

IL PROBLEMA DELLE MATERIE PRIME CRITICHE PER LA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Autori:

Alessandro Zini, Roberta Roberto, Patrizia Corrias, Bruna Felici

Il problema delle materie prime critiche per la transizione ecologica

Alessandro Zini, Roberta Roberto, Patrizia Corrias, Bruna Felici

marzo 2023 ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

ISBN: 978-88-8286-443-9

Abstract

Il testo si propone come rassegna ragionata, corredata delle informazioni statistiche disponibili, circa il tema delle "materie prime critiche" (*Critical Raw Materials*, CRM), con particolare riferimento alla dimensione della transizione energetica. Si tratta di un gruppo di commodities che sono particolarmente richieste nell'ambito delle tecnologie energetiche a basse emissioni di carbonio, o sembrano in grado di contribuire a diminuire i consumi energetici nell'attuale, o nel più prossimo, assetto tecnologico, produttivo e commerciale. La scommessa dell'attuale fase storica sta anche nel garantire un adeguato sistema di approvvigionamento di metalli e minerali che in alcuni casi potrebbero rivelarsi disponibili in quantità minori rispetto alla potenziale domanda mondiale. La loro concentrazione geografica pone peraltro nuove questioni alla gestione delle negoziazioni politiche e commerciali tra i paesi, mentre laddove si esprime in aree geografiche turbolente, o caratterizzate dall'assenza di sistemi di tutela - dell'ambiente, della salute e della sicurezza dei lavoratori - richiede l'attenzione al rispetto degli standard minimi di accettabilità etica e sociale. Il volume intende quindi toccare alcuni aspetti di metodo del problema, quali la definizione stessa di "materia prima critica" e il confronto tra le diverse angolazioni - come espresse nelle analisi e classificazioni prodotte da alcuni organismi internazionali - per poi passare a trattare la richiesta di CRM da parte delle tecnologie per la transizione energetica. Segue una disamina della concentrazione geografica mondiale dei metalli e minerali e delle nuove politiche europee in risposta alle difficoltà riscontrate in tema di approvvigionamenti, relazioni industriali e scambi commerciali, senza trascurare alcune problematiche strettamente legate alla realtà italiana.

The paper is a critical review of 'Critical Raw Materials' (CRMs), with particular reference to the energy transition dimension. Critical Raw Materials are a group of commodities that are particularly needed for low-carbon energy technologies, and in applications that can contribute to lower energy consumption in the current, or near future, technological, production and commercial set-up. The challenge of the current historical phase also lies in ensuring an adequate supply system of metals and minerals that in some cases may turn out to be available in smaller quantities than the potential world demand. Their geographical concentration also poses new questions to the management of political and trade negotiations between countries. In geographical areas that are turbulent or characterized by the absence of protection systems - for the environment, health and safety of workers - the supply of metals and minerals requires attention to compliance with minimum standards of ethical and social acceptability. The paper therefore intends to address some methodological aspects of the problem. Firstly, the definition of 'critical raw material' and the comparison between the different points of view expressed in the analyses and classifications produced by some international bodies. Next, the demand for CRM from energy transition technologies is analyzed. This is followed by an examination of the world geographical concentration of metals and minerals and the new European policies in response to the difficulties encountered in terms of supplies, industrial and trade exchanges, without neglecting some issues closely linked to the Italian reality.

Indice

Indice	1
Indice delle figure	2
Indice delle tabelle	3
1. Introduzione.....	4
2. La definizione operativa di “materia prima critica”.....	7
3. Materie prime critiche: classificazioni e analisi	12
3.1 Analisi della Commissione Europea	14
3.2 Analisi dell’Agenzia Internazionale per l’Energia	18
3.3 Analisi della Banca Mondiale	20
3.4 Altri studi	22
4. Il processo di transizione energetica e l’utilizzo di materie prime critiche.	24
5. La distribuzione geografica mondiale delle materie prime critiche.	29
6. La strategia dell’Europa	37
7. La situazione dell’Italia.	48
8. Osservazioni conclusive.	53
Acronimi e abbreviazioni	60
Riferimenti bibliografici	61
APPENDICE	67
Andamento dei prezzi dei metalli critici per la transizione energetica.....	67
Caratteristiche e impieghi di una selezione di materie prime critiche rilevanti per il processo di transizione energetica.....	68

Indice delle figure

Figura 1. Classificazione degli “ecosistemi industriali” in base all’esposizione al rischio di disponibilità medio delle CRM di pertinenza	16
Figura 2. Fabbisogno medio globale di materie prime per una selezione di tipologie di veicoli	26
Figura 3. Fabbisogno medio globale di materie prime per selezione di tecnologie per la generazione di energia elettrica	27
Figura 4. Media delle quote di mercato mondiali nelle CRM implicate nelle energie rinnovabili e nelle tecnologie <i>low-carbon</i>	30
Figura 5. Materie prime critiche della Federazione Russa nel 2020: posizione nel mercato globale (in azzurro) e quota percentuale di produzione ³⁰ (in arancio)	40

Indice delle tabelle

Tabella 1. Materiali ed elementi critici considerati in diversi studi analizzati.....	12
Tabella 2. Elenco delle 30 materie critiche ^(*) individuate dalla Commissione Europea	17
Tabella 3. Minerali e materiali per la transizione energetica analizzati dalla IEA	20
Tabella 4. Materie critiche analizzate dalla Banca Mondiale - matrice di rischio al 2050	22
Tabella 5. Fabbisogno di materie prime critiche per tecnologia e livello di criticità ^(*) .	28
Tabella 6. Quote mondiali detenute dai primi quattro paesi rispetto alle riserve stimate al 2021 e alla produzione nel 2021.....	31
Tabella 7. Stima delle riserve mondiali al 2021	32
Tabella 8. Principali materie importate dall'UE dalla Russia al 2020	41
Tabella 9. Saldi commerciali per l'Italia nei settori/tecnologie <i>low-carbon</i>	49
Tabella 10. Prezzi ^(*) dei metalli della transizione energetica e di altre materie prime.	67

