti metallici sono stabili come metalli o come forma ossidata.
2. Riduzione / fusione: Il riscaldamento del materiale produce una fusione. Poiché i metalli sono ossidati (donano elettroni) quando formando legami chimici la reazione inversa deve fornire elettroni. Aggiunta di agenti riducenti (ad esempio carbone) consente di ridurre i metalli (legati) alla fase metallica. Il prodotto fuso metallico contiene i metalli ferrosi mentre quelli con bassa affinità con l'ossigeno finiscono nelle scorie. A seconda dell'aggiunta di sostanze e altri agenti chimici, la composizione delle scorie e il suo contenuto possono essere alterati.

Gli impianti che utilizzano la pirometallurgia sono Snam in Francia, Batrec in Svizzera, GRS Batterien in Germania e INMETCO negli Stati Uniti.

Batrec prima del processo pirometallurgico prevede un processo di separazione meccanica, in modo da recuperare alcuni dei materiali a monte. Le batterie vengono schiacciate in un'atmosfera di gas CO<sub>2</sub>. In tal modo, l'elettrolita organico volatile evapora e viene raccolto come condensato però non utilizzabile. Alla fine del processo viene recuperato ferromanganese.

Snam ha sviluppato il progetto ReLionBat per riciclare le batterie agli ioni di litio, nel processo si fa un trattamento pirolitico per ottenere fino al 60% dei componenti della batteria, principalmente leghe di cobalto e di nichel.

Il processo sviluppato da Inmetco è nato per riciclare batterie esauste NiCd, NiMH e Li-ion. Il rottame di batteria agli ioni di litio viene caricata in un forno elettrico ad arco come materia prima secondaria, cioè in quantità minore dei rottami delle altre due tipi di batterie, oltre al materiale contenente ferro. L'obiettivo principale è il recupero di cobalto, nichel e ferro per la produzione di una lega a base di ferro. I materiali organici e il carbonio vengono bruciati e utilizzati come agenti riducenti. Nella figura 73 viene illustrato il

diagramma schematizzato della linea di processo. Da notare come nessuna di queste industrie riesca a riciclare litio, che viene disperso nei fumi durante la pirolisi.

#### 4.2.2 Processo idrometallurgico

L'idrometallurgia riguarda i trattamenti sulla soluzione acquosa e implica portare il materiale in soluzione e le successive operazioni per separare i diversi componenti. In linea di principio, il trattamento idrometallurgico dei rifiuti delle batterie può consentire il recupero di tutti i componenti metallici e non metallici presenti. Tuttavia, è necessaria una quantità significativa di pre-trattamenti per promuovere l'efficienza del recupero. Spesso, il pre-trattamento è manuale e, se intrapreso su larga scala, questo pretrattamento può comportare costi di elaborazione elevati. Ciò consente il recupero della maggior parte delle materie plastiche associate ai materiali dell'involucro. Separate le polveri degli elettrodi vengono quindi sottoposte a trattamento con acidi o alcali per solubilizzare i metalli contenuti nei rifiuti. Il costo e la rigenerazione dei reagenti, così come il trattamento dei rifiuti pericolosi prodotti sono questioni importanti da prendere in considerazione nella scelta del trattamento. Il recupero del metallo può essere influenzato negativamente da piccoli cambiamenti nella composizione delle diverse tipologie di batterie, spesso contengono concentrazioni variabili di molti metalli, quindi il processo idrometallurgico può essere difficile da applicare in modo efficace.

Per estrarre e / o purificare elementi metallici da una miscela, diversi studi sono stati condotti con l'obiettivo di operare il più possibile a ciclo chiuso, soprattutto sulle batterie più utilizzate:

- Batterie basate su NCA per il recupero separato di Co e Ni
- Batterie basate su NMC per separare Ni, Co e Mn,
- Batterie LFP e LTO che rappresentano un problema economico a causa del basso valore degli elementi (Fe, Li e P).

I processi idrometallurgici si basano normalmente su una fase di dissoluzione o lisciviazione grazie a acidi forti (per esempio solforico, cloridrico o nitrico) e una separazione chimica per estrarre specie relativamente pure dagli altri.

Di seguito vengono elencate le fasi del processo idrometallurgico.

1. Lisciviazione: è una tecnica comune di riciclaggio. L'estrazione di un elemento solubile (spesso metallo) da un solido con un solvente è indicato come lisciviazione. Il processo può servire a diversi scopi a seconda della situazione. La lisciviazione può essere utilizzata per ottenere i metalli in soluzione per raffinare ulteriormente, ma può anche esserci la lisciviazione selettiva verso elementi specifici. La selettività della lisciviazione di un materiale specifico, ovviamente, dipende dalla composizione della lisciviazione. La lisciviazione acida è una procedura standard in molti processi di recupero in cui sono presenti più metalli. Anche la lisciviazione con basi può essere eseguita, ma non è così comune. Oltre la scelta di acido o di base per la lisciviazione ci sono anche altre configurazioni che possono cambiare la selettività o l'efficienza. La lisciviazione riduttiva può migliorare l'efficienza modificando lo stato di ossidazione dei metalli. Un altro modo per migliorare l'efficienza della lisciviazione è la lisciviazione complessometrica. Il metodo include un estrattore che può formare composti con le specie liscivate. Questa tecnica rimuove il metallo dalla liscivia, mantenendo bassa la sua concentrazione nei metalli. L'efficienza di lisciviazione sia per litio che per cobalto si riduce quando la lisciviazione viene effettuata a temperature più basse e con acidi organici o inorganici più deboli. L'efficienza del recupero di cobalto e manganese è stata migliorata con l'aggiunta di riduttori alla soluzione che promuovono la conversione di  $Co_{3+}$  in  $Co_{2+}$  e  $Mn_{4+}$  in  $Mn_{2+}$  per il recupero mediante elaborazione a valle, riduce anche il volume e la forza dell'acido richiesto per la dissoluzione del metallo.  
La lisciviazione può essere eseguita sul materiale dell'elettrodo direttamente dopo la frantumazione o dopo altra separazione. È anche possibile lisciviare le scorie rimanenti dopo il trattamento pirometallurgico, ma le scorie possono essere difficili da lisciviare in modo efficace. La polvere dell'elettrodo separato viene miscelata con soluzioni per solubilizzare tutti i metalli della polvere.

Generalmente vengono utilizzate soluzioni acquose di acido muriatico (HCl), acido nitrico (HNO<sub>3</sub>) e acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Con un filtrazione il residuo solido di grafite e PVDF è separato dalla soluzione.

Lo svantaggio di questo processo sono i tempi lenti e l'uso di acidi aggressivi.

2. **Precipitazione:** è il processo per ottenere elementi dalla soluzione producendo composti insolubili. Questo processo avviene dopo la lisciviazione per rimuovere i metalli dalla soluzione come composti difficilmente solubili. La procedura comune è l'aggiunta di altre sostanze chimiche che reagiscono con le specie che si trovano come solvente, che formano sali insolubili nel precipitato. Anche alterare il pH o la temperatura può dare precipitazioni modificando la solubilità. Il precipitato può essere recuperato mediante centrifugazione o filtrazione.

Il vantaggio della precipitazione è quello di poter riutilizzare il materiale che è stato utilizzato tramite un agente di solidificazione adatto. Uno svantaggio è la possibilità di trovare tra i legami metallici piccole parti dei prodotti chimici utilizzati che rende necessario un ulteriore passaggio di pulizia. La maggior parte dei processi in cui si forma precipitato richiede una fase di lavaggio per rimuovere le impurità.

3. **Estrazione mediante solvente:** l'estrazione con solvente fa uso di un sistema a due fasi normalmente costituito da una fase organica e una fase acquosa che sono immiscibili. La separazione delle sostanze può essere ottenuta a causa della distribuzione non uniforme di una sostanza tra le due fasi. Poiché i metalli in soluzione acquosa sono presenti come specie cariche non sono generalmente solubili in solventi organici non polari. L'aggiunta di agenti complessanti alla soluzione rende possibile la formazione di specie non caricate (e di altre specie). I complessi idrofobici saranno più facili da trasferire alla fase organica, dando una distribuzione disomogenea dei metalli permettendo loro di essere separati. Un agente complessante con una maggiore selettività verso la formazione di complessi con un metallo specifico migliora la selettività. Anche se la selettività non è molto alta per un metallo, la separazione può essere raggiunta utilizzando più fasi. Gli elementi appartenenti allo stesso gruppo della tavola periodica sono spesso vicini nelle proprietà chimiche, quindi sono più difficili da separare. Un possibile metodo è il collegamento selettivo di specifici ioni metallici attraverso un dissolvente organico insolubile in acqua. Il resto degli ioni metallici rimane nella soluzione liquida. Entrambe le soluzioni possono essere separate attraverso la sua differenza di densità. Per recuperare la soluzione nei metalli legati alla soluzione, è possibile una vaporizzazione o un'elettrolisi. Un'altra tecnica è quella di separare entrambe le soluzioni con ioni metallici come risultato della loro differenza di densità. Quindi la precipitazione dei metalli è possibile a valori di pH chiaramente definiti.

Il vantaggio dell'estrazione del solvente è la selettività. È possibile estrarre ioni di singoli metalli, ad es. ioni di litio, da una soluzione. I complessi riacquistati spesso hanno una qualità superiore rispetto ai complessi precipitati. Il grande svantaggio è l'alto prezzo e la tossicità dei solventi (benzene, toluene, cherosene, ...).

4. **Separazione elettrochimica:** per ottenere la riduzione necessaria per estrarre componenti metallici dalla soluzione è possibile utilizzare l'elettrometallurgia. Nell'elettrometallurgia vengono utilizzati due elettrodi per fornire energia alla soluzione che producono l'ossidazione e la riduzione degli ioni nella soluzione. Il metodo richiede diversi potenziali riduttivi e ossidativi per i metalli presenti nella soluzione. L'estrazione con solvente può essere utilizzata per separare i metalli in soluzioni diverse, consentendo in tal modo una deposizione elettrochimica di metalli di purezza molto elevata. Un altro metodo è una cella di elettrolisi in cui gli elettrodi sono separati attraverso una membrana. La membrana è porosa solo per gli ioni metallici. Sul lato del catodo gli ioni metallici vengono concentrati fino a quando viene superata la soglia di solubilità e gli idrossidi di metalli cominciano a precipitare. In un'altra tecnica, l'anidride carbonica gassosa viene introdotta nella cella di elettrolisi che avvia la precipitazione del carbonato di litio sul lato del catodo.

I processi elettrochimici sono lenti e la loro produttività è bassa.

Il vantaggio dell'idrometallurgia è la sua selettività. Una separazione diretta con cui viene raggiunta un'elevata efficienza e il recupero di diversi materiali. L'energia utilizzata dipende dalla bassa temperatura necessaria per operare con questa tecnologia. Il livello di emissione è minimo, in modo che quasi nessun

inquinamento atmosferico influisca sull'ambiente. D'altra parte le reazioni chimiche sono lunghe e meno produttive dei processi pirometallurgici. Il processo dipende anche dalle diverse sostanze chimiche che sono necessarie in volumi elevati e che poi rimangono nei fluidi in uscita, questi vanno chiaramente trattati. Le sostanze chimiche utilizzate possono spesso essere recuperate e riutilizzate all'interno del processo stesso.

Gli impianti che utilizzano l'idrometallurgia sono: Recupyl, Eurodieuze (Francia), TOXCO Inc./Retrive Technologies (Canada), Lithorec (Germania), GEM (Cina) e Brunp (Cina). Il processo della Toxco-Retrive prevede che le batterie siano rese inerti dal raffreddamento criogenico per procedere ad una triturazione e una separazione dei materiali. I metalli recuperati dalle batterie usate vengono raccolti e venduti. I componenti del litio vengono separati e convertiti in carbonato di litio per la vendita. Anche il cobalto viene recuperato per preparare il  $\text{LiCoO}_2$  come nuovo materiale catodico.

