



Ricerca di Sistema elettrico

# Valutazione dei materiali critici negli scenari di elettrificazione della mobilità urbana

Cutaia L., Porta P.L., Chiavetta C., La Monica M., Scagliarino C.

Valutazione dei materiali critici negli scenari di elettrificazione della mobilità urbana  
Cutaia L., Porta P.L., Chiavetta C., La Monica M., Scagliarino C.

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto D.8: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: C1. Valutazione sostenibilità tecnologie

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 PREMESSE GENERALI.....	7
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	9
3.1 INDIVIDUAZIONE E CONFRONTO DEL MODELLO BASE VS BENCHMARK ELETTRICO (MOTIVI DELLA SCELTA DEL MODELLO) CON INVENTARIO DEI MATERIALI.....	9
3.2 ANALISI DI INVENTARIO DELLA BATTERIA DI TRAZIONE DELLA NISSAN LEAF.....	9
3.3 ANALISI DI INVENTARIO DELLA COLONNINA DI RICARICA CIRCUTOR.....	12
4 SCELTA DEI MATERIALI DA ANALIZZARE.....	13
5 ANALISI DEI FLUSSI DEI MATERIALE.....	14
5.1 LITIO.....	14
5.1.1 Estrazione.....	14
5.1.2 Altri utilizzi e riciclo del litio.....	17
5.1.3 Previsioni future.....	18
5.2 GRAFITE.....	20
5.2.1 Estrazione.....	20
5.2.2 Altri utilizzi e riciclaggio della grafite.....	21
5.2.3 Previsioni future.....	22
5.3 MANGANESE.....	24
5.3.1 Estrazione.....	24
5.3.2 Altri utilizzi e riciclaggio del manganese.....	25
5.3.3 Previsioni future.....	26
6 ANALISI DEI MERCATI.....	27
6.1 IL MERCATO DEL LITIO.....	27
6.1.1 Caratteristiche del mercato.....	27
6.1.2 Domanda.....	27
6.1.3 Offerta.....	28
6.1.4 Prezzi.....	29
6.1.5 Finanza.....	30
6.2 IL MERCATO DELLA GRAFITE.....	31
6.2.1 Caratteristiche del mercato.....	31
6.2.2 Domanda.....	32
6.2.3 Offerta.....	33
6.2.4 Prezzi.....	33
6.3 IL MERCATO DEL MANGANESE.....	35
6.3.1 Caratteristiche del mercato.....	35
6.3.2 Domanda.....	35
6.3.3 Offerta.....	36
6.3.4 Prezzi.....	36
6.4 CONSIDERAZIONI FINALI.....	37
7 SCENARI DI PENETRAZIONE DELLE AUTO ELETTRICHE.....	39
8 CONCLUSIONI.....	44
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	45
10 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	49



## Sommario

Nel quarto capitolo si spiegano le motivazioni per cui tra i materiali esaminati nel capitolo precedente sono stati individuati alcuni particolarmente critici, su cui si è focalizzato il lavoro di questo studio. I materiali presi in esame sono: litio, grafite e manganese.

Nel quinto capitolo sono mappati i flussi dei materiali individuati, analizzando le criticità. Vengono presi in esame separatamente i diversi elementi esaminando le disponibilità, le movimentazioni a livello mondiale, le situazioni politiche dei Paesi esportatori, la possibilità di sostituzione con altri materiali, gli utilizzi concorrenti a quello preso in esame.

Nel sesto capitolo sarà effettuata una overview della struttura di mercato del litio, della grafite e del manganese, concentrandosi in particolare sulle principali caratteristiche dei mercati di riferimento, sulla struttura della domanda e dell'offerta, sui prezzi e su, eventuali, aspetti finanziari di particolare interesse.

## 1 Introduzione

Le nuove prospettive offerte dalla mobilità elettrica vanno esaminate alla luce delle nuove tecnologie che è necessario implementare per accompagnarne la penetrazione a scala vasta.

In particolare, le tecnologie elettriche che accompagnano gli scenari di una mobilità maggiormente sostenibile richiedono l'utilizzo di materie prime, alcune critiche, i cui scenari di estrazione, domanda, offerta e costo vanno esaminati in relazione alla crescente competizione per l'approvvigionamento delle stesse nelle tecnologie oggetto di questo lavoro, e non solo.

Pertanto ci si propone di analizzare quanto sopra coniugando la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA), che serve a realizzare un inventario delle risorse e la quantificazione degli impatti ambientali ad esso connessi, con specifiche analisi economiche e di scenario riferite in particolare a materie prime fondamentali per la realizzazione delle tecnologie necessarie all'affermarsi della mobilità elettrica quali litio, grafite e manganese.

L'intento è quello di collegare gli scenari di penetrazione della mobilità in ambito urbano alle relative ricadute ambientali ed economiche, considerando gli effetti legati alla domanda cumulativa di questi materiali necessari all'implementazione di tali scenari anche in termini di disponibilità delle risorse e degli scenari di mercato ad essa connessi.

Il presente lavoro riporta quindi una descrizione generale delle premesse alla base dello studio, a cui segue la quantificazione dei flussi di materie prime caratterizzanti le tecnologie necessarie per la sostituzione di un veicolo tradizionale con un veicolo elettrico preso a riferimento tramite cui calcolare la domanda di materie prime relativa ad un ipotetico scenario di penetrazione della mobilità elettrica nel parco urbano circolante. Alla quantificazione di tali flussi di materia è stata affiancata una valutazione degli attuali scenari di domanda e offerta per le materie prime considerate, nel tentativo di comprendere gli effetti di una transizione verso un sistema di mobilità che progressivamente abbandoni l'utilizzo di motori a scoppio in favore delle batterie elettriche di trazione.

## 2 Premesse generali

Lo studio oggetto di questo report intende focalizzare l'attenzione sugli effetti legati alla penetrazione delle tecnologie elettriche di trazione nel parco mezzi urbano italiano, sulle dinamiche di domanda e offerta di manganese, litio e grafite in quanto questi rappresentano materiali essenziali nel contesto della mobilità elettrica, oltre ad essere considerati critici nel panorama mondiale di disponibilità e approvvigionamento delle materie prime. Quando si parla di mobilità elettrica e di tecnologie necessarie alla sua diffusione nel parco auto circolante si intendono non solo i veicoli a trazione elettrica, ma anche tutte le infrastrutture di accumulo e ricarica di elettricità necessarie al rifornimento degli stessi, ovvero le cosiddette colonnine di ricarica la cui diffusione costituisce certamente un aspetto critico nell'affermazione sul mercato di una mobilità alternativa a quella tradizionale. Nel presente report manca la quantificazione delle materie prime critiche necessarie alla realizzazione di un numero di colonnine di ricarica sufficienti a supportare la diffusione di un determinato numero di mezzi elettrici oggetto degli scenari che si intende investigare. L'assenza di dati pubblici relativi alla computo dei materiali costituenti le colonnine e la resistenza di alcune aziende produttrici (contattate in maniera diretta) a condividere informazioni, hanno finora impedito la realizzazione di questa importante parte del lavoro che si prevede di integrare nei prossimi mesi.

Al momento lo studio si focalizza dunque sui flussi di alcune materie prime strettamente legate alla realizzazione dei veicoli elettrici. Un'ampia letteratura scientifica testimonia come questo tipo di mezzi permetta un abbattimento totale delle emissioni locali in fase d'uso e una riduzione possibile fino all'azzeramento delle emissioni di gas climalteranti grazie al ricorso in percentuali più o meno spinte di fonti rinnovabili in fase di produzione dell'energia elettrica. Meno affrontato è il tema di quali ripercussioni possa avere una massiccia conversione del parco mezzi circolante alla trazione elettrica sull'andamento della domanda e dell'offerta di alcune materie prime critiche. Questo studio intende andare a colmare proprio questo vuoto ponendo l'attenzione su materiali come litio, manganese e grafite che sono solo alcuni dei componenti principali delle batterie di trazione attualmente più diffuse. Gli autori, consapevoli che sono già prossime ad un ingresso sul mercato batterie basate su diverse tecnologie, intendono riproporre le valutazioni fatte in questo lavoro anche per altri tipi di batterie. Al momento l'analisi si limita alle materie prime fondamentali per la realizzazione delle batterie e che hanno carattere di materie prime critiche a causa delle dinamiche dei loro mercati. L'ipotesi alla base di tale approccio è che l'elemento distintivo a livello tecnologico di una vettura elettrica è proprio la presenza della batteria. Inoltre lo studio intende focalizzarsi sui flussi di materiali, tralasciando in prima battuta una valutazione degli impatti ambientali legati alla loro produzione, dando centralità alle questioni economiche legate alle dinamiche di mercato. Tuttavia gli autori ritengono che oltre a questo tipo di valutazioni sarebbe opportuno in futuro valutare con un approccio comparativo in ottica LCA tutte le fasi del ciclo di vita sia di una automobile a trazione tradizionale che a trazione elettrica includendo le fasi di produzione, uso e fine vita di tutti i componenti delle stesse al fine di valutare in maniera olistica gli impatti ambientali generati dai due sistemi. In tal senso l'analisi oggetto di questo studio può essere considerata come un primo modulo di questo lavoro più complesso in quanto si focalizza sulla più grande differenza tra le due soluzioni tecnologiche sopra citate che si materializza appunto nella batteria di trazione del veicolo elettrico, quantificando i flussi di materiali necessari alla sua realizzazione e valutandone i possibili scenari a fine vita andando così a completare le valutazioni già discusse sull'andamento di domanda e offerta di alcuni materiali, con considerazioni circa la riciclabilità degli stessi a fine vita in un'ottica di economia circolare.

Di seguito si offre maggiore dettaglio delle ipotesi alla base dello studio e del modello di veicolo elettrico scelto come riferimento per l'analisi. Successivamente si procede alla quantificazione dei flussi di

manganese, litio e grafite necessari per la realizzazione di una batteria di trazione. A valle di considerazioni economiche sull'andamento della domanda e offerta di tali materie prime si procede a una valutazione dei flussi di materiale necessari ad uno scenario ipotizzato di penetrazione della mobilità elettrica nel parco mezzi urbani circolante.

### 3 Descrizione delle attività svolte e risultati

#### 3.1 *Individuazione e confronto del modello base vs benchmark elettrico (motivi della scelta del modello) con inventario dei materiali*

Il progetto ha l'obiettivo di confrontare dei possibili scenari di elettrificazione del trasporto urbano. Per valutarne la fattibilità a livello di risorse necessarie, saranno individuati dei mezzi rappresentativi, sia a combustione interna che elettrici, che saranno utilizzati per valutare i quantitativi di materiali utilizzati considerando diverse percentuali di penetrazione dei mezzi elettrici nel parco auto circolante in Italia.

Le attuali auto a combustione interna (benzina o diesel), hanno raggiunto elevati livelli di abbattimento delle emissioni e un ulteriore abbattimento degli inquinanti a livello locale può essere garantito dal passaggio ad una propulsione ibrida o elettrica, che peraltro oltre alla riduzione delle emissioni atmosferiche, garantisce una sostanziale diminuzione degli impatti sonori.

Le auto elettriche possono essere divise in quattro principali categorie: le macchine ibride, che funzionano con combustibili tradizionali ma recuperano energia durante la fase di uso e possono operare grazie alla sola energia accumulata, con il motore tradizionale, o in una modalità mista; le ibride plug-in, che in più rispetto alle ibride hanno una presa da connettere alla rete elettrica per poter ricaricare le batterie; le cosiddette elettriche con autonomia estesa (Erev), che sono auto totalmente elettriche ma montano un motore a combustione che in caso di necessità può produrre elettricità e ricaricare le batterie; le elettriche pure.

Lo studio, nell'intento di valutare il quantitativo di materie prime necessarie alla conversione dell'attuale parco circolante verso la trazione elettrica, prende a riferimento un'auto full electric tramite cui calcolare i materiali necessari per la produzione della batteria, principale componente che differisce tra un veicolo elettrico ed un equivalente veicolo a trazione fossile. Dunque nell'effettuare il calcolo delle materie prime necessarie alla conversione del parco auto circolante con veicoli a trazione elettrica si è proceduto ad un inventario delle materie prime contenute nella batteria di trazione dell'auto presa a riferimento tramite cui calcolare i quantitativi di materie prime necessarie per rispondere a diversi scenari di penetrazione dei mezzi elettrici nel sistema del trasporto privato italiano. Come mezzo di riferimento per l'analisi è stata scelta la Nissan Leaf in virtù degli elevati volumi di vendita e del suo carattere di city car che la rendono un mezzo sufficientemente rappresentativo del parco circolante oggetto di studio.

Di seguito sono riportati i dati raccolti che si riferiscono alle batterie montate sulla Nissan Leaf. Questi dati saranno utilizzati per individuare quali siano i materiali da analizzare in uno scenario di elettrificazione del parco auto.

#### 3.2 *Analisi di inventario della batteria di trazione della Nissan Leaf*

Al fine di ottenere le quantità di risorse necessaria alla produzione delle batterie per gli scenari di penetrazione previsti, è stata fatta un'analisi degli elementi che le compongono.

In una prima fase sono stati richiesti attraverso contatto diretto dati primari alla Nissan e ai produttori della batteria utilizzata dalla Leaf. Non avendo ottenuto quanto richiesto, si è fatto ricorso a dati secondari reperiti attraverso articoli di settore, banche dati e nei siti internet dei produttori.

I dati riguardanti le specifiche tecniche della batteria della Nissan Leaf sono riportati in tabella.

**Tabella 1.**

Specifiche tecniche Batteria Nissan Leaf		
		Unità di misura
<b>Tipo di batteria</b>	Ioni di litio	
<b>Numero di moduli</b>	48 per cella, 192 celle totali	
<b>Anodo</b>	Grafite	
<b>Catodo</b>	Litio Manganese	
<b>Voltaggio nominale</b>	403,2	V
<b>Capacità totale</b>	360	V
<b>Capacità totale</b>	24	kWh
<b>Power output</b>	Oltre 90	kW
<b>Dimensioni</b>	1570,5x1188x264,9	mm
<b>Peso</b>	295	kg

Fonte: <https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/>

Il peso totale delle 192 celle, che è la parte effettivamente dedicata all'accumulo di energia, ammonta a 151 kg. A questo ammontare vanno aggiunti 144 kg corrispondenti al peso dell'involucro in acciaio, i cavi elettrici e le parti elettroniche, per un peso totale di 295 kg (<https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/>).

Per ottenere i quantitativi di litio, è stato utilizzato uno studio dell'EMPA che riporta i valori medi di questa risorsa nei diversi componenti a seconda della particolare tecnologia analizzata.

Di seguito è riportata una ripartizione, in termini percentuali, del peso totale delle celle per i principali materiali che le compongono secondo quanto riportato dallo studio LCA of Li-Ion Batteries for electric mobility di Notter del Technology and Society Laboratory, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa).

In particolare, per quanto riguarda il litio, la quantità totale corrisponde a circa l'1% della cella, pari al 5% in peso se si considera il  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . In generale un dato ritrovato da vari fonti indica che ci sono circa 0,08 kg di litio per kWh di energia immagazzinata dalla batteria.

Prendendo come riferimento la cella, il 23% è composto da alluminio, il 13% da rame, il 24% da  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (elettrolita) e il 16% da grafite.

Per ottenere i quantitativi in peso dei diversi materiali che compongono le batterie al litio, sono stati utilizzati i dati presenti all'interno della banca dati Ecoinvent. Sviluppata dall'Ecoinvent Centre (che raduna le competenze di ETHZ, EPFL, PSI, Empa e ART) contiene oltre 5.000 diversi processi che vanno dall'estrazione delle materie prime, alla produzione di energia e di prodotti che vanno dalla meccanica e mecatronica, ai prodotti alimentari, chimici, elettronici ed altro.

In questo studio sono stati considerati i processi di produzione riferiti a un chilo di batteria al litio manganese e di produzione di un chilo di celle al litio.

I processi, qui di seguito in tabelle, riportano il peso di ogni singolo componente.

**Tabella 2.**

<b>Li-ion Battery (Base Module 1kg)</b>	<b>Unit</b>	<b>Quantity</b>
battery cell, Li-ion	kg	0,8
cable, data cable in infrastructure	m	0,37
cable, three-conductor cable	m	0,025
printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb containing	kg	0,001
printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free	kg	0,0023
reinforcing steel	kg	0,145
electricity, low voltage	MJ	0,878
metal working factory	Pcs	4,58E-10
transport, freight, sea, transoceanic ship	kg*km	14000

Fonte: Ecoinvent 2.2

**Tabella 3.**

<b>Li-ion Cell (1kg)</b>	<b>Unit</b>	<b>Quantity</b>
chemical factory, organics	Pcs	4E-10
electricity, medium voltage	MJ	0,38
extrusion, plastic film	kg	0,073
aluminium, wrought alloy	kg	0,016
anode, graphite, for lithium-ion battery	kg	0,4
battery separator	kg	0,05
cathode, LiMn2O4, for lithium-ion battery	kg	0,33
ethylene carbonate	kg	0,16
lithium hexafluorophosphate	kg	0,019
polyethylene, low density, granulate	kg	0,073
used Li-ion battery (Waste)	kg	0,05
heat, district or industrial, natural gas	MJ	0,065
nitrogen, liquid	kg	0,01
sheet rolling, aluminium	kg	0,016

Fonte: Ecoinvent 2.2

**Tabella 4.**

<b>Cathode, lithium-ion battery, lithium manganese oxide (1 kg)</b>		
Carbon black, at plant/GLO U	kg	0,026
Sheet rolling, aluminium/RER U	kg	0,393
Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U	kg	0,130
Water, deionised, at plant/CH U	kg	0,200
Transport, freight, rail/RER U	tkm	0,758
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	MJ	0,646
Latex, at plant/RER S	kg	0,010
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm	0,126
Chemical plant, organics/RER/I U	p	4E-10
Aluminium, production mix, wrought alloy, at plant/RER U	kg	0,393
Electricity, medium voltage, at grid/CN U	kWh	0,002
Lithium manganese oxide, at plant/GLO U	kg	0,623

Fonte: Ecoinvent 2.2

**Tabella 5.**

<b>Anode, lithium-ion battery, graphite (1 kg)</b>		
Carbon black, at plant/GLO U	kg	0,016
Copper, at regional storage/RER U	kg	0,524
Sheet rolling, copper/RER U	kg	0,524
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	kg	0,081
Water, deionised, at plant/CH U	kg	0,424
Transport, freight, rail/RER U	tkm	0,470
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	MJ	1,216
Latex, at plant/RER S	kg	0,018
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm	0,113
Chemical plant, organics/RER/I U	p	4E-10
Graphite, battery grade, at plant/CN U	kg	0,494
Electricity, medium voltage, at grid/CN U	kWh	0,002

Fonte: Ecoinvent 2.2

Considerando che l'80% di una batteria è composto da celle (Tabella), considerando le percentuali riportate nell'articolo ETMA, risulta che nella batteria presa come riferimento (151 kg) sono presenti:

- tra 1,5 e 2 kg di litio;
- 27 kg di alluminio;
- 16 kg di rame;
- 29 kg di  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  che corrispondono a circa 13 kg di manganese e 0,5 kg di litio;
- 19 kg di grafite.