1. Introduzione

I recenti avvenimenti nello scenario internazionale hanno riportato all'attenzione degli studiosi questioni che sembravano superate dal corso della storia. Una ricorrente narrazione della modernità, quella dell'"immaterialità" dell'economia, è stata duramente messa alla prova da episodi di diversa natura, come il blocco del Canale di Suez nel 2021, o da eventi epocali come la pandemia da Covid-19, che in comune sembrano avere almeno la peculiarità di mostrare insieme l'importanza e la fragilità delle catene globali di approvvigionamento, l'interdipendenza delle regioni del mondo e quanto siano rilevanti nell'esistenza quotidiana alcuni beni "fisici" impiegati nella produzione. Dal canto suo, la guerra Russo-Ucraina, introducendo un ulteriore input di turbolenza nel modello della globalizzazione, ha esasperato l'attenzione della politica internazionale verso il controllo delle risorse energetiche mondiali.

Ciò che appare evidente in questa fase storica è il consolidamento di un nuovo corso nelle relazioni internazionali in cui il modello della intensificazione e della liberalizzazione degli scambi commerciali, fondato sull'ipotesi della convenienza a specializzarsi nelle produzioni nelle quali si possiede un vantaggio comparato - ancora ben lungi dall'essere superato, come dimostra l'aumento costante dell'interscambio mondiale - deve fare comunque i conti con valutazioni più spiccatamente politiche e di ampio orizzonte temporale.

Paradossalmente, anche il paradigma emergente dell'industria 5.0¹ e il processo di transizione energetica - se ci si limita a considerarne solo l'aspetto squisitamente tecnologico - non sono in grado di eludere il problema dello sfruttamento delle risorse e di una significativa domanda di beni fisici, sotto forma di "materie prime critiche". L'aumento dei prezzi internazionali dei metalli della transizione energetica negli ultimi dieci anni non trova riscontro in nessuna altra classe di materie prime, che siano energetiche, alimentari o metalli preziosi². A sua volta, nelle relazioni tra i singoli stati, il problema del controllo della disponibilità di detti beni apre scenari di non facile previsione, in un susseguirsi di spinte cooperative e competitive, quando non conflittuali.

Una visione prospettica pare allora necessaria per rispondere ad alcune istanze. Si tratta di comprendere quali sono gli "ingredienti" delle tecnologie *low-carbon*; in quali quantità fisiche sono reperibili in natura, e a quali costi economici, sociali ed ambientali; se si dispone di una mappa geologica nazionale sulle riserve potenziali;

¹ Il paradigma emergente nelle politiche comunitarie europee sembra essere quello dell'Industria 5.0, *umanocentrica, sostenibile e resiliente*. Gli estensori di un *policy brief* della Commissione Europea sostengono la necessità di travalicare l'attuale paradigma di crescita economica e una visione di corto respiro del capitalismo, poiché non aiuterebbe il mondo a raggiungere gli obiettivi dello sviluppo sostenibile (Renda et al., 2022).

² Dai dati del Fondo Monetario Internazionale (<https://data.imf.org>), riportati in Tabella 10 si evince che dal 2013 al 2022 l'indice composito dei prezzi *Metal Transition Index* è cresciuto del 40% circa, più di quello relativo alle altre categorie di *commodities*, come quelle energetiche (33%), dei metalli preziosi (26%), degli alimentari (21%) e dei metalli nel complesso (17%).

qual è lo stadio della tecnica, e se questa permette di sostituire in tempi ragionevoli un elemento critico con un altro meno critico; quali sono le nazioni che ne hanno la maggior quantità e quali sono gli interlocutori con i quali preferiremmo operare o non operare; se si vuole intensificare la produzione nazionale, importando gallio, silicio, rame e ogni altro elemento necessario per la costruzione di pannelli fotovoltaici, o se invece si preferisce importare il prodotto finito.

Ciascuna di queste valutazioni "politiche" richiede la conoscenza di informazioni, prima di tutto statistico-prospettive, che in questa sede si tenta di riassumere.

Normalmente, nei vari istituti di ricerca, agenzie governative, *think tank*, la classificazione di "materie prime critiche" (CRM, *critical raw materials*) costituisce la conclusione di un complesso processo valutativo. I parametri che di solito vengono vagliati sono di tipo tecnologico, economico, geopolitico e sociale, ma generalmente ciò che accomuna le diverse classificazioni è la considerazione prospettica del rischio di carenza dell'offerta globale e della disponibilità per particolari aree geografiche (singoli stati, comunità economiche, o unioni politiche, come nel caso dell'Unione Europea), nonché della rilevanza strategica per le attività industriali. Molte delle indicazioni riportate in tali documenti, pertanto, divergono sulla base delle caratteristiche del sistema di approvvigionamento e del sistema di relazioni intessute con i maggiori paesi produttori e, in generale, della metodologia di analisi adottata.

La scelta effettuata nella presente esposizione è stata quella di focalizzare l'attenzione su elementi e minerali che paiono allo stato attuale maggiormente implicati nel processo di transizione energetica sostenuto dalla Unione Europea, ovvero quelli maggiormente richiesti nell'ambito delle tecnologie energetiche a basse emissioni, unitamente a quelli utilizzati per avere minori consumi energetici o migliori rendimenti energetici.

Dopo aver illustrato, in forma schematica, le principali caratteristiche che definiscono le materie prime critiche (**Capitolo 2**), nel volume si passa ad un sommario confronto tra i principali elementi utilizzati per l'analisi e la classificazione delle CRM di alcuni organismi internazionali quali la Commissione Europea, l'Agenzia Internazionale per l'Energia, la Banca Mondiale (**Capitolo 3**). Nel **Capitolo 4** e nel **Capitolo 5** l'analisi si indirizza sulla relazione tra le materie prime critiche e gli obiettivi della transizione energetica europea considerando i maggiori elementi di criticità connessi all'aumento della richiesta di materie prime dovuta all'utilizzo di nuove tecnologie. Il problema della concentrazione geografica delle materie prime in alcune aree del pianeta, delle nuove politiche europee in risposta alle difficoltà riscontrate in tema di approvvigionamenti, relazioni industriali e scambi commerciali, è oggetto di trattazione dei **Capitoli 6 e 7**. Il **Capitolo 8** infine propone un focus sulla situazione italiana e sui principali problemi di un paese che, non disponendo di risorse minerarie accertate, deve ricorrere alle importazioni e all'utilizzo delle materie prime seconde, imprimendo una forte spinta all'attività di recupero e riciclo dalla dismissione dei prodotti che contengono le materie prime critiche.

È presente in ogni caso la consapevolezza che la schematizzazione ivi praticata non rende pienamente ragione della complessità delle interdipendenze tecnico-economiche. Men che meno si tratta di un elenco che possa fare i conti con le possibili innovazioni e durare più di qualche anno, a fronte dei progressi nella scienza dei materiali e delle dinamiche economiche.

2. La definizione operativa di “materia prima critica”.

La natura valutativa sottesa al processo di classificazione delle materie prime si riscontra nelle differenti vedute da parte di diversi enti ed istituzioni. Ad esempio, lo studio della Commissione Europea del 2020 (Commissione Europea, 2020), a differenza del rapporto dell’Agenzia Internazionale per l’Energia - IEA (IEA, 2021), non annovera tra le materie prime critiche per la transizione energetica il rame, il nichel, il cromo e lo zinco, indicate invece come critiche da altri studi (vd. **Capitolo 3**). Ancora, la natura valutativa si ravvede nella necessità di un aggiornamento periodico dell’elenco delle materie prime critiche, in ragione del rapido mutamento del contesto di riferimento e della natura fortemente interdipendente delle traiettorie tecnologiche.

Si può comunque tentare di operativizzare il concetto di **materia prima critica** tracciandone le caratteristiche più salienti. Alcune di queste caratteristiche sono peraltro comuni alle materie prime metallifere, altre invece sono maggiormente specifiche. Si tratta di elementi, per lo più legati l’uno all’altro, che vengono di seguito sintetizzati.

- **Basso grado di sostituibilità tecnologica.**

Condizione necessaria, ma non sufficiente, perché una materia prima venga reputata “critica” è la ridotta possibilità di individuare elementi alternativi al suo impiego, almeno in un orizzonte temporale non abbastanza ampio da consentire alle innovazioni tecnologiche di prodotto e di processo di esercitare effetti sulla produzione e commercializzazione di nuove soluzioni.

- **Elevato rischio d’impresa e costo dei nuovi progetti.**

Il settore estrattivo, e le fasi della catena del valore non solo della produzione, ma anche della trasformazione e raffinazione, presentano un’elevata intensità di capitale, un considerevole grado di incertezza, nonché tempi molto lunghi per passare dalla progettazione alla prima produzione, anche per via di complesse procedure nazionali di autorizzazione. Secondo la IEA, occorrono in media 16 anni per passare dalla fase del progetto a quella della prima estrazione delle materie prime critiche (IEA, 2021). Con un particolare riferimento all’Italia, anche *“la ripresa di un’attività mineraria ha bisogno di un tempo variabile tra 5 e 10 anni e, probabilmente, non sarebbe comunque sufficiente a soddisfare le richieste di forniture”* (Fumanti e Demicheli, 2021). I tempi lunghi di realizzazione costituiscono un disincentivo all’investimento minerario e un possibile fattore di aumento dei costi per insufficienza dell’offerta³.

³ Uno studio del 2021 (Boer et al., 2021), tra i primi ad occuparsi estensivamente dell’argomento, riporta una stima econometrica del coefficiente di elasticità puntuale della produzione rispetto al prezzo per quattro metalli in particolare, rame, cobalto, nichel, litio. Nel breve termine (un anno) soltanto per il litio un aumento del prezzo internazionale incentiverebbe un aumento più che proporzionale dell’offerta (con un coefficiente pari a 1,6). Per gli altri tre metalli, invece, l’offerta si rivelerebbe anelastica all’aumento del prezzo (con coefficienti tra 0,35 e 0,71). Diversamente, nel lungo periodo (20 anni), l’elasticità tenderebbe a salire in maniera significativa. In altre parole, i produttori, ancor più di quanto avvenga

Sul piano mondiale, il settore minerario appare generalmente sottocapitalizzato e non sembra esclusa la possibilità, per l'immediato futuro, che i governi di alcuni paesi adottino politiche di sostegno pubblico o che gli operatori economici privati più grandi (ad esempio i giganti dell'industria automobilistica e/o della produzione di batterie) integrino almeno in parte il processo di estrazione mineraria.

- Progressiva diminuzione della qualità degli elementi estratti, con rendimenti marginali decrescenti.

Sussistono criticità anche in ordine alla qualità delle materie prime estratte, non solo alla quantità. Il problema è ben noto alla letteratura. Ad esempio, il tenore in rame delle estrazioni in Cile è diminuito del 30% negli ultimi 15 anni (IEA, 2021). L'estrazione del contenuto di metallo da minerali di qualità inferiore comporta costi aggiuntivi e maggiore consumo di energia, sia per la lavorazione in loco che per le operazioni lungo la catena del valore. La risposta più frequente è quella di ingrandire la miniera. Tuttavia, quanto più profondo è il sito di produzione, maggiori sono i costi e l'energia richiesti. Il processo richiede quindi un'intensità energetica maggiore e costi crescenti proprio mentre la domanda internazionale aumenta, con ulteriore spinta al rialzo dei prezzi.

- Concentrazione geografica e possibile uso a fini di strategia internazionale degli stati.

Le materie prime critiche si connotano per un elevato grado di concentrazione geografica mondiale della produzione. Leggermente minore, ma comunque a livelli elevati, è la concentrazione geografica delle attività di raffinazione. La dipendenza dall'estero di determinate aree geografiche, in particolar modo Unione Europea e Giappone, è conclamata. Ad accentuarla è anche l'emersione sulla scena internazionale, in qualità di utilizzatori, di paesi e regioni del mondo che un tempo giocavano quasi esclusivamente la parte del produttore. In questo quadro si colloca il protagonismo della Cina, espresso da una tendenza strategica nazionale di integrazione verticale dei processi di estrazione, trasformazione e raffinazione, grazie al ruolo delle multinazionali. Alti livelli di concentrazione delle risorse si associano al rischio di interruzione nella catena dell'offerta, per ragioni che vanno da incidentali difficoltà nella logistica e nel trasporto, fino a deliberate azioni come le restrizioni commerciali o l'uso politico negoziale da parte degli stati che ne detengono le quantità maggiori. Viene inoltre considerata in aumento la legittima tendenza dei governi locali ad imporre restrizioni alle compagnie minerarie, *"attraverso codici minerari rielaborati, applicazione di tasse più elevate o verifiche sui requisiti ambientali, talvolta applicando restrizioni alle esportazioni, come in Indonesia o nella Repubblica Democratica del Congo, o introducendo una maggiore percentuale di azionariato statale delle miniere, come in Mongolia"* (Brussato, 2021). Un'altra considerazione, che riguarda la generalità delle attività estrattive di

generalmente in altri settori, richiedono prospettive stabili di crescita dei prezzi per poter avviare o ampliare le attività di estrazione.

minerali, riguarda la supposta instabilità politico-sociale degli stati produttori. Secondo una stima (BMNT 2019, dato relativo al 2017), due su tre di questi si caratterizzano per un particolare livello di incertezza.

- Elevato grado di incertezza nelle stime quantitative e qualitative.

La stima delle riserve mondiali e della loro localizzazione è soggetta a frequenti revisioni e spesso non si dispone di mappe geologiche aggiornate. Contribuisce all'incertezza la stima sulla qualità delle riserve stesse, a sua volta non statica ma funzione anche dell'innovazione tecnologica, se questa è in grado di introdurre nuove tecniche di sfruttamento ad un ragionevole costo, sia economico che ambientale. In alcuni casi (ad esempio per indio, gallio, germanio) il metallo viene ottenuto come sottoprodotto di altri processi, sfuggendo così ad ogni statistica ufficiale. Soluzioni commerciali che impieghino un materiale che è soggetto ad ampie oscillazioni della produzione, e quindi dei prezzi, inglobano un grado d'incertezza elevato per le imprese e per i paesi che vi facciano affidamento. Talvolta si assiste a meccanismi di circolarità, per i quali una diminuzione della domanda può generare una diminuzione dell'offerta e, a sua volta, questa può disincentivare la crescita della domanda per via di prezzi troppo elevati.

- Difficoltà di realizzazione di un mercato aperto. Prevalenza della negoziazione bilaterale nella transazione. Tendenza alla prevalenza del principio della gerarchia e dell'integrazione verticale nelle produzioni nazionali.

Spesso, in questo settore, fattori diversi tra loro paiono cospirare a favore del *market failure*. Accanto alla forte concentrazione geografica della distribuzione delle risorse, si palesa il dominio della scena da parte di formazioni oligopolistiche - compagnie multinazionali, spesso di proprietà statale o a forte compartecipazione pubblica. In queste condizioni il mercato, in quanto tale, non appare capace di realizzare obiettivi di allocazione efficiente delle risorse. A rinforzare questa dinamica è anche talvolta la mancanza di caratteristiche di liquidità dei volumi di offerta e di domanda, per via della rarità in natura degli elementi estratti. Per alcune materie prime sussistono altresì importanti e consolidati mercati internazionali di scambio (tra i principali, il COMEX di New York per l'argento, l'alluminio e il rame, il NIMEX di New York per il platino, l'LME di Londra per i metalli non ferrosi), ma per altre domina l'incertezza statistica sulla quantità e sulla qualità della produzione e delle riserve. In queste circostanze, in misura ben superiore rispetto alla dinamica che si registra nello scambio delle tradizionali commodities energetiche, sembra realizzarsi una situazione nella quale può divenire più conveniente, o semplicemente una pratica obbligata, procedere a transazioni *over-the-counter*, con il prevalere del momento politico-negoziale. Ne sono sintomo il moltiplicarsi di piani di offensiva diplomatica da parte dei paesi importatori, la stessa ricorrente invocazione nei documenti di agenzie governative di "alleanze strategiche" sovra-nazionali o, su un piano pragmatico, la frequente richiesta di allungamento della durata contrattuale. Parallelamente, dal lato dei

principali produttori, si delinea una tendenza che sembra procedere nella stessa direzione di allontanamento dal modello della globalizzazione. Aumenta il ricorso a logiche *make* piuttosto che *buy*, esemplificato dalle strategie cinesi di integrazione verticale dei processi di estrazione, trasformazione e raffinazione.

- **Alta intensità d'uso di risorse naturali (acqua, in particolar modo) e problema delle emissioni atmosferiche. Rischi per la biodiversità.**

Il settore minerario richiede un consumo di grandi quantità di acqua, in particolare durante le fasi di estrazione e lavorazione dei minerali e, a sua volta, può provocare ricadute negative sulla falda idrica (fuoriuscite di sostanze, drenaggio acido, ecc.). A peggiorare il quadro, molte delle materie prime ricadono in aree geografiche nelle quali la pressione sulle risorse idriche è già elevata.

Ad esempio, più del 50% della produzione di litio e rame si concentra in zone come Australia, Cina e Africa, soggette ad eventi estremi come siccità ed alluvioni. Le nuove tecniche di estrazione, come la lisciviazione acida ad alta pressione, richiedono un forte consumo di acqua e generano emissioni ambientali in quantità.

Le pratiche di estrazione del cobalto prevedono l'impiego di esplosivi, che rilasciano agenti contaminanti dannosi per la salute umana ed animale. A sua volta, la diminuzione del tenore metallico che si registra per molte attività estrattive si accompagna alla pratica dell'ingrandimento della miniera e all'aumento delle emissioni ambientali per unità prodotta.

L'argomento pare particolarmente delicato laddove le materie prime siano finalizzate proprio allo sviluppo di un'economia *low-carbon*. Per quanto riguarda poi l'impegno a riprendere o ad intensificare l'attività di estrazione mineraria in ambito europeo, criticità sussistono in merito al rischio di sfruttamento delle aree naturali protette, delle zone vulnerabili e degli ecosistemi fragili. *"Se non si tiene conto delle implicazioni in termini di risorse delle tecnologie a basse emissioni di carbonio vi è il rischio che il trasferimento dell'onere della diminuzione delle emissioni ad altre parti della catena economica possa generare nuovi problemi ambientali e sociali, come l'inquinamento causato da metalli pesanti, la distruzione degli habitat o l'esaurimento delle risorse"* (Commissione Europea, 2020). Un altro problema non trascurabile è quello relativo alla allocazione dei depositi degli sterili e alla loro messa in sicurezza.

- **Accettabilità sociale delle attività di sfruttamento delle materie prime.**

La produzione e la raffinazione di materie prime chiama in causa anche il problema dell'accettazione sociale, in particolar modo delle comunità locali, e la conformità a standard di produzione ambientale e sociale più stringenti, anche in relazione alle condizioni della manodopera impiegata. La tendenza delle nazioni più ricche - USA, Europa, alle quali si è aggiunta recentemente la Cina - è quella di delegare le attività della raffinazione ai paesi meno ricchi. Gli stati produttori possono imporre un costo economico alle aziende minerarie per il rispetto degli standard. Un altro elemento di criticità è la frequente provenienza da zone di guerra (come ad

esempio per il tantalio, estratto dal coltan, in Congo e in Ruanda). Va ricordato come in ambito UE il Regolamento (UE) 2017/821 del Parlamento europeo e del Consiglio, stabilisca obblighi in materia di dovere di diligenza nella catena di approvvigionamento per gli importatori dell'Unione di stagno, tantalio e tungsteno, dei loro minerali, e di oro, originari di zone di conflitto o ad alto rischio (Commissione Europea, 2017a).

3. Materie prime critiche: classificazioni e analisi

Diversi organismi e istituzioni hanno avviato studi per analizzare le dinamiche di disponibilità e domanda delle materie prime. Come indicato in precedenza, le materie prime vengono identificate come "critiche" sulla base della valutazione di parametri di vario tipo, tecnologici, economici, geopolitici e sociali e dell'analisi della loro rilevanza strategica (presente e attesa) per le attività nei vari settori. Mentre dal punto di vista strumentale l'elemento comune è rappresentato dal ricorso al cosiddetto "giudizio esperto", le analisi condotte nei diversi studi utilizzano metodologie di valutazione che differiscono per obiettivo, tipologia di materia considerata⁴, orizzonte temporale, settori economici e industriali di utilizzo e area geografica di interesse, e per la variabilità dei fattori inclusi nell'analisi.

Alcuni studi, ad esempio, sono volti ad analizzare il fabbisogno di materie prime dovuto all'impiego di tecnologie per il raggiungimento degli obiettivi del *Green Deal* nell'Unione Europea, altri per il raggiungimento a livello globale degli obiettivi degli Accordi di Parigi. Alcune analisi includono le disponibilità aggiuntive stimate, mentre altre considerano solo le disponibilità attuali. Anche la valutazione di diversi fattori economici e di rischio differisce tra uno studio e l'altro, e così via. Oltre agli aspetti metodologici, occorre tenere presente alcune criticità implicite, riconducibili principalmente alla difficoltà di reperimento dei dati, alla loro qualità e ai tempi di aggiornamento degli stessi.

Tabella 1. Materiali ed elementi critici considerati in diversi studi analizzati

MATERIALE	EC ¹	EC ²	IEA ³	BM ⁴
acciaio			✓	
afnio	✓	✓		
antimonio	✓			
argento				✓
barite	✓			
bauxite/alluminio	✓	✓	✓	✓
berillio	✓	✓		
bismuto	✓			
borato	✓	✓		
carbone da coke	✓	✓		
cemento			✓	
cobalto	✓	✓	✓	✓
cromo				✓
ferro			✓	✓
fluorite	✓			
fosforo	✓			

⁴ Le materie prime comprendono minerali metallici, minerali industriali e altri materiali (tra cui materiali da costruzione, legno, gomma naturale)

MATERIALE	EC ¹	EC ²	IEA ³	BM ⁴
gallio	✓	✓		
germanio	✓	✓		
gomma naturale	✓			
grafite naturale	✓	✓		✓
indio	✓	✓		✓
litio	✓	✓	✓	✓
magnesio	✓			
manganese				✓
metalli del gruppo del platino	✓	✓		
molibdeno				✓
neodimio			✓	✓
nichel			✓	✓
niobio	✓			
piombo				✓
plastiche			✓	
rame			✓	✓
roccia fosfatica	✓			
scandio	✓	✓		
silicio metallico	✓	✓		
silicio policristallino			✓	
stronzio	✓			
tantalio	✓	✓		
elementi del gruppo delle terre rare	✓	✓		
titanio	✓			
tungsteno	✓			
vanadio	✓	✓		
zinco				✓

¹ Lista delle materie prime critiche secondo il Rapporto del 2020 della Commissione Europea (European Commission, 2020a)

² Lista delle materie prime critiche rilevanti per il settore delle energie rinnovabili secondo il Rapporto del 2020 della Commissione Europea (Tabella 2 in Commissione Europea, 2020)

³ Minerali e materiali necessari per la transizione energetica analizzate dalla IEA (IEA, 2023)

⁴ Lista dei metalli per la transizione energetica (Hund et al., 2020)

Gli elementi e i materiali analizzati nei principali studi considerati nel presente report (European Commission, 2020a; Commissione Europea, 2020; IEA, 2023; Hund et al., 2020) sono riportati in Tabella 1. I vari materiali sono stati valutati come più o meno critici sulla base delle differenti metodologie adottate e degli specifici ambiti di indagine. Si nota in particolare l'assenza del rame tra i materiali considerati critici nelle valutazioni della Commissione Europea.

Al di là delle criticità degli aspetti sopra riportati, che rendono i risultati dei diversi studi di non sempre facile comparazione, la letteratura concorda nell'individuare le materie prime come uno dei principali fattori critici per il raggiungimento degli obiettivi del Green Deal e della transizione energetica.

La nostra analisi si concentra sugli elementi e i materiali critici utilizzati nello specifico nelle tecnologie per un sistema energetico a basse emissioni di carbonio e basato sulle rinnovabili. Il Capitolo 4 fornisce un quadro delle tecnologie necessarie per la transizione energetica e del fabbisogno di materie prime a esse associate. Nei successivi paragrafi del presente capitolo sono invece riportati alcuni dei principali studi sulle materie critiche.

3.1 Analisi della Commissione Europea

La Commissione Europea ha avviato diverse iniziative per affrontare il tema della disponibilità e accessibilità delle materie prime, a partire dalla costituzione del **Raw Materials Supply Group** negli anni '70-'80 del secolo scorso, che hanno portato ad avviare l'Iniziativa dell'Unione Europea per le Materie Prime nel 2008 (European Commission, 2008). Nel settembre del 2020 è stata annunciata la definizione del Piano di Azione europeo sulle Materie Prime Critiche, di cui fa parte la creazione della **European Raw Materials Alliance** (ERMA).

L'iniziativa dell'Unione Europea per le Materie Prime si occupa dell'aggiornamento periodico dell'elenco delle *Critical Raw Materials*, con cadenza triennale, naturalmente assumendo il punto di vista dell'area dei paesi dell'Unione. Nel 2011 è stata pubblicata la prima lista delle CRM (Commissione Europea, 2011), che includeva 14 materie prime critiche. Una seconda lista di 20 materie prime critiche è stata pubblicata nel 2014 (Commissione Europea, 2014). Dopo una revisione della metodologia per stabilire la lista delle materie prime critiche per l'Unione Europea, nel 2017 è stata pubblicata una lista di 27 CRM (Commissione Europea, 2017b) e nel 2020 l'ultimo aggiornamento disponibile, con 30 CRM (European Commission, 2020a).

Nella valutazione delle materie prime, a ciascun elemento viene assegnato un punteggio per il **rischio nell'offerta** (*SR, Supply Risk*) e per l'**importanza economica** (*EI, Economic Importance*). Il rischio nell'offerta viene correlato alla concentrazione geografica della produzione mondiale di materie prime primarie, nonché alla dipendenza dell'UE dalle importazioni, alle restrizioni commerciali nei paesi terzi, alla politica dei paesi fornitori - che comprende anche gli aspetti ambientali e il grado di accettazione sociale delle loro popolazioni - al contributo del riciclo, alla loro sostituibilità. L'importanza economica si collega al peso della singola materia prima ai fini delle attività industriali. In dettaglio, la Commissione Europea definisce "critico" un minerale o metallo che riceva un punteggio di *SR* superiore a 1 ed uno di *EI* superiore a 2,8 (European Commission 2020). L'ultima valutazione della Commissione Europea del 2020 (European Commission 2020) ha interessato 83 materiali singoli, ovvero 66 materie prime comprendenti 63 materiali singoli e 3 materiali raggruppati. Questi ultimi costituiti dagli elementi del gruppo delle terre rare pesanti, dagli elementi del gruppo delle terre rare leggere e dai metalli del gruppo del platino.

Il documento riporta anche i dati del 2020 relativi ai principali Paesi da cui l'UE si approvvigiona di varie materie prime essenziali, unitamente ai dati di produzione interna. Come anticipato, l'analisi ha portato a individuare 30 materiali critici⁵. Essi sono di rilievo per diversi settori economici e applicazioni, tra cui sono presi in considerazione nello specifico: industria aerospaziale e della difesa, industria tessile, elettronica, mobilità/settore automobilistico, industrie ad alta intensità energetica, energie rinnovabili, agroalimentare, salute, digitale, edilizia, vendita al dettaglio, economia sociale/di prossimità, turismo, industrie creative/culturali. Se per ciascuno dei settori industriali si ispeziona congiuntamente il rischio d'offerta medio delle CRM e il numero di materie prime critiche impattanti tra le 30 indicate di rilievo dalla Commissione Europea, si evidenziano i settori maggiormente implicati nella "criticità" (Figura 1, quadrante in alto a destra). Tra questi, l'industria aerospaziale e della difesa, interessata da ben 25 materiali dei 30 CRM che nel loro insieme recano un alto punteggio medio di *Supply Risk* (prossimo a 2,4). Ancora più elevato il rischio nell'offerta per il settore dell'elettronica (*Supply Risk* superiore a 2,4, Figura 1), ma con un numero di materie prime critiche minore (20). A seguire, ancora nel quadrante dei settori maggiormente coinvolti, il gruppo dei trasporti e dell'*automotive*, quello delle industrie ad alta intensità energetica e quello delle energie rinnovabili. In particolare, delle 30 materie prime individuate come critiche nello studio della Commissione Europea, alcune tra le più strettamente correlate allo sviluppo delle rinnovabili presentano alti indici relativi alla valutazione del rischio di fornitura e alla valutazione dell'impatto economico. In dettaglio, si tratta di afnio, bauxite, berillio, borati, carbone da coke, cobalto, gallio, germanio, grafite naturale, indio, litio, metalli del gruppo del platino, scandio, silicio metallico, tantalio, elementi delle terre rare pesanti e delle terre rare leggere, vanadio (vd. Tabella 2 in Commissione Europea, 2020). Da notare che il processo di transizione energetica interessa non solo il settore delle rinnovabili, ma anche gli altri settori connessi all'uso e alla produzione dell'energia tra cui, in particolare: elettronica, mobilità/settore automobilistico, industrie ad alta intensità energetica, digitale ed edilizia.

Nella Comunicazione della Commissione Europea su **"Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità"** (Commissione Europea, 2020) viene evidenziato che, se non si tiene conto delle implicazioni in termini di utilizzo di risorse e di materie prime nell'adozione di tecnologie a basse emissioni di carbonio, vi è il rischio di generare nuovi problemi ambientali e sociali, come l'inquinamento causato dall'estrazione dei metalli, la distruzione degli habitat o l'esaurimento delle risorse. È indicato che il piano d'azione dell'UE per le materie prime critiche dovrà includere le seguenti priorità: lo sviluppo di catene del valore resilienti; l'uso circolare delle risorse, i prodotti sostenibili e

⁵ In elenco: antimonio, fluorite, magnesio, silicio metallico, barite, gallio, grafite naturale, tantalio, bauxite, germanio, gomma naturale, titanio, berillio, afnio, niobio, vanadio, bismuto, elementi delle terre rare pesanti, elementi del gruppo del platino, tungsteno, borati, indio, roccia fosfatica, stronzio, cobalto, litio, fosforo, carbon coke, elementi delle terre rare leggeri, scandio.

l'innovazione; il rafforzamento dell'approvvigionamento e della trasformazione delle materie prime nell'UE; la diversificazione delle forniture da parte di paesi terzi.

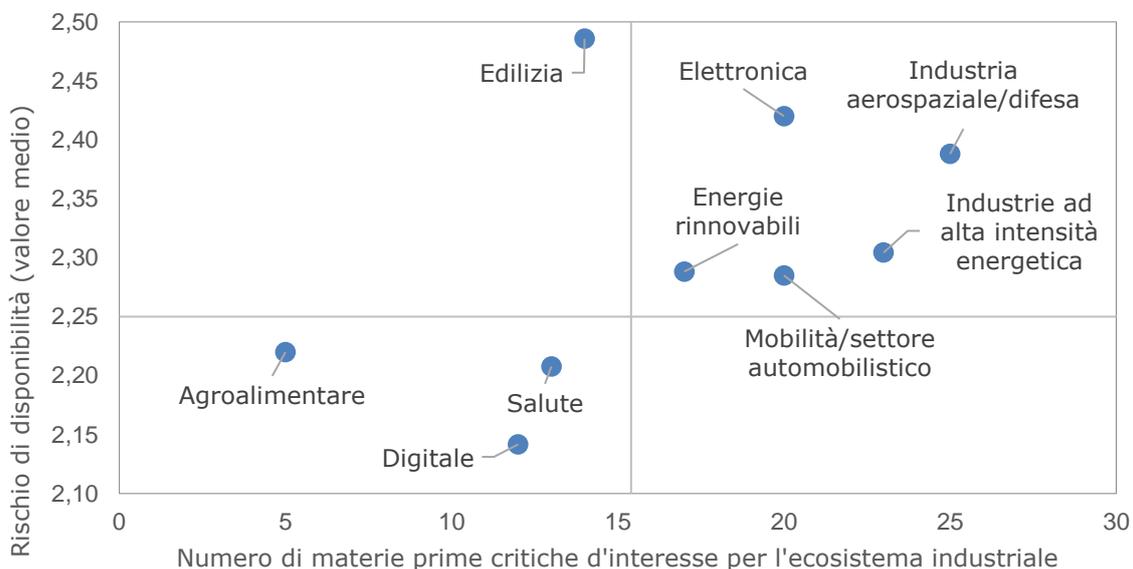


Figura 1. Classificazione degli "ecosistemi industriali" in base all'esposizione al rischio di disponibilità medio delle CRM di pertinenza⁶

La metodologia di valutazione adottata dalla Commissione Europea presenta alcuni limiti, che potrebbero essere superati dalla revisione attualmente in corso per l'elaborazione del nuovo Rapporto sulle CRM, atteso nel 2023. Come indicato in precedenza, sono considerate materie prime critiche quelle che hanno un'elevata importanza economica per l'UE e un elevato rischio di approvvigionamento (European Commission, 2020a). Di conseguenza, i parametri economici (riferiti al mercato e all'industria dell'Unione) sono al centro della valutazione, mentre non sono inclusi altri parametri di tipo sociale e ambientale. A differenza di altre classificazioni, quella della Commissione Europea riveste un carattere di più o meno sistematica periodicità. Non si può escludere sia proprio questo il motivo per il quale l'orizzonte temporale che guida la valutazione paia più limitato alla contingenza. Sembrerebbe infatti maggiormente adatta a descrivere l'attuale situazione dell'offerta, con un maggiore ancoraggio al contesto europeo, senza ridondare in parametri per stimare il rischio che altri materiali, ora non critici, lo diventino. Un esempio è costituito dal litio, che è stato incluso tra le CRM solo quando l'UE ha adottato la strategia di investire in una produzione interna di celle. L'esempio più interessante è costituito dal rame. Grazie alla presenza di forniture diversificate e di una quota di produzione interna, il rame non è incluso tra gli elementi valutati come critici. L'aumento di domanda del rame, a seguito del suo impiego nelle varie applicazioni elettroniche ed elettriche e per lo

⁶ elaborazione degli autori su dati European Commission, 2020a

sviluppo delle reti di trasmissione, lo rende invece, secondo altri studi, uno degli elementi più critici per le tecnologie energetiche.

Tabella 2. Elenco delle 30 materie critiche^(*) individuate dalla Commissione Europea⁷

Materia	SR	EI
Afnio	1.1	3.9
Antimonio	2.0	4.8
Barite	1.3	3.3
Bauxite	2.1	2.9
Berillio	2.3	4.2
Bismuto	2.2	4.0
Borati (boro)	3.2	3.5
Carbone da coke	1.2	3.0
Cobalto	2.5	5.9
Fluorite	1.2	3.3
Fosforite	1.1	5.6
Fosforo	3.5	5.3
Gallio	1.3	3.5
Germanio	3.9	3.5
Gomma naturale	1.0	7.1
Grafite naturale	2.3	3.2
Gruppo platino	2.4	5.7
Indio	1.8	3.3
Litio	1.6	3.1
Magnesio	3.9	6.6
Niobio	3.9	6.0
Scandio	3.1	4.4
Silicio metallico	1.2	4.2
Stronzio	2.6	3.5
Tantalio	1.4	4.0
Terre rare leggere	6.0	4.3
Terre rare pesanti	5.5	4.1

⁷ fonte: European Commission, 2020a, Commissione Europea 2020

Materia	SR	EI
Titanium	1.3	4.7
Tungsteno	1.6	8.1
Vanadio	1.7	4.4

(*) In grassetto le materie maggiormente implicate nelle energie rinnovabili

3.2 Analisi dell'Agencia Internazionale per l'Energia

Gli scenari di evoluzione della domanda di energia e di sviluppo delle tecnologie energetiche per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione dell'Agencia Internazionale per l'Energia (International Energy Agency - IEA) sono alla base della maggior parte degli studi sul fabbisogno di materie prime. Nel complesso si può sostenere che in queste analisi vi sia una particolare attenzione all'integrazione di elementi tecnologici, micro-economici, macro-economici e sociali. Ad esempio, ricevono una certa attenzione considerazioni circa le ipotesi sul tasso di aumento dei prezzi delle CRM, e i possibili feed-back sulla domanda e sull'offerta.

La IEA stessa include nei propri rapporti valutazioni sulla criticità di alcune materie e indica la necessità di differenziare e rafforzare le catene di approvvigionamento, potenziando il riciclo. Recentemente è stato realizzato il **Critical Minerals Policy Tracker**, costituito da un database di politiche e regolamenti da diversi paesi e regioni del mondo (accessibile su <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-policy-tracker>) e da rapporti tecnici periodici (IEA, 2022a). Al momento il database permette di accedere a circa 200 iniziative sviluppate in 25 paesi/aree geografiche riguardanti i minerali critici necessari per la transizione energetica. I tre aspetti chiave analizzati sono: garantire l'affidabilità e la resilienza dell'approvvigionamento; promuovere l'esplorazione, la produzione e l'innovazione; e incoraggiare pratiche sostenibili e responsabili.

Della IEA si segnalano tre studi nell'ultimo anno:

- il rapporto **"World Energy Investment"** (IEA, 2022b), in cui si evidenzia che gli investimenti nell'estrazione mineraria, nella raffinazione e nella lavorazione sono diventati un importante pilastro della transizione energetica e come i minerali critici rischiano di invertire la tendenza al calo dei costi per le tecnologie energetiche pulite;
- il rapporto **"World Energy Outlook"** (IEA, 2022c) in cui viene indicato che i prezzi elevati e volatili dei minerali critici e le catene di approvvigionamento altamente concentrate potrebbero ritardare le transizioni energetiche o renderle più costose. La IEA evidenzia quindi la necessità di definire strategie per avere catene di approvvigionamento di energia pulita diversificate e resilienti, che

includono azioni per aumentare e diversificare le forniture insieme al riciclaggio e ad altre misure per moderare la crescita della domanda;

- il rapporto **"Energy Technology Perspectives"** 2023 (IEA, 2023), ove viene presentata un'analisi dei rischi e delle opportunità inerenti allo sviluppo di un sistema energetico a basse emissioni di carbonio, considerando gli aspetti di sicurezza energetica, resilienza e sostenibilità. In diverse parti del report si analizza la disponibilità di materie prime e le catene di approvvigionamento e produzione, senza però indicare una classificazione in base ai diversi fattori di criticità/rischio e senza seguire una metodologia di valutazione specifica. Vengono distinte due fasi principali nella catena di approvvigionamento relativa ai materiali: l'estrazione di minerali e la produzione di materiali. I principali materiali (e i minerali da cui derivano) vengono ulteriormente distinti in "critici" e "bulk", che possiamo tradurre come "sfusi" (Tabella 3). I materiali critici sono quelli importanti per le tecnologie e le infrastrutture per l'energia pulita e per i quali si potrebbe avere una carenza di approvvigionamento, nel caso non venisse aumentata l'offerta, a fronte della crescente domanda derivante dai processi di transizione energetica. I materiali di tipo *bulk* sono materiali di grande volume prodotti in quantità, pari o superiori a 100 Mt all'anno a livello globale, per cui non si prevede che le transizioni di energia pulita comportino un rischio di carenze di approvvigionamento, in quanto i minerali grezzi necessari per produrli sono relativamente diffusi e abbondanti. Essendo già ampiamente utilizzati nell'energia e in altri settori, non si prevede che le transizioni verso l'energia pulita portino a un notevole aumento complessivo della domanda totale.
- La IEA indica sei raccomandazioni chiave per un approccio globale alla sicurezza mineraria (IEA, 2021): garantire investimenti adeguati in fonti di approvvigionamento diversificate; promuovere l'innovazione tecnologica lungo tutta la catena del valore; aumentare il riciclo; migliorare la resilienza delle catene di approvvigionamento e la trasparenza del mercato; integrare standard ambientali, sociali e di *governance* più elevati; rafforzare la collaborazione internazionale tra produttori e consumatori.

Tabella 3. Minerali e materiali per la transizione energetica analizzati dalla IEA⁸

Minerali critici	rame contenuto nei minerali grezzi litio contenuto nei minerali grezzi (o nelle salamoie) nichel contenuto nei minerali grezzi cobalto contenuto nei minerali grezzi neodimio contenuto nei minerali grezzi
Materiali critici	rame litio (e suoi composti) nichel (e suoi composti) cobalto (e suoi composti) neodimio silicio policristallino
Minerali Bulk	ferro contenuto nei minerali grezzi (per produrre acciaio) alluminio contenuto nei minerali grezzi
Materiali Bulk	acciaio cemento alluminio plastiche

3.3 Analisi della Banca Mondiale

Anche la Banca Mondiale ha avviato attività di studio sul ruolo delle materie prime nello sviluppo dei settori economici e in particolare dell'energia. Nel 2017, è stato pubblicato il rapporto "***The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future***" (Arrobas et al., 2017) in cui viene definito un quