

# Elementi chimici strategici e critici

**Fabio Olmi**

e-mail: [fabio.olmi@gmail.com](mailto:fabio.olmi@gmail.com)

---

**Abstract.** The article deals with the problem of strategic and critical materials, explaining their meaning and listing the today 34 critical raw materials. Then it addresses the European situation and focuses on the issue and the measures taken to reduce Europe's strong dependence on third countries. The situation of Italy in this field is also presented. Finally, some examples of critical raw materials are examined, discussing the future need to their recycling on a large scale.

**Keywords:** materie prime strategiche; materie prime critiche; nuovi giacimenti; situazione europea e italiana; riciclo

---

## 1. Introduzione

Il problema degli elementi critici è rimasto in Europa nell'ambito degli esperti del settore fino al 2021, poi la guerra Russia/Ucraina e forti tensioni con la Cina, hanno generato un aumento della precarietà nelle importazioni di queste materie prime. L'Europa si è data però una smossa con provvedimenti che hanno portato l'argomento all'attenzione di un pubblico più vasto. Tra il 2022 e il 2023 sono diventati molto frequenti anche sui media (periodici, quotidiani, ecc.) articoli che affrontano la gravità della nostra dipendenza dalle materie prime di importazione da Cina e altri Paesi terzi. Questo contributo intende affrontare l'argomento cercando di far chiarezza su di esso, spesso trattato in modo inadeguato.

Il concetto di materie prime strategiche è stato introdotto quest'anno (2023) dalla Commissione Europea e si tratta *delle materie prime necessarie per produzioni industriali strategiche che ricadono nel settore delle energie rinnovabili, nella mobilità elettrica, nel settore digitale, e in quelli dell'aerospazio e della difesa.*

Purtroppo, molte di queste materie prime sono anche *materie prime critiche*, in altri termini materie prime disponibili in modeste quantità, o di precaria capacità di disporre, o per entrambe le ragioni. Il Ministero dello Sviluppo Economico del Paese ha avviato nel settembre 2022 un Tavolo Tecnico "Materie

Prime Critiche”<sup>1</sup> (ora coordinato dal Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica) fissando vari obiettivi tra cui, i più importanti sono:

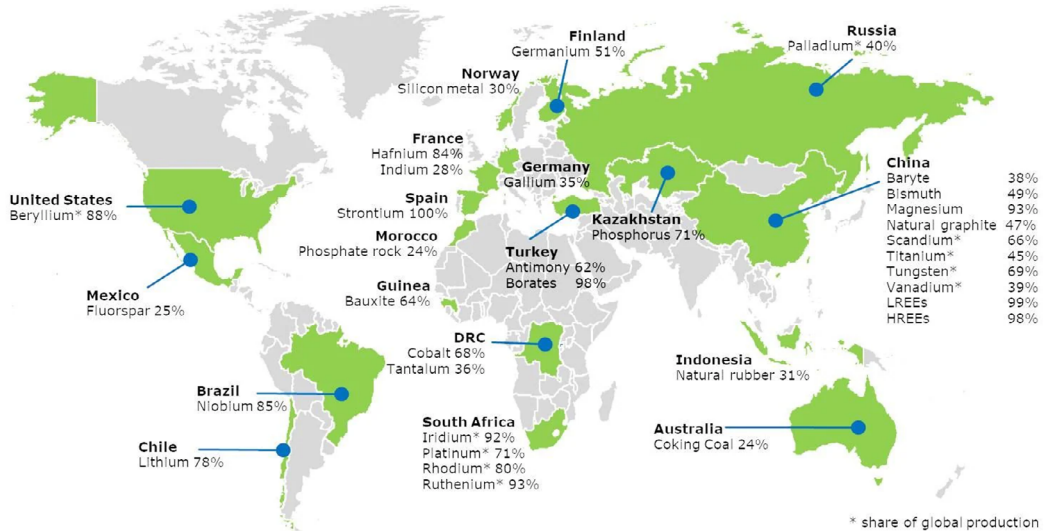
- promuovere la sostenibilità degli approvvigionamenti e stimolare la circolarità per il loro recupero e riutilizzo;
- contribuire alla creazione delle condizioni normative, economiche e di mercato volte ad assicurare un approvvigionamento sicuro e sostenibile.

Il Ministero aderisce inoltre all’European Raw Materials Alliance (ERMA) che promuove incontri e seminari sul tema.

La criticità di certi materiali, oltre alla loro scarsa disponibilità e al problema degli approvvigionamenti, dipende anche dal fatto che in genere sono difficili, costosi e pericolosi da estrarre (comportano forti inquinamenti ambientali) e da raffinare.

Dal 2011 l’Unione Europea tiene un conto aggiornato di quante siano le materie prime “critiche” Oggi si contano 34 elementi e composti con diverso grado di criticità<sup>2</sup>.

La lista degli *elementi e composti critici* è oggi la seguente: elio, bario, berillio, bismuto, bauxite, borato, grafite, cobalto, fluorite, gallio, germanio, afnio, indio, litio, magnesio, niobio, elementi di Terre Rare pesanti e leggere (7 elementi su 14), metalli del gruppo del platino (3 elementi), fosforo, antimonio, scandio, stronzio, silicio metallico, tantalio, titanio, tungsteno e vanadio.



**Figura 1.** Distribuzione mondiale dei Paesi maggiormente ricchi di materie prime critiche

<sup>1</sup> La Società Chimica Italiana raccoglie informazioni e dati sulle attività di ricerca in corso sulle materie prime critiche comunicandole al Tavolo Tecnico appositamente predisposto.

<sup>2</sup> Tratto da *La geografia delle Terre Rare*, «La Repubblica», 24 aprile 2023.

Come tutte le risorse minerarie, questi non hanno una equa distribuzione nel mondo e, ribadita la loro finitezza, sono presenti prevalentemente in alcuni Paesi. Per avere un'idea di ciò basta consultare la figura 1. È chiaro che per poter disporre di questi elementi è necessario che venga garantita la possibilità di scambi a livello mondiale in un clima di pace.