Utilizzando come fonte di dati per i materiali che compongono la batteria il dataset di Ecoinvent, i risultati sono:

- 4 kg di alluminio;
- 48 kg di anodo composto al 50% da grafite (24 kg); e al 50% da rame (24 kg);
- 39 kg di catodo composto per il 60% di  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  e per il 40% da Alluminio che corrispondono a circa 17,5 kg di Manganese e poco meno di 1,2 kg di litio ai quali vanno sommati circa 0,3 kg di Litio contenuto nell'esafluorofosfato che danno dunque:
- 1,5 kg di litio.

Le informazioni presenti non ci permettono di determinare il motivo della discrepanza nei quantitativi totali dei due inventari analizzati. Ma visto l'obiettivo dello studio che punta a dare indicazioni sui quantitativi di materiali necessari in eventuali scenari, utilizzando un principio di precauzione, verrà utilizzato come valore di riferimento il quantitativo calcolato più alto .

### 3.3 *Analisi di inventario della colonnina di ricarica Circutor*

Per completare l'analisi dei materiali sarebbe opportuno valutare anche i sistemi di ricarica.

Ad oggi esistono diversi tipi di colonnine di ricarica, le cui principali differenze comprendono la velocità di ricarica e il tipo di connettore utilizzato.

Viste le ipotesi dello studio si è deciso di selezionare come prodotto rappresentativo una colonnina di ricarica da 50 kW rapida in DC (modo 4) con interfaccia Chademo (standard giapponese della Leaf) o Combo (standard europeo) del tipo solitamente utilizzato per la ricarica della Nissan Leaf.

Non sono stati trovati dati pubblici concernenti le quantità di materiali utilizzati, è stato quindi predisposto un format di raccolta dati ed inviato al produttore delle colonnine senza però ricevere alcun feedback.

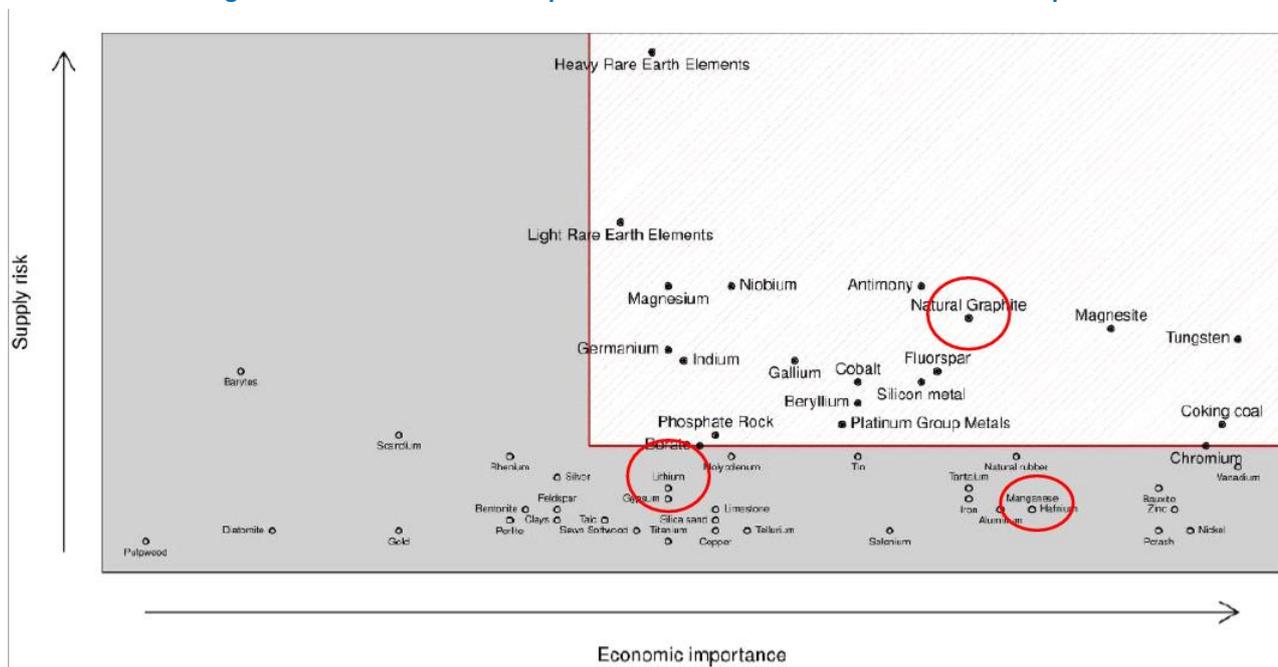
Si prevede di completare questa parte del documento in una fase successiva del lavoro.

## 4 Scelta dei materiali da analizzare

La Nissan Leaf monta batterie al litio da 24 kWh con anodo di grafite, catodo composto da Litio-Ossido di Manganese ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) e come elettrolita un sale di litio sciolto in un solvente organico anidro. Una batteria così composta viene chiamata LMO come abbreviazione della composizione del catodo.

All'interno di questa batteria sono stati scelti i materiali più interessanti da un punto di vista dell'approvvigionamento, dei flussi di materia, dell'importanza economica e degli scenari politici dei Paesi da cui provengono. I materiali selezionati per lo studio in oggetto sono: Litio, Manganese e Grafite Naturale. Nel grafico sottostante viene riportata la matrice delle Materie Prime Critiche dell'Unione Europea che prende in considerazione due criteri: l'importanza economica e il rischio di approvvigionamento delle materie prime.

**Figura 1. Grafico delle materie prime critiche stilato dalla Commissione Europea**



Fonte: Woodrow, "Economia circolare e approccio strategico alle materie prime: una sfida importante per l'Europa e il resto del mondo" (Huffingtonpost, 31/03/2015)

Tra i materiali selezionati per lo studio la grafite naturale è la sola che rientra nella lista delle materie prime critiche stilata dall'Unione Europea. Il manganese e litio pur non facendo parte della lista delle materie critiche registrano comunque alcune tematiche da approfondire: l'approvvigionamento e lo studio del mercato economico.

In Europa le miniere di litio o manganese presenti non possono garantire i quantitativi richiesti, è necessaria quindi l'importazione da altri Paesi. L'estrazione di questi materiali avviene perlopiù in zone molto concentrate e con forte instabilità politica, questo rende problematico e precario l'approvvigionamento e a volte molto oneroso. Da sottolineare che al momento per questi materiali non esiste un sistema di riciclo dalle batterie esauste.

Dal punto di vista economico il litio, grafite e manganese sono mercati che nei prossimi anni potranno essere soggetti a grandi pressioni a causa della possibile massiccia diffusione di batterie al litio.

## 5 Analisi dei flussi dei materiale

In questo capitolo verranno presi in esame i flussi di materia dei 3 materiali scelti per lo studio. Verrà eseguita inizialmente un'indagine sui Paesi in cui viene estratta la materia, saranno analizzati i quantitativi estratti annualmente, con riferimento agli ultimi anni, e si analizzeranno gli andamenti dei quantitativi estratti. Nello studio sono riportati anche i quantitativi presunti delle riserve dei diversi Paesi. Per riserva si intende quella parte di materiale che potrebbe essere economicamente producibile, cioè che si potrebbe produrre nel caso si presentino due fattori: condizioni economiche favorevoli, quindi una richiesta di mercato, e una tecnologia adatta all'estrazione. Ogni capitolo dedicato alla materia studiata si chiuderà con una panoramica dei diversi utilizzi del materiale nei vari campi di applicazioni industriali e una breve analisi dei tassi di riciclo e di sostituzione dell'elemento.

### 5.1 Litio

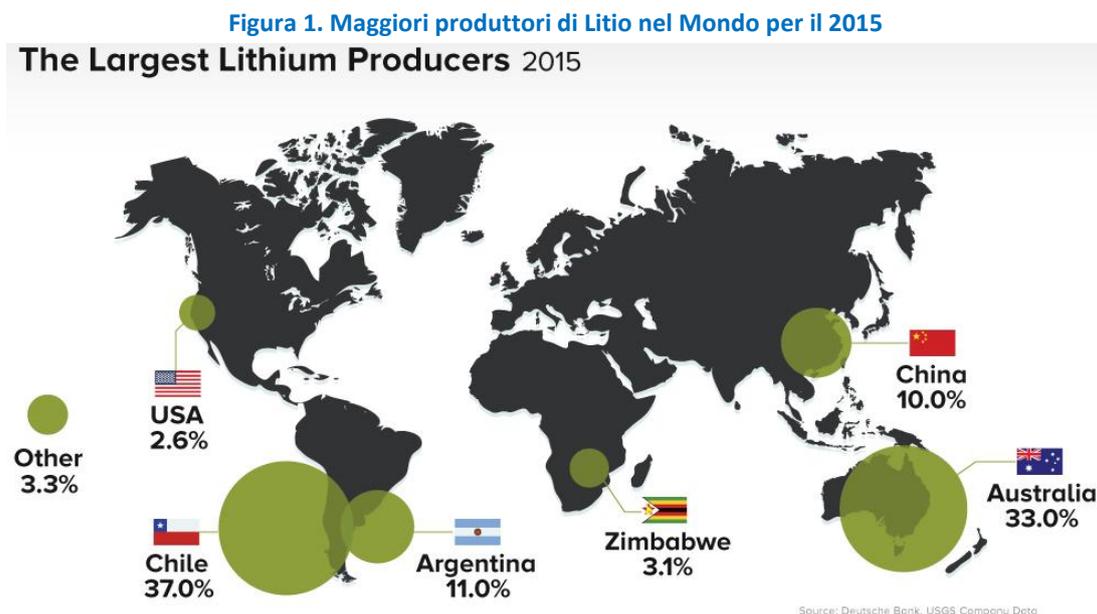
Sebbene tale elemento sia largamente disponibile, non si trova in natura allo stato metallico: a causa della sua reattività, infatti, si presenta sempre legato ad altri elementi o composti. È presente in minima parte in quasi tutte le rocce ignee ed anche in molte salamoie naturali.

Come materiale per produrre il catodo in una batteria si trova soprattutto nelle forme di carbonato di litio o idrossido di litio. L'idrossido di litio è un sottoprodotto del carbonato di litio, utilizzato per esempio nella Tesla Powerwall e nel modello S. La batteria LMO della Nissan Leaf invece utilizza la forma del carbonato di litio.

#### 5.1.1 Estrazione

Esistono tre fonti fondamentali da cui estrarre il litio: dalla salamoia, dai depositi argillosi o dalla roccia dura; quest'ultimo costituita principalmente da spodumene. I depositi di salamoia rappresentano circa il 66% delle risorse del litio mondiale e si trovano principalmente nelle zone salate del Cile, dell'Argentina, della Bolivia, della Cina e del Tibet.

Nella figura sottostante sono evidenziati i maggiori Paesi produttori di litio nel mondo riferito ai dati dell'anno 2015.



Fonte: Deutsche Bank

La produzione mondiale di Litio nel 2016 ammonta a 37.900 t, nella tabella 1 vengono riportati i quantitativi estratti nei diversi Paesi.

**Tabella 1. Maggiori produttori di litio per il 2016.**

Paesi produttori (2016)	produzione mineraria (t)	%	riserve (t)
<b>Australia</b>	14.300	40,5	1.600.000
<b>Cile</b>	12.000	34	7.500.000
<b>Argentina</b>	5.700	16,1	2.000.000
<b>Cina</b>	2.000	5,7	3.200.000
<b>Zimbabwe</b>	900	2,5	23.000
<b>Brasile</b>	200	0,6	48.000
<b>Portogallo</b>	200	0,6	60.000
<b>TOT</b>	<b>35.300</b>		<b>14.431.000</b>

*Fonte: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey – Mineral commodity Summaries 2017*

L'ultima colonna della tabella rappresenta le riserve calcolate per ogni Paese, queste possono essere considerate come l'inventario delle forniture future economicamente estraibili di una miniera. La previsione è necessariamente limitata da molte considerazioni, non vengono infatti compresi i costi di perforazione, le tasse, il prezzo del materiale estratto e la domanda annuale. Le riserve vengono utilizzate fino a quando ci sia domanda di minerale o fino a che non intervengano limitazioni geologiche sulla qualità o sulla quantità del minerale.

La zona di estrazione più famosa è conosciuta come il "triangolo del litio", situato al confine tra Cile, Argentina e Bolivia (Big 3). Salar de Atacama, terzo più grande lago salato del mondo, risiede sul lato cileno e contiene circa il 50% delle riserve globali. Le miniere si trovano a 2300 metri, su un lago salato lungo 100 chilometri e largo 80. Nella stessa regione si estraggono anche grandi quantità di potassio e altri minerali. Il Cile, a differenza degli altri due Paesi del triangolo, ha il vantaggio che può trasportare il litio dai porti dell'Oceano Pacifico verso i mercati mondiali.

"Fino a pochi anni fa in Argentina, nessuno voleva investire nel paese: una serie di barriere e controlli su importazioni ed esportazioni, istituite nel tentativo di preservare il valore della moneta nazionale, avevano reso lavorare nel paese molto problematico. Era necessario avere permessi speciali e particolarmente complessi da ottenere sia per importare macchinari che per esportare il litio estratto. Ora è molto più facile investire nel paese, come mostra il fatto che alcune società minerarie stiano pensando di lasciare il Cile per trasferirsi in Argentina. Ma c'è ancora molto da fare: la legge argentina stabilisce che i proprietari delle risorse minerarie, compreso il litio, siano le amministrazioni provinciali, non lo stato centrale. Gran parte della legislazione che servirà a uniformare la situazione deve ancora terminare il suo percorso, ma le prime misure adottate dal presidente hanno già prodotto alcuni successi per il settore: nel 2016 la produzione di litio argentino è cresciuta del 60 per cento" (The Economist, "A battle for supremacy in the lithium triangle", 15/06/17).

Nella tabella manca la produzione della Bolivia, primo produttore di Litio al mondo, questo perché il governo boliviano ha deciso di nazionalizzare la produzione non vendendo all'estero. La situazione in Bolivia è unica tra i paesi produttori di litio, poiché qui il metallo può essere estratto soltanto dalle imprese statali. Secondo l'Economist, questa non è una strategia che ha portato grandi successi, almeno per il momento. Sono in ritardo anche i lavori per costruire gli impianti di estrazione e raffinazione. Il risultato è che nel 2016 gli unici guadagni ottenuti dal litio per lo stato boliviano sono stati 208 mila dollari arrivati dalla vendita di 25 tonnellate di metallo alla Cina. (The Economist, "A battle for supremacy in the lithium triangle", 15/06/17).

**Figura 2. Localizzazione della zona di maggior produzione mondiale di litio**



Fonte: Visualcapitalist.com

Altri Paesi che estraggono litio sono: Cina, Brasile, Afghanistan, Australia, Stati Uniti, Zimbabwe e Portogallo.

A livello mondiale la Cina recita una parte importante, essendo il quarto paese con le maggiori quantità, dietro ad Australia, Cile e Argentina. La Cina è diventata non solo un grande produttore di litio, ma anche un grandissimo consumatore con una crescita della domanda di batterie trainata dall'elettronica di consumo e dalle applicazioni per il trasporto elettrico. La maggior parte della produzione cinese viene estratta in Tibet, dal Lago Zabuye, un lago salato di montagna. La Cina ormai esporta piccolissimi quantitativi a cui solitamente pone dei dazi, per cui le forniture cinesi sono pressoché bloccate.

In Brasile il litio viene estratto nella regione sud amazzonica del rio Aracua, non lontano dalle coste atlantiche. Qui l'estrazione mineraria sta creando problemi ambientali e sociali per gli ecosistemi.

Il governo afgano non rivela per motivi strategici i quantitativi delle ricchezze minerarie per cui non è possibile fare un bilancio né dei quantitativi estratti né delle risorse contenute nel sottosuolo.

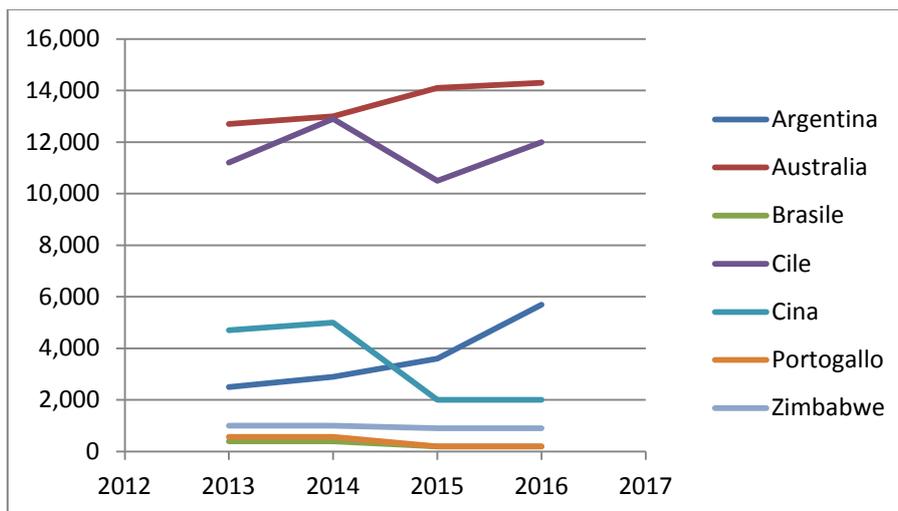
In Australia opera la Talison Lithium, il più grande fornitore di litio primario del mondo e l'unico che lo produce non dalla salamoia naturale, ma invece dalla roccia. Nel Paese sono state attivate molte campagne di ricerca per trovare nuove zone di estrazione e anche le compagnie già attive stanno cercando di aumentare la produzione come ha dichiarato la società australiana Orocobre che intende aumentare la produzione nel suo impianto di Salar de Olaroz a 35.000 t nel 2018, raddoppiando le 17.500 t che si prevede produrrà quest'anno.