Il processo della Recupyl utilizza una combinazione di fasi di trattamento fisico e chimico per produrre carbonato di litio. Il rottame della batteria viene prima trattato mediante frantumazione in atmosfera satura di  $\text{CO}_2$  e con il 10-35% di argon, separazione magnetica e separazione per densità per produrre una polvere fine. La polvere viene quindi alimentata a un processo idrometallurgico, costituito da fasi di idrolisi, lisciviazione dei solidi sospesi ottenuta in acido solforico a un pH di 3 e ad una temperatura di  $80^\circ\text{C}$  e precipitazione che avviene a un pH di 9 ottenuta con l'aggiunta di acido. Il precipitato viene lavato con una soluzione satura di  $\text{CO}_2$  ed essiccato a  $105^\circ\text{C}$ . Il cobalto viene recuperato dalla soluzione per elettrolisi, o per precipitazione come  $\text{Co(OH)}_3$  attraverso l'aggiunta di ipoclorito di sodio. La soluzione rimanente contiene del litio e viene inviata alla fase di precipitazione del litio. Il litio viene recuperato come  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ .

Lithorec è un processo dedicato al trattamento di batterie a ioni di litio impiegati in veicoli elettrici. Il progetto è stato finanziato dal Ministero federale tedesco dell'ambiente nel 2012 per realizzare un impianto su scala pilota. Le batterie scariche sono sottoposte a uno smantellamento meccanico, a uno stadio di frantumazione e setacciatura che separa la polvere attiva della batteria da trattare nel processo idrometallurgico successivo. In particolare è stato sviluppato un nuovo sistema per separare i fogli di raccolta dal rivestimento. Le principali innovazioni consistono nella completa automazione del processo meccanico (dalla disattivazione della batteria, attraverso lo smantellamento seminato fino alla sminuzzatura finale) e nell'evitare una fase pirometallurgica per rimuovere i componenti organici. L'elettrolita (sali e solventi conduttori) viene recuperato separatamente; l'idrometallurgia consente di estrarre litio ( $\text{LiOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), nichel, cobalto e manganese. Il ciclo è chiuso con la sintesi di nuovo materiale per il catodo della batteria di trazione.

Anche la GEM è in grado di produrre, a partire dalle batterie, materiali riutilizzabili nello stesso settore. Il core business dell'azienda è la ricerca e la produzione di cobalto ultrafine e polvere di nichel e relativi prodotti chimici fini. GEM ha una capacità produttiva annua di 10.000 tonnellate di cobalto, polvere ultrafine al nichel e una varietà di prodotti chimici fini. Questi includono: 1.500 tonnellate annue di polvere di cobalto ultra fine, 1.500 tonnellate di polvere di nichel ultrafine, 3.000 tonnellate di carbonato di cobalto, 3.000 tonnellate di ossalato di cobalto, 500 tonnellate di ossido di cobalto, 1.000 tonnellate di solfato di cobalto, 2.000 tonnellate di cloruro di cobalto e 1.000 tonnellate di lega di nichel tutti prodotti di elevata purezza. GEM in Cina è il principale fornitore di cobalto ultrafine e polvere di nichel, rappresentano oltre il 30% del mercato nazionale.

American Manganese (AMY) non ha ancora una produzione industriale ma già dal 2020 dovrebbe avere un impianto produttivo. Il processo inizia con la separazione meccanica delle batterie che vengono quindi trattate con una serie di processi: lisciviazione, precipitazione del cobalto come carbonato di cobalto o idrossido di cobalto seguito dalla sua rimozione dal liquido, cristallizzazione del solfato di sodio e del ditonato di sodio e rimozione dei cristalli, seguita dal riscaldamento dei cristalli a solfato di sodio anidro, biossido di zolfo e acqua e quindi separando il solfato di sodio anidro. Il trattamento produce un materiale catodico finale di elevata purezza. Test eseguiti da Kemetco confermano che il processo di AMY è in grado di recuperare il 100% dei metalli catodici (cobalto, litio, nichel, manganese e alluminio). Nella figura 73 è illustrato l'intero processo: dall'ingresso delle diverse batterie a ioni di litio, passando per la triturazione con il recupero dell'elettrolita, la lisciviazione dei materiali con recupero di alluminio, rame e grafite, la precipitazione e la filtrazione, fino al trattamento finale per la produzione di nuove batterie. Lo schema è

stato inserito per evidenziare la complessità degli impianti, in cui coesiste una linea di processo primaria ma anche diverse linee di recupero e di trattamento dell'acqua e dei reagenti.

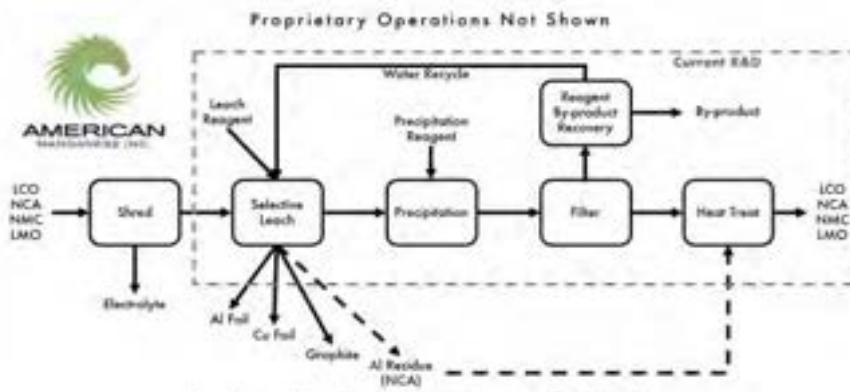


Figura 73: Diagramma di flusso del processo sviluppato da American Manganese

Fonte: American Manganese, 2018

In Italia pur non essendoci impianti dedicati al riciclaggio delle batterie sono in corso degli studi che permettano di trovare una soluzione di riciclo efficiente ed economica. Tra questi Enea ha sviluppato un processo idrometallurgico dedicato al trattamento delle batterie agli ioni di litio. In particolare, il processo è stato sviluppato per il recupero di materiali dalle batterie LFP generalmente utilizzate per prodotti portatili e fissi, quali: il settore automobilistico e l'immagazzinamento dell'energia. Le batterie LFP vengono smontate manualmente; dopo aver rimosso la custodia di plastica e il guscio metallico che copre la batteria per accedere al materiale interno, l'anodo e il catodo vengono srotolati manualmente. Il materiale catodico viene trattato mediante idrometallurgia in due semplici passaggi: desalinizzazione quantitativa del supporto del catodo mediante lisciviazione in  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , recupero del litio per precipitazione come  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ .

#### 4.2.3 Processo meccanico

Non è stato citato inizialmente ma esiste un trattamento per il riciclo delle batterie che prevede solamente un processo meccanico. La separazione fisica ha il vantaggio di recuperare i materiali attivi e di minimizzarne l'alterazione. I principali inconvenienti della separazione fisica sono i costi elevati indotti dalla necessità di approcci personalizzati, che variano dal pacco batterie, a causa della mancanza di standard nella loro fabbricazione. Le percentuali di recupero sono molto alte ma richiedono manodopera molto specializzata e macchinari che possano adattarsi alle diverse tipologie di batterie. L'unico esempio a livello industriale al momento è rappresentato da Akkuser, un impianto situato in Finlandia.

Il processo non utilizza prodotti chimici, calore o acqua. Utilizza un processo a secco: frantuma le batterie e tratta i gas. Si ritiene che questo metodo abbia uno dei più alti gradi di recupero di materiale delle batterie. Gli elementi che possono essere riciclati vengono separati in base alle loro caratteristiche fisiche, ad esempio peso, qualità magnetiche, ecc... Questo processo consuma relativamente poca energia (0,3 kWh/kg), ma raggiunge un alto tasso di riciclaggio, oltre il 90% dei costituenti viene recuperato.

#### 4.2.4 Processi misti e nuove tecnologie

Raggruppiamo in questo paragrafo tutti quegli impianti che utilizzano i processi sopra elencati ma in modo sinergico. Le società che utilizzano sia la pirometallurgia che l'idrometallurgia sono: Accurec (Germania), Umicore (Belgio), G&P Batteries (UK), Glencore Xstrata (Canada) e Sony (Giappone).

La Sony usa alte temperature per fondere le celle. Utilizza poi la tecnica idrometallurgica per estrarre il cobalto. Le componenti organiche, il litio e i fluoruri sono persi ma il sistema di lavaggio dei fumi dell'inceneritore evita problemi di emissioni nocive.

Accurec ha un processo brevettato per il trattamento di batterie a ioni di litio. Inizialmente smistamento e smantella le batterie esaurite, rimuove il legante organico attraverso un pretrattamento termico sotto vuoto; si passa poi per una separazione meccanica, una separazione magnetica (metalli Fe) e per correnti parassite (Al e Cu); pelletizza la frazione fine (<0,2 mm) che è il materiale dell'elettrodo; utilizza un processo

pirometallurgico in cui si ottiene la minimizzazione della grafite e una fusione carbo-riduttiva. Da questo stadio viene prodotta una lega a base di cobalto e un concentrato di litio che subisce uno stadio idrometallurgico mediante acido solforico, carbonato di sodio e acqua. Il litio viene recuperato come carbonato mentre un residuo è costituito da solfato di sodio.

L'Umicore VAL'EASTM ha sviluppato un processo di riciclaggio delle batterie agli ioni di litio combinato al processo pirometrico e idrometallurgico dedicato al riciclaggio delle batterie esauste agli ioni di litio e NiMH. Il rottame della batteria viene fuso direttamente in un forno ad arco appositamente costruito senza alcun pretrattamento. Il rottame della batteria viene fuso direttamente in forno senza alcun pretrattamento. Cobalto e nichel vengono recuperati sotto forma di  $\text{LiCoO}_2$  e  $\text{Ni(OH)}_2$ , ignorando metalli come l'alluminio e il litio mentre rame, ferro e manganese vengono raffinati e purificati in una soluzione acquosa. I materiali organici e il carbonio vengono bruciati. Umicore è anche produttore di materiale catodico per batterie agli ioni di litio, cioè il processo di riciclaggio mira a un recupero a ciclo chiuso di cobalto e nichel per l'utilizzo in nuove batterie.

Nella tabella vengono riassunte le informazioni degli impianti descritti, nell'ultima colonna sono riportati i quantitativi trattati all'anno, si nota come l'unico grande impianto sia quello cinese della GEM, gli altri sono piccoli o medi impianti, il che li rende spesso non economicamente indipendenti da aiuti statali. La Retrieve ha dichiarato che ai prezzi attuali delle materie prime c'è bisogno di circa 4.000 tonnellate all'anno di batterie per giustificare i costi di capitale stimati, il che renderebbe poco economici quasi il 50% degli impianti esaminati. Dal momento che i primi veicoli elettrici non hanno ancora 10 anni, per cui molti non hanno terminato la loro vita, è normale che non si sia investito in nuovi impianti, ma è arrivato il momento in cui questi investimenti dovranno cominciare ad essere fatti, si corre il rischio altrimenti di perdere una buona opportunità sia da un punto di vista economico che strategico, visto che molti Paesi non hanno a disposizione le materie prime necessarie per la produzione di batterie.