## **2. La situazione in Europa**

*L'UE dipende oggi quasi esclusivamente dalle importazioni di molte materie prime essenziali* e i fornitori di queste materie prime sono un ristretto numero di Paesi terzi, sia per la fase di estrazione che in quella di raffinazione. Ad esempio, gli elementi delle *Terre Rare* sono in gran parte prodotti e raffinati in Cina; il 63% del *cobalto* necessario alle batterie agli ioni litio viene estratto in Congo e raffinato in Cina.

*Questa situazione rende assai precario lo sviluppo dell'Europa.* Il recente report di The European House-Ambrosetti sottolinea che l'Europa è dipendente dalla Cina per il 56% del totale delle importazioni delle 34 materie prime "critiche" e ha un ruolo determinante per almeno 11 di queste, in particolare bario, bismuto, gallio, germanio, grafite naturale, magnesio, scandio, tungsteno, vanadio e Terre Rare leggere e pesanti. Ad esempio, per le batterie agli ioni litio l'UE dipende da Pechino per il 37% delle materie prime coinvolte. I costruttori di auto stanno concludendo accordi direttamente con i centri minerari di estrazione<sup>3</sup> per assicurarsi la loro disponibilità.

Tuttavia, la Comunità europea si sta organizzando per ridurre progressivamente la dipendenza da Paesi terzi. Il consorzio Critical Raw Materials opera da alcuni anni in tutta la filiera: dalle risorse primarie alla sostituzione di elementi critici o tossici, dalla raccolta alla lavorazione di prodotti a fine vita (riciclo), e dagli aspetti economici e sociali dello sfruttamento delle materie prime.<sup>4</sup> Il livello di autonomia della UE entro il 2030 dovrebbe raggiungere i seguenti obiettivi:

- l'estrazione mineraria all'interno della UE deve soddisfare almeno il 10% del consumo annuo europeo;
- la lavorazione post-estrazione di almeno il 40% del consumo annuale deve essere condotta nella UE;
- almeno il 15% del consumo annuale deve provenire dal riciclo;
- un singolo Paese terzo non può fornire oltre i 65% di un dato materiale strategico.

Obiettivi molto ambiziosi per i quali l'UE prevede di sviluppare programmi di

<sup>3</sup> Clifford Krauss, Jack Ewing, *L'industria dell'auto va in miniera per non restare a secco di litio*, «La Repubblica A&F», 10 luglio 2023.

<sup>4</sup> Anna Vedda, *L'Europa prova a ridurre la dipendenza dalla Cina*, «La Repubblica», 24 aprile 2023.

esplorazione mineraria, attività di estrazione, lavorazione e riciclo di materie prime strategiche.

Recentemente è stato scoperto a Kiruna, nel nord della Svezia, da parte della compagnia mineraria svedese LKAB, il più grande giacimento di Terre Rare conosciuto finora in Europa. Stando alle stime preliminari, questo giacimento *potrebbe produrre Terre Rare a partire da oltre un milione di tonnellate di ossidi di Terre Rare*<sup>5</sup>.

«L'autosufficienza e l'indipendenza dell'UE dalla Russia e dalla Cina inizieranno in miniera», ha dichiarato il ministro dell'Energia, delle Imprese e dell'Industria della Svezia Ebba Busch. Tuttavia, la strada per l'estrazione dal giacimento in Svezia sarà lunga, almeno 10-15 anni. LKAB ha detto di voler presentare una richiesta di concessione, però, la messa in esercizio della nuova miniera, situata accanto alla più vasta miniera di ferro europea, ha trovato una forte opposizione da parte della popolazione locale, gli Inuit<sup>6</sup> affiancati dal sostegno degli ambientalisti.

L'Europa si sta anche attivando per la ricerca e lo sfruttamento di giacimenti di altre materie prime critiche. Ad esempio, potrebbe avere presto la propria autonomia per quanto riguarda il litio, notizia diffusa dalla Reuters (maggio 2021) che ha già fatto il giro del mondo. Il giacimento, individuato ad alcuni chilometri di profondità sotto l'alta valle del Reno, sarebbe uno dei più grandi del mondo e consentirebbe alla Germania e all'Europa di porre fine alla dipendenza dai giacimenti oggi dislocati prevalentemente in Cile, Australia e Cina<sup>7</sup>. La società Vulcan Energy Resources (in realtà con sede in Australia, ma con partecipazioni tedesche) ha già avanzato una proposta per l'estrazione del litio dal nuovo giacimento e avrebbe messo in cantiere alcune attività per la costruzione di centrali geotermiche necessarie alla produzione dell'energia per le operazioni di estrazione, con un investimento di almeno 1,7 miliardi di euro.

In una recente intervista, poi, la viceministra spagnola e ministra della Transizione Ecologica, Teresa Ribera, ha dichiarato «Da molti anni ormai l'Europa ha dimenticato le risorse del sottosuolo e ha tralasciato l'attività estrattiva. Non sa più di cosa dispone: la prima cosa è quindi saperlo ... Dovrebbe favorire anche gli accordi con i Paesi ricchi di materie prime, ma poveri di infrastrutture di base ... E infine l'Europa è ricca di rifiuti: dobbiamo avviare un recupero intelligente delle materie prime critiche, abbiamo uno dei migliori capitali umani al mondo»<sup>8</sup>.

<sup>5</sup> Alessandro Michelucci, *La città che trasloca*, «Nuova Ecologia», aprile 2023.

<sup>6</sup> Gli Inuit sono un piccolo popolo (circa 120.000 persone) dell'Artico che discende dai Thule, progenitori degli attuali Inuit svedesi e canadesi.

<sup>7</sup> *Energitalia*, 6 maggio 2021.

<sup>8</sup> Rosaria Amato, intervista a Teresa Ribera *Europa indipendente se estrae più materie prime*, «La Repubblica», 15 aprile 2023.