La produzione statunitense avviene soprattutto in Nevada e in California, ma i quantitativi non sono dichiarati in quanto il litio non viene esportato ma utilizzato tutto nel proprio territorio.

Nei deserti sahariani e del corno d'Africa la produzione mineraria del 2013 è stata di 1.100 t. Lo Zimbabwe produce litio da 60 anni e detiene la più grande riserva del mondo a Bikita, contenente 11 milioni di t. Tuttavia, la produzione del paese è molto meno, anche perché i minerali del deposito contengono una bassa percentuale di litio.

In Europa i due produttori di litio sono Portogallo e Serbia, ma quest'ultima con piccoli quantitativi. La produzione del Portogallo è concentrata nella regione di Gongalo e deriva dalla macinazione di minerale con un contenuto di litio di circa l'1%.

**Figura 3. Produzione di litio 2013-2016**



Fonte: Elaborazione da dati di U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey - Mineral commodity Summaries 2013-2014-2015-2016

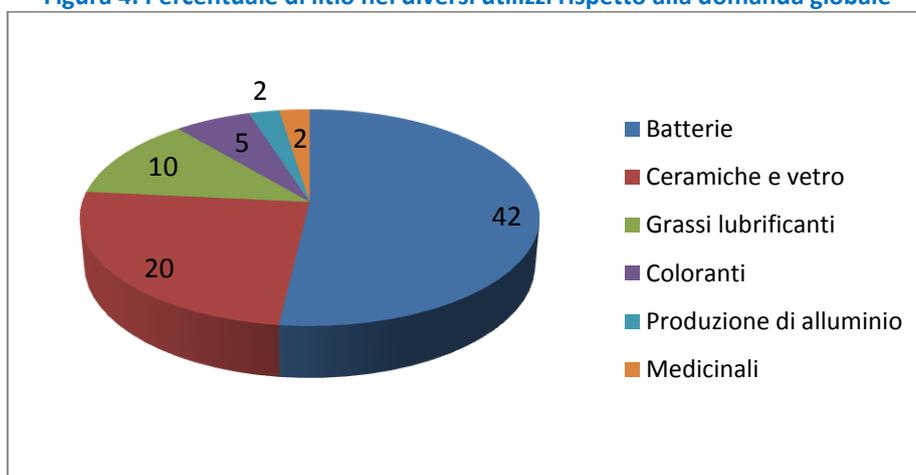
Nella figura si nota come Argentina ed Australia stiano aumentando la produzione di litio negli ultimi anni e come invece la Cina abbia avuto una drastica flessione nel 2015 tanto da dover importare la risorsa dall'estero per la propria industria. Un altro dato degno di nota è come la produzione del Cile sia stata incostante nei 4 anni presi in esame.

#### 5.1.2 Altri utilizzi e riciclo del litio

Il litio oltre che nelle batterie per i veicoli elettrici viene utilizzato anche per la produzione di lap top, telefoni cellulari, videocamere, ceramiche e vetro, nella composizione di grassi lubrificanti e coloranti per fuochi di artificio e in ottica. Ha un utilizzo anche in medicina: è un eccellente stabilizzatore dell'umore utilizzato per curare disturbi bipolari.

Attualmente la percentuale di litio utilizzato per le batterie rappresenta il 42% della domanda globale. Il resto del mercato è in gran parte costituito da utilizzi industriali, come la ceramica, il vetro e i grassi lubrificanti. Per questo tipo di applicazioni viene usato il litio technical-grade, meno costoso di quello necessario per produrre batterie (battery-grade) ma con bassissime concentrazioni di ferro.

**Figura 4. Percentuale di litio nei diversi utilizzi rispetto alla domanda globale**



Fonte: Elaborazione dati per rapporto MSE

Per capire come mai la percentuale di utilizzo del litio per le batterie delle auto elettriche sia così elevato rispetto a quello utilizzato nell'elettronica di consumo bisogna pensare che un veicolo elettrico utilizza 4.800 volte la quantità di litio di uno smartphone.

La sostituzione dei composti di litio sarebbe possibile in batterie, ceramiche, grassi e vetro. Per esempio alcuni sostituti potrebbero essere calcio, magnesio, mercurio e zinco come materiale anodico nelle batterie primarie, calcio e alluminio come sostituti nei grassi lubrificanti, e materiali sodici e potassici nella ceramica e nella produzione di vetro. Per le batterie delle auto elettriche al momento il litio rappresenta la migliore alternativa in base alle prestazioni necessarie a questo tipo di prodotto.

Il riciclaggio del litio storicamente non è stato mai rilevante ma sta aumentando costantemente a causa della crescita del consumo di batterie al litio. La prima azienda a riciclare batterie al litio e a ioni di litio fu un'azienda canadese nel 1992 nella Columbia Britannica.

Ad oggi il litio viene quasi esclusivamente da fonti primarie infatti il riciclo non è molto diffuso a causa della bassa concentrazione nelle apparecchiature che lo contengono, che rende poco economica la separazione. Si ritiene che oltre il 50% del litio contenuto nelle batterie possa essere riciclato ma per usi diversi. Il recupero del litio dalle batterie è tecnicamente fattibile ma ancora non è economicamente sostenibile. Tuttavia, l'aumento previsto del prezzo del litio a lungo termine e l'implementazione di nuove metodologie per il riciclaggio potranno portare in futuro ad un recupero più efficiente.

### 5.1.3 Previsioni future

La domanda di litio è esplosa inizialmente con la diffusione di dispositivi mobile mobili come smartphone, computer portatili e tablet. Ciascuno di questi apparati richiede potenti batterie leggere ricaricabili per funzionare in modo affidabile. Goldman Sachs prevede che la più grande fonte di domanda di litio nel prossimo decennio arriverà dalla diffusa adozione di veicoli elettrici e che la domanda del "petrolio bianco" potrebbe triplicare entro il 2025.

Le batterie a ioni di litio per veicoli elettrici sembrano ormai aver conquistato il mercato in modo stabile, solitamente utilizzano un anodo di grafite mentre il catodo varia a seconda della tipologia.

Al momento il tasso di penetrazione delle auto elettriche è del 3% negli USA, il 4% in Germania, e il 22% in Norvegia (Paese che ha imponenti incentivi statali). Il maggiore ostacolo per un aumento nell'acquisto delle auto elettriche è prima di tutto il costo più elevato rispetto alle auto convenzionali, questa differenza di prezzo è dovuta soprattutto alla batteria. Il secondo ostacolo è rappresentato dalle autonomie limitate, anche in questo caso l'attenzione è rivolta alla batteria. Le due problematiche evidenziate sono sostanzialmente in via di risoluzione infatti i costi delle auto elettriche (soprattutto per le berline come la Nissan Leaf) stanno scendendo mentre aumentano le prestazioni delle batterie. La nuova Nissan Leaf monterà una batteria da 40 kWh con un'autonomia dichiarata di 378 km ed il prezzo sarà inferiore ai 40.000 €.

Diversi importanti produttori sono in fase di espansione poiché la domanda mondiale di litio è in costante aumento; fra le cause, il mercato cinese dei veicoli elettrici in forte crescita ed altri mercati classici, come quello delle ceramiche e dei lubrificanti che continuano ad richiedere materiale e a crescere. I più grandi produttori di batterie al litio hanno fatto segnare un incremento della produzione tra il 2015 e il 2016 segno che il mercato si sta muovendo e la domanda sta crescendo.

Le riserve di litio sono abbondanti e ci sono diversi investimenti in stadio avanzato per espandere la produzione, tanto da non sollevare grandi allarmi sulla futura disponibilità. Gli analisti di Cru Group ritengono addirittura che nei prossimi 5 anni ci sia addirittura «il potenziale per un significativo eccesso di offerta», se tutti i progetti annunciati venissero davvero realizzati nei tempi previsti.

Transparency Market Research (una società di ricerche di mercato che fornisce rapporti sul mercato attuale, previsioni e analisi aziendali) ha stimato che il giro di affari intorno alle batterie agli ioni di litio passerà dai 30 miliardi di dollari del 2015 ai 75 nel 2024, mentre gli analisti di Morgan Stanley prevedono che il 47% delle auto vendute a livello globale entro il 2050 saranno elettriche. Anche l'Agenzia internazionale dell'energia ha diffuso una sua previsione che 20 milioni di veicoli elettrici (tra cui ibridi) saranno in uso entro il 2020.

Nel futuro i veicoli elettrici rappresenteranno il 38% di tutta la domanda di litio rispetto a solo circa il 6% di oggi.

Insieme al Cile (7,5 milioni di tonnellate di produzione annua di litio), soltanto la Cina (3,2 milioni di tonnellate), l'Argentina (2 milioni di tonnellate) e l'Australia (1,6 milioni di tonnellate) detengono riserve di litio di una certa importanza. Inoltre le instabilità politiche dei Paesi Sud Americani e la incostanza dei dazi per la Cina rendono l'approvvigionamento di questo materiale un tema cruciale per lo sviluppo del mercato delle auto elettriche. Alcuni grandi costruttori di auto (Tesla su tutti) hanno già firmato degli accordi per la fornitura di litio per i prossimi anni, in modo da non mettere a rischio la produzione futura. Non sorprende quindi che le principali società internazionali nel settore minerario, dell'elettronica e dei prodotti chimici, tra cui Samsung, Kores-Posco, Mitsubishi e Sumitomo, abbiano fatto grossi investimenti nell'estrazione di litio in particolare in Cile. Si sta investendo in particolare in questo Paese per determinati accordi politici presi con il governo centrale che sembrano favorire le esportazioni, ma anche per motivi geografici, infatti il Cile ha grandi porti da cui possono partire navi dirette in ogni parte del mondo.

## 5.2 Grafite

La grafite è stata classificata dall'Unione Europea come "critical raw materials" nel 2014, in una posizione in cui si evidenzia la grande importanza economica (≈9) e con un rating medio-alto.

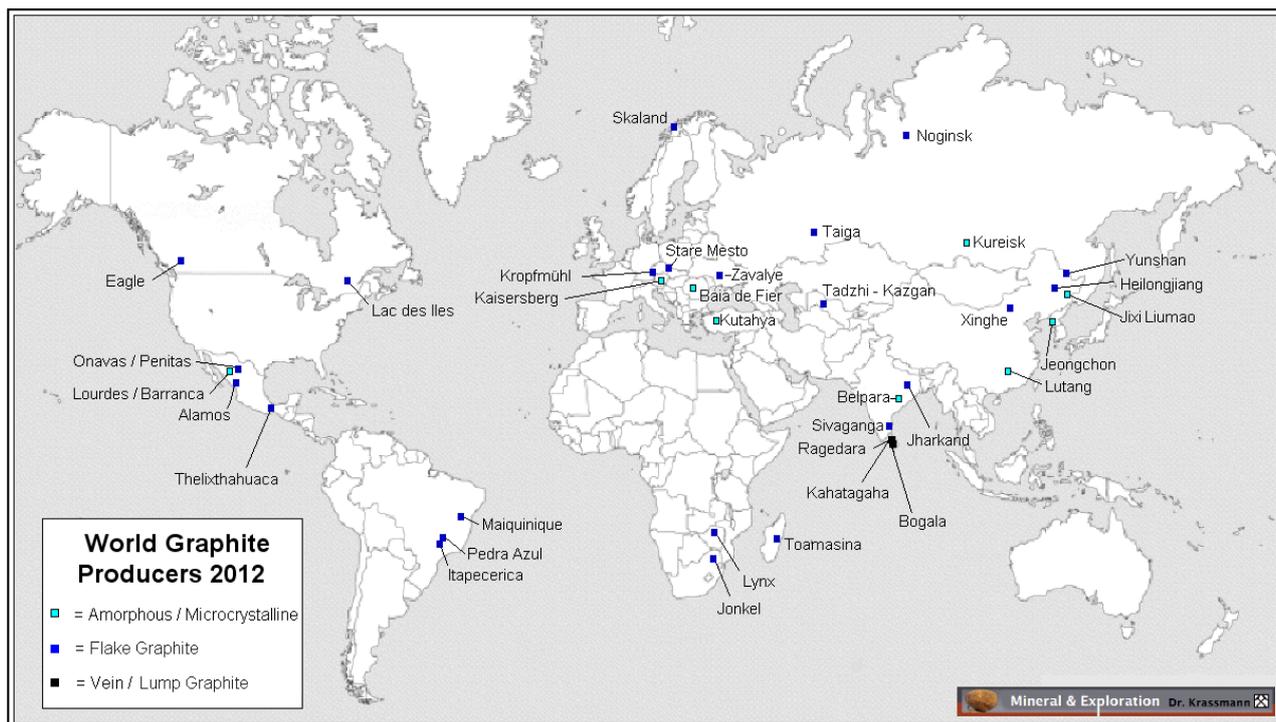
La grafite utilizzata per l'anodo delle batterie può essere naturale o sintetica. La grafite sintetica primaria può essere utilizzata per gli anodi delle batterie agli ioni di litio, ma costa almeno il doppio di quella naturale anche se qualitativamente migliore. A volte viene impiegata per ottenere batterie con specifiche proprietà per le quali servono forme ibride di materiale sintetico. Molte delle batterie al litio di fascia alta, come quelle utilizzate nei veicoli elettrici, sono composte di grafite sintetica che offre il vantaggio di una qualità completamente sotto controllo. Al momento l'unico terreno dove c'è competizione tra la forma naturale e quella sintetica è nel mercato delle pastiglie dei freni e in quello dei lubrificanti.

Della grafite naturale ne esistono 3 tipi: a fiocchi, amorfa e a vena. Ciascun tipo viene estratto da giacimenti diversi. La grafite amorfa viene utilizzata soprattutto nel settore siderurgico; la grafite a fiocchi serve per la produzione di batterie agli ioni di litio.

### 5.2.1 Estrazione

Nella figura sono riportate le miniere di estrazione di grafite amorfa, a fiocchi e a vena. La tipologia che interessa le batterie è quella a fiocchi (flakes), contraddistinta nella figura dal colore blu.

Figura 5. Localizzazione delle miniere di grafite nel 2012



Fonte: Mineral & exploration, Graphite Mining & Primary Graphite Producers 2012

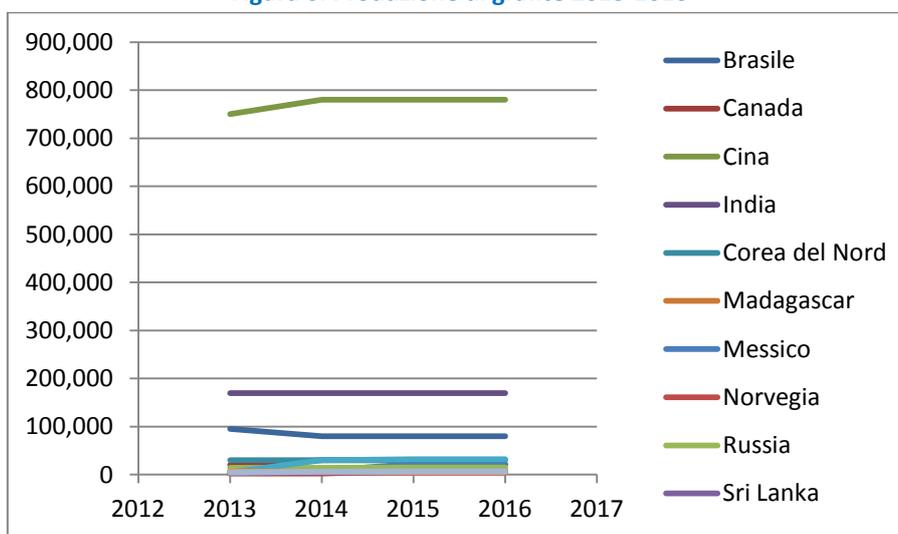
I quantitativi estratti nel 2016 dei diversi Paesi vengono riportati nella figura sottostante.

**Tabella 2. Paesi produttori di grafite per il 2016**

Paesi produttori (2016)	produzione mineraria (t)	%	riserve (t)
Cina	780.000	66	55.000.000
India	170.000	14,4	8.000.000
Brasile	80.000	6,8	72.000.000
Turchia	32.000	2,7	90.000.000
Corea del Nord	30.000	2,5	
Messico	22.000	1,9	3.100.000
Madagascar	8.000	0,7	1.600.000
Canada	21.000	1,8	
Russia	15.000	1,3	
Norvegia	8.000	0,7	
Zimbabwe	7.000	0,6	
Ucraina	5.000	0,4	
Sri Lanka	4.000	0,3	
Mozambico			13.000.000
Tanzania			5.100.000
<b>TOT</b>	<b>1.182.000</b>		<b>247.800.000</b>

Fonte: U.S. Department of the Interior, U.S.Geological Survey - Mineral commodity Summaries 2017

**Figura 6. Produzione di grafite 2013-2016**



Fonte: Elaborazione da dati di U.S. Department of the Interior, U.S.Geological Survey - Mineral commodity Summaries 2013-2014-2015-2016

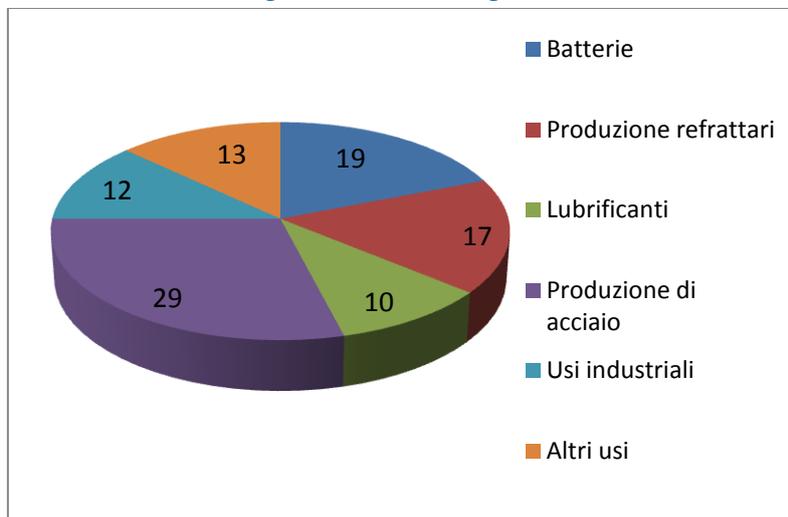
Nel grafico si evidenzia come la produzione cinese sia preponderante rispetto alle altre ormai da molti anni.