**Tabella 8: Impianti e tecnologie di trattamento per le batterie a ioni di litio. In giallo sono riportati i trattamenti a ciclo chiuso (impianti che producono materiali utilizzabili in nuove batterie)**

Tecnologia	Tipo di batterie	Processo	Localione impianto	Quantità trattate (t/a)
ACCUREC	Batterie ioni di litio	Pirometallurgico idrometallurgico	Germania	6000
AKKUSER	Batterie al litio	Meccanico	Finlandia	4000
American Manganese Inc. (AMY)	Batterie auto elettriche	Idrometallurgico	USA, Canada	
BATREC	Batterie a ioni di litio	Pirometallurgico	Svizzera	200
ENEA	Batterie al litio	Idrometallurgico	Italia	
Foshan Bangpu Ni/Co High-Tech Co (Brunp)	Batterie al litio	Idrometallurgico	Cina	3600
Glencore Xstrata	Batterie al Nichel, al Cobalto, al Litio, NiMH	Pirometallurgico idrometallurgico	Canada	7000
Inmetco	Batterie al Litio, al Nichel	Pirometallurgico	USA	6000
LITHOREC	Batterie auto elettriche	Idrometallurgico	Germania	
RECUPYL	Batterie al litio	Sep. meccanica, idrometallurgico	Francia	110
Shenzhen green Eco-manufacturer Hi-tech Co (Gem)	Batterie al litio	Idrometallurgico	Cina	50.000 (20.000 Batterie auto)
SNAM	Batterie a ioni di litio	Pirometallurgico	Francia	300
Sony		Pirolisi, idrometallurgico	Giappone	
TOXCO Inc./Retrive Technologies	Tutte le batterie	Idrometallurgico	Canada	4500
UMICORE	Tutte le batterie	Pirometallurgico, idrometallurgico	Belgio	7000 <sup>9</sup>

<sup>9</sup> 7000 t/a corrispondono a 35.000 batterie per veicoli elettrici.

Per quanto riguarda la ricerca delle tecnologie di recupero si stanno svolgendo molti studi, si parla infatti di biometallurgia. A quanto è stato reso noto, gli studiosi dell'Università del South Florida hanno scoperto che ci sono in natura dei funghi capaci di rendere "biodegradabili" le batterie agli ioni di litio. Sarebbe possibile usare in sostituzione agli agenti chimici tre funghi: l'*Aspergillus niger*, il *Penicillium simplicissimum* e il *Penicillium chrysogenum*. Di questi funghi è nota una curiosa capacità, che è quella di estrarre i metalli dai materiali di scarto. In questo caso sarebbero usati dei microrganismi (batteri e funghi) che agirebbero come reattori per reazioni fisiologicamente importanti. Infatti i funghi producono degli acidi organici, quindi del tutto naturali, quali l'acido ossalico e l'acido citrico. Questi acidi riescono a restituire una buona percentuale dei metalli originali: oltre l'80% per quello che riguarda il litio, e il 48% del cobalto. Il passo successivo ora consiste nella necessità di trovare un modo di recuperare i metalli dall'ambiente acido liquido in cui si trovano immersi alla fine del processo. Ma anche in questo campo siamo ancora ad un primo stadio di ricerca per cui non è possibile fare previsioni su quando potrebbe essere utilizzato a livello industriale.

Nel futuro prossimo si stanno studiando dei miglioramenti nelle tecniche già esistenti, per esempio nei prodotti da utilizzare per la lisciviazione o nei tempi di sosta nei forni e così via, per aumentare le percentuali di recupero o diminuire i costi economici e quelli ambientali di ricaduta sul territorio.

### 4.3 Materiali riciclati

Il riciclaggio delle batterie a ioni di litio pone diverse problematiche: ha costi alti e un basso recupero delle materie economicamente significative. Il litio, per esempio, può anche essere riciclato un numero illimitato di volte, ma ad oggi non esiste una tecnologia di riciclaggio in grado di produrre litio puro sufficiente per un secondo utilizzo nelle batterie EV. Si ritiene che 20 tonnellate di batterie esauste agli ioni di litio producano una tonnellata di litio. Ciò aiuterà la fornitura, ma il riciclaggio può essere più costoso rispetto alla raccolta di una nuova fornitura attraverso l'estrazione.

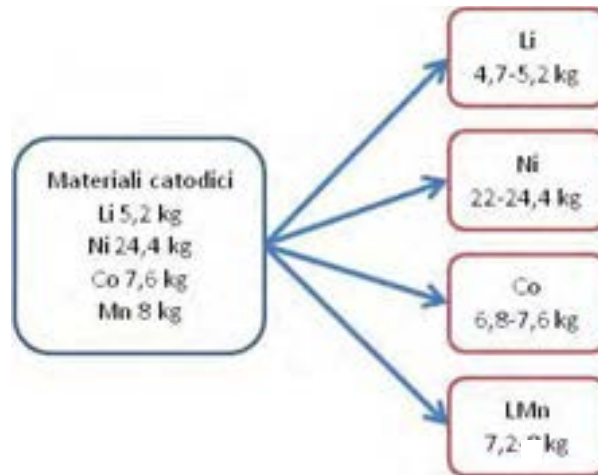
I materiali della batteria che vengono riciclati sono quasi esclusivamente quelli catodici, infatti sono quelli che a livello economico hanno un più alto valore. Non ci sono informazioni sul riciclo dell'anodo, in quanto ad oggi i processi di trattamento distruggono la grafite. Solo nel processo meccanico riusciamo ad ottenere che l'anodo non perda i suoi componenti, ma non si sono trovati dati su come venga trattato e che tipo di riutilizzo si faccia della grafite. L'unico recupero di grafite flakes di alta qualità potrebbe avvenire dall'acciaio Kish, tecnicamente è possibile, ma non praticato al momento. I materiali quindi recuperati sono principalmente quelli trattati in questo documento. In particolare per la batteria della Nissan Leaf vengono recuperati: Li, Co, Ni e Mn. I quantitativi presenti per ogni kWh nella batteria sono quelli evidenziati nella tabella (figura 75).

kg/kWh	Li	Ni	Co	Mn
NCA	0.10	0.67	0.13	0.00
NMC 111	0.15	0.40	0.40	0.37
NMC 433	0.14	0.47	0.35	0.35
NMC 532	0.14	0.59	0.23	0.35
NMC 622	0.13	0.61	0.19	0.20
NMC 811	0.11	0.75	0.09	0.09
LFP	0.10			

Figura 74: Elementi presenti nelle diverse batterie per ogni kWh

Fonte: "Global EV Outlook 2018, Towards cross-modal electrification", 2018

Ricordiamo che la nuova batteria Nissan ha una batteria da 40 kWh ed è della tipologia NCM 622, per cui i quantitativi presenti sono quelli riportati nel grafico nel quadrato blu, nei riquadri rossi sono invece riportati i quantitativi tecnicamente recuperabili negli impianti di riciclo (figura 76).



**Figura 75: Materiali recuperabili dalla batteria da 40 kWh della nuova Nissan Leaf (NCM 622)**

I quantitativi in uscita dipendono dal tipo di trattamento e dalla loro percentuale di recupero, in genere le quantità recuperate vanno da un minimo del 90% del prodotto in peso in ingresso fino ad un recupero totale del quantitativo, come dichiarato dalla società American Manganese.

Si stima che ai costi attuali delle materie prime per giustificare i costi di investimento per un impianto sia necessario che vengano trattate almeno 4.000 tonnellate in un anno di batterie esauste. Al momento il costo fisso per riciclare una tonnellata di batterie è tra i 900 € e i 1800 €. L'Europa spera di riuscire a contenere i costi per tonnellata fino a circa 300 €. Idealmente, questo includerebbe il trasporto, ma si prevede che lo spostamento e la movimentazione delle merci raddoppierà il costo complessivo. Per semplificare i trasporti, l'Europa sta installando diversi piccoli impianti di lavorazione in posizioni geografiche strategiche.

Il processo diventa economicamente conveniente quando una tonnellata di batterie contiene più 270 kg di cobalto recuperabile che valga almeno 40 dollari al chilogrammo. Se il cobalto dovesse essere eliminato dalle batterie il processo diventerebbe irrimediabilmente antieconomico.

La materia prima recuperata paga a malapena il lavoro, che comprende la raccolta, il trasporto, la cernita delle diverse batterie in base alla chimica, la triturazione, la separazione di materiali metallici e non metallici, la neutralizzazione di sostanze pericolose, la fusione e la purificazione dei metalli recuperati. Il vero costo per la produzione della batteria a ioni di litio non è tanto nelle materie prime, come nel caso delle batterie al piombo e NiMH, ma nei lunghi processi di lavorazione e purificazione delle materie prime per raggiungere il grado di purezza necessario per una batteria di EV. Se la purezza del litio è inferiore al 99,5 per cento, non è adatta come materia prima per le batterie. Spesso è più economico estrarre la materia prima piuttosto che recuperarla dal riciclaggio. Il litio derivante da batterie riciclate viene comunemente utilizzato per applicazioni diverse: lubrificanti, vetro, ceramica e altre applicazioni, piuttosto che nelle batterie stesse.

Oltre a una carenza di batterie da riciclare, le aziende, infatti, devono anche affrontare altre sfide come per esempio trovare tecnologie che non distruggano il litio durante il trattamento (come accade ora con la pirolisi) ma anche che il litio estratto sia in una forma riutilizzabile per le batterie. Il costo del riciclo varia ampiamente, ma per essere economico, le stime del CRU dicono che il riciclaggio del litio, per essere conveniente, dovrebbe poter produrre il carbonato di litio per nuove batterie ad un costo massimo di 6000 € a tonnellata. Per ora, il litio di solito finisce nelle scorie, che possono essere usate come materiale da costruzione o gettate via. Ma con il prezzo di tutti questi metalli in aumento, la situazione potrebbe cambiare.

A causa della grande disponibilità della materia prima il riciclo non è mai stata un'opzione interessante, al momento siamo sotto all'5% del materiale riciclato. Con l'aumentare del volume delle batterie scariche, si stanno cercando nuove tecnologie per rendere redditizio il riciclo senza il supporto di agenzie e governi.

Molti studi riportano che nel futuro il riciclo del litio, per esempio, sarà molto importante, al 2050 circa il 25% del litio arriverà dal riciclo. Solo il cobalto ha percentuali maggiori, spinto dal costo in grande ascesa negli ultimi anni, per il momento, infatti secondo le stime, una quota compresa tra il 25% e il 50% viene effettivamente recuperata.

Un'altra problematica che si incontra per il riciclo delle batterie e la loro numerosa varietà. In figura 75 sono state riportate solo alcune batterie a ioni di litio, a queste vanno aggiunte vecchi modelli, batterie non a ioni di litio, batterie per l'elettronica di consumo, ecc... Abbiamo già detto più volte nel corso di questo studio che la chimica interna cambia nei diversi tipi di batteria sia per materiali che per quantitativi, questo rende sicuramente molto problematica la progettazione di una linea di processo per il riciclo che deve essere abbastanza flessibile da poter lavorare ogni tipologia ma deve mantenere anche standard di efficienza e purezza dei materiali. Il Piano d'azione europeo per l'economia circolare, al fine di promuovere un maggiore riciclaggio dei materiali critici, ha incluso lo sviluppo di standard europei per il riciclaggio efficiente sotto il profilo dei materiali di prodotti complessi al termine del ciclo di vita come le batterie. È in corso una richiesta da parte della Commissione alle organizzazioni europee di normalizzazione.

Vale la pena menzionare nel contesto dell'economia circolare e del riciclaggio, che a maggio 2018 sono state intraprese delle azioni di innovazione delle materie prime denominate CROCODILE: " Primo sistema commerciale compatto per il recupero efficiente del cobalto progettato con nuove tecnologie integrate leader". Il progetto CROCODILE, con un budget totale di circa 15 milioni di euro, metterà in mostra sistemi metallurgici innovativi basati su tecnologie avanzate piro, idro, bio, ione ed elettrometallurgiche per il recupero del cobalto e la produzione di metallo cobalto. La nuova catena di valore stabilita in questo progetto riunirà per la prima volta i principali attori che hanno il potenziale di fornire 10.000 tonnellate di cobalto annualmente a medio termine dalle risorse europee, corrispondenti a circa il 65% dell'attuale domanda industriale complessiva dell'UE. Pertanto, il progetto ridurrà drasticamente l'alto rischio di fornitura di cobalto per l'Europa.