### 3. In Italia si muove qualcosa?

Già alcuni anni fa erano stati scoperti nel Lazio fluidi geotermici ricchi di litio, ma non si andò avanti per esplorare la potenzialità del giacimento e tutto si fermò: il litio non era ancora “l’oro bianco” di cui si parla oggi. In una recente intervista del geologo del CNR Andrea Dini<sup>9</sup>, rilasciata a «La Repubblica» e pubblicata in due contributi successivi<sup>10</sup>, si sostiene che nella zona del lago di Bracciano ci sono *fluidi geotermici in profondità*, a 1.500-3.000 metri. Si trovano nella zona vulcanica laziale, ma anche in Campania. Sono stati esplorati negli anni 1970-1980 perché si pensava fossero interessanti per la produzione di energia elettrica geotermica. Non è stato però trovato il vapore ad altissima pressione e temperatura che ci si aspettava, e tutto si bloccò. Questi fluidi, queste acque salate calde contengono molto litio, fino a 400 e addirittura forse 500 mg per litro di soluzione.

Nell’intervista Dini fa notare: «Negli ultimi due anni nella zona di Bracciano l’industria si è attivata per ottenere i permessi di ricerca. Noi come CNR cerchiamo di dare un supporto di base, un indirizzo scientifico per aiutare l’industria. Perché gli investimenti, se ci saranno, saranno ingenti. Ad oggi sono stati ottenuti i permessi per fare indagini preliminari. Lo studio è iniziato in primavera del 2022. Poi, se le condizioni saranno considerate favorevoli, le aziende decideranno se investire i capitali necessari per l’esplorazione. Vuol dire fare perforazioni per intercettare questi fluidi e analizzarli. Oltre al lago di Bracciano il lavoro che abbiamo pubblicato quest’estate (2022) mette in evidenza varie possibilità, la zona da Bolsena fino ai Campi Flegrei è la migliore in assoluto».

Un’idea della necessità dell’Italia di essere concretamente e rapidamente in grado di far fronte alle esigenze geologiche e mineralogiche che oggi stanno assumendo sempre maggiore importanza, ce la fornisce una accorata lettera scritta da dieci geologi di varie università italiane (Firenze, Pisa, Milano e Napoli) a «La Repubblica»<sup>11</sup>. In essa si precisa che per i giacimenti minerali in Italia mancano le competenze. La ricerca scientifica nel settore è quasi assente e tanti docenti stanno andando in pensione: serve subito un piano per formare nuove professionalità.

Questa situazione è l’onda lunga di un periodo, iniziato verso la metà degli anni ’80 del secolo scorso, in cui si pensava che non fosse più necessa-

<sup>9</sup> Andrea Dini è autore assieme ad alcuni colleghi di una mappatura del litio in Italia, uscita alcuni mesi fa sulla rivista «Minerals».

<sup>10</sup> Elena Dusi, *Qui sotto c’è un tesoro, basta scavare*, «La Repubblica», 23 aprile 2023; Elena Dusi, *I cacciatori di litio alle porte di Roma*, «La Repubblica», 24 aprile 2023.

<sup>11</sup> Pilario Costagliola, Andrea Dini, Giovanni Grieco, Pierfranco Lattanzi, Nicola Mondillo, Marilena Moroni, Stefano Naitza, Valentina Rimondi, Licia Santoro, Simone Vezzoni, *Lettera a Repubblica*, «La Repubblica», 24 aprile 2023.

rio investire in ricerca nel settore delle materie prime, dal momento che si potevano comprare sul mercato e non era necessario averle in casa nostra. Lo sforzo da compiere ora è enorme e, come sottolinea la lettera, richiede non soltanto di mappare le risorse esistenti nel sottosuolo, ma anche di ricostruire una *classe di scienziati che aiutino l'Italia a compiere scelte giuste per favorire le estrazioni con smart mining, promuovere il riciclo e diversificare gli approvvigionamenti*.

#### **4. L'alternativa alla dipendenza della Cina: il “nuovo eldorado” delle materie prime in Sud America**

Abbiamo detto della grande dipendenza dell'Europa dalla Cina per molte materie prime critiche. Tuttavia, si sta imponendo un altro fronte in America centro- meridionale come possibile fornitore mondiale di molte materie prime anche critiche: si tratta dei Paesi quali il Perù, la Bolivia, l'Argentina, il Brasile e il Messico. A parte l'ormai ben noto “triangolo del litio” che ha i vertici in Perù, Bolivia e Argentina, che ospita il 60% delle risorse mondiali di litio e che dal 2018 a oggi ha triplicato la produzione mondiale del metallo a 180.000 tonnellate /anno<sup>12</sup>, la Bolivia è uno dei principali esportatori di stagno (6% della produzione mondiale) e ha un ruolo di primo piano per il piombo, il tungsteno e lo zinco. Il Perù, oltre al litio, è il secondo produttore mondiale di argento ed è anche un grande produttore di stagno, piombo e rame. Il Messico, oltre a essere il primo produttore al mondo di argento, è il terzo produttore di bismuto e gran produttore di cadmio, zinco e fluorite. Il Brasile è il Paese latino-americano con le maggiori riserve di Terre Rare, valutate in 21 milioni di tonnellate (la Cina ne ha 44), e con riserve di niobio pari al 90% del totale mondiale. Le riserve dei minerali di cui dispone l'America latina possono costituire una valida alternativa per l'Europa alla dipendenza delle proprie industrie da Paesi di incerto approvvigionamento.

Prendiamo ora in esame caratteristiche e impieghi di alcuni degli elementi critici necessari alla transizione energetica e green dell'economia.

#### **5. Alcuni esempi di materie prime critiche**

##### ***Litio***

Il litio è senz'altro l'elemento chimico critico più conosciuto perché è indispensabile per le batterie elettriche destinate alla mobilità green: viene chiamato “oro bianco” e il suo utilizzo sarà sempre più elevato. La figura 2 mostra la produzione di litio nel deserto salato di Atacama (Cile).