### 5.2.2 Altri utilizzi e riciclaggio della grafite

L'emergere del settore della batteria agli ioni di litio ha visto la domanda di grafite (sintetica e naturale) da utilizzare negli anodi di batteria aumentare di circa il 40% dal 2014 al 2016. Tuttavia rispetto ai mercati tradizionali del carbonio, le batterie rappresentano ancora una percentuale del mercato minore ad altre applicazioni, con una quota di mercato attualmente stimata del 19%. La domanda maggiore di grafite nel mercato mondiale è per la produzione di acciaio anche se in calo negli ultimi anni. La grafite è impiegata per applicazioni high-tech come il grafene, un foglio ultra-sottile che può essere utilizzato per produrre luce, per schermi flessibili, per circuiti elettrici e per celle solari. Altri utilizzi sono per la produzione

di: lubrificanti, nella costruzione di reattori nucleari, nella produzione di refrattari, nelle mine per matite, nelle pastiglie dei freni, nei rivestimenti per fonderie e nei pannelli solari e fotovoltaici.

Figura 7. Utilizzi della grafite



Fonte: Benchmark Minerals, Company Reports, Canaccord Genuity

In alcune applicazioni la grafite naturale ha una sostituibilità molto bassa (l'indice di sostituibilità per tutte le applicazioni è di 0,72), ma nelle batterie la sostituzione di grafite naturale da altri materiali è fattibile (l'indice di sostituibilità è 0,3). Polvere di grafite sintetica, rottami dalle forme lavorate scartate e coke di petrolio possono competere per l'utilizzo nella produzione di ferro e acciaio. Polvere di grafite sintetica e grafite sintetica secondaria competono per l'uso nelle applicazioni della batteria. Il coke finemente macinato con olivina è un potenziale concorrente nelle applicazioni per i prodotti refrattari. Il disolfuro di molibdeno concorre invece come lubrificante secco, ma è più sensibile agli ossidanti.

Mattoni e rivestimenti refrattari, rifiuti di allumina-grafite e mattoni per l'isolamento hanno aperto la strada al riciclaggio di prodotti di grafite. Il mercato del materiale di grafite refrattario riciclato si sta espandendo e il materiale viene riciclato come prodotti per rivestimenti dei freni e isolante termico. L'abbondanza di grafite nel mercato mondiale inibisce un aumento degli sforzi di riciclaggio, al momento il tasso di input di riciclaggio di fine vita della grafite naturale è molto basso e non riguarda quasi mai il recupero da batterie. Maggiori informazioni sulle quantità e il valore della grafite riciclata al momento non sono disponibili.

### 5.2.3 Previsioni future

Fino a poco tempo fa questo materiale era poco conosciuto e per nulla popolare. Ma l'interesse è cresciuto enormemente negli ultimi anni, soprattutto grazie alle batterie agli ioni di litio di cui la grafite è un componente chiave. Con il sempre maggiore impiego di questo tipo di batterie, anche la produzione di grafite dovrebbe aumentare.

I quantitativi della grafite utilizzati all'interno della batteria presa in analisi (ma vale anche per le altre in commercio) sono rilevanti rispetto ai quantitativi di litio e sono destinati a crescere.

Al momento attuale la produzione è in crescita, la domanda è costante e i prezzi sono in calo, anche grazie a nuovi impianti entrati in produzione con minerale di alta qualità.

L'offerta, concentrata al 60% in Cina, si stima che sia tuttora in eccesso. In futuro solo per alimentare la Gigafactory di batterie che Tesla ha costruito in Nevada serviranno 126.000 tonnellate l'anno di grafite in

fiocchi, oltre il 10% dell'attuale produzione globale. Nel mondo ci sono in costruzione una quindicina di fabbriche di batterie di analoghe dimensioni, di cui 7 in Cina, che quindi in futuro potrà esportare meno.

Per la grafite, a differenza del manganese e del litio, c'è da considerare che è possibile produrre un forma sintetica, ricavandola dal coke di petrolio o altri composti del carbonio, ma il processo è molto costoso e inquinante. I dati sui quantitativi di grafite sintetica o naturale utilizzati per costituire gli anodi delle batterie sono molto incostanti, alcune case costruttrici preferiscono il materiale naturale per i costi contenuti, altri la sintetica per le buone prestazioni, non c'è ancora un andamento definito su quale prodotto sia preferito nella produzione di batterie. La grafite sintetica primaria ha un elevato prezzo, giustificato dal fatto che si tratta di un materiale di fascia alta, ottenuto con processi di trattamento termico molto speciali. Molte delle batterie al litio di fascia alta, come quelle utilizzate nei veicoli elettrici, sono di grafite sintetica che offre il vantaggio di una qualità completamente sotto controllo. Ecco perché alcuni ritengono che la grafite naturale finirà per alimentare sempre di più il mercato della sintetica. Attualmente comunque la grafite naturale ha un costo abbastanza contenuto, copre appena il 5% del costo dell'intera batteria, questo implica che i produttori possano preferire acquistare il materiale grezzo piuttosto che il sintetico, ma nel futuro le difficoltà di approvvigionamento (se la Cina dovesse rimanere il maggiore produttore), potrebbero spingere il mercato verso la grafite sintetica.

Negli anni passati il grande interesse da parte degli investitori ha innescato un vero e proprio boom di nuove esplorazioni minerarie. Il cambiamento in atto verso l'utilizzo di energie alternative e i problemi che affliggono le forniture di grafite dalla Cina, sono solo alcuni dei fattori critici che hanno acceso i riflettori internazionali sul mercato della grafite.

La produzione cinese impensierisce da una parte i mercati, perché da sola copre più della metà del fabbisogno mondiale, dall'altra da un punto di vista ambientale, già nel 2013 è stata costretta a chiudere alcune miniere perché non rispettavano i parametri ambientali previsti da accordi internazionali. Si prevede che il predominio della Cina nella produzione di grafite naturale nei prossimi anni diminuirà, principalmente attraverso la chiusura di miniere minori e attraverso la concorrenza di fonti emergenti di produzione di qualità superiore, principalmente da miniere situate in Africa orientale. Negli ultimi 4 anni ci sono stati più di 20 progetti per l'apertura di nuove miniere di grafite in fiocchi a livello globale, il più grande e avanzato di questi è in Syrah che si trova in Mozambico.

Al momento la grafite estratta viene utilizzata solo per il 19% per la produzione di batterie ma nel 2025 si prevede passerà ad una quota del 24%, con una tendenza a cresce negli anni successivi. L'aumento di produzione andrà di pari passi con l'aumento della domanda della grafite per le batterie a ioni di litio, non si prevede una sostituzione per la grafite nell'anodo se non per un utilizzo della grafite sintetica, quindi l'unica grande incognita rimane quanta quota di mercato spetterà a una rispetto all'altra.

### 5.3 Manganese

È un metallo ottenuto da altri minerali, il più comune dei quali è la pirolusite, che rilascia manganese quando riscaldata. Nella batteria LMO viene utilizzato nel catodo.

#### 5.3.1 Estrazione

Non esiste alcun sostituto di questo metallo, i giacimenti, relativamente abbondanti sulla crosta terrestre, sono distribuiti irregolarmente e la sua produzione è concentrata, per la maggior parte, in una serie di paesi o politicamente instabili o completamente fuori dal controllo dei paesi occidentali. I quantitativi dei diversi Paesi vengono riportati nella tabella sottostante.

**Tabella 3. Paesi produttori di manganese per il 2016**

Paesi produttori (2016)	produzione mineraria (t)	%	riserve (t)
Sud Africa	4.700.000	28,8	200.000.000
Cina	3.000.000	18,4	43.000.000
Australia	2.500.000	15,3	91.000.000
Gabon	2.000.000	12,3	22.000.000
Brasile	1.100.000	6,7	116.000.000
India	950.000	5,8	52.000.000
Ghana	480.000	2,9	12.000.000
Ucraina	320.000	2	140.000.000
Messico	220.000	1,3	5.000.000
Malaysia	200.000	1,2	
Kazakistan	160.000	1	5.000.000
Altri Paesi	680.000	4,8	
<b>TOT</b>	<b>16.310.000</b>		<b>686.000.000</b>

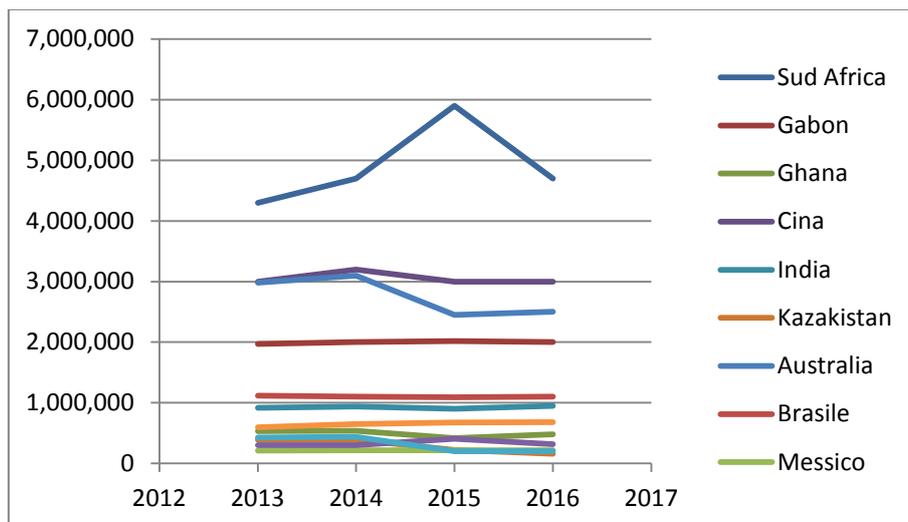
Fonte: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey - Mineral commodity Summaries 2017

Le risorse presenti negli Stati Uniti sono di scarsa qualità e hanno costi di estrazione potenzialmente elevati; il Sud Africa rappresenta circa il 78% delle riserve del mondo e l'Ucraina rappresenta circa il 10%.

La produzione mondiale di manganese del 2016 è stata di circa 16 milioni di tonnellate, i suoi maggiori produttori sono stati il Sud Africa, la Cina, l'Australia e il Gabon. La Cina utilizza quasi completamente il Manganese estratto sul proprio territorio ma ne esporta comunque una parte all'estero. Brasile, Cina e India oltre ad essere tra i maggiori produttori sono anche tra i più importanti consumatori di manganese.

L'Ucraina ha le seconde più grandi riserve di manganese del mondo, anche se il paese non è in grado di sfruttare le sue risorse minerarie a causa di una combinazione di corruzione, guerre e cattiva gestione. Questo Paese esporta il minerale soprattutto in Russia, in Europa e in Turchia.

**Figura 8. Produzione di manganese 2013-2016**



Fonte: Elaborazione da U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey - Mineral commodity Summaries 2013-2014-2015-2016

Dalla figura si nota come il Sud Africa abbia avuto nel tempo una produzione molto variabile ma comunque superiore agli altri Paesi.

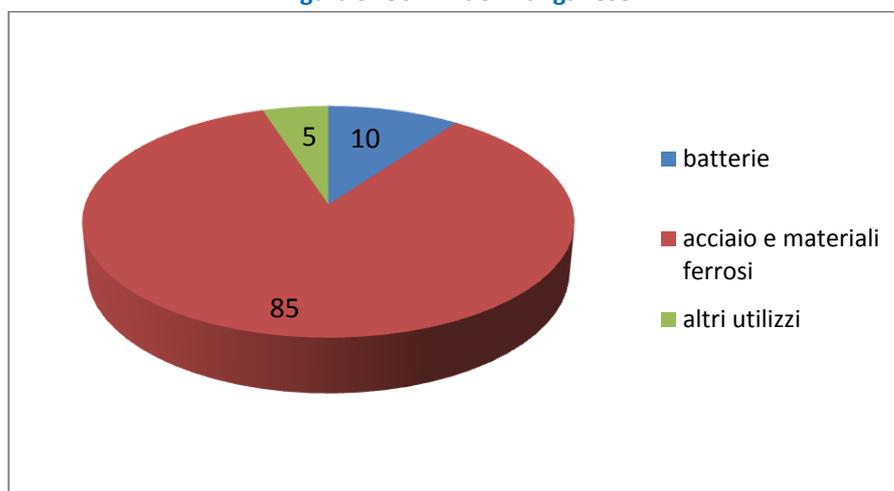
### 5.3.2 Altri utilizzi e riciclaggio del manganese

Il manganese è il minerale essenziale, oltre al ferro, per la produzione di acciaio, grazie alle sue proprietà desolforanti, deossigenanti e leganti. Non si può produrre acciaio senza l'aggiunta di 5 o 10 kg di manganese per ogni tonnellata di ferro. Ecco perché il manganese è il quarto metallo più scambiato nel mondo. La produzione dell'acciaio e altri materiali ferrosi assorbe attualmente dall'85% al 90% della produzione mondiale di manganese: fra le altre cose il manganese è un componente chiave per gli acciai inossidabili a basso costo e per alcune leghe di alluminio di largo impiego.

Il manganese elettrolitico viene utilizzato nelle leghe di alluminio e nelle leghe di rame, come colorante dei mattoni, per decolorare il vetro.

Questo metallo viene utilizzato anche nei fertilizzanti, la domanda interna di metallo di alta qualità e di elevata purezza è destinata a crescere nei prossimi anni, anche grazie alla necessità dell'agricoltura di migliorare lo stato di salute delle colture.

**Figura 9. Utilizzi del manganese**



Fonte: Elaborazione dati per Rapporto RSE

Il manganese non ha alcun sostituto soddisfacente nelle sue principali applicazioni.

A differenza di altri metalli, il riciclaggio di manganese non è possibile e il consumo dell'industria siderurgica è totalmente dipendente dalle miniere. E' stato tentato un recupero da rottami ferrosi e non ferrosi, tuttavia le quantità recuperabili sono risultate trascurabili, per cui al momento non esiste un mercato per il riciclaggio del manganese.

### 5.3.3 Previsioni future

Anche se questo metallo è stato utilizzato per anni nelle batterie convenzionali, il suo uso nella nuova generazione di batterie per veicoli elettrici è certamente quello con il potenziale di crescita più grande nei prossimi anni. Al momento attuale l'uso maggiore per il manganese è per la produzione di acciaio, ecco perché il manganese è il quarto metallo più scambiato nel mondo. Non esiste alcun sostituto di questo metallo, i giacimenti, come abbiamo visto, sono molti ma distribuiti irregolarmente e la produzione è quasi completamente concentrata in Paesi politicamente instabili o comunque fuori dal controllo dei Paesi occidentali. Il Canada e gli Stati Uniti, per esempio, hanno numerosi e vasti giacimenti di minerale di ferro, ma nessuno di loro produce manganese, Europa (Russia ed Ucraina escluse) tanto meno.

Nel campo delle batterie per veicoli elettrici l'utilizzo in futuro del manganese nel catodo non è assicurato, per esempio Tesla non utilizza batterie con manganese, se dovesse prendere il sopravvento la tecnologia dell'industria statunitense potrebbero calare le richieste.

In conclusione, al momento attuale non è facile prevedere l'andamento del mercato del manganese nel campo delle batterie per trazione elettrica, sarà possibile avere una visione più chiara dal prossimo anno quando, all'uscita della nuova Nissan Leaf, sarà possibile produrre uno studio concreto sui quantitativi utilizzati per le nuove batterie NMC.

## 6 Analisi dei mercati

In questo capitolo sarà effettuata una overview della struttura di mercato del litio, della grafite e del manganese. Per questi materiali si analizzeranno le sulle principali caratteristiche dei mercati di riferimento, la struttura della loro domanda e eofferta, sui prezzi e su, eventuali, aspetti finanziari di particolare interesse.

### 6.1 Il mercato del litio

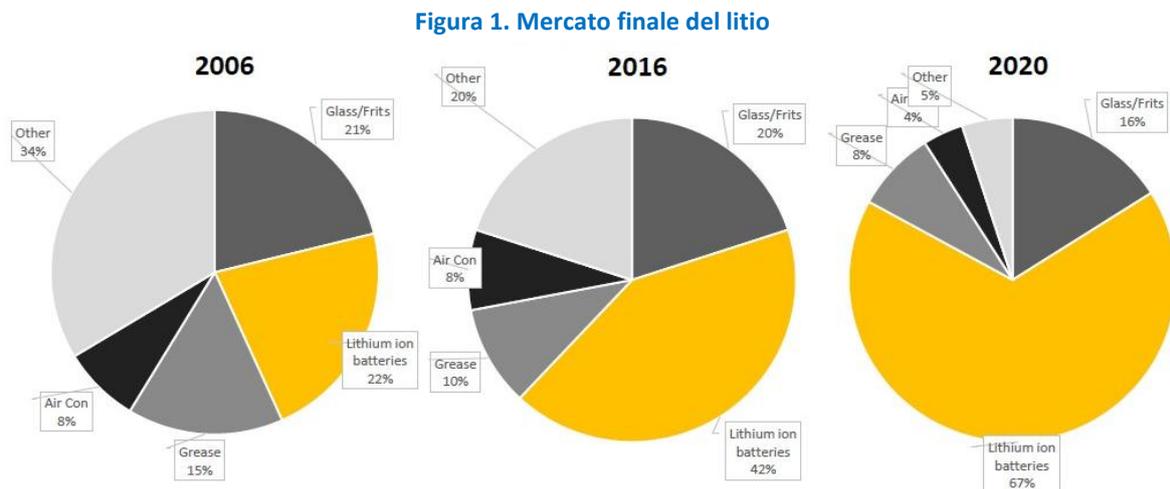
#### 6.1.1 Caratteristiche del mercato

Il mercato mondiale del litio ha un volume attualmente pari all'incirca a 185.000 tonnellate l'anno, per un valore di mercato di 2,5 miliardi di dollari. Si tratta, di un mercato di dimensioni relativamente ridotte. E' importante rilevare che se la tecnologia che utilizza il litio si muovesse in un'altra direzione, questo minerale non avrebbe molti impieghi alternativi.