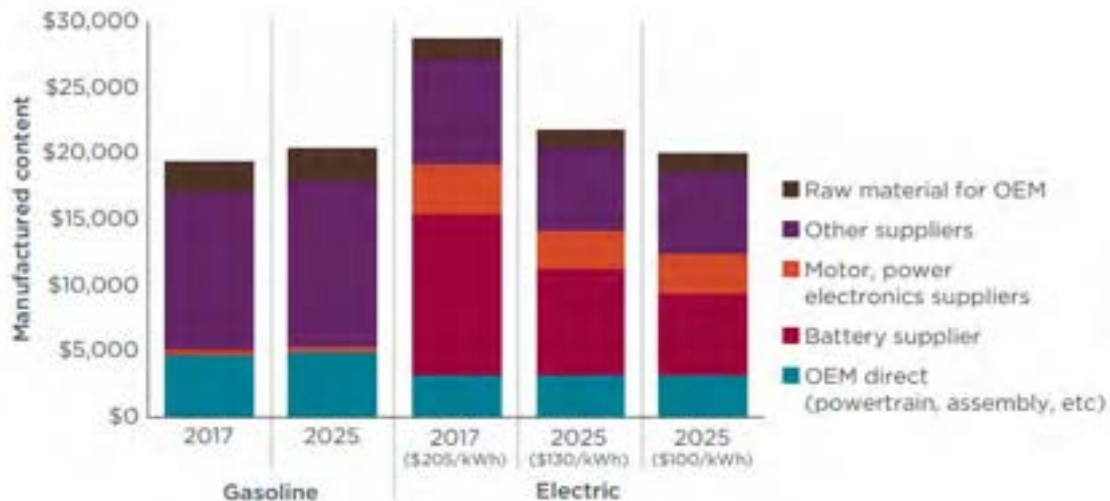
Il riciclaggio su larga scala delle batterie EV non è previsto prima del 2020 e dovrebbe essere più efficace solo dal 2025. Se nelle nuove batterie, come si sta cercando di fare, il cobalto verrà diminuito, la praticabilità economica si potrebbe perdere e questa verrebbe estesa anche agli altri materiali come litio e grafite.

## 5 Futuro delle batterie nella trazione elettrica

Nel presente quello che si sta cercando di sviluppare sono batterie con materiali meno costosi ma che diano buone prestazioni energetiche e siano molto stabili dal punto di vista della sicurezza. Si prevede che la prossima generazione di batterie agli ioni di litio che entreranno nel mercato della produzione di massa intorno al 2020 abbiano un basso contenuto di cobalto, un'alta densità di energia e catodi NMC 811, cioè 8 parti di nichel, 1 parte di manganese e 1 di cobalto. Il silicio può essere aggiunto in piccole quantità all'anodo di grafite per aumentare la densità di energia fino al 50% , mentre i sali elettrolitici in grado di resistere a tensioni più elevate contribuiranno anche a migliorare le prestazioni.

Al momento i costi delle auto elettriche subiscono molto il costo delle batterie, infatti al 2017 il costo di una batteria per auto elettrica variava tra i 180 e i 200 € al kWh, per la nuova Nissan Leaf il costo della batteria è di circa 8.000 €. Ma la previsione è che per il 2025 i costi dovrebbero dimezzarsi e passare a valori tra i 115 e i 90 €/kWh. La Nissan ha dichiarato che nel 2020 dovrebbe uscire la nuova batteria da 60 kWh, questo implicherebbe che la batteria potrebbe costare intorno ai 7.800 €, ponendo che il costo della batteria al 2020 sia di circa 180 €/kWh. Il costo non diminuirebbe molto in confronto ad oggi, ma avremo batterie con prestazioni nettamente superiori di quelle attuali. Nella figura 77 è riportato il confronto tra i prezzi delle

auto a gasolio con le auto elettriche per il 2017 e il 2025. Le colonne sono anche suddivise con il peso del costo per le singole componenti, da notare come per le auto elettriche la voce delle batterie sia preponderante in confronto alle altre, ma anche come nel 2025 tende a ridursi più delle altre componenti. Le previsioni al 2025 sono 2 perché sono state riportate due diverse fonti: ICCT White Paper 2018 e Kittner, Lill, & Kammen, 2017.



**Figura 76: Confronto tra i prezzi delle auto a gasolio e le auto elettriche per il 2017 e il 2025**

Fonte: "Power play: how governments are spurring the electric", Maggio 2018

Si stima che 1 milione di batterie per EV saranno disponibili nel 2030 e che nel decennio successivo arriveranno a valori di 6 milioni, questi dati danno un'idea di che tipo di mercato ci si aspetti nei prossimi anni. Ipotizzando che un utilizzo medio di una batteria sia di circa 8 anni e che fino al 2030 le tipologie prodotte saranno probabilmente quelle con catodo NMC, questo ci porta a capire come gli impianti di trattamento per questa tipologia di batterie saranno sicuramente molto importanti nei prossimi 20 anni. Il riciclaggio sarà fondamentale se vogliamo tenere il passo con la domanda di batterie.

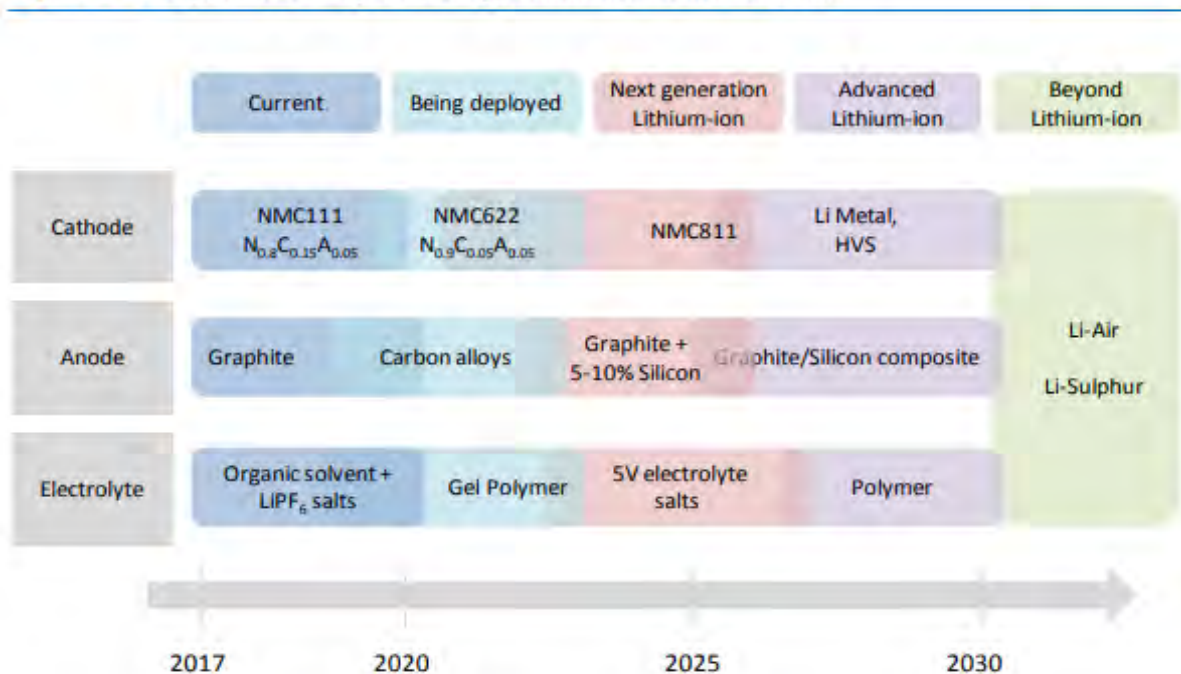
Quello che potrebbe farsi al momento sarebbe far cooperare ricerca, governo e industria per sviluppare standard e soluzioni di best practice per questo problema.

Le previsioni del futuro vedono l'abbandono della chimica della batteria per come la conosciamo dopo il 2030 (figura 78), con l'introduzione di nuove soluzioni, che proprio in questi anni si stanno sperimentando, di seguito si riportano solo alcuni di questi studi.

Il nichel e il cobalto rendono i processi di recupero ingegneristicamente complessi, per questa ragione i dipartimenti di Nanochimiche e i Graphene Labs di lit stanno indirizzando i loro sforzi verso il perfezionamento di materiali commerciali già esistenti come batterie Sodio-ione e Magnesio-ione, basate su sodio o magnesio, più abbondanti in natura, così come verso la messa a punto di materiali e compositi innovativi capaci di estendere performance e sostenibilità di accumulatori a ioni di litio. Un altro materiale in studio è il grafene. Le proprietà meccaniche, elettroniche e ottiche di tale materiale si sono rivelate rivoluzionarie, e sono attualmente oggetto di ricerca in numerosi ambiti, probabilmente non sostituirà completamente i materiali già esistenti, ma potrebbe rendere i sistemi più efficienti e più longevi. La tecnologia a ioni di litio potrebbe essere superata anche da altri progetti di batterie che vantano maggiori densità teoriche di energia e costi teorici inferiori. Esempi includono batterie Li-air e Li-zolfo, senza fare affidamento sul cobalto e gli anodi in composito di silicio potrebbero entrare nel design. Però le Li-air e Li-zolfo possono utilizzare fino a due volte la quantità di litio per kWh rispetto a ioni di litio. Ciò è dovuto alla minore tensione delle celle di questi prodotti chimici, richiedendo così una capacità più elevata per ogni kWh.

Tuttavia, difficilmente queste due tecnologie potranno raggiungere una significativa penetrazione nel mercato prima del 2025.

**Figure 5.4 • Expected battery technology commercialisation timeline**



Notes: HVS = high voltage spinel. The diagram shows the likely beginning of commercialisation of a given technology.

Sources: IEA analysis based on Howell (2016); Meeus (2018); Nationale Plattform Elektromobilitat (2016); NEDO (2018); Pillot (2017).

**Figura 77: Timeline della commercializzazione delle nuove tecnologie delle batterie per EV**

Fonte: "Global EV Outlook 2018", 2018

Altra alternativa ai dispositivi con elettroliti liquidi o polimerici sarebbe rappresentata dalle batterie a stato solido (all-solid-state), più piccole e con una maggiore densità di energia. I ricercatori sono convinti che possano garantire autonomie fino al 50% maggiori di quelle attuali e possa consentire una ricarica più rapida per le auto elettriche, oltre a permettere una maggiore sicurezza, evitando il surriscaldamento, e una durata del ciclo di vita più lunga. Ad ostacolarle è sempre stato l'alto costo di fabbricazione, che potrebbe nei prossimi anni essere superato. Queste batterie dovrebbero contenere la stessa quantità di materiali rari e di litio all'interno dei sistemi attuali, quindi probabilmente per il riciclaggio potrebbe essere necessario utilizzare nuove tecnologie di recupero o semplicemente forme di processo diverse, ma i prodotti in output sarebbero comunque quelli analizzati in questo documento. La penetrazione anticipata del mercato degli ioni di litio allo stato solido è difficile da stimare, poiché i progressi sono rapidi e la tecnologia è già fortemente sostenuta dall'industria per i suoi vantaggi in termini di sicurezza. Il litio allo stato solido richiederebbe un contenuto di Li superiore a quello degli ioni di litio, a causa sia del probabile uso di un anodo litio metallico che dell'alto contenuto di litio degli elettroliti a stato solido. D'altra parte il percorso tipico dei nuovi materiali per la commercializzazione, anche quando funziona in un laboratorio di ricerca, è lungo e richiede una significativa ricerca e sviluppo, rendendo improbabile anche in questo caso che tali innovazioni entrino nel mercato per il 2025 in modo significativo.

Anche se le celle delle batterie con design sostanzialmente diversi dovessero essere disponibili sul mercato entro il 2030, un ritardo dovuto alla necessità di aumentare la capacità produttiva ritarderebbe l'ampia disponibilità sul mercato di queste tecnologie avanzate.

## 6 Legislazione e policy dell'Unione Europea per favorire un'economia circolare nel settore degli autoveicoli elettrici

In questo allegato viene presentata una panoramica della legislazione e delle policy dell'Unione Europea per favorire la realizzazione di una economia circolare in Europa legata al settore dell'auto elettrica. In particolare, si forniranno: (i) un quadro sintetico della legislazione vigente nell'Unione Europea; (ii) un'analisi del piano d'azione per l'economia circolare; (iii) l'individuazione delle possibili azioni in termini di policy industriale, ambientale e di ricerca e innovazione possono essere messe in atto nell'UE.