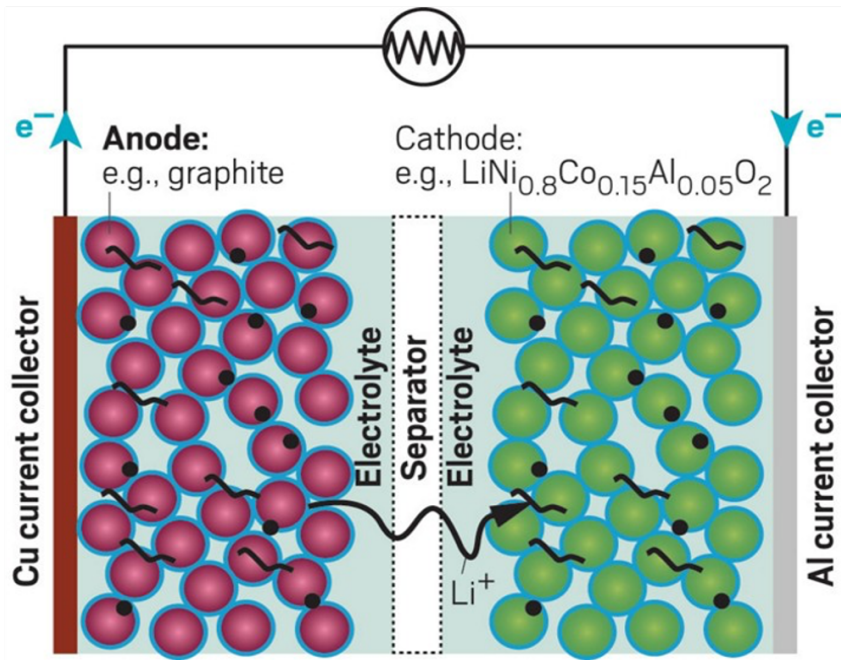
<sup>12</sup> Luca Pagni, *Materie prime, il nuovo Eldorado*, «La Repubblica A&F», 28 agosto 2023.



**Figura 2.** La produzione di litio nel deserto salato di Atacama (Perù)

Il litio viene impiegato per la fabbricazione di pile ricaricabili di piccoli apparecchi elettronici (computer, cellulari, ...) e, soprattutto, per le grosse batterie delle auto elettriche e le batterie di accumulo del fotovoltaico. Le batterie agli ioni litio<sup>13</sup> costituiscono la tecnologia oggi più utilizzata nel mondo degli utensili elettrici, delle auto, delle biciclette e dei monopattini elettrici. Come mostrato in figura 3, una batteria agli ioni litio ha un elettrodo positivo che contiene litio come composto insieme al cobalto,  $\text{Li}_2\text{CoO}_2$  e ioni  $\text{Li}^+$  come elettrolita in solvente organico; ha inoltre un elettrodo negativo (anodo) costituito da un supporto generalmente di rame su cui è deposto uno strato di grafite. Il cobalto e la grafite sono elementi critici che esamineremo più avanti.

<sup>13</sup> Le batterie agli ioni litio sono state messe a punto da John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino, che per questi loro studi hanno ricevuto il premio Nobel per la Chimica nel 2019.



**Figura 3.** Struttura di una batteria agli ioni litio

Del litio ne ho già trattato nel mio recente libro<sup>14</sup> tra l'esame delle risorse materiali non rinnovabili. Qui ricordo che il litio si presenta sottoforma di minerale come la lepidolite e lo spodumene (alluminosilicati di litio) soprattutto in Australia e sottoforma di diversi sali solubili nelle acque di laghi salati sotterranei nel cosiddetto "triangolo del litio" sudamericano che interessa Cile (deserto di Atacama), Bolivia e Argentina.

I maggiori produttori, in base ai dati del 2022, sono l'Australia (61.000 tonnellate), il Cile (39.000 tonnellate) e la Cina (19.000 tonnellate). Le più vaste riserve sfruttabili attualmente sono quelle di laghi salati sudamericani (il Salar de Uyuni di 10.582 chilometri quadrati è la più grande distesa salata del pianeta). Insieme al litio si estraggono anche importanti quantità di potassio, boro e magnesio. Come accennato precedentemente sembrerebbe che anche l'Europa possedesse vaste riserve di litio (Germania, valle del Reno) e anche l'Italia sembra possa contare su una consistente quantità di litio.

### **Cobalto**

È uno dei più importanti elementi critici e ha moltissime applicazioni, alcune delle quali sono:

- nelle leghe metalliche come, ad esempio, quelle impiegate in turbine

<sup>14</sup> Fabio Olmi, *La sfida del secolo, la transizione ecologica contro il riscaldamento globale*, Aracne, Roma, 2022.














- per i motori d'aereo, leghe ad alta resistenza alla corrosione e all'usura, lega cromo-cobalto impiegata per protesi ortopediche;
- in utensili diamantati ottenuti inglobando particelle di diamante in una matrice metallica di cobalto mediante sinterizzazione;<sup>15</sup> sono capaci di tagliare materiali lapidei duri quali il granito;
  - in magneti e supporti magnetici in lega con Fe (CoFe), o in lega con Al e Ni (alnico);
  - nei catalizzatori per l'industria petrolchimica e chimica;
  - come pigmento (blu cobalto);
  - nelle batterie agli ioni litio in cui il cobalto costituisce, insieme al litio, il materiale di uno degli elettrodi della batteria ( $\text{Li}_2\text{CoO}_2$ ).

L'isotopo 60 del cobalto è radioattivo e si utilizza come potente sorgente di raggi gamma: ad esempio, in radioterapia, nella sterilizzazione di cibi tramite radiazione e nella radiografia industriale per il rilevamento di anomalie strutturali di manufatti in metallo.