Quello del litio è un mercato poco trasparente. Il litio non è quotato in nessuna borsa e né ha un prezzo spot così che conoscerne i prezzi è abbastanza difficile. I produttori più importanti, inoltre, spesso non forniscono statistiche. Al riguardo è interessante notare che, nell'ultimo periodo, il London Metal Exchange sta prendendo in considerazione la possibilità di introdurre un contratto per il litio.

#### 6.1.2 Domanda

I principali acquirenti di litio sono grandi aziende del Giappone, della Cina, degli Stati Uniti e della Germania leader nella ricerca e nella produzione di batterie ricaricabili, del industria automobilistica, dei notebook e dei cellulari. E' importante sottolineare che il litio non viene usato soltanto per le batterie, che nel 2016 rappresentavano il 42% della domanda globale (figura 1). Il resto del mercato è in gran parte costituito dal settori della ceramica e del vetro e dei grassi lubrificanti.



Fonte: Moores, 2017

È interessante notare che tra gli analisti di mercato c'è un sostanziale accordo nell'aspettarsi una crescita della domanda mondiale di litio nei prossimi anni. In particolare:

- secondo Roskill, nel 2017, la domanda di litio è destinata a salire di quattro volte rispetto ai livelli attuali, arrivando addirittura a 785mila tonnellate;
- per Corfo (l'agenzia di sviluppo del governo cileno) la domanda mondiale quest'anno potrebbe raggiungere 188.000 tonnellate di carbonato di litio. Successivamente, entro il 2035 questa agenzia

si aspetta una crescita della domanda che: nello scenario più conservativo, possa arrivare a 611.000 tonnellate; nella prospettiva più ottimistica, potrebbe raggiungere 1,2 milioni di tonnellate, con circa la metà della richiesta proveniente dal mercato delle auto elettriche;

- secondo National Bank Financial, la domanda di carbonato di litio equivalente salirà del 60% per anno (300.000 tonnellate) da qui al 2020;
- per Cru Group, la domanda triplicherà entro il 2025, attestandosi tra 400 e 500 tonnellate;
- secondo l'Amministratore Delegato di Albemarle (una tra le più importanti aziende produttrici di litio del mondo) la domanda per il litio è probabile che possa salire di 20.000 tonnellate l'anno fino al 2021. Dopo il 2020 si potrebbe avere un ulteriore aumento di 10.000 tonnellate di domanda di litio all'anno;
- per Morningstar, la domanda di litio potrebbe salire del 16% all'anno fino al 2025 attestandosi a un livello di 775mila tonnellate.

### 6.1.3 Offerta

Le più grandi società produttrici di litio sono la cilena Sociedad Química y Minera (SQM), le americane Albemarle e Fmc Lithium e le cinesi Tianqi Lithium e Jiangxi Gangfeng Lithium. Queste società insieme controllano, al 2016, circa il 90 % del mercato mondiale del litio (figura 2).

Figura 2. Le più grandi società produttrici di litio



Fonte: Lombrana, 2017

È importante rilevare che la sicurezza di approvvigionamento di litio è una priorità assoluta per le aziende tecnologiche negli Stati Uniti e in Asia. In tale direzione le alleanze strategiche e le joint venture tra aziende tecnologiche e società di esplorazione continuano ad essere stabilite per garantire un'alimentazione affidabile e diversificata di litio per i fornitori di batterie e i produttori di veicoli.

Per quanto riguarda l'offerta mondiale di litio nei prossimi anni, è interessante notare che tra gli analisti vi siano opinioni divergenti: qualcuno crede che ci sarà una carenza di metallo; altri pensano che la produzione si potrà adeguare alla domanda; altri ancora, invece, si aspettano che il mercato sia addirittura in eccesso dal 2018 in poi. In particolare:

- secondo l'agenzia cilena Corfo, i piani della Sociedad Química y Minera de Chile di accelerare la produzione potrebbero portare a una carenza di metalli leggeri utilizzati nelle batterie per auto elettriche in cinque anni.
- Gli analisti di The Lithium Spot, stimano che l'offerta di litio dovrebbe crescere nel 2017 di 35mila tonnellate equivalenti di carbonato e di altre 60mila l'anno successivo allineandosi grosso modo alla domanda. Anche per Albemarle, il mercato globale è probabile che rimanga in equilibrio per i prossimi quattro o cinque anni, con un aumento dell'offerta che soddisfi l'aumento della domanda proveniente dai veicoli elettrici (questa società si aspetta che la domanda di litio salga di 20.000 tonnellate l'anno fino al 2021);
- Secondo Cru Group se tutti i progetti annunciati venissero davvero realizzati nei tempi previsti nei prossimi 5 anni, ci potrebbe essere addirittura il potenziale per un significativo eccesso di offerta.

È interessante rilevare, infine, che secondo David Deak, ex ingegnere di Tesla ora chief technical officer presso la Lithium Americas, il mercato del litio dovrebbe crescere dalla sua produzione annua di circa 185.000 tonnellate a una media di 3,1 milioni di tonnellate per 20 anni per permettere la sostituzione dell'intera flotta mondiale veicoli in vetture elettriche.

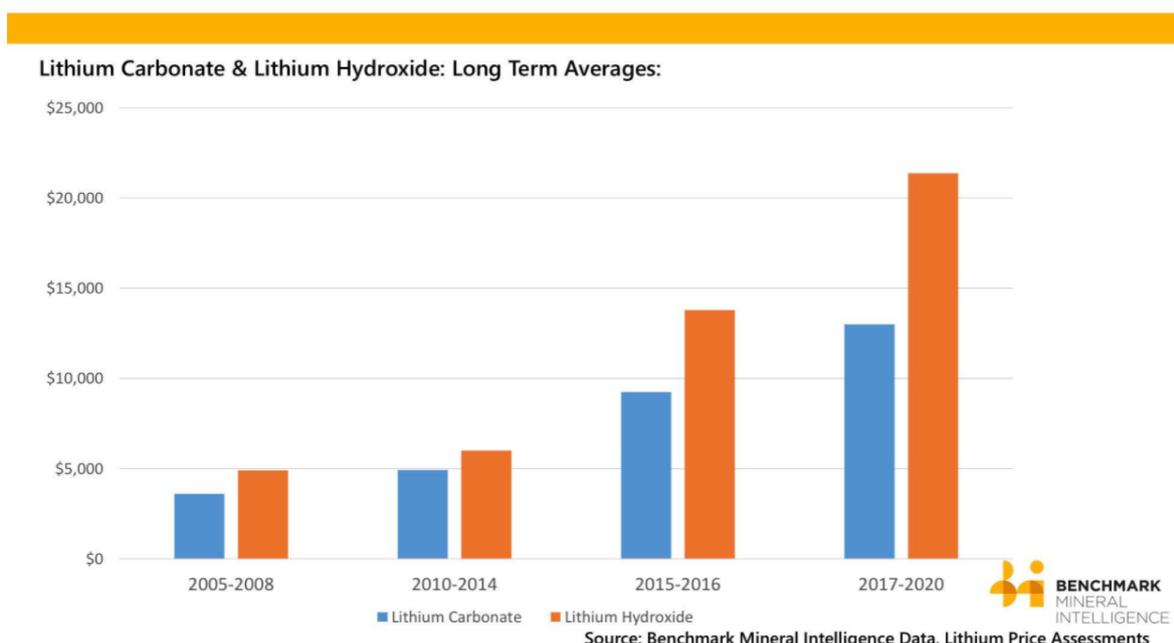
#### 6.1.4 Prezzi

Come già accennato precedentemente, conoscere i prezzi del litio non è facile e ciò può rendere difficile agli investitori valutare la redditività di un determinato progetto.

È importante rilevare che nel 2016 si sia registrata un'offerta insufficiente e una domanda in crescita costante, tale da alzare i prezzi in modo significativo. In Cina, nonostante la capacità disponibile, i prezzi del carbonato di litio sono aumentati fino al 300%, superando per breve tempo i 20.000 dollari per tonnellata, a causa di una significativa carenza, ma probabilmente temporanea, dello spodumene importato dall'Australia.

Nel resto del mondo si è registrato un aumento dei prezzi spot tra il 40% e il 60% rispetto a quelli del 2015, a causa della domanda di litio moderatamente superiore all'offerta.

**Figura 3. Prezzi medi del carbonato e idrossido di litio**



Fonte: Barrera, 2017c

Secondo Joe Lowry, uno dei principali esperti del mercato del litio a livello mondiale, a luglio del 2017 i prezzi del carbonato erano a 12-14 \$/kg e quelli dell'idrossido a 18-22 \$/kg. Per la Benchmark Mineral Intelligence, i prezzi del carbonato di litio e dell'idrossido (figura 3) rimarranno alti nel medio termine. Per questa società tra il 2017 e il 2020 i prezzi del carbonato di litio saranno in media di 13.000 dollari a tonnellata (tra il 2016 e il 2017 erano a circa 9.000 dollari a tonnellata) e i prezzi dell'idrossido di litio arriveranno in media a 18.000 dollari a tonnellate (contro i 14.000 dollari del periodo tra il 2015 e il 2016).

#### 6.1.5 Finanza

Le società Sociedad Química y Minera de Chile, Albemarle e FMC Corporation sono quotate a Wall Street. Esiste un piccolo Exchange Traded Fund, il Global X Lithium & Battery Tech Etf, che ha queste tre società più Tesla, Samsung, Panasonic, LG e altre in percentuali inferiori al 4 per cento. Colossi del risparmio gestito del calibro di BlackRock e Capital Group hanno acquisito robuste fette azionarie di aziende estrattive minori.

## 6.2 Il mercato della grafite

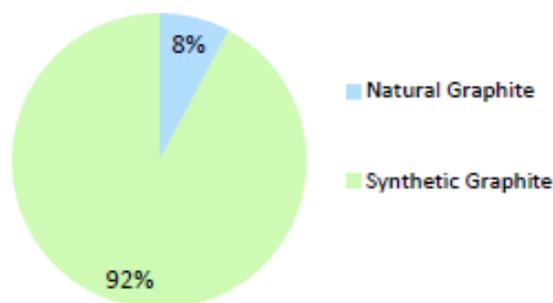
### 6.2.1 Caratteristiche del mercato

Nel 2015 le vendite globali di grafite sono state valutate circa 13.476,3 mln di dollari americani. Secondo la Future Market Insights il valore di queste vendite potrebbe arrivare a 41.965,6 mln di dollari entro il 2026, con un CAGR<sup>1</sup> dell'11,1% durante il periodo di 2016-2026.

E' possibile segmentare il mercato della grafite sulla base: 1) del tipo di prodotto; 2) dell'applicazione; 3) della area geografica.

Sulla base del tipo di prodotto, il mercato globale della grafite può essere segmentato in grafite naturale e grafite sintetica. A riguardo, si stima che al 2015 il segmento della grafite sintetica sia dominante nel mercato della grafite con una quota del 92,3% in termini di ricavi (figura 4). La Future Market Insights prevede che nel periodo 2016-2026 questo segmento sia quello che possa crescere più rapidamente.

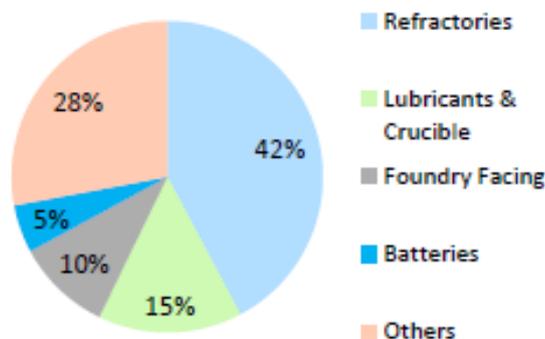
**Figura 4. Valore del mercato globale della grafite (US \$ Mn) per tipo di prodotto, 2015**



Fonte: Future Market Insights, 2016b

Sulla base dell'applicazione il mercato globale di grafite può essere segmentato in refrattari, lubrificanti e crogioli, fonderia, batterie e altri. Il settore refrattario si stima che nel 2015 rappresenti il 42,2% del mercato globale (figura 5).

**Figura 5. Valore del mercato globale della grafite (US \$ Mn) per applicazione, 2015**



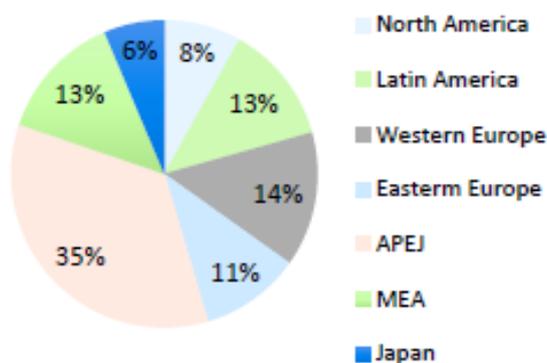
Fonte: Future Market Insights, 2016b

<sup>1</sup> Il CAGR (Compound Annual Growth Rate), o tasso annuo di crescita composto, è un indice che rappresenta il tasso di crescita di un certo valore in un dato arco di tempo (es. un investimento, ricavi...). CAGR non è il rendimento effettivo nella realtà. Si tratta di un numero immaginario che descrive la velocità con cui un investimento sarebbe cresciuto se fosse cresciuto ad un tasso costante.

Nel periodo 2016-2026, la Future Market Insights prevede che il segmento delle batterie possa essere il segmento a più rapida crescita con un CAGR del 10% in termini di volume, grazie all'aumento della domanda di batterie agli ioni di litio nei veicoli elettrici, computer portatili e smartphone.

Sulla base delle aree geografiche, il mercato globale della grafite può essere segmentato in Nord America, America Latina, Europa Occidentale, Europa dell'Est, Asia-Pacifico, escluso Giappone, Medio Oriente, Africa e Giappone. L'Asia-Pacifico, escluso il Giappone, ha dominato il mercato nel 2015, con una quota del 34,8% (figura 6). Nel periodo 2016-2026 la Future Market Insights prevede che l'area geografica citata possa essere ancora dominante.

**Figura 6. Valore del mercato globale della grafite (US \$ Mn) per regione geografica, 2015**



Fonte: Future Market Insights, 2016b

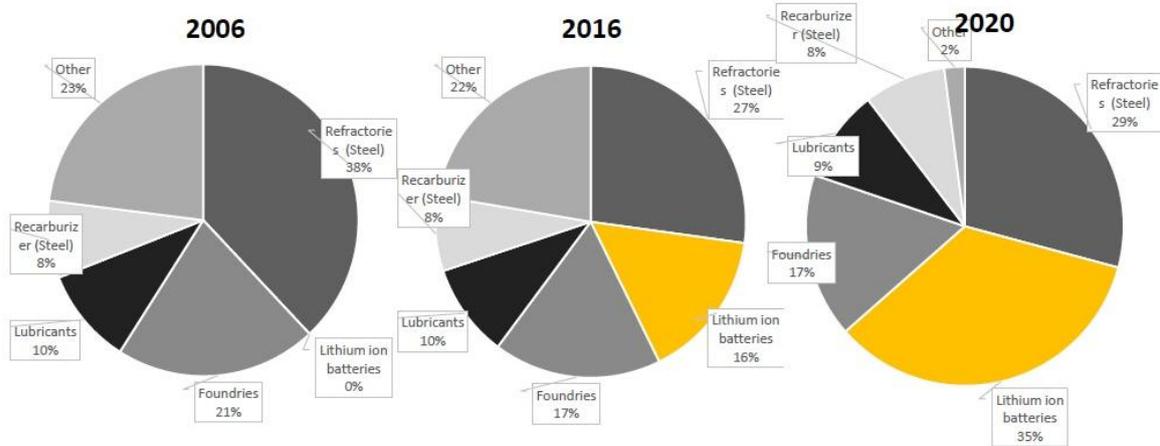
Secondo la Benchmark Mineral Intelligence, il mercato dell'anodo delle batterie agli ioni di litio - che è quasi esclusivamente servito da grafite sferica naturale e grafite sintetica - aumenterà da 80.000 TPa nel 2015 a almeno 250.000 TPa entro la fine del 2020, mentre il mercato potrebbe essere da 400.000 TPa nel caso più rialzista senza restrizioni di fornitura. Considerando il caso più conservatore, la Benchmark stima che dopo il 2020 sarà necessario utilizzare oltre 360.000 tonnellate di fiocco di grafite (di dimensione media) come materia prima per produrre la grafite sferica, cioè quasi il doppio del mercato del fiocco nel 2015 (nelle ipotesi in cui le proporzioni tra domanda naturale e sintetiche restino uguali nel 2020).

### 6.2.2 Domanda

Il consumo globale di grafite è stato di 2,7 milioni di tonnellate nel 2015. Il 70 per cento della domanda di grafite è provenuta dall'industria dell'acciaio. Il consumo di grafite sta affrontando il rallentamento nell'uso delle applicazioni convenzionali a causa della crisi del settore dell'acciaio e del ferro. Tuttavia, l'adozione di grafite sta aumentando tra le applicazioni emergenti come scambiatori di calore, batterie, aerospaziali e reattori nucleari. Secondo Roskill, la domanda di grafite è stata per lungo tempo modellata dai trend dell'acciaio, ma questo è destinato a cambiare, poiché si ritiene che le applicazioni della batteria agli ioni di litio diventeranno il mercato n. 1 della grafite entro il 2026.

Sempre secondo Roskill, nel 2016, la domanda mondiale di grafite per tutti i tipi di batterie sia superiore a 125.000 t, di cui circa 90.000 t (70-75%) riguardante la grafite naturale. Per la Benchmark Mineral Intelligence la domanda di grafite utilizzata come materiale anodico in batterie agli ioni di litio è destinata ad aumentare di oltre il 200% nei prossimi quattro anni. Sebbene queste batterie abbiano tradizionalmente utilizzato grafite sintetica per l'anodo, l'industria si sta spostando progressivamente verso l'utilizzo del fiocco di grafite naturale purificato per abbassare sia il costo che l'onere ambientale della produzione. A tal riguardo si nota che nel 2016, l'acciaio e i refettori sono stati i principali consumatori del fiocco di grafite (figura 7).

Figura 7. Mercato finale del fiocco di grafite



Fonte: Moores, 2017

### 6.2.3 Offerta

La Cina è il più grande produttore di grafite naturale e sintetica. Questo Paese rappresenta il 65% della produzione totale di grafite naturale e il 100 per cento della produzione di grafite sferica. La Cina rappresenta anche circa il 45% della produzione della grafite sintetica.

A tal riguardo nel 2012, il Ministero dell'Industria cinese ha rilasciato un documento intitolato «Condizioni di accesso all'industria della grafite» che comprendeva i piani e regolamenti governativi sul trattamento della grafite. Il documento ritiene che la grafite sia un minerale appartenente alle terre rare e propone delle misure per regolare il mercato. Questo ha portato a varie restrizioni sulla produzione e sulla qualità del prodotto che hanno causato chiusure e mancanza di approvvigionamento.

Il controllo quasi totale della Cina del mercato della grafite ha lasciato i consumatori occidentali e specialmente gli Stati Uniti (che sono completamente dipendenti dalle importazioni per soddisfare la domanda industriale) con deboli opzioni alternative. Il Washington Post ha scritto che il dominio della Cina nell'industria della grafite sia dovuto in particolare ai bassi prezzi: mentre il minerale può essere trovato altrove, il basso costo della grafite cinese scoraggia le aziende in altri posti ad aprire le miniere.

I principali player del mercato mondiale della grafite sono SGL Carbon SE, Showa Denko KK, AMG Advanced Metallurgical Group NV, Graphite India Limited, Toyo Tanso Co., Ltd., SEC Carbon Ltd., Tokai Carbon Co., Ltd., HEG Ltd. e GrafTech International Limited.

E' importante evidenziare che gli operatori che sono in grado di estrarre e processare grafite di alta qualità in tutta la catena di approvvigionamento sono quelli che potranno affermarsi in futuro. A riguardo poiché la grafite di solito deve essere estratta e lavorata per soddisfare esigenze specifiche e ad hoc dei consumatori, l'integrazione verticale sarà probabilmente la chiave del successo in questo mercato. Ad oggi ci sono otto aziende che stanno andando verso questa direzione: Energizer Resources; Alabama Graphite; Eagle Graphite; Elcora; Bass Metals; Leading Edge Materials; Hexagon Resources; Focus Graphite.

### 6.2.4 Prezzi

Analizzando le tendenze del consumo negli ultimi 10 anni, si evince che i consumatori di batterie preferiscono la grafite di origine naturale, poiché è molto più economica da produrre e ha un impatto ambientale minore rispetto alla grafite sintetica. Tuttavia, l'approvvigionamento rimane un problema, poiché il fiocco di grafite può provenire da più miniere in Cina, ognuna delle quali ha qualità diverse che variano da miniera a miniera. La qualità di un deposito è determinata dalla dimensione del fiocco, dal

grado, dalla purezza e dai costi di purificazione. Maggiore è il grado, meno è la trasformazione di cui può avere bisogno. Una purezza più elevata fornisce, quindi, un migliore costo-valore per gli investitori. Il livello di purezza preferito per il fiocco di grafite è dal 94 al 96 per cento per essere preso in considerazione per le batterie. Il fiocco di grafite grande (+ 80 maglie), con elevato contenuto di carbonio (94 per cento o più) è la tipologia più richiesta per le batterie agli ioni di litio e viene pagata di più. Ad oggi, il fiocco di grafite ha un valore di mercato compreso tra 2.200 e 3.000 dollari americani per tonnellata, a seconda della dimensione del fiocco.

È importante evidenziare che la grafite sferica è un fiocco di grafite che è passato attraverso un costoso processo secondario per trasformare la forma piatta in forma sferica. Ciò richiede molta macinazione fine, sferoidizzazione e purificazione chimica che in ultima analisi produce un prodotto più desiderabile e puro. Secondo Benchmark Mineral Intelligence, ad oggi, la grafite sferica (coated) vale tra i 12 e 16 dollari al kg, ma in futuro potrebbe diventare più economica fino ad arrivare ad un prezzo di circa 8 dollari al kg.

La grafite sintetica è significativamente più costosa della grafite naturale, ma è più pura in termini di contenuto di carbonio e tende a comportarsi in maniera più prevedibile.

## 6.3 Il mercato del manganese

### 6.3.1 Caratteristiche del mercato

Il 90% del manganese mondiale viene utilizzato per nel settore dell'acciaio. L'industria della batteria è il secondo consumatore mondiale. L'aumento della domanda di batterie a base di manganese, in particolare, è destinato a tradursi in una forte richiesta di biossido di manganese elettrolitico, che rappresenta un ingrediente chiave delle batterie agli ioni di litio, alcaline e zinco/manganese. È importante sottolineare che il biossido di manganese è da tempo utilizzato come depolarizzatore nelle batterie alcaline, ma questo non è il mercato della batteria attualmente più interessante. L'attenzione è rivolta, invece, alle sostanze chimiche della batteria agli ioni di litio che richiedono manganese, cioè le batterie al litio con ossido di manganese e le batterie agli ioni di litio con ossido di cobalto-nichel-manganese. In questi accumulatori, il biossido di manganese elettrolitico viene utilizzato come materiale catodico.

L'Asia Pacifico rappresenta il più grande mercato al mondo per il manganese, grazie in particolare, all'India e Taiwan, dove il consumo di acciaio continua a beneficiare dell'industrializzazione e dell'espansione nel settore manifatturiero. Sebbene attualmente si assista ad un declino, la Cina rimane il più grande mercato per i prodotti in acciaio finiti, a causa dell'enorme attività di costruzione e industriali della area. Secondo la Global Industry Analysts, l'America latina potrebbe essere il mercato in più rapida crescita entro il 2022 con un CAGR del 4,1%. Più in generale, sempre per questa società, il mercato mondiale del manganese potrebbe raggiungere il 28,2 milioni di tonnellate entro il 2022, guidato dall'aumento degli investimenti in progetti di sviluppo infrastrutturali, nella crescente produzione automobilistica e nelle tendenze urbanistiche dei mercati emergenti.

### 6.3.2 Domanda

Il manganese è tra i metalli più consumati al mondo. Le prospettive di crescita del metallo sono fortemente legate all'industria siderurgica, in quanto più del 90% del consumo globale del manganese viene utilizzato da questo settore. Attualmente molti fattori influiscono sul mercato del manganese: le condizioni economiche generali dell'economia mondiale, le regolamentazioni governative, il rallentamento del consumo di acciaio e la tendenza al ribasso dei prezzi del minerale e delle leghe.

Le prospettive di crescita della domanda di manganese per il 2017 sono cautelativamente ottimistiche. Le riprese economiche in paesi come la Russia e il Brasile hanno contribuito a stimolare le prospettive della domanda globale dell'acciaio e a loro volta hanno migliorato le prospettive di utilizzo del manganese.

È importante osservare che l'attività piatta nel settore delle costruzioni e le condizioni di sovraccapacità nei mercati importanti come la Cina continuano ad esercitare una pressione negativa sulle industrie dell'acciaio e delle leghe, influenzando così i prezzi e la domanda di manganese.

In questo contesto, la domanda nel medio termine dovrebbe crescere ad un ritmo poco brillante. Nel lungo termine si aspettano maggiori aumenti principalmente grazie: alla crescita dei prezzi del manganese e delle ferroleghe di manganese; l'apertura di opportunità nei nuovi mercati applicativi; l'aumento degli investimenti nei progetti di sviluppo infrastrutturali; il miglioramento della produzione automobilistica (soprattutto nei mercati emergenti).

L'uso crescente di batterie al nichel-idruro di metallo e agli ioni di litio nelle applicazioni di stoccaggio, nei veicoli elettrici e nelle applicazioni destinate ai consumatori contribuirà a stimolare la domanda di manganese. In particolare, la domanda è significativamente forte per il biossido di manganese elettrolitico, che costituiscono una componente essenziale delle batterie.

### 6.3.3 Offerta

Nel 2016 sono stati prodotti in tutto il mondo 16 milioni di tonnellate di manganese, in calo rispetto ai 17,5 milioni di tonnellate del 2015.

È importante rilevare che il manganese è uno di quei metalli cruciali che sono diretti verso una difficile crisi di approvvigionamento.

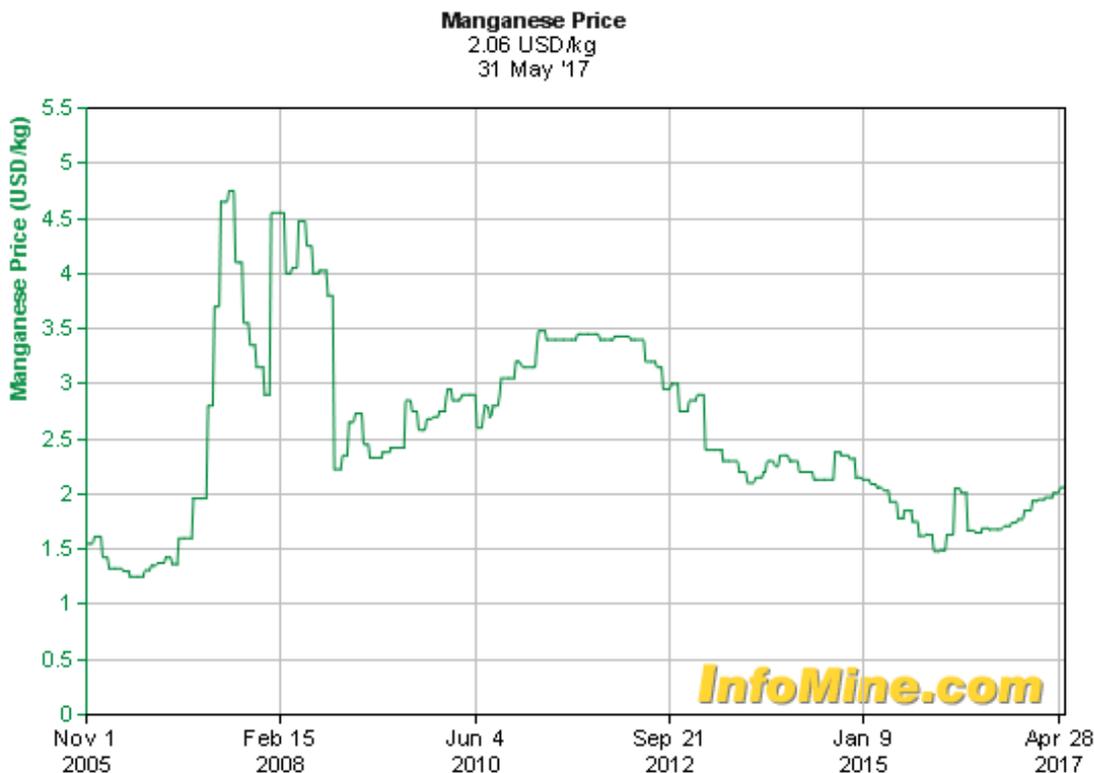
Le grandi aziende che hanno esposizione al manganese sono: Anglo American Plc, Assmang Proprietary Ltd., Carus Corporation, Compania Minera Autlan, S.A.B. De C.V., Consolidated Minerals Limited, ERACHEM Comilog, Inc., Eramet SA, Eurasian Natural Resources Corporation Limited, Gulf Manganese Corporation Limited, Manganese Metal Company, Mesa Minerals Limited, MOIL Limited, Nippon Denko Company Ltd., OM Holdings Ltd., South32 Limited, Vale, and Xiangtan Electrochemical Scientific Ltd.

I principali produttori di diossido naturale di manganese sono: Vale, Man mohan Minerals, OM Holdings, MnChemical Georgia, S. Chems & Allied, Hunan QingChong, CITIC Dameng, China Minmeta ls.

### 6.3.4 Prezzi

Il prezzo del manganese al 31 maggio 2017 era di 2,06 dollari americani al kg (figura 8). A causa della domanda di acciaio in difficoltà, i prezzi del manganese sono diminuiti gradualmente negli ultimi anni e hanno visto raggiungere il livello più basso nel 2015. Dal 2016 però il prezzo del manganese ha registrato un aumento del 42%. Con la domanda di manganese che si stima potrebbe arrivare a 28,2 milioni di tonnellate entro il 2022 e la fornitura che ha raggiunto un picco di 18 milioni di tonnellate nel 2014, le aspettative sono per un ulteriore aumento del prezzo anche nei prossimi anni.

Figura 8. Grafico del prezzo del manganese dal 2005-2017



Fonte: Investment Mine, 2017

## 6.4 Considerazioni finali

A conclusione dell'overview realizzata in questo capitolo sulle strutture dei mercati del litio, della grafite e del manganese possiamo effettuare le seguenti considerazioni.

Il mercato del litio si caratterizza in particolare per le sue dimensioni relativamente ridotte, la poca trasparenza e il rischio legato ai cambiamenti delle tecnologie che utilizzano il litio, in quanto questo minerale non ha molti impieghi alternativi.

Nel 2016, la maggior parte della domanda globale (circa il 42%) è venuta da aziende giapponesi, cinesi, statunitensi e tedesche leader nella ricerca e nella produzione di batterie ricaricabili nel settore automobilistico, dei notebook e dei cellulari.

Sul lato dell'offerta si stima che le cinque più grandi società produttrici (una di nazionalità cilena, due statunitensi e due cinesi) controllino all'incirca il 90% della produzione mondiale di litio. È da rilevare inoltre che nel 2016 si è registrata un'offerta insufficiente e una domanda in crescita costante che ha spinto in alto i prezzi in maniera significativa (il carbonato di litio è arrivato a valere all'incirca 9.000 dollari a tonnellata; l'idrossido di litio è stato scambiato all'incirca 14.000 dollari per tonnellata).

Per quanto riguarda le aspettative per prossimi anni, se sul lato della domanda tra gli analisti di mercato vi è un sostanziale accordo di una crescita futura, sul lato dell'offerta vi sono invece previsioni divergenti (alcuni credono che ci sarà una carenza di metallo, altri pensano che la produzione si potrà adeguare alla domanda; altri invece, che il mercato sarà in eccesso dal 2018 in poi). Per quanto riguarda i prezzi la maggior parte degli analisti si aspetta che nel medio termine i prezzi possano rimanere alti (tra il 2017 e il 2020 il prezzo del carbonato di litio potrebbe arrivare in media a 13.000 dollari a tonnellata, quello dell'idrossido di litio potrebbe raggiungere i 18.000 dollari a tonnellate).

Per quanto riguarda mercato della grafite nel 2015, in termini di ricavi, si rileva che: in base al tipo di prodotto, il mercato della grafite sintetica (92%) è stato dominante rispetto a quello della grafite naturale (8%); in base all'area geografiche, l'Asia-Pacifico, escluso il Giappone, è stato il principale mercato, con una quota del 34,8% (l'Europa si è attestata ad una quota del 25%); in base al tipo di applicazione, il settore dei refrattari ha rappresentato il mercato più grande, con una quota del 42,2% (il segmento delle batterie si è attestato ad una quota del 5%).

Sul lato della domanda, nel 2015, il 70 per cento della richiesta di grafite è arrivata dall'attività dell'acciaio (in rallentamento nell'ultimo periodo a causa della crisi del settore). È interessante notare che la domanda della grafite è stata per lungo tempo modellata dai trend dell'acciaio, ma questo, a quanto pare, è destinato a cambiare, poiché si ritiene che la batteria agli ioni di litio possa diventare per la grafite il mercato n. 1 entro il 2026.

A riguardo è importante sottolineare che il mercato dell'anodo delle batterie agli ioni di litio è quasi esclusivamente servito dalla grafite sferica naturale e dalla grafite sintetica. Sebbene le batterie agli ioni di litio hanno tradizionalmente utilizzato grafite sintetica, l'industria si sta spostando progressivamente verso l'utilizzo del fiocco di grafite naturale purificato per abbassare sia il costo che l'onere ambientale della produzione. In tale direzione si stima che dopo il 2020 saranno utilizzate oltre 360.000 tonnellate di fiocco di grafite (di dimensione media) nella produzione delle batterie a ioni di litio, cioè quasi il doppio del mercato del fiocco del 2015.

Sul lato dell'offerta è importante rilevare che la Cina rappresenta il più grande produttore di grafite a livello mondiale. Da questo Paese proviene, infatti, il 65% della produzione totale della grafite naturale (100 % della produzione della grafite sferica) e 45 % della produzione globale della grafite sintetica. È importante sottolineare che il dominio della Cina nel mercato della grafite è in buona parte dovuto ai bassi prezzi.

Più in generale, come accennato, la grafite naturale risulta essere più economica da produrre e avere un impatto ambientale minore rispetto alla grafite sintetica (ottenuta principalmente dal coke di petrolio). Quest'ultima però tende a comportarsi in maniera più prevedibile. Nel corso del 2016 il fiocco di grafite veniva scambiato tra 2.200 e 3.000 dollari americani per tonnellata (a seconda della dimensione del fiocco stesso) e il prezzo della grafite sferica si è attestato tra i 12000 e 16000 dollari al tonnellata.

Per quanto riguarda il mercato del manganese, infine, si nota che: l'area dell'Asia-Pacifico rappresenta il più grande mercato al mondo; il settore dell'acciaio (con una quota del 90%) risulta essere il primo consumatore mondiale e quello delle batterie il secondo.

Sul lato della domanda, in generale, la richiesta di manganese sono fortemente legate all'industria siderurgica. Si stima che la domanda di questo minerale nel medio termine dovrebbe crescere ad un ritmo poco brillante, per poi avere una crescita più robusta nel lungo periodo. A riguardo si ritiene che l'uso crescente di batterie al nichel-idruro di metallo e, in particolare, agli ioni di litio nelle applicazioni di stoccaggio, nei veicoli elettrici e nelle applicazioni destinate ai consumatori possa contribuire in maniera significativa nei prossimi anni a stimolare la domanda di manganese.

Sul lato dell'offerta, è importante evidenziare che nei prossimi anni il manganese potrebbe andare in contro a una difficile crisi di approvvigionamento.

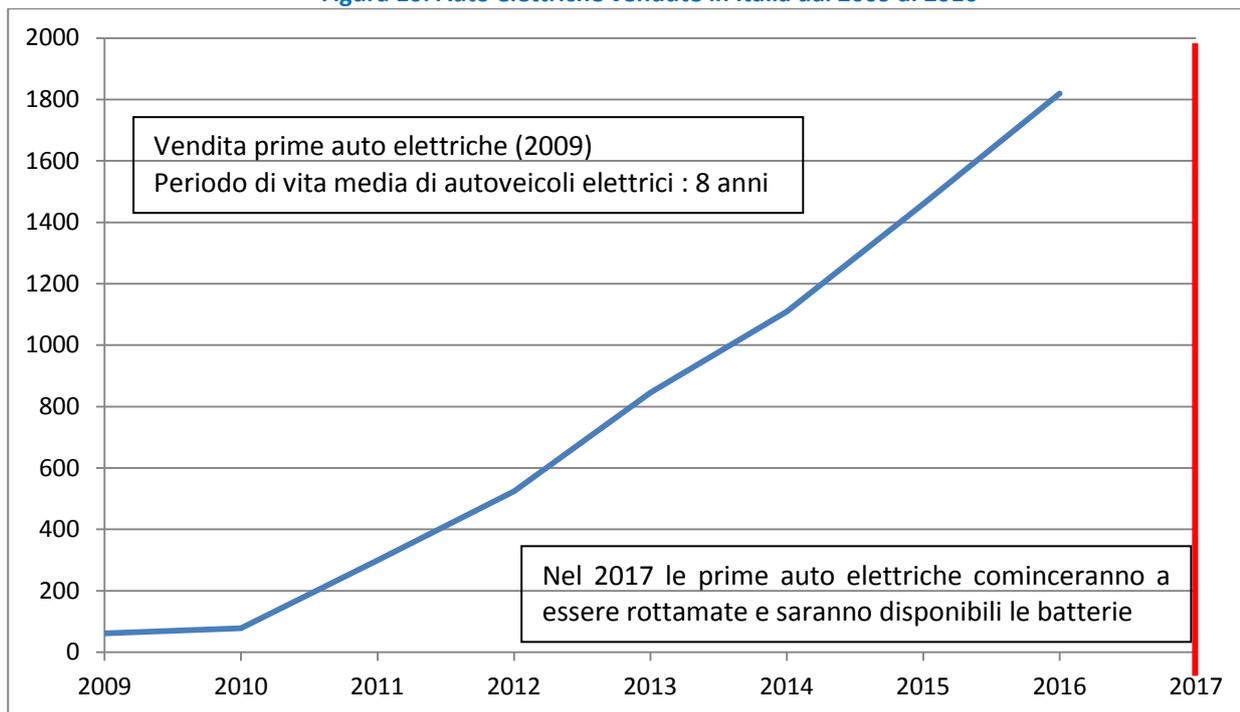
Per quanto riguarda il prezzo del manganese si rileva che a metà del 2017 era di 2060 dollari americani a tonnellata. A causa della domanda di acciaio in difficoltà, i prezzi del manganese sono diminuiti gradualmente negli ultimi anni raggiungendo il livello più basso nel 2015. Dal 2016 però il prezzo del manganese ha registrato un aumento del 42% e, ad oggi, si hanno aspettative di un ulteriore aumento del prezzo nei prossimi anni.

## 7 Scenari di penetrazione delle auto elettriche

Il parco auto circolante italiano al 2016 è pari a 36.420.000 autoveicoli (fonte UNRAE, 2017), di cui circa 9.800 auto a trazione elettrica (Rapporto e-Mobility, Enel-Ambrosetti).

In questo studio cercheremo di quantificare quanto dei materiali presi in considerazione circolano al momento in Italia all'interno di macchine elettriche, quanto ne circolerà nei prossimi anni e in che momento verranno liberati per essere riciclati e riutilizzati per la produzione di nuove batterie. I dati disponibili delle vendite in Italia di auto elettriche partono dal 2009, ad oggi sono state vendute poco meno di 10.000 esemplari, nel grafico sono riportate le vendite fino al 2016.

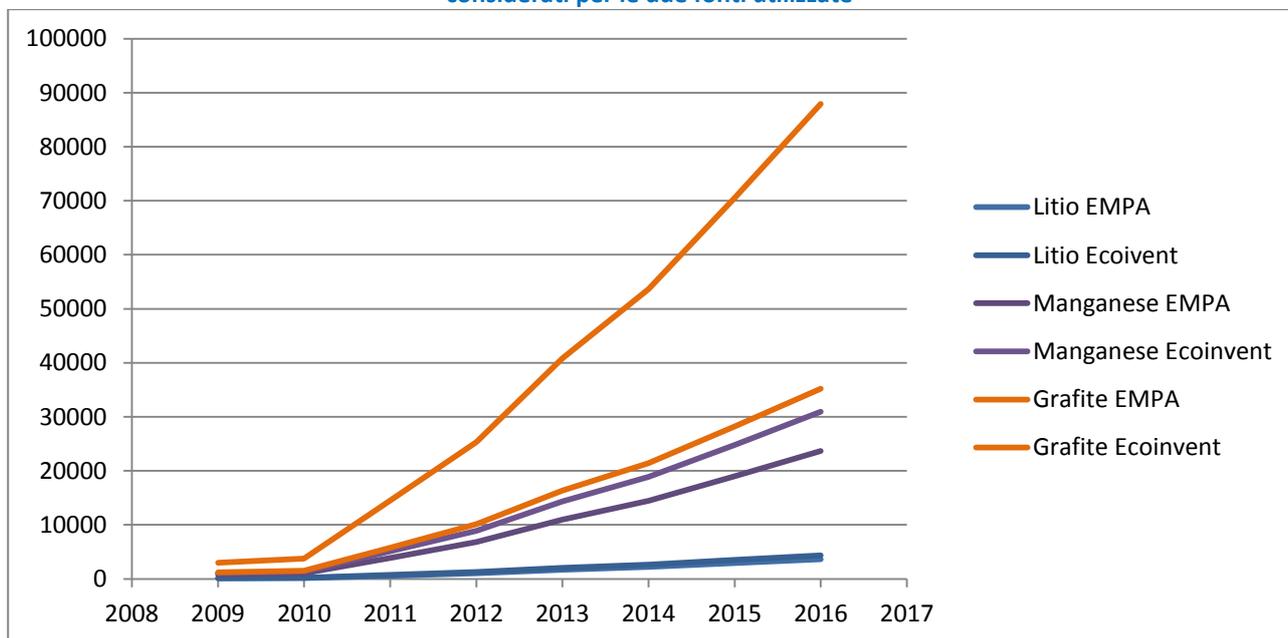
**Figura 10: Auto elettriche vendute in Italia dal 2009 al 2016**



Fonte: UNRAE

Le batterie dei veicoli elettrici hanno mediamente una perdita di efficienza del 5% dopo 5 anni, dopo 8 anni, il valore può raggiungere il 30%. Solitamente il periodo per cui vengono garantite queste vetture è, infatti, di 8 anni. Per questo motivo ipotizzeremo che le auto vadano in dismissione dopo questo periodo di tempo. Nel 2017 quindi le prime auto immatricolate nel 2009 stanno cominciando ad uscire dalla circolazione. Da questa data si partirà per il conteggio dei materiali liberati dalle batterie recuperate degli autoveicoli in rottamazione. Nel grafico sottostante sono riportati i valori dei diversi materiali che vengono liberati via via che le macchine vengono dismesse. I dati per ogni materiale hanno un range di valore minimo e massimo dovuto alle due fonti a cui si è fatto riferimento per questo lavoro.

**Figura 11: Quantitativi di litio, manganese e grafite presenti nelle macchine vendute negli anni 2009-2016 considerati per le due fonti utilizzate**



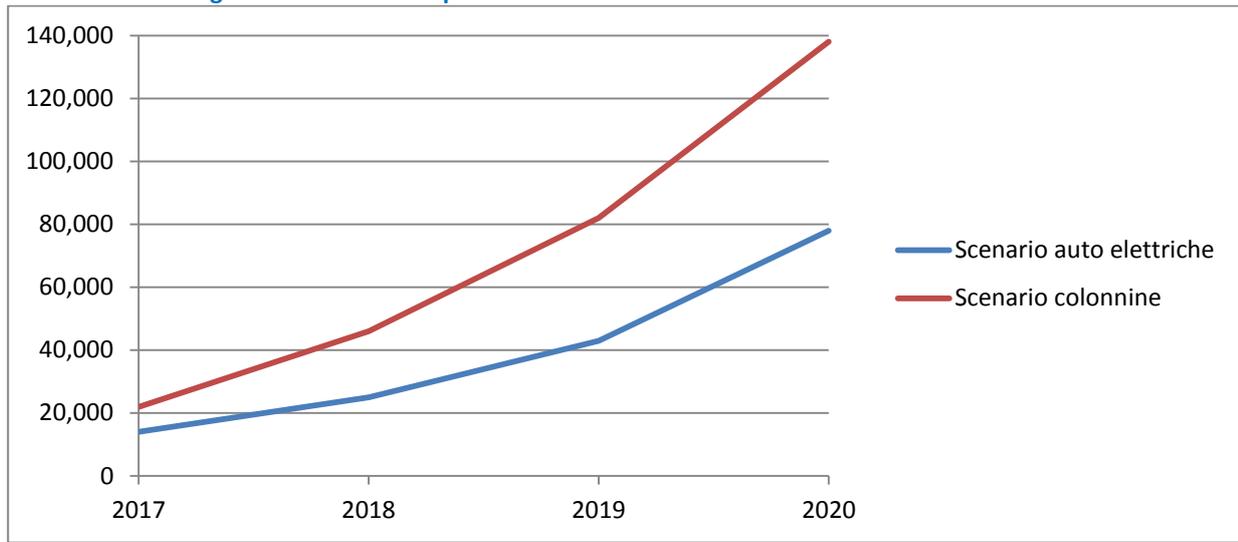
Nella tabella sono riportati i valori in kg per i diversi materiali presenti nelle auto commercializzate dal 2009 al 2016 e che verranno liberate presumibilmente a 8 anni dalla loro vendita.

**Tabella 4: Quantitativi in kg di litio manganese e grafite presenti nelle auto vendute nei diversi anni che verranno liberati dopo 8 anni**

	Litio (kg)	Manganese (kg)	Grafite (kg)
<b>2009-2017</b>	124-150	806-1054	1198-2996
<b>2010-2018</b>	156-187	1014-1326	1508-3769
<b>2011-2019</b>	600-720	3900-5100	5798-14496
<b>2012-2020</b>	1048-1257	6812-8908	10128-25319
<b>2013-2021</b>	1690-2028	10985-14365	16332-40830
<b>2014-2022</b>	2220-2664	14430-18870	21454-53635
<b>2015-2023</b>	2920-3504	18980-24820	28219-70547
<b>2016-2024</b>	3640-4368	23660-30940	35177-87942

Nel rapporto e-mobility presentato dal MIP, la business school del Politecnico di Milano, vengono presentati due scenari sul potenziale di mercato tra il 2017 e il 2020 per la vendita di auto elettriche in Italia. Per stimare questi numeri i ricercatori hanno previsto due scenari possibili: uno trainato dalla vendita di auto elettriche (Scenario I) e l'altro invece basato sulla spinta della diffusione dei punti di ricarica pubblici e privati in Italia anche grazie agli incentivi messi in campo dal PNIRE (il piano di infrastrutturazione previsto in Italia) (Scenario II). Nel grafico vengono riportati i valori dei due scenari che verranno utilizzati come forchetta tra uno scenario più cautelativo e uno più aggressivo.

**Figura 12: Due scenari previsionali della vendita di auto elettriche dal 2017 al 2020**

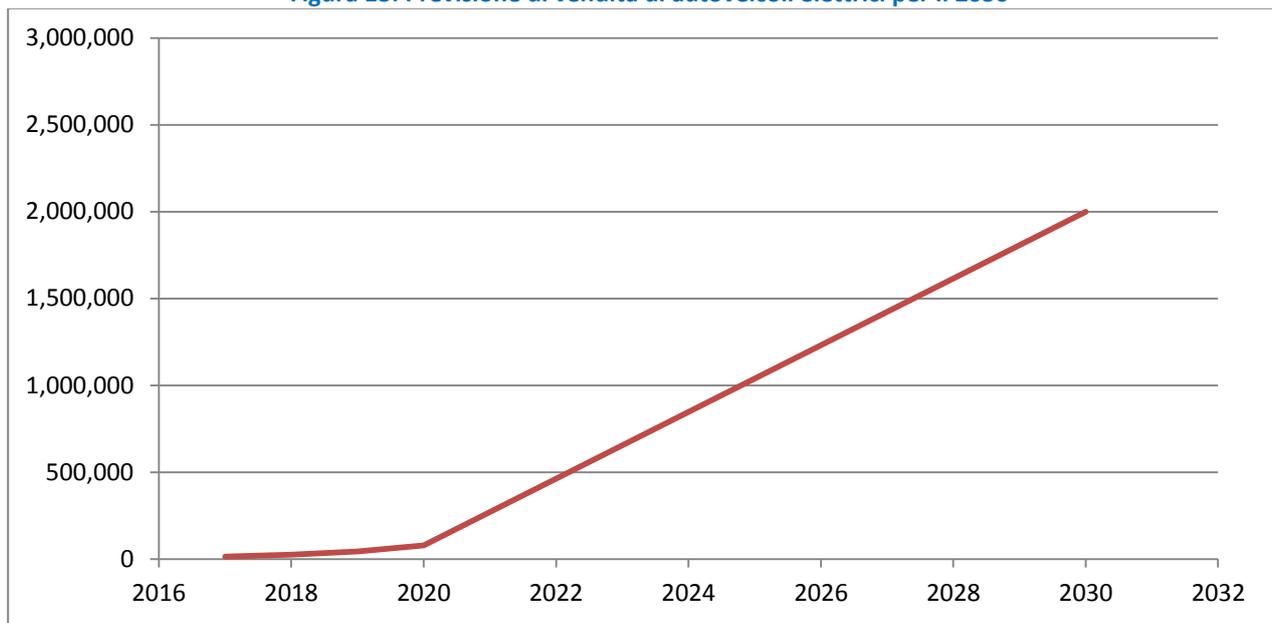


Fonte: Rapporto e-mobility presentato dal MIP (2016)

Lo studio termina la sua previsione al 2020, è interessante però evidenziare una previsione di Maria Velardi di ENEA che prevede una crescita ancora maggiore tra il 2020 e il 2030. I fattori che spiegano una visione così ottimistica sono sostanzialmente due: il 2025 sarà l'anno in cui si prevede tendenziale parità tecnologica tra propulsione elettrica e motore termico, secondo quanto affermano sia gli operatori di mercato che gli esperti; il 2030 sarà l'anno di riferimento secondo molti per raggiungere l'allineamento dei costi per il cliente finale tra auto elettrica e altre modalità di propulsione.

Nello scenario di sviluppo accelerato la previsione di ENEA è che al 2030 l'Italia potrebbe avere 2 milioni di veicoli elettrici in circolazione. Nel grafico si evidenzia l'impennata delle vendite delle auto elettriche prevista per il 2030.

**Figura 13: Previsione di vendita di autoveicoli elettrici per il 2030**



Fonte: Analisi e valutazione dell'impatto socio-economico ed ambientale di processi di de carbonizzazione e sviluppo sostenibile, Maria Velardi (ENEA), 4/07/2017

Nella tabella sono riportati i range dei quantitativi dei materiali necessari per la produzione futura delle macchine elettriche dal 2017 al 2030. Sono stati considerati i due scenari e i quantitativi minimi e massimi necessari per la produzione delle batterie.

**Tabella 5: Quantitativi di litio, manganese e grafite necessari per la produzione di batterie per auto elettriche dal 2017 al 2030**

I scenario	2017	2018	2019	2020	2030
<b>Litio</b>	28000-33600	50000-60000	86000-103200	156000-187200	4000000-4800000
<b>Manganese</b>	182000-238000	325000-425000	559000-731000	1014000-1326000	26000000-34000000
<b>Grafite</b>	270592-676480	483200-1208000	831104-2077760	1507584-3768960	38656000-96640000
<b>II scenario</b>					
<b>Litio</b>	44000-52800	92000-1104400	164000-196800	276000-331200	4000000-4800000
<b>Manganese</b>	286000-374000	598000-782000	1066000-1394000	1794000-2346000	26000000-34000000
<b>Grafite</b>	425216-1063040	889088-2222720	1584896-3962240	2667264-6668160	38656000-96640000

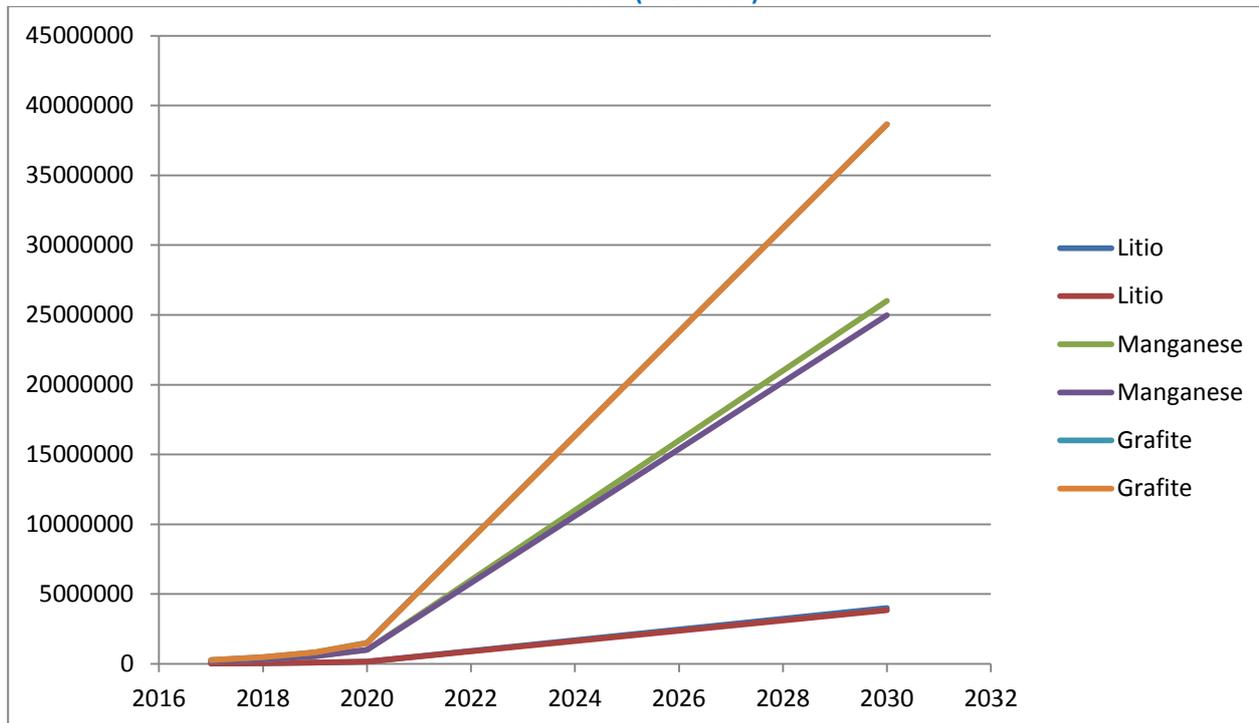
Considerando il litio, il manganese e la grafite liberati dalle batterie usate, si calcolano, nella tabella sottostante, i quantitativi necessari per la produzione delle nuove batterie a partire dal 2017 fino al 2030.

**Tabella 6: Quantitativi necessari per la produzione di batterie per auto elettriche considerando il riciclo di materiale liberato dalle batterie delle macchine dismesse**

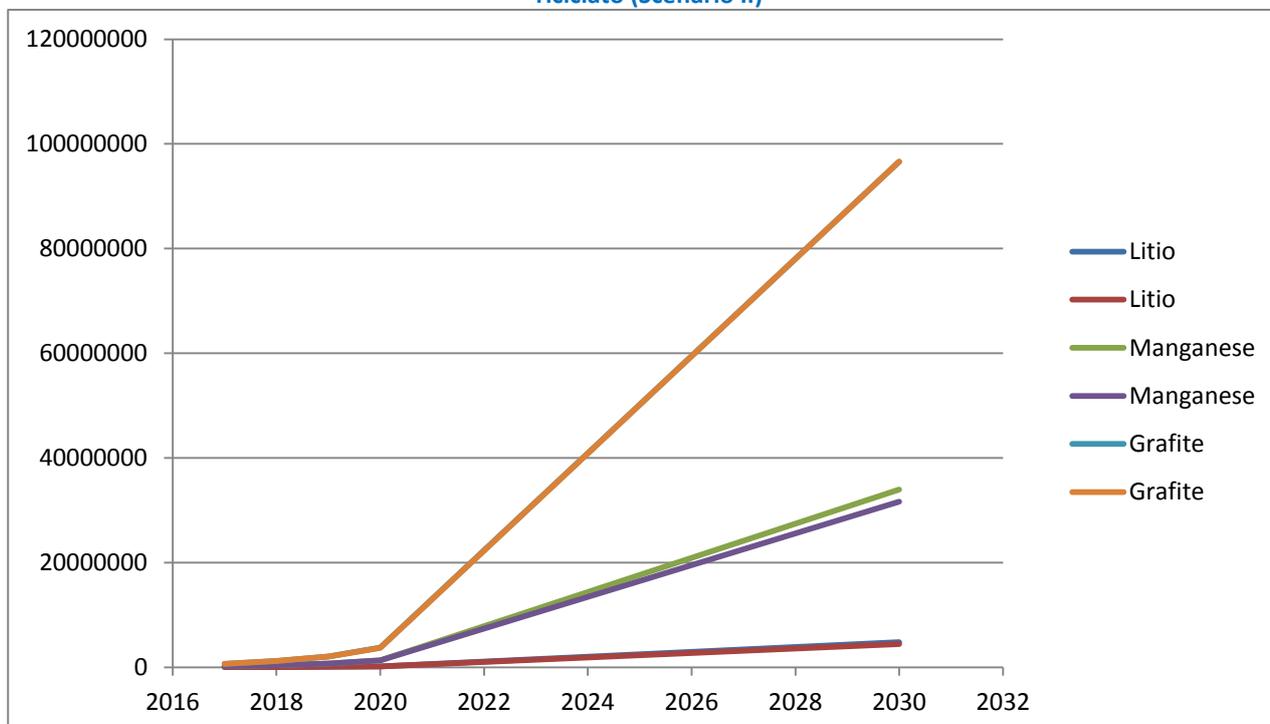
I scenario	2017	2018	2019	2020	2030
<b>Litio</b>	27876-33451	49844-59812	85400-102480	154952-185942	3844000-4468800
<b>Manganese</b>	181194-236946	323986-423674	555100-725900	1007188-1317092	24986000-31654000
<b>Grafite</b>	269393-673484	483200-1208000	831104-2077760	1497456-3743640	38656000-96640000
<b>II scenario</b>					
<b>Litio</b>	43876-52651	91844-110212	163400-196080	274952-329942	3844000-4468800
<b>Manganese</b>	285194-372946	596986-780674	1062100-1388900	1787188-2337092	24986000-31654000
<b>Grafite</b>	424017-1060044	889088-2222720	1584896-3962240	2657136-6642840	38656000-96640000

Il confronto dalla tabella precedente rende l'idea dei risparmi di materiale ottenuto nel caso di recupero dalle batterie delle macchine rottamate. In realtà la differenza non è ancora così evidente (come si nota nei grafici) perché il numero di macchine vendute fino ad ora non è significativo. Si nota comunque nel grafico come la differenza andrà aumentando con il tempo, inizialmente le linee sembrano quasi sovrapposte, ma dal 2030 si comincia a notare come si discostino.

**Figura 14: Differenza tra la produzione di batterie per auto elettriche nel caso si utilizzi o no materiale riciclato (Scenario I)**



**Figura 15: Differenza tra la produzione di batterie per auto elettriche nel caso si utilizzi o no materiale riciclato (Scenario II)**



## 8 Conclusioni

Partendo da un'analisi bibliografica dei principali lavori riguardanti l'analisi dei sistemi di trasporto, si è notata una certa carenza di articoli che trattassero, oltre alle emissioni dovute alla produzione ed uso dei diversi tipi di mezzi, il tema dell'uso delle risorse. In particolare, trattandosi di mobilità elettrica e quindi dipendente per la produzione delle batterie da materiali definiti "scarsi" a livello globale (rapporto XYZ), si è deciso di andare a valutare i mezzi oggetto del lavoro da un punto di vista dell'uso delle risorse.

Partendo da un modello definito di autovettura, in questo caso la Nissan Leaf, per prima cosa si è andato a definire un inventario dei materiali che compongono la batteria. In un primo momento si è tentato di coinvolgere i produttori stessi per avere dati primari, non avendo avuto feedback da parte della Nissan, si è proceduto con una ricerca di dati di letteratura che comprendeva articoli scientifici, banche dati LCA e siti web. Le informazioni raccolte hanno permesso di definire una stima piuttosto buona del computo dei materiali presenti. Per quanto riguarda le colonnine di ricarica, malgrado il tentativo di contattare i produttori, ad oggi non sono state reperite informazioni sui materiali che le compongono.

Per quanto riguarda le colonnine di ricarica, non sono stati trovati dati concernenti le quantità di materiali utilizzati, è stato quindi predisposto un format di raccolta dati ed inviato al produttore delle colonnine senza però ricevere alcun feedback. Ad oggi questa parte del lavoro rimane quindi tutt'ora aperta.

Una volta definiti i materiali, è stata fatta un'analisi di mercato su prezzi e sui quantitativi disponibili a livello globale che ha permesso di valutarne la disponibilità attuale.

Attualmente la tecnologia più utilizzata, quella presente nella Nissan Leaf, è quella a ioni di Litio e Manganese, le nuove batterie della Nissan prevedono l'uso di batterie al Nickel Manganese Cobalto. La tecnologia in questo campo cambia rapidamente e sicuramente si dovranno fare i conti con il prezzo e la disponibilità dei materiali utilizzati.

## 9 Riferimenti bibliografici

Aspa J. (2016), Chris Berry Shares His Thoughts on Rising Graphite Demand, 20 Giugno 2016, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/graphite-chris-berry-shares-his-thoughts-and-where-it-ranks-in-demand/>

Barrera P. (2017a), 10 Top Manganese-producing Countries, 24 April 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/op-manganese-producing-countries-south-africa-china-australia/>

Barrera P. (2017b), Investing in the Manganese Industry, 10 April 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/investing-manganese-industry/>

Barrera P. (2017), Lithium Market Update: Q2 2017 in Review, Investing News Network, 17 July 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/lithium-market-update/>

Barrera P. (2017d), Surging Prices Bring Australian Manganese Mine Back to Life, 15 August 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/surging-prices-australian-manganese-mine/>

Bellomo S. (2016), Il successo del litio, regina delle commodities grazie all'effetto Tesla, Il Sole 24 Ore, 15 maggio 2016, [http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2016-05-13/il-successo-litio-regina-commodities-grazie-all-effetto-tesla-203122\\_PRV.shtml?uuid=ADE%25E2%2580%25A6](http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2016-05-13/il-successo-litio-regina-commodities-grazie-all-effetto-tesla-203122_PRV.shtml?uuid=ADE%25E2%2580%25A6)

Bellomo S. (2017a), L'auto elettrica scatena la corsa al litio e al cobalto Il Sole 24 Ore, 9 agosto 2017, <http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-08-08/l-auto-elettrica-scatena-corsa-litio-e-cobalto-215136.shtml?uuid=AE5RcTAC>

Bellomo S. (2017b), Non solo litio. Bhp sceglie il nickel per scommettere sull'auto elettrica, Il Sole 24 Ore, 10 agosto 2017, [http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-08-09/non-solo-litio-bhp-sceglie-nickel-scommettere-sull-auto-elettrica-214117\\_PRV.shtml?uuid](http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-08-09/non-solo-litio-bhp-sceglie-nickel-scommettere-sull-auto-elettrica-214117_PRV.shtml?uuid)

Benchmark Mineral Intelligence (2017), Lithium ion battery supply chain in an energy storage revolution, 11 May 2017, [http://www.energy.ox.ac.uk/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/17\\_05\\_SimonMoores.pdf](http://www.energy.ox.ac.uk/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/17_05_SimonMoores.pdf)

Benchmark Mineral Intelligence (2017), Graphite demand from lithium ion batteries to more than treble in 4 years, 4th May 2016, <http://benchmarkminerals.com/graphite-demand-from-lithium-ion-batteries-to-more-than-treble-in-4-years/>

Benchmark Mineral Intelligence (2015), A Global battery revolution, February 2015, <http://www.focusgraphite.com/wp-content/uploads/2015/03/Battery-Revolution-Cambridge-Simon-Moores-2.pdf>

Da Rin R. (2017), Bolivia, un tesoro nazionalizzato, Il Sole 24 Ore, 9 agosto 2017, [www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-08-08/bolivia-tesoro-nazionalizzato-221416.shtml?uud=AEsWpVAC](http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-08-08/bolivia-tesoro-nazionalizzato-221416.shtml?uud=AEsWpVAC)

Future Market Insights (2016a), Global Graphite Market to Be Valued at US\$ 14,690 Mn by the end of 2016, Increasing Demand for Lithium-ion Batteries Influencing Market Growth, 11 Agosto 2016a, <https://www.futuremarketinsights.com/press-release/graphite-market>

Future Market Insights (2016b), Graphite Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment, 2016–2026, August, 2016.

Future Market Insights (2016c), Graphite Market: Growing Demand for Lithium-Ion Batteries to Fuel Growth: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2016-2026. 11/08/2016 <https://www.futuremarketinsights.com/reports/graphite-market>

Global Industry Analysts (2016), MCP-2641: Manganese – A Global Strategic Business Report, 15 March 2016, <http://www.strategy.com/pressMCP-2641.asp>

Gozzetti R. (2016), Litio, il migliore amico dell'uomo, Metalli Rari 28/09/2016, [www.metallirari.com/litio-migliore-amico-delluomo/](http://www.metallirari.com/litio-migliore-amico-delluomo/)

International Mining (2017), Natural & synthetic graphite, new report with forecasts to 2026, 13 Giugno 2017, <https://im-mining.com/2017/06/13/natural-synthetic-graphite-new-report-forecasts-2026/>

Investing News Network (2017a), Manganese: Critical Metal for Battery and Electric Vehicle Markets, 18, July 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/battery-electric-vehicle-critical-metal/?mqsc=E3899100>

Investing News Network (2017b), Manganese Supply Chain Challenges — Critical Need for a North American Supplier, 20 June 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/manganese-supply-chain/>

Investment Mine (2017), <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/manganese/5-year/>, Last access 10/10/2017

Leading Edge Materials (2017), Leading Edge Materials Update on Woxna Battery Grade High Purity Graphite Qualification, 03 Ottobre 2016, <http://leadingedgematerials.com/leading-edge-materials-update-on-woxna-battery-grade-high-purity-graphite-qualification/>

Lombrana L. M. (2017), Lithium Squeeze Looms as Top Miner Front-Loads, Chile Says, Bloomberg, 23 June 2017, [www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-23/lithium-squeeze-looms-as-top-miner-frontloads-output-chile-says](http://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-23/lithium-squeeze-looms-as-top-miner-frontloads-output-chile-says)

Lowry J. (2017), Lithium 2017: "Halftime Report", 3 luglio 2017, <https://www.linkedin.com/pulse/lithium-2017-halftime-report-joe-lowry>

Market Insights Reports (2017), Natural Manganese Dioxide Market Outlook, Strategies, Challenges, Advancements, Geography Trends & Growth, Applications and Forecast 2022, 20 September 2017, <http://www.wvalways.com/story/36409003/natural-manganese-dioxide-market-outlook-strategies-challenges-advancements-geography-trends-am>

Marro E. (2017), In Borsa è scoppiata la febbre del litio (+30% in sei mesi) grazie all'auto elettrica, Il Sole 24 Ore, 13 luglio 2017, [http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-07-12/in-borsa-e-scoppiata-febbre-litio-30percento-sei-mesi-grazie-all-auto-elettrica-165214\\_PRV.shtml?uid=AEdnflwB](http://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-07-12/in-borsa-e-scoppiata-febbre-litio-30percento-sei-mesi-grazie-all-auto-elettrica-165214_PRV.shtml?uid=AEdnflwB)

Metalli Rari (2016), La stella più brillante del 2016? Il litio, Metalli Rari, 01/02/2016, [www.metallirari.com/la-stella-piu-brillante-del-2016-litio/](http://www.metallirari.com/la-stella-piu-brillante-del-2016-litio/)

Metalli Rari (2016b), Un 2017 molto promettente per il litio, 05/12/2016, <http://www.metallirari.com/un-2017-molto-promettente-per-il-litio/>

Metalli Rari (2017a), Come sta andando il mercato del litio? Aggiornamenti e sviluppi degli ultimi mesi, 25/07/2017, [www.metallirari.com/mercato-litio-aggiornamenti-ultimi/](http://www.metallirari.com/mercato-litio-aggiornamenti-ultimi/)

Metalli Rari (2017b), I prezzi del litio sono pronti a saltare ancora più in alto, Metalli Rari, 05/09/2017, [www.metallirari.com/prezzi-litio-pronti-saltare-piu-alto/](http://www.metallirari.com/prezzi-litio-pronti-saltare-piu-alto/)

Metalli Rari (2017c), Il litio sarà quotato al London Metal Exchange?, Metalli Rari, 07/09/2017, [www.metallirari.com/litio-quotato-london-metal-exchange/](http://www.metallirari.com/litio-quotato-london-metal-exchange/)

Metalli Rari (2017d), L'ultima bolla dei mercati: il litio, Metalli Rari, 20/03/2017, [www.metallirari.com/ultima-bolla-dei-mercati-litio/](http://www.metallirari.com/ultima-bolla-dei-mercati-litio/)

Moore S. (2017), 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>

Padhy S. (2017a), Manganese Uses, 09 August 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/manganese-investing/manganese-applications/>

Padhy S. (2017b), What is Synthetic Graphite?, 27 July 2017, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/what-is-synthetic-graphite-asbury-carbons-stephen-riddle-explains/>

Pistilli M. (2016), An Introduction to Graphite Investing, 27 October 2016, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/introduction-to-graphite-investing/>

Rivera P. (2016), The Next Graphite Producers, 13 October 2016, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/graphite-investing/next-graphite-producers-eagle-elcora-bass-metals-leading-edge-materials-energizer-hexagon/>

Roskill (2017), Natural & Synthetic Graphite Global Industry, Markets & Outlook, 01/06/2017, <https://roskill.com/market-report/natural-synthetic-graphite/>

Sanderson H. (2016), Lithium supply predicted to keep up with demand, Financial Times, 28 November 2016, <https://www.ft.com/content/dd1fa1d0-b575-11e6-961e-a1acd97f622d>

Sanderson H. (2016), Electric car demand sparks lithium supply fears, 9 June 2017, [www.ft.com/content/90d65356-4a9d-11e7-919a-1e14ce4af89b](http://www.ft.com/content/90d65356-4a9d-11e7-919a-1e14ce4af89b)

Strategie Aziendali e altro (2017), C.A.G.R. (Compound Annual Growth Rate), 13 gennaio 2012, <http://strategieaziendaliealtro.blogspot.it/2012/01/cagr-compound-annual-growth-rate.html>

U.S. Geological Survey (2017), Mineral commodity summaries 2017: U.S. Geological Survey, <https://doi.org/10.3133/70180197>

Li-ion battery dataset, Ecoinvent 2.2

<https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/>

<https://longtailpipe.com/2015/09/14/nissan-leaf-battery-pack-manufacturing/>

[http://www.electricvehiclewiki.com/Battery\\_specs](http://www.electricvehiclewiki.com/Battery_specs)

<http://www.nissan-global.com/EN/ENVIRONMENT/CAR/LCA/>

<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/leaf.html>

<http://pushevs.com/2015/09/28/new-30-kwh-nissan-leaf-battery/>

[http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion\\_ev/](http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion_ev/)

<http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf>

<http://www.electricvehiclewiki.com/Specs>

<http://www.electricvehiclewiki.com/File:2011-leaf-first-responders-guide.pdf>

[http://ec.europa.eu/environment/archives/sme/cases/demea\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/archives/sme/cases/demea_en.htm)

<https://wupperinst.org/en/p/wi/p/s/pd/431/>

<https://minerals.usgs.gov/>

<http://pushevs.com/2015/09/28/new-30-kwh-nissan-leaf-battery/>

<https://electrek.co/2017/05/04/tesla-battery-researcher-chemistry-lifecycle/>

<http://www.unrae.it/dati-statistici/circolante/3813/parco-circolante-al-31122016>

## 10 Abbreviazioni ed acronimi

Nel caso di Partner esterni ad ENEA, in appendice al rapporto inserire un breve **curriculum scientifico del gruppo di lavoro** impegnato nell'attività.