### 6.1 Il quadro della legislazione vigente nell'Unione Europea

La Direttiva 2000/53/UE sui Veicoli Fuori Uso, o direttiva ELV fissa obiettivi elevati che devono essere raggiunti dagli operatori economici. I costruttori di veicoli e di equipaggiamenti devono tener conto della demolizione, del riutilizzo e del recupero dei veicoli quando progettano e producono i loro prodotti. Essi devono garantire che i nuovi veicoli siano: reimpiegabili e/o riciclabili per almeno l'85 % del peso del veicolo; reimpiegabili e/o recuperabili per almeno il 95 % del peso del veicolo. Sulla base delle relazioni finora presentate, quasi tutti gli Stati membri hanno raggiunto i target precedenti dell'85% per il riutilizzo e il recupero e l'80% per il riutilizzo e il riciclaggio.

La direttiva 2005/64/EC, relativa all'Omologazione dei Veicoli a Motore, per quanto riguarda la loro riutilizzabilità, riciclabilità e recuperabilità è stata adottata a seguito della disposizione di cui all'art. 7, comma 4, della Direttiva ELV, per garantire che i costruttori di veicoli progettino veicoli in modo che parti e materiali possano essere riutilizzati, riciclati o recuperati quando il veicolo arriva a fine vita. Di conseguenza, i nuovi veicoli possono essere venduti solo nell'UE se possono essere riutilizzati, recuperati e riciclati in linea con gli obiettivi della direttiva ELV.

La Direttiva sulle Batterie 2006/66 /EC si applica anche alle batterie per le automobili e la trazione. Questa direttiva stabilisce l'obbligo per gli Stati membri di massimizzare la raccolta dei rifiuti di pile e accumulatori e di garantire che tutte le batterie raccolte siano sottoposte a trattamento e riciclaggio adeguati. A tal fine, la direttiva definisce obiettivi per i tassi di raccolta e per l'efficienza del riciclaggio. Si prevede che la direttiva realizzerà economie di scala nella raccolta e nel riciclaggio, nonché un risparmio ottimale delle risorse.

Nel 2015 solo 9 Stati membri avevano raggiunto l'obiettivo del 45% per la raccolta di batterie portatili stabiliti per il 2016. Tuttavia, i processi di riciclaggio nella maggior parte dei paesi hanno raggiunto i livelli minimi di efficienza di riciclaggio stabiliti dalla direttiva per piombo, nichel-cadmio e gli altri tipi di batterie.

La direttiva impone alla Commissione di rivedere l'impatto delle sue disposizioni sull'ambiente e sul mercato interno, nonché di valutare alcuni aspetti particolari, in relazione ai metalli pesanti, agli obiettivi e ai requisiti di riciclaggio. La Commissione ha avviato una procedura di valutazione intesa a valutare se la direttiva sta conseguendo i propri obiettivi, considerando anche se i nuovi usi delle batterie e le nuove tecnologie e i nuovi prodotti chimici sviluppati dalla sua adozione nel 2006 sono adeguatamente affrontate. Allo stesso modo, viene valutata la coerenza tra la disposizione della direttiva e le politiche dell'UE sull'economia circolare e sulle materie prime.

Come annunciato nella rinnovata Strategia dell'UE in materia di Politica Industriale, la Commissione ha proposto un secondo pacchetto sulla mobilità l'8 novembre 2017 in seguito alla Strategia del 2016 per la mobilità a basse emissioni e al primo pacchetto sulla mobilità della primavera 2017. Il pacchetto del novembre 2017 prevede il rafforzamento degli standard di biossido di carbonio post-2020/2021 per auto e furgoni e un Piano d'Azione per l'Infrastruttura per i Combustibili Alternativi a sostegno dello sviluppo di una spina dorsale di un'infrastruttura di ricarica nell'UE. Le tecnologie basate sulle batterie danno un contributo fondamentale al raggiungimento degli obiettivi di questi piani. In questo contesto, un'importante questione è come promuovere condizioni di fornitura migliori per diverse materie prime critiche.

La Direttiva sull'Ecodesign affronta il potenziale impatto negativo che i prodotti connessi all'energia possono avere sull'ambiente. Lo fa "spingendo" il mercato verso prodotti più efficienti dal punto di vista energetico, poiché i prodotti meno performanti sono banditi dal mercato. La presente direttiva è integrata dalla Direttiva

sull'Etichettatura Energetica, che "tira" il mercato verso prodotti più efficienti dal punto di vista energetico (e delle risorse) informando i consumatori in merito alle loro prestazioni energetiche attraverso il noto marchio energetico dell'UE. La Direttiva sulla Progettazione Ecocompatibile fornisce un quadro generale, mentre sono previsti requisiti specifici per i diversi gruppi di prodotti che hanno, durante il loro utilizzo, un impatto sul consumo di energia. Questi requisiti sono stabiliti dopo aver analizzato l'impatto che i prodotti possono avere sull'ambiente durante la loro produzione, utilizzo, smaltimento o riciclaggio.

Il Piano di Lavoro per la Progettazione Ecocompatibile 2016-2019, adottato come parte del pacchetto Energia Pulita per Tutti gli Europei, intende fornire un maggiore sostegno alle misure volte a migliorare l'efficienza delle risorse, la riparabilità, la riciclabilità e la durata.

La Direttiva sui Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) 2012/19/EU ha l'obiettivo di contribuire alla produzione e al consumo sostenibili di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (AEE) attraverso, in via prioritaria, la prevenzione dei rifiuti e, oltre a ciò, la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altre forme di recupero dei rifiuti di AEE, in modo da ridurre lo smaltimento dei rifiuti e contribuire all'utilizzo efficiente delle risorse e al recupero di preziose materie prime secondarie contenute nelle AEE.

La direttiva RAEE stabilisce obiettivi di raccolta da rispettare nel corso del tempo. Fino al 2015 si applicava l'obiettivo di 4 chilogrammi per abitante di nuclei familiari, mentre dal 2016 è previsto un obiettivo del 45% del peso medio degli AEE immessi sul mercato nei tre anni precedenti. A partire dal 2019, si applica un obiettivo del 65% del peso medio degli AEE immessi sul mercato nei tre anni precedenti, o in alternativa l'85% dei RAEE generati sul territorio di tale Stato membro nell'anno di riferimento.

La direttiva RAEE richiede inoltre che tutti i RAEE raccolti separatamente vengano sottoposti a un trattamento adeguato al fine di evitare perdite di preziose materie prime secondarie. A tal fine fissa obiettivi di recupero applicabili per categoria di AEE come stabilito nell'allegato V della direttiva. L'allegato VII della direttiva stabilisce requisiti minimi di trattamento.

Per aiutare gli operatori interessati a soddisfare i requisiti della direttiva RAEE, la Commissione ha chiesto all'European Standardisation Organisations di sviluppare standard europei non vincolanti per il trattamento, compreso il recupero, il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo dei RAEE, rispecchiando lo stato dell'arte. Gli standard sono stati in gran parte messo a punto dal CENELEC.

Per sostenere gli Stati membri nel raggiungimento degli obiettivi e della piena attuazione sulla base della direttiva, la Commissione ha avviato un'iniziativa mirata di promozione della conformità, iniziando con la valutazione dell'attuazione negli Stati membri. Vengono identificati fattori critici e ostacoli al raggiungimento degli obiettivi e buone pratiche, per consentire agli Stati membri di apprendere gli uni dagli altri e di sviluppare ulteriormente le politiche sui RAEE.

## **6.2 Piano d'azione per l'Economia Circolare**

Esiste un riferimento esplicito ai veicoli nel Piano d'Azione sull'Economia Circolare: nel contesto del Regolamento UE sulla spedizione dei rifiuti, la Commissione si è impegnata a prendere ulteriori misure per contribuire a garantire che il regolamento sia attuato correttamente affermando che i flussi di rifiuti di valore elevato, come veicoli fuori uso, saranno specificamente presi di mira per prevenire la perdita di materie prime.

Come primo passo, al fine di assicurare il rispetto della direttiva ELV, è stato commissionato uno studio per valutare l'attuazione della direttiva sui veicoli fuori uso, con particolare attenzione ai veicoli fuori uso di cui non si conosce la provenienza (sono veicoli che sono stati cancellati, ma senza un certificato di distruzione rilasciato o disponibile alle autorità e anche senza informazioni disponibili che indicano che il veicolo è stato trattato in un centro di trattamento autorizzato o è stato esportato) nel corso del quale un workshop tra gli stakeholder è stato organizzato ed una consultazione pubblica è stata effettuata. È emerso che tra le parti interessate vi è una comprensione ampia e condivisa che le procedure attuali necessitano di ulteriori miglioramenti per tenere traccia dei veicoli e migliorare l'attuazione dell'obbligo di rilascio e presentazione di un certificato di distruzione. Ciò include la risoluzione di possibili scappatoie, ad esempio attraverso la richiesta di prove sul destino del veicolo durante la cancellazione temporanea dei proprietari e multare i

proprietari che non forniscono una dichiarazione di ubicazione per i veicoli temporaneamente non registrati. L'uso di incentivi economici - ad esempio tariffe o sistemi di rimborso - per consegnare veicoli fuori uso a strutture di trattamento autorizzate è stato anche discusso, tra l'altro, alla luce dell'esperienza maturata in alcuni Stati membri.

Il Piano d'Azione, al fine di promuovere un maggiore riciclaggio dei CRM, comprende lo sviluppo di standard europei per il riciclaggio efficiente sotto il profilo dei materiali di prodotti complessi al termine del ciclo di vita come le batterie. In tale direzione è in corso una richiesta da parte della Commissione all'European Standardisation Organisations.

Ulteriore enfasi sarà posta sugli aspetti dell'economia circolare nei futuri requisiti di prodotto ai sensi della Direttiva sulla Progettazione Ecocompatibile. Nel 2016, lavori di standardizzazione sono stati avviati all'interno del CEN / CENELEC su richiesta della Commissione. Il lavoro include lo sviluppo di un metodo generale per dichiarare l'uso dei CRM nei prodotti legati all'energia. I risultati del lavoro di standardizzazione sono attesi per il marzo 2019.

Per agevolare la preparazione al riutilizzo e il trattamento ecologico dei RAEE, a sostegno dei requisiti della direttiva RAEE<sup>10</sup>, la Commissione ha avviato un dialogo tra i fabbricanti di AEE e gli operatori di riutilizzo e i riciclatori di RAEE con l'obiettivo di migliorare lo scambio di informazioni necessarie per preparazione per il riutilizzo e il trattamento dei RAEE. Dopo un primo seminario nel 2015, le associazioni europee che rappresentano le parti interessate sono impegnate in discussioni su come rendere ulteriormente operativi questi requisiti, specificando le esigenze di informazione e i canali di comunicazione, ecc. Inizialmente, questi attività si sono focalizzate sulle informazioni necessarie per il trattamento ecologico dei RAEE per quanto riguarda le sostanze e le miscele pericolose, ma il campo di applicazione dovrebbe essere ampliato in una fase successiva per includere anche le informazioni che promuoveranno la preparazione per il riutilizzo di RAEE (componenti) e il riciclaggio dei CRM ed essere allineati con il lavoro di standardizzazione sopra menzionato.

Il piano d'azione, al fine di promuovere un maggiore riciclaggio dei CRM, comprende anche lo sviluppo di norme europee per il riciclaggio efficiente sotto il profilo dei materiali di prodotti complessi di fine vita come i RAEE. A tal fine il progetto Horizon 2020 SCREEN (Solutions for CRITICAL Raw materials - a European Expert Network) sta svolgendo i lavori preparatori sui RAEE, così come una richiesta da parte della Commissione alle European Standardisation Organisations è in corso.

Come sottolineato nel piano d'azione, al fine di aumentare i livelli di riciclaggio di alta qualità, è necessario migliorare la raccolta e smistamento dei rifiuti. Un nuovo progetto finanziato da Horizon 2020 chiamato COLLECTORS mapperà i diversi sistemi di raccolta dei RAEE in Europa, acquisirà informazioni sulle prestazioni complessive dei sistemi e supporterà i decisori nel passaggio a sistemi con migliori prestazioni attraverso capacity-building e linee guida.

Infine, per promuovere il riciclaggio di alta qualità nell'UE e altrove, il piano d'azione si propone di promuovere la certificazione volontaria degli impianti di trattamento per alcuni tipi di rifiuti fondamentali, compresi i RAEE. La Commissione ha lanciato a questo scopo nel 2017 una call for proposals nell'ambito di Horizon 2020.

### 6.3 Possibili ulteriori azioni in termini di policy nell'Unione Europea

Per quanto riguarda il settore automobilistico, possibili azioni future dell'Unione Europea nell'ambito della:

- *policy industriale e delle materie prime dell'UE* sono quelle di:
  - promuovere l'adozione di etichette o altri strumenti per la dichiarazione del contenuto di CRM dei componenti chiave del veicolo come batterie e catalizzatori delle auto, ad es. tramite la standardizzazione;

---

<sup>10</sup> L'articolo 15 della direttiva RAEE richiede che i produttori forniscano informazioni su diversi componenti e materiali delle AEE, nonché la posizione di sostanze e miscele pericolose nelle AEE che devono essere messe a disposizione degli operatori che effettuano la preparazione per il riutilizzo e / o le operazioni di trattamento.

- richiedere lo sviluppo di standard europei per il riciclaggio efficiente dei materiali dei veicoli fuori uso, compresi i CRM;
- continuare a monitorare gli sviluppi nel mercato dei veicoli elettrici e realizzare proiezioni sulla domanda e sugli stock di materiali critici correlati;
- *policy ambientale dell'UE* sono quelle di:
  - incoraggiare gli Stati membri a utilizzare incentivi economici, ad esempio tariffe o sistemi di rimborso, per consegnare i veicoli fuori uso alle strutture di trattamento autorizzate;
  - rendere vincolante, se necessario in una forma riveduta, le Linee Guida per i Corrispondenti n. 9 al Regolamento sulle Spedizioni di Rifiuti;
- *policy di ricerca e innovazione dell'UE* sono quelle di fornire ulteriore sostegno alla R & S e alle attività di innovazione su scala industriale per lo sviluppo di tecnologie di riciclaggio competitive incentrate su materiali che attualmente non sono (o quasi) riciclati, come litio, grafite e terre rare.
- *altre policy dell'UE* sono quelle di rendere le procedure nazionali in materia di registrazione / cancellazione del veicolo dal registro automobilistico più armonizzate all'interno dell'UE, favorire lo scambio di informazioni tra gli Stati membri e assicurare un controllo dei veicoli temporanei non registrati.

Per il settore delle *batterie*, possibili azioni future dell'Unione Europea nell'ambito della *policy industriale e delle materie prime dell'UE* sono quelle di promuovere una progettazione adatta per lo smontaggio delle apparecchiature elettriche ed elettroniche in modo che le batterie possano essere facilmente rimosse.

In tale direzione, in merito a settore delle *apparecchiature e elettriche e elettroniche* possibili future *policy industriali e delle materie prime dell'UE* riguardano i diversi recenti studi preparatori nell'ambito della Direttiva sulla Progettazione Ecocompatibile dove sono state presentate proposte di requisiti per garantire una più facile estrazione a fine vita dei componenti chiave contenenti CRM o per l'indicazione del contenuto dei CRM. In relazione alle policy ambientali dell'UE si vuole esplorare il potenziale delle nuove tecnologie satellitari per individuare e fronteggiare meglio i reati legati ai rifiuti elettronici.

## 7 Riferimenti bibliografici

1. Agi.it, "Sul cobalto (l'oro del futuro) c'è un grosso problema di monopolio". 11 Maggio 2018. [https://www.agi.it/innovazione/cobalto\\_batterie\\_elettriche\\_litio\\_smartphone-3882677/news/2018-05-11/](https://www.agi.it/innovazione/cobalto_batterie_elettriche_litio_smartphone-3882677/news/2018-05-11/)
2. American Manganese Inc. "A critical metals company focused on recycling electric vehicle lithium-ion batteries". 23 Marzo 2018. [https://americanmanganeseinc.com/wp-content/uploads/2018/04/AMY\\_Business\\_Plan-March2018.pdf](https://americanmanganeseinc.com/wp-content/uploads/2018/04/AMY_Business_Plan-March2018.pdf)
3. Amnesty International. "Time to Recharge. 2017". <https://www.amnesty.org/en/documents/afr62/7395/2017/en/>
4. Amnesty International. "This is What We Die For: Human Rights Abuses in the Democratic Republic of the Congo Power the Global Trade in Cobalt". 2016. [https://www.amnestyusa.org/files/this\\_what\\_we\\_die\\_for\\_-\\_report.pdf](https://www.amnestyusa.org/files/this_what_we_die_for_-_report.pdf)
5. Asian Metal. "Manganese: uses. 2018". <http://metalpedia.asianmetal.com/metal/manganese/application.shtml>
6. Azevedo M., Campagnol N., Hagenbruch T., Hoffman K, Lala A. e Ramsbottom O. "Lithium and cobalt: A tale of two commodities". June 2018. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/lithium-and-cobalt-a-tale-of-two-commodities>

7. Baglio V., Paolone, A., Sanson A., Prosini P.P., Micolano E., Pellegrino. "Sistemi di accumulo elettrico". CNR, ENEA, RSE. 2017.  
[http://www.pdc.minambiente.it/sites/default/files/progetti/sistemi\\_di\\_accumulo\\_elettrochimico.pdf](http://www.pdc.minambiente.it/sites/default/files/progetti/sistemi_di_accumulo_elettrochimico.pdf)
8. Barrera P. "Cobalt Market Update: Q3 2018 in Review". October 15th, 2018. Investing News Network.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/cobalt-market-update/>
9. Barrera P. EV Makers "'Not Doing Enough" to Tackle Human Rights Abuses". November 16th, 2017.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/ev-makers-human-rights-abuses-cobalt-supply/>
10. Barrera P. "Glencore Signs Cobalt Supply Deal with China's GEM". March 15th, 2018.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/glencore-signs-cobalt-supply-deal-chinas-gem/>
11. Barrera P. "LME Steps Up Efforts to Ban Cobalt Suppliers Using Child Labor". February 14th, 2018  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/lme-ban-cobalt-suppliers-child-labor/>
12. Barrera P. "Roskill: Growth in Cobalt Demand from Battery Sector Set to Continue". June 18th, 2018.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/roskill-growth-cobalt-demand-battery-sector-continue/>
13. Barrera P. "Will Lithium Prices Fall by 2021?". February 26th, 2018.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/will-lithium-prices-fall-2025/>
14. Barrera P., Ken Hoffman: "Lithium Market Myths, Prices and What's Ahead". July 13th, 2018.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/ken-hoffman-lithium-market-myths/>
15. Barrera P., "Simon Moores: Challenges and Opportunities in the Lithium Market". August 6th, 2018.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/simon-moores-challenges-opportunities-lithium-market/>
16. Battery University. "Availability of Lithium". Last update 22 Settembre 2017.  
[https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/availability\\_of\\_lithium](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/availability_of_lithium)
17. Battery University. "How to recycle batteries". Last update 10 Agosto 2018.  
[https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/recycling\\_batteries](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/recycling_batteries)
18. Battery University. "Types of Lithium-ion". Last update 31 Maggio 2018.  
[https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types_of_lithium_ion)
19. Bellomo S. "Con il cobalto di Glencore, Cina sempre più forte nel settore delle batterie". 16 marzo 2018. <https://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2018-03-15/con-cobalto-glencore-cina-sempre-piu-forte-settore-batterie-213803.shtml?uuiid=AER23mHE>
20. Bellomo S. "Il Congo accende nuove tensioni sui prezzi del cobalto". 9 marzo 2018.  
<https://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2018-03-08/il-congo-accende-nuove-tensioni-prezzi-cobalto-215438.shtml?uuiid=AEZpioDE>
21. Bellomo S. "L'«oro bianco» non abbaglia più: prezzo del litio in calo del 15% quest'anno". 25 luglio 2018. <http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2018-07-24/l-oro-bianco-non-abbaglia-piu-prezzo-litio-calo-15percento-quest-anno-200321.shtml>
22. Bellomo S. "La corsa cinese al litio e al cobalto per dominare il ciclo delle batterie". Sole24ore. 29 Marzo 2018. [https://www.ilsole24ore.com/art/mondo/2018-03-26/la-corsa-cinese-litio-e-cobalto-dominare-ciclo-batterie-211122.shtml?uuiid=AErGa8vD&refresh\\_ce=1](https://www.ilsole24ore.com/art/mondo/2018-03-26/la-corsa-cinese-litio-e-cobalto-dominare-ciclo-batterie-211122.shtml?uuiid=AErGa8vD&refresh_ce=1)
23. Bellomo S. "Per il litio, metallo delle batterie, ora si profila un surplus". 19 gennaio 2018.  
<https://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2018-01-18/per-litio-metallo-batterie-ora-si-profila-surplus-214243.shtml?uuiid=AEdseDID>
24. Bellomo S. "Prezzo del litio dimezzato in quattro anni per Morgan Stanley". 27 febbraio 2018.  
<http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2018-02-26/prezzo-litio-dimezzato-quattro-anni-morgan-stanley-205536.shtml?uuiid=AEpgKK7D>

25. Benchmark Lithium index pricing. “A market development partnership for the successful introduction of an LME cash-settled lithium contract”. 10 Ottobre 2018.
26. Benchmark Mineral Intelligence. “A new era for commodities as sustained lithium price run marks onset of ev demand – Benchmark minerals”. 27th June 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/a-new-era-for-commodities-as-sustained-lithium-price-run-marks-onset-of-ev-demand-benchmark-minerals/>
27. Benchmark Mineral Intelligence. “Benchmark launches cobalt industry’s first ever battery metal price”. 9th April 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/benchmark-launches-cobalt-industrys-first-ever-battery-metal-price-first-assessment-at-97000-tonne/>
28. Benchmark Mineral Intelligence. “Benchmark Lithium Index Pricing”. 2018. <https://www.lme.com/-/media/Files/New-initiatives/EVB/LME-Lithium-Index-Benchmark.pdf?la=en-GB>
29. Benchmark Mineral Intelligence. “China’s lithium price decline is not the full picture to an industry surging”. 20th August 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/chinas-lithium-price-decline-is-not-the-full-picture-to-an-industry-surging/>
30. Benchmark Mineral Intelligence. “Download: lithium, cobalt prices enter new period of volatility as era of ev begins; vanadium awaits lithium ion moment”. 24th September 2018. <http://www.benchmarkminerals.com/download-lithium-cobalt-prices-enter-new-period-of-volatility-as-era-of-ev-begins-vanadium-awaits-lithium-ion-moment/>
31. Benchmark Mineral Intelligence. “The lithium ion supply chain”. 2016. [https://s1.q4cdn.com/337451660/files/doc\\_articles/2016/161214-Benchmark-approved-for-distribution-Lithium-ion-supply-chain.pdf](https://s1.q4cdn.com/337451660/files/doc_articles/2016/161214-Benchmark-approved-for-distribution-Lithium-ion-supply-chain.pdf)
32. BGR. “Cobalt from the DRC – Potential, Risks and Significance for the Global Cobalt Market” (translated, original in German). Commodity Top News v. 53, Hannover. 2017
33. BIC Magazine. “Wood Mackenzie: Growth in electric vehicles to transform the lithium and cobalt industries”. March 15, 2018, BIC Magazine. <https://www.bicmagazine.com/industry-segments/renewables-subsection/180315-wood-mackenzie-electric-vehicles/>
34. BIO by Deloitte. “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. 2015.
35. Blagoeva, D. T., P. Alves Dias, A. Marmier, and C.C. Pavel. “Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU. Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030”. EUR 28192 EN; doi:10.2790/08169. 2016.
36. Bohlsen M. “Graphite Miners News For The Month Of August 2018”. Seeking Alpha. August 28, 2018. <https://seekingalpha.com/article/4202623-graphite-miners-news-month-august-2018>
37. Borsa Italiana. “Formazione sotto la lente, gli accordi di off-take”. 2015. <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/gliaccordidloff-take.htm>
38. Caparello A. “Cartello” del litio decide futuro delle auto elettriche”. Wall Street Italia. 14 Giugno 2018. <http://www.wallstreetitalia.com/il-cartello-del-litio-pesa-sul-futuro-delle-auto-elettriche/>
39. Ceresa M.C. “Operazione riciclo per le batterie al litio”. Nova Sole24Ore. 30 Agosto 2017. <http://nova.ilsole24ore.com/progetti/operazione-riciclo-per-le-batterie-al-litio/>
40. Cobalt27. Cobalt27 Corporate Presentation October 2018. “Benchmark World Tour Asia Battery Technologies - the Path to Mass Adoption”. 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/download/183245/>
41. Comelli E. “I padroni del Litio”. Changes. 20 Febbraio 2018. <http://changes.unipol.it/society/Pagine/padroni-del-litio.aspx>
42. Cosimi S. “Congo, piccoli passi avanti sul cobalto. Ma i colossi hi-tech devono fare di più” 17 nov 2017. [https://www.repubblica.it/tecnologia/2017/11/17/news/congo\\_piccoli\\_passi\\_avanti\\_sul\\_cobalto\\_ma\\_i\\_colossi\\_hi-tech\\_devono\\_fare\\_di\\_piu\\_-181371686/](https://www.repubblica.it/tecnologia/2017/11/17/news/congo_piccoli_passi_avanti_sul_cobalto_ma_i_colossi_hi-tech_devono_fare_di_piu_-181371686/)
43. Council of the European Union. 23, “Report on Raw Materials for Battery Applications”. Maggio 2018.
44. Delugan M. “Interessati al litio? Allora c’è un ETF fatto apposta per voi”. 27 ottobre 2017. <https://www.soldionline.it/guide/prodotti-finanziari/etf-litio>

45. Drabik E., Rizos V. "Circular economy perspective for future end-of-life EV batteries". Cesp. 20 Febbraio 2018. [https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/low\\_carbon\\_-\\_drabik.pdf](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/low_carbon_-_drabik.pdf)
46. Els F.. "New study rips into cobalt, lithium price bulls". Mar. 15, 2018. <http://www.mining.com/new-study-rips-cobalt-lithium-price-bulls/>
47. Epstein R. "Alabama Graphite, CEO Interview, Why Company Unique?". 11 Jan 2016. <http://epsteinresearch.com/2016/01/11/alabama-graphite-corp-exclusive-ceo-interview-what-makes-this-company-unique/>
48. EU publication. "Study on the review of the list of Critical Raw Materials". Giugno 2017.
49. European Commission, 2018. [http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/standards\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/standards_en.htm). Accessed May
50. European Commission, 2018. <http://rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=mobility-7c1c33>. Accessed May.
51. European Commission. 2018. [http://ec.europa.eu/environment/waste/shipments/pdf/correspondents\\_guidelines9\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/shipments/pdf/correspondents_guidelines9_en.pdf). Accessed May
52. European Commission. "Batteries and accumulators". Last update 15, Gennaio, 2018. <http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/>
53. European Commission. Commission Staff Working Document, "Report on Raw Materials for Battery Applications". Brussels, 17.5.2018. SWD(2018) 245 final. 2018.
54. European Commission. Commission Staff Working Document. "Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy". Brussels, 16.1.2018. SWD(2018) 36 final. 2018
55. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Europe on the Move. "An agenda for a socially fair transition towards clean, competitive and connected mobility for all". COM/2017/0283 final. 2017.
56. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. "A European Strategy for Low-Emission Mobility". COM/2016/0501 final. 2016
57. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank Clean Energy For All Europeans. COM/2016/0860 final. 2016.
58. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank, "Investing in a smart, innovative and sustainable Industry A renewed EU Industrial Policy Strategy". COM/2017/0479 final. 2017.
59. European Commission. <http://ec.europa.eu/environment/waste/elv/index.htm>. Accessed May.
60. European Commission. [https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2017-11-08-driving-clean-mobility\\_en.2017](https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2017-11-08-driving-clean-mobility_en.2017). Accessed November.
61. European Commission. Opinion of the European Economic and Social Committee on the 'Communication from the Commission Ecodesign Working Plan 2016-2019'. COM(2016) 773 final. 2016.
62. European Commission. "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheets". 2017. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>
63. European Commission. "Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Non-critical Raw Materials Factsheets". 2017. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6f1e28a7-98fb-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>
64. European Union. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles - Commission Statements. OJ L 269, 21.10.2000, p. 34-43. 2000.

65. European Union. Directive 2005/64/EC of the European Parliament and of the Council of 26 October 2005 on the type-approval of motor vehicles with regard to their reusability, recyclability and recoverability and amending Council Directive 70/156/EEC. OJ L 310, 25.11.2005, p. 10–27. 2005.
66. European Union. Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC (Text with EEA relevance). OJ L 266, 26.9.2006, p. 1–14. 2006.
67. European Union. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (Text with EEA relevance). OJ L 285, 31.10.2009, p. 10–35. 2009.
68. European Union. Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products (Text with EEA relevance ). OJ L 153, 18.6.2010, p. 1–12. 2010.
69. European Union. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment Text with EEA relevance. OJ L 174, 1.7.2011, p. 88–110. 2011.
70. European Union. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) Text with EEA relevance. OJ L 197, 24.7.2012, p. 38–71. 2012.
71. European Union. Regulation (EU) No 660/2014 of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 amending Regulation (EC) No 1013/2006 on shipments of waste. OJ L 189, 27.6.2014, p. 135–142. 2014.
72. Ferraino G. “Auto elettrica, corsa al litio per le batterie. La Cina compra in Cile”. Corriere della sera. 18 Maggio 2018. [https://www.corriere.it/economia/18\\_maggio\\_18/auto-elettrica-corsa-litio-le-batterie-cina-compra-cile-2440e928-5a6d-11e8-be88-f6b7fbf45ecc.shtml](https://www.corriere.it/economia/18_maggio_18/auto-elettrica-corsa-litio-le-batterie-cina-compra-cile-2440e928-5a6d-11e8-be88-f6b7fbf45ecc.shtml)
73. Fickling D. “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>
74. Fickling D. “The Lithium Cartel Should Be Stopped”. May 18th, 2018 <https://www.bloomberg.com/view/articles/2018-05-18/time-to-block-the-lithium-cartel>
75. First Cobalt. “Creating a vertically integrated north american cobalt company”. September 12, 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/download/190387/>
76. Forex Silver Gold. “ETF sul Litio è rally!”. 07 Novembre 2017. <https://www.forexsilvergold.com/it/articoli/news/etf-e-azioni-sul-litio/>
77. Furniture Minerals Limited. “Emerging Canadian Primary Cobalt Producer”, Benchmark World Tour, September 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/download/191014/>
78. Frankel T.C. e Whoriskey P. “Tossed aside in the ‘white gold’ rush”. December 19, 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/tossed-aside-in-the-lithium-rush/>
79. Frankel T.C. “The Cobalt Pipeline”. September 30, 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/congo-cobalt-mining-for-lithium-ion-battery/>
80. Fraunhofer. Fraunhofer IAO. “Strukturstudie BWe mobil 2011”, 2011. Available at: <http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/strukturstudie-bwe-mobil-2011.pdf>
81. Future Market Insights. “Graphite Market Poised to Register 6.7% CAGR through 2027 – Future Market Insights”. 2018. <https://globenewswire.com/news-release/2018/06/25/1528888/0/en/Graphite-Market-Poised-to-Register-6-7-CAGR-through-2027-Future-Market-Insights.html>
82. Future Market Insights. “Graphite Market: Batteries Application Segment to Record Highest Y-o-Y Growth During the Forecast Period: Global Industry Analysis 2012 - 2016 and Opportunity Assessment 2017 – 2027”. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/graphite-market>

83. Gardiner J. "The rise of electric cars could leave us with a big battery waste problem". The Guardian. 10 Agosto 2017.
84. Global Energy Metals Corp. "Cobalt Demand". 2018.  
<https://www.globalenergymetals.com/cobalt/cobalt-demand/>
85. Global Industry Analysts. "Maganese Market Trends". 2018.  
[https://www.strategyr.com/MarketResearch/Manganese\\_Market\\_Trends.asp](https://www.strategyr.com/MarketResearch/Manganese_Market_Trends.asp)
86. Grand View Research. "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>
87. Greenreport.it. "La seconda vita delle batterie delle auto elettriche sarà il game changer dell'energia pulita?". 24 Settembre 2018. <http://www.greenreport.it/news/economia-ecologica/la-seconda-vita-delle-batterie-delle-auto-elettriche-sara-il-game-changer-dellenergia-pulita/>
88. Hanisch C. "From battery to precursor and back again- Recycling of Lithium-Ion batteries". LION Engineering. 7 Aprile 2016.
89. Harvey J. "Metal recyclers prepare for electric car revolution". Reuters. 17 Novembre 2017.  
<https://www.reuters.com/article/us-batteries-recycling-analysis/metal-recyclers-prepare-for-electric-car-revolution-idUSKBN1DH1DS>
90. Heppel G. "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/>
91. Hernandez V. "Accounting for the cobalt boom". July 2, 2018.  
<https://internationalbanker.com/brokerage/accounting-for-the-cobalt-boom/>
92. Hoey T. "Fundamentals say don't write cobalt off". July 27, 2018.  
<https://finfeed.com/features/fundamentals-say-dont-write-cobalt-off/>
93. Infomine. "1 Year Cobalt Prices and Price Charts". 2018.  
<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/cobalt/1-year/>. Ultimo accesso il Ottobre.
94. Innovation Place, 2018. <https://www.innovationplace.eu/project/collectors-waste-collection-systems-assessed-and-good-practices-identified/954>. Ultimo accesso Maggio.
95. International Manganese Institute (IMnI). "IMnI Statistics 2018". 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)
96. Investing News Network, 2018. <https://investingnews.com/category/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/>
97. Javier L.A. "Battery-Skeptic Funds Wait Out Cobalt Rally Seen as Fleeting". July 9th, 2018.  
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-07-08/battery-skeptic-funds-wait-out-cobalt-rally-seen-as-fleeting>
98. Javier L.A. "These battery skeptics think cobalt and lithium prices are overcooked". July 9, 2018.  
<https://business.financialpost.com/investing/these-battery-skeptics-think-cobalt-and-lithium-prices-are-overcooked>
99. Jupiter Mines Limited. "Manganese Price Information". 2018.  
<https://www.jupitermines.com/projects/tshipi/manganese-price-information>
100. Kay A. "5 Top Cobalt-mining Companies". July 18th, 2018. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/top-cobalt-producing-companies/>
101. Kay A. "How to Invest in Cobalt". July 16th, 2018. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/introduction-to-cobalt-investing/>
102. Kay A. "Top Lithium-mining Companies". August 13th, 2018.  
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/top-lithium-producers/>

103. Kay "A. What is Synthetic Graphite?". July 31st, 2018. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/what-is-synthetic-graphite-asbury-carbons-stephen-riddle-explains/>
104. King S., Boxall N J., Bhatt A. I. "Lithium battery recycling in Australia". CSIRO Report. Aprile 2018.
105. Kushnir D. Lithium Ion battery recycling technology 2015. Chalmers University of Technology. 2015.
106. Lempriere M. "Could graphene batteries change the face of graphite mining?". Mining Technology. 19 Settembre 2018. <https://www.mining-technology.com/features/graphene-batteries-change-face-graphite-mining/>
107. Lutsey N., Grant M., Wappelhorst S., Zhou H. "Power play: how governments are spurring the electric". ICCT. Maggio 2018.
108. Market Research Future. "Cobalt Market Research Report – Forecast to 2023". 2018. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/cobalt-market-6549>
109. Martin G., Rentsch L., Hock M., Bertau M. "Lithium market research – global supply, future demand and price development". Energy storage materials (ELSEVIER). 2017.
110. McLeod C. Graphite Investing: "An Overview of the Market Today". September 13th, 2015. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/graphite-investing-stocks-supply-demand-price/>
111. Messenger B. In depth: "Lithium battery recycling – The clean energy clean up". WMW-Waste management world. 27 Aprile 2018. <https://waste-management-world.com/a/in-depth-lithium-battery-recycling-the-clean-energy-clean-up>
112. Metal Bulletin. "Battery raw materials market report 12/10: Lithium carbonate prices down as buyers take cheaply-produced units". 2018. <https://www.metalbulletin.com/Article/3838208/BATTERY-RAW-MATERIALS-MARKET-REPORT-1210-Lithium-carbonate-prices-down-as-buyers-take-cheaply.html>
113. Metal Bulletin. "Spherical graphite price grows on tight supply". 2018. <https://www.metalbulletin.com/Article/3800936/Spherical-graphite-price-grows-on-tight-supply.html>
114. Metalli Rari. "Batterie e cobalto. Un legame indissolubile?". 27/07/2018. <http://www.metallirari.com/batterie-cobalto-legame-indissolubile/>
115. Metalli Rari. "Cobalto insanguinato nei cellulari?". 01/03/2016. <http://www.metallirari.com/cobalto-insanguinato-nei-cellulari/>
116. Metalli Rari. "Cosa si prevede nel 2017 per il cobalto?". 24/01/2017. <http://www.metallirari.com/cosa-si-prevede-nel-2017-cobalto/>
117. Metalli Rari. "I bambini-minatori del Congo". 07/10/2016. <http://www.metallirari.com/cobalto-insanguinato-nei-cellulari/>
118. Metalli Rari. "Il cobalto andrà forte anche nel 2018?". 20/12/2017. <http://www.metallirari.com/cobalto-andra-forse-anche-nel-2018/>
119. Metalli Rari. "Litio: un toro in corsa o una bolla pronta a scoppiare?". 27/02/2018. <http://www.metallirari.com/litio-toro-corsa-bolla-pronta-scoppiare/>
120. Metalli Rari. Quale sarà il metallo più usato nelle batterie per autoveicoli?. 22/06/2018. <http://www.metallirari.com/metallo-piu-usato-batterie-autoveicoli/>
121. Metalli Rari "I più grandi produttori di grafite nel mondo". 16 Maggio 2018. <http://www.metallirari.com/produttori-grafite-graduatoria-paese/>
122. Metalli Rari. "Il manganese nel 2018 soffrirà di un calo dei prezzi?" 12 Febbraio 2018. <http://www.metallirari.com/manganese-2018-soffrira-calo-prezzi/>
123. Miller A. "Lithium oversupply fears grip investors as industry still awaits Auto, Grid era". 24 January 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/membership/lithium-oversupply-fears-grip-investors-as-industry-still-awaits-auto-grid-era/>
124. Mining .com. "No stopping strong global EV sales growth". 2 Ottobre 2018. [http://www.mining.com/web/no-stopping-strong-global-ev-sales-growth/?utm\\_source=digest-en-mining-181002&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=digest](http://www.mining.com/web/no-stopping-strong-global-ev-sales-growth/?utm_source=digest-en-mining-181002&utm_medium=email&utm_campaign=digest)

125. Moores S. "How Benchmark Minerals is enabling a new lithium price mechanism for the EV revolution". Benchmark World Tour 2018 – Seoul Tokyo 10 -14 September 2018.  
<https://www.benchmarkminerals.com/download/197453/>
126. Moores S. "Raw material impact of the lithium ion battery surge", BMO Capital Markets, Global Metals & Mining Conference Hollywood, Florida, US, 28 February 2017,  
<http://benchmarkminerals.com/downloads/Rawmaterialimpactoflithium%20ionbatterysurge-BenchmarkMineralIntelligence.pdf>
127. Moore-Stephens. "Manganese. is it the forgotten battery mineral?". 2018.  
[https://www.moorestephens.com.au/MediaLibsAndFiles/media/australia.moorestephens.com/Images/Profile%20Photos%20\(Contact%20boxes\)%20110w%20x%20110h%20px/Western%20Australia/Manganese-Moore-Stephens-Report.pdf](https://www.moorestephens.com.au/MediaLibsAndFiles/media/australia.moorestephens.com/Images/Profile%20Photos%20(Contact%20boxes)%20110w%20x%20110h%20px/Western%20Australia/Manganese-Moore-Stephens-Report.pdf)
128. Morningstar. Global "X Lithium & Battery Tech ETF | LIT ". 2018.  
<http://www.morningstar.it/it/etf/snapshot/snapshot.aspx?id=0P0000048T>
129. NG E. "China goes all out to secure lithium, cobalt supplies – key to dominating the world electric car market". 04 June, 2018. <https://www.scmp.com/business/commodities/article/2149027/china-goes-all-out-secure-lithium-cobalt-supplies-key>
130. Nissan. "Electric Vehicle Lithium-ion Battery". [https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li\\_ion\\_ev.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html)
131. OECD/IEA 2018. Global EV Outlook 2018, "Towards cross-modal electrification. IEA, Clean energy, Electric vehicles initiative". 2018.
132. Oeko-Institut e.V., 2017. [http://ec.europa.eu/environment/waste/elv/pdf/ELV\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/elv/pdf/ELV_report.pdf)
133. Oldani T. "Per fare l'auto elettrica serve il cobalto che è scarso". 01 Agosto 2018. ItaliaOggi.  
<https://www.italiaoggi.it/news/per-fare-l-auto-elettrica-servira-molto-cobalto-che-e-scarso-2288524>
134. Olivetti E., Ceder G., Gaustad G., Fu X. "Lithium-Ion battery supply chain consideration: Analysis of Potential Bottlenecks in critical metals". ScienceDirect. 19 Agosto, 2017.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435117300442#bib14>
135. Patel P. "Could Cobalt Choke Our Electric Vehicle Future?". January 1, 2018.  
<https://www.scientificamerican.com/article/could-cobalt-choke-our-electric-vehicle-future/>
136. Pezzoni L. "Batterie e materie prime, le case auto vanno alla fonte". Vaielettrico. 16 Febbraio 2018.  
<https://www.vaielettrico.it/batterie-materie-prime-grandi-marchi-auto-vanno-alla-fonte/>
137. Popovic A. "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/>
138. ProSUM project, 2017. <http://www.prosumproject.eu/>. Ultimo accesso Dicembre.
139. Radford C. e Mulcahy J. "FOCUS: Following the developing international lithium, cobalt markets". July 31, 2018. Euromoney Global Limited. <https://www.metalbulletin.com/Article/3824015/FOCUS-Following-the-developing-international-lithium-cobalt-markets.html>
140. Rawles C. Cobalt & Cathodes: "How are materials evolving to deal with the cobalt conundrum". Benchmark World Tour – Australia - Sept 2018.  
<http://www.benchmarkminerals.com/download/191069/>
141. Re L. "Prezzi alle stelle e forniture poco etiche: perché il futuro delle batterie è appeso al cobalto". 17 aprile 2018. <https://www.qualenergia.it/articoli/20180417-prezzi-alle-stelle-e-forniture-poco-etiche-perche-il-futuro-delle-batterie-appeso-cobalto/>
142. Research Nester. "Manganese Mining Market : Global Demand Analysis & Opportunity Outlook 2024". 2018. <https://www.researchnester.com/reports/manganese-mining-market-global-demand-analysis-opportunity-outlook-2024/438>
143. Roskill. "Manganese. Global Industry, Markets & Outlook 2018". 2018. <https://roskill.com/market-report/manganese/>
144. Roskill. "Natural & Synthetic Graphite. Global Industry, Markets & Outlook 2018". 2018.  
<https://roskill.com/market-report/natural-synthetic-graphite/>

145. Ruiz Leotaud V. "Chile and Argentina to lead lithium output growth after 2018". Mining.com. 4 Gennaio 2018. <http://www.mining.com/chile-argentina-lead-lithium-output-growth-2018/>
146. Sanderson H. "China's CATL says it is now world's largest EV battery supplier". March 13, 2018. <https://www.ft.com/content/7f0c51e2-26cb-11e8-b27e-cc62a39d57a0>
147. SCREEN, 2018. <http://screen.eu/>. Ultimo accesso Maggio.
148. Shaw L. "The Battery Revolution. Benchmark World Tour 2018". UBS. September 2018. <https://www.benchmarkminerals.com/download/191116/>
149. Shaw M. "Graphite Outlook 2018: Market Expected to Tighten". December 12th, 2017. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/graphite-outlook/>
150. Spencer R. e Hill L. "Specialty Minerals and Metals, Industry Overview". Canaccord Genuity. 2016. <https://voltresources.com/wp/wp-content/uploads/2016/12/Canaccord.pdf>
151. Stringer D. "Threat of Cobalt Shock Is a Top Risk for Electric Vehicles". May 22th, 2018. [https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-21/threat-of-cobalt-supply-shock-is-top-risk-for-electric-vehicles\\_1/](https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-21/threat-of-cobalt-supply-shock-is-top-risk-for-electric-vehicles_1/)
152. Syrah Resources. "Battery anode material project". 2018. <http://www.syrahresources.com.au/spherical-graphite-project>
153. Topini G. "Investire nel litio: conviene? Guida 2018". 24 December 2017. <http://www.forextradingitalia.it/investire-litio>
154. Topini G. "Qual è il costo del litio? Previsioni quotazione 2018". 24 dicembre 2017. <http://www.forextradingitalia.it/costo-litio>
155. Trading Economics. "Commodity - Forecast - 2018-2020". 2018. <https://tradingeconomics.com/forecast/commodity>. Ultimo accesso Ottobre.
156. Triton Minerals. "Graphite Industry and Price". Update. <http://www.tritonminerals.com/graphite-price/>
157. U.S. Geological Survey. "Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey", 200 p., 2018. <https://doi.org/10.3133/70194932>
158. UBS. "Global Commodities. Lithium & Graphite: Driving Disruption". 2017. <https://neo.ubs.com/shared/d1wkuDIEbYpJf/>
159. Umicore. "Recycling of Li-ion batteries how to improve collection and recycling?" CCESP workshop. 7 Dicembre 2017. <http://ceps-ech.eu/sites/default/files/Presentation%20of%20Jan%20Tytgat.pdf>
160. Università di Trento, "Estrazione e raffinazione" [http://www.ing.unitn.it/~colombo/Vitosnello/html/Estr\\_ raff.htm](http://www.ing.unitn.it/~colombo/Vitosnello/html/Estr_ raff.htm)
161. Verner. S. 2018. "Syrah Resources and Graphite Market Macquarie Bank Australia Conference", May 2018. <http://www.syrahresources.com.au/investors/downloads/560>
162. West K. "Carmakers' electric dreams depend on supplies of rare minerals". Sat 29 Jul 2017. <https://www.theguardian.com/environment/2017/jul/29/electric-cars-battery-manufacturing-cobalt-mining>
163. Whoriskey P. "In your phone, in their air". The Washington Post. October 2, 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/graphite-mining-pollution-in-china/>
164. Wikipedia. Diossido di manganese. 2018. [https://it.wikipedia.org/wiki/Diossido\\_di\\_manganese#Pile](https://it.wikipedia.org/wiki/Diossido_di_manganese#Pile)
165. Williams G. "Investing in the Manganese Industry". September 11th, 2018. <https://investingnews.com/category/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/>
166. Yahoo finanza. 22 febbraio 2018. <https://it.finance.yahoo.com/notizie/caccia-materie-primarie-cobalto-litio-170000217.html>
167. Zisengwe M. "Natural flake graphite market expected to move into a deficit around 2020". 8th June 2018. <http://www.miningweekly.com/print-version/syrah-resources-expects-natural-flake-graphite-market-to-move-into-a-deficit-around-2020-2018-06-08>