I più importanti minerali di cobalto sono la heterogenite e la cobaltite, ma l'elemento viene anche ottenuto come sottoprodotto dell'estrazione di rame e nichel. I Paesi maggiori produttori di cobalto (Tabella 1) sono la Repubblica Democratica del Congo, da cui proviene oltre il 70% del cobalto mondiale (nella filiera lavorano più di 100.000 lavoratori senza diritti, anche bambini, e non è facile intervenire per cambiare la cosa che si protrae da molto tempo). Seguono come produttori, l'Indonesia, l'Australia e vari altri Paesi.

**Tabella 1.** I maggiori produttori di cobalto

Country	2022 Production (tonnes)	% of Total Production
 DRC	144,936	73.3%
 Indonesia	9,454	4.8%
 Australia	7,000	3.5%
 Philippines	5,400	2.7%
 Cuba	5,331	2.7%
 Russia	3,500	1.8%
 Madagascar	3,500	1.8%
 Canada	3,100	1.6%
 Papua New Guinea	3,060	1.5%
 Türkiye	2,300	1.2%
 Other	10,210	5.2%
<b>Total</b>	<b>197,791</b>	<b>100.0%</b>

<sup>15</sup> La sinterizzazione è un particolare processo di lavorazione che realizza un oggetto mettendo della polvere di due (o più) materiali in uno stampo e riscaldando a temperatura alta, ma inferiore alla temperatura di fusione dei materiali.

## **Nichel**

Il nichel viene impiegato per rivestire alcuni metalli, tramite la nichelatura, ma viene usato soprattutto nelle moderne batterie. Il nichel è necessario in piccola quantità per la preparazione di acciai inossidabili e leghe diverse e per la produzione di magneti alnico e monete. Lacche e colori vengono usati per la ceramica.

Il nichel è un metallo bianco-argenteo con elevata densità (8,91 g/cm<sup>3</sup>), è ferromagnetico, è di durezza media e può essere lucidato molto bene; è infine molto resistente all'aria, all'acqua e a soluzioni diluite di alcali e acidi.

La maggior parte del nichel proviene da minerali di ferro che lo contengono insieme al rame. I maggiori produttori di nichel sono Indonesia (1.600.000 tonnellate), Filippine (330.000 tonnellate), Russia (220.000 tonnellate) e Australia (160.000 tonnellate).

## **Indio**

L'indio è un metallo raro, malleabile, di colore bianco argenteo e basso fondente. È affine all'alluminio e al gallio, è liquido in un ampio spettro di temperature. L'indio, come il gallio, è capace di bagnare il vetro.

La principale applicazione dell'indio nel passato è stata quella di rivestire altri materiali con un film sottile che funziona da lubrificante: durante la Seconda Guerra Mondiale fu largamente usato per rivestire le bronzine degli aerei da caccia. Si usa nelle leghe per fusione, nella saldatura e nell'elettronica.

Dalla seconda metà degli anni '80 del secolo scorso l'indio si impiega in semiconduttori come fosforo di indio e per pellicole sottili di ossido di indio, dopato con stagno, nei pannelli a cristalli liquidi (LCD, liquid crystal display): queste pellicole sono ormai diventate l'uso principale dell'elemento e sono realizzate con ossido di indio-stagno (ITO). I televisori a cristalli liquidi (LCD TV) sono molto più sottili e leggeri di quelli con tubi a raggi catodici (CRT TV) e sono disponibili in dimensioni molto più grandi.<sup>16</sup> Da molti anni ormai i LCD TV hanno rimpiazzato completamente quelli CRT TV e gli LCD si impiegano anche nei monitor per computer, in pannelli di strumenti e nella segnaletica. LCD di piccole dimensioni sono comuni poi in diversi dispositivi portatili di largo consumo come fotocamere digitali, smartphone e orologi<sup>17</sup>.

L'indio ha inoltre una proprietà particolare: è radioattivo, anche se molto debolmente, e non è considerato pericoloso per la salute. I minerali più importanti per la sua estrazione sono quelli di alluminio, gallio e soprattutto zinco, che sono accompagnati da indio. Il principale produttore di indio è attualmente la Cina.

<sup>16</sup> Esiste un'altra tecnologia per gli schermi piatti ed è quella al plasma (tecnologia complessa), ma i LCD TV sono di gran lunga il tipo più diffuso e venduto.

<sup>17</sup> Dobbiamo precisare che i display LCD possono essere trasmissivi come quelli usati per le TV o riflettivi, ad esempio quelli utilizzati nelle comuni sveglie.

## **Grafite**

La grafite è diventata un minerale critico da quando è entrata a far parte delle batterie a ioni litio per le auto elettriche (costituisce l'elettrodo negativo insieme al rame). Si tratta di una varietà allotropica del carbonio e, in particolare, è costituita da un reticolo esagonale di atomi di carbonio disposti a strati sovrapposti<sup>18</sup>. Questa struttura conferisce alla grafite le proprietà di ottimo conduttore elettrico e spiega la sua sfaldabilità, le caratteristiche lubrificanti e il fatto di essere uno dei materiali a più alto punto di fusione (circa 3.500 °C).

La grafite, oltre a essere usata oggi principalmente nelle batterie agli ioni litio, si impiega in vari altri campi: per produrre elettrodi per forni elettrici, ugelli di scarico di reattori, spazzole per macchine elettriche rotanti, come refrattario, lubrificante e nelle matite. In passato è stata anche utilizzata in alcune centrali nucleari come moderatore di neutroni.

La grafite è di origine metamorfica e deriva da un processo di formazione simile a quello che porta ai carboni fossili; si ottiene, infatti, nei sedimenti carboniosi per effetto della pressione (minore di quella che dà origine ai diamanti) e della temperatura a cui sono stati sottoposti (tra 1.500 °C e 3.000 °C).

Il grafene, invece, è costituito da fogli bidimensionali di grafite e viene utilizzato, ad esempio, per produrre i più piccoli transistor.

I principali giacimenti di grafite si trovano in Cina, Messico, Canada, Brasile, Madagascar, Sri Lanka, Russia, Corea del Sud, Romania e Slovacchia. In Italia giacimenti utili si trovano in Piemonte (Val Chisone) e, in minore entità, in Liguria (Val Bormida) e in Calabria.

## **Terre Rare**

Si tratta di 14 elementi propriamente costituenti il gruppo delle Terre Rare, a cui si aggiungono altri tre elementi di caratteristiche molto simili e che vengono generalmente trovati insieme nei loro minerali: Scandio, Ittrio e Lantanio; in totale si tratta di 17 elementi. La denominazione "Terre Rare" deriva dai minerali dai quali vennero isolati per la prima volta: si trattava di ossidi non comuni trovati nella gadolinite estratta da una miniera situata nel villaggio di Ytterby, in Svezia. In realtà gli elementi delle Terre Rare si trovano in concentrazioni relativamente elevate nella crosta terrestre. La figura 4 mostra alcuni ossidi di Terre Rare.

Spesso vengono indicate con l'acronimo REE (Rare Earth Elements) e vengono distinte in Terre Rare leggere (dal Lantanio al Promezio, LREE), di tipo medio (dal Samario all'Olmio, MREE) e pesanti (dall'Erbio a Lutezio, HREE).

Nel 1803 erano note solo due Terre Rare, l'Ittrio e il Cerio, e ci vollero 30 anni per determinare gli altri elementi presenti in vari minerali simili alla gadolinite (bastnasite, monazite, loparite), dal momento che la loro separazione è molto difficile avendo proprietà chimiche similari.

<sup>18</sup> La struttura esagonale di atomi di carbonio ha legami  $\sigma$  e  $\pi$ , mentre tra gli strati agiscono le deboli forze di Van der Waals.



**Figura 4.** Alcuni ossidi di Terre Rare

Per comprendere immediatamente l'enorme importanza che hanno assunto le Terre Rare basta pensare che uno smartphone (Figura 5)<sup>19</sup>, un apparecchio che abbiamo comunemente nelle nostre tasche, contiene al suo interno otto diverse Terre Rare e precisamente:

- a) nello schermo, ittrio, lantanio, terbio, praseodimio, europio, disprosio, e gadolinio;
- b) nell'elettronica, disprosio, praseodimio, terbio e neodimio.

*Sarebbe impossibile la miniaturizzazione dei vari circuiti e il loro funzionamento senza l'impiego delle Terre Rare.* Per avere un'idea delle varie funzioni che uno smartphone compie basta ricordare quali apparecchiature è in grado di inglobare. Con riferimento a una conferenza recente tenuta da Nicola Armaroli,<sup>20</sup> le funzioni svolte da un simile apparecchio sono quelle di un telefono, una radio, un cronometro, una sveglia, una macchina fotografica, una bussola, un bloc notes e fornisce anche mappe stradali.

<sup>19</sup> Science in School – *Elementi chimici in pericolo*, 26/10/2021.

<sup>20</sup> Nicola Armaroli, *Elementi chimici critici e civiltà tecnologica*, Conferenza a Festa Scienza e Filosofia, aprile 2023 - YouTube.

# ELEMENTS OF A SMARTPHONE

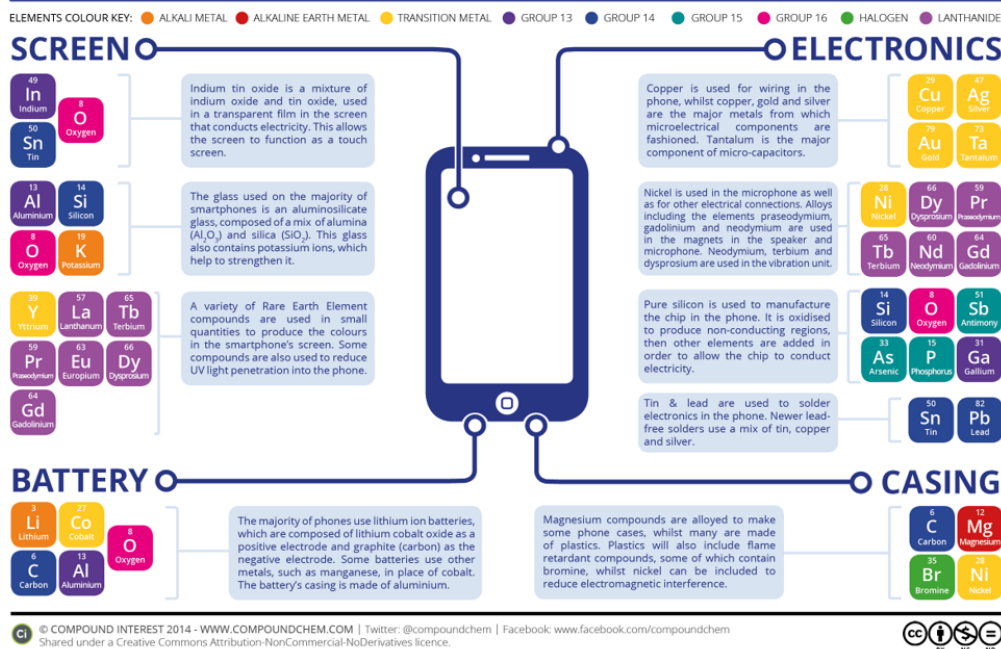


Figura 5. Elementi presenti in uno smartphone

I più importanti utilizzi delle Terre Rare si devono al fatto che questi elementi sono superconduttori, potenti magneti, alliganti in numerose leghe metalliche speciali, catalizzatori, ecc.

I principali produttori di Terre Rare sono Cina, Stati Uniti, Australia e recentemente si è inserito anche il Brasile.

## 6. Caratteristiche e impieghi di alcune Terre Rare

### Praseodimio

È uno dei più importanti elementi delle Terre Rare. Il praseodimio è oggi impiegato largamente in molte apparecchiature elettriche ed elettroniche comuni: televisori a colori, smartphone (sia nell'elettronica che nello schermo), lampade economizzatrici d'energia, catalizzatori, ecc.

Il suo impiego tradizionale è quello di una lega piroforica usata nelle pietrine per gli accendini per sigarette. In leghe al magnesio produce metalli ad alta resistenza usati soprattutto nei motori degli aerei: questo costituisce un impiego molto importante. Il suo ossido è usato negli elettrodi per l'accensione dell'arco elettrico e per dare al vetro un bel colore giallo.

È un metallo malleabile e morbido di colore argenteo. È un elemento quattro

volte più abbondante dello stagno e si trova nei minerali monazite e bastnasite. I principali paesi produttori sono Cina, Stati Uniti, Brasile, India, Sri Lanka e Australia. La produzione mondiale di praseodimio è di circa 2.500 tonnellate l'anno.

### **Neodimio**

Il neodimio trova applicazioni nei seguenti campi: avionica, aerospazio, fotovoltaico, eolico, automazione, vari circuiti elettronici e nell'auto motive per le sue *eccezionali caratteristiche*. Il neodimio viene infatti utilizzato per produrre speciali magneti permanenti in lega con ferro e boro (NdFeB) a elevata coercitività<sup>21</sup>. È essenziale nei rotor delle turbine eoliche.

I vetri al neodimio sono usati per costruire i laser a impulsi più potenti del mondo (sono in grado di fornire potenze dell'ordine dei TW per ogni singolo impulso), tipo quelli che sono stati impiegati negli esperimenti di fusione nucleare realizzati negli Stati Uniti. Come già accennato, la lega più importante del neodimio è NdFeB che costituisce potenti magneti permanenti. Questi si trovano nei moderni veicoli, nei computer, negli smartphone, negli auricolari, in componenti magnetici di vari tipi di microfoni professionali e in casse per la musica (altoparlanti di qualità). Ha impiego anche per colorare vetri in grado di assorbire il colore dovuto al sodio nelle fiamme; viene, perciò, impiegato negli occhiali per saldatori e per colorare il vetro (rosso porpora).

Il neodimio è il secondo elemento più abbondante in natura delle Terre Rare (dopo il cerio) ed è abbondante quasi quanto il rame. Si trova in minerali lantanidi, come monazite e bastnasite. La sua separazione dalle altre Terre Rare presenti in questi minerali è assai difficoltosa. Le principali aree produttive del neodimio sono Brasile, Cina, Stati Uniti, India, Sri Lanka e Australia. Le riserve di neodimio sono stimate intorno a 8 milioni di tonnellate; la produzione mondiale di ossido di neodimio è di circa 7.000 tonnellate annue.

### **Gadolinio**

Il gadolinio viene impiegato per produrre compact disk e dispositivi di memoria per computer. Composti di gadolinio sono impiegati come mezzo di contrasto intravenoso nella risonanza magnetica. Sali di gadolinio sono usati nei televisori a colori. Ha una elevata sezione di cattura dei neutroni termici per cui viene utilizzato nei sistemi di controllo, di emergenza e di spegnimento di reattori nucleari. Aggiungendo l'1% di gadolinio a ferro, cromo e loro leghe ne migliora decisamente la resistenza alle alte temperature. Il gadolinio è usato anche per realizzare sensori magnetici di temperatura.

È un metallo bianco argenteo duttile e malleabile. È abbastanza stabile all'aria a differenza di altri elementi delle Terre Rare. Il suo principale minerale è la gadolinite (che deve il suo nome al chimico finlandese Johan Gadolin).

<sup>21</sup> Per forza coercitiva si intende l'intensità di campo necessaria a smagnetizzare completamente un magnete quando viene esposto a un campo magnetico di segno opposto. Più questo valore è alto, più un magnete è in grado di mantenere la sua magnetizzazione.

## **7. Perché lo sviluppo futuro sia ecosostenibile è necessario mettere in atto un sistematico, efficiente riciclo di materie prime, in primo luogo di quelle critiche. Dunque: riciclo, riciclo, riciclo!**

Per continuare a sviluppare le attuali tecnologie e produrre, ad esempio, materiali necessari alle energie pulite la risposta è il riciclaggio dei rifiuti delle materie prime utilizzate.

Questo vale soprattutto per l'Europa e in particolare per l'Italia. Come siamo messi in Italia per quanto riguarda il riciclaggio?

### **7.1 Il riciclo in Italia, in particolare delle materie prime critiche**

Ermete Realacci, Presidente di Symbola, la Fondazione delle qualità italiane, ex presidente della commissione parlamentare Ambiente, nell'ultimo rapporto sull'economia italiana<sup>22</sup> afferma «L'Italia deve andare fiera perché si conferma nell'economia circolare una superpotenza... Il nostro è il paese con il più alto tasso di riciclo sul totale dei rifiuti urbani e speciali, il 79,4 %, un valore molto superiore alla media europea (48,6%). I rifiuti urbani sono solo il 15% dei rifiuti e sono riutilizzati all'80%... Questo ci permette di risparmiare 23 milioni di tonnellate di petrolio l'anno, la stessa quantità di gas che prendevamo dalla Russia e l'emissione di 63 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>. Poiché siamo abituati da secoli alla mancanza di materie prime, il nostro modo di fare impresa è anche il frutto della necessità di fare i conti con i nostri limiti ... e la strada già tracciata per il futuro del Made in Italy lo dimostrano le 441.000 imprese che hanno investito negli ultimi 5 anni in tecnologia e prodotti green e sono quelle che innovano di più, esportano di più e producono più posti di lavoro».

In Italia siamo dunque grandi riciclatori di carta, vetro, plastica, acciaio, ecc., ma *siamo molto indietro nel recupero e riciclaggio dei RAEE*, i residui di apparecchiature elettriche ed elettroniche (Figura 6): ne raccogliamo appena il 37% di quelli che produciamo, molto al di sotto dell'obiettivo proposto dall'UE, il 65%.

Eppure, queste sono diventate apparecchiature strategiche perché fonti di preziosi minerali come quelli critici. In particolare, di quelle 34 materie prime critiche selezionate dall'UE con il Critical Raw Materials Act (CRM) il 16 marzo 2023, molte sono recuperabili attraverso i RAEE e la UE stabilisce che il 15% del loro consumo dei Paesi dell'UE debba arrivare proprio dal riciclo.

<sup>22</sup> Fiammetta Cupellaro, *Siamo i campioni del riciclo*, «La Repubblica», 3 giugno 2023.



**Figura 6.** Esempi di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)

Lo studio di The European House Ambrosetti, commissionato da Erion<sup>23</sup>, presentato recentemente a Roma, sostiene che dalle materie prime critiche dipendono ecosistemi industriali di un valore di 686 miliardi di euro, il 38% del PIL italiano. Ne consegue che, *senza l'apporto delle materie prime critiche non ci può essere una transizione ecologica, in particolare energetica.*

Giorgio Arienti, direttore generale di Erion, afferma che “Dalle nostre case escono almeno 720.000 tonnellate l'anno di RAEE, a noi ne arrivano circa 360.000, le altre scompaiono nel nulla<sup>24</sup>. Una parte va nelle discariche abusive, una parte importante salpa dai nostri porti in modo illegale<sup>25</sup>, diretta verso Paesi in via di sviluppo, dove viene smaltita in maniera poco rispettosa per gli addetti alla lavorazione e per l'ambiente”.

I piccoli RAEE (cellulari, tablet, console, chiavette Usb, ecc.), le apparecchiature di maggior interesse ricche di materie prime critiche, vengono dimenticate nelle nostre case o si gettano insieme ai comuni rifiuti<sup>26</sup>. Sempre secondo lo studio Ambrosetti, se in Italia si raggiungesse lo standard europeo di recupero e trattamento dei RAEE (il 65%), potremmo recuperare 17.000 tonnellate di materie prime critiche corrispondenti a circa il 25% di quelle che abbiamo importato dalla Cina nel 2021.

<sup>23</sup> Erion è il Consorzio costituito dai produttori per la raccolta e gestione dei RAEE.

<sup>24</sup> Rosaria Amato, *Metà dei rifiuti elettrici scompare nel nulla*, «La Repubblica A&F», 19 giugno 2023.

<sup>25</sup> Per legge si possono esportare solo apparecchiature funzionanti.

<sup>26</sup> I negozi sono obbligati a ritirare i piccoli RAEE, anche in assenza di un acquisto da parte del cliente.



Sui RAEE recuperati c'è anche il problema degli impianti di smaltimento che, oltre a essere pochi, hanno anche lunghissimi iter autorizzativi. Erion, che abbiamo già citato in precedenza, ha presentato nel giugno 2022, per la prima volta, tutti i settori industriali in cui sono coinvolte le materie prime critiche (CRM). Nel nostro Paese sono 26 le CRM indispensabili e, precisamente, si tratta dell'industria aerospaziale (87% del totale), 24 per l'industria energetica (80%), 21 per l'industria elettronica e la automotive (70%) e 18 per l'industria delle energie rinnovabili (60%).

Dallo stesso studio emerge anche la crescente importanza delle RAEE per il recupero di materie prime critiche: la Commissione Europea ne aveva individuate 14 nel 2011, 30 nell'ultimo censimento del 2020 e oggi siamo arrivati a 34, come abbiamo già ricordato.

Dunque, soprattutto in un contesto politico di forte instabilità, la concentrazione di materie prime critiche in Paesi terzi, rende sempre più urgente *concentrare un forte impegno nella produzione domestica delle CRM e i rifiuti delle RAEE rappresentano sempre più la fonte alternativa di approvvigionamento indispensabile*<sup>27</sup>.

In conclusione, citiamo la dichiarazione di Giorgio Arienti, Direttore Generale di Erion, «Come ci mostra lo Studio Ambrosetti, grazie ai RAEE disponiamo già di una miniera urbana quanto mai strategica, ma che stentiamo a valorizzare. Infatti, il mancato contrasto ai flussi illegali, gli ostacoli che i cittadini incontrano nell'attuare comportamenti ambientalmente virtuosi, fino alla carenza impiantistica, fanno sì che ancora oggi si sprechino migliaia di tonnellate di materie prime critiche, cedendole all'estero o lasciando che vadano perse in canali clandestini. Per questo, come Eriola attività di ricerca, chiediamo da tempo alle istituzioni azioni migliorative, in cui il rifiuto non sia visto come semplice scarto, ma come una risorsa di valore da cui dipende lo sviluppo economico di settori chiave del nostro Paese».

La Società Chimica Italiana (SCI) il 30 maggio scorso ha inviato ai soci che si occupano di materiali critici un questionario per raccogliere informazioni su chi si occupi del settore e svolga attività di ricerca.

Una nota per concludere: è largamente noto che da tempo il sito metallurgico di Portovesme, in Sardegna, che produceva zinco e altri metalli, è entrato in crisi per effetto del caro energia, ma notizie recenti sostengono che dovrebbe ripartire avviando la produzione di litio ricavato dal "tritato nero" delle batterie a fine vita. La riconversione dovrebbe avvenire in tre anni<sup>28</sup>. Cosa dire? Se son rose... fioriranno!

<sup>27</sup> The European House, *Gli scenari evolutivi delle materie prime critiche e il riciclo dei prodotti tecnologici*, Comunicazione giugno 2022, Roma. Rosaria Amato, *Cellulari e lavatrici, una miniera in città*, il «Venerdì di Repubblica», 16 giugno 2023.

<sup>28</sup> Diego Longhin, *L'ultima scommessa di Portovesme, un centro per il riciclo del litio*, «La Repubblica», 28 maggio 2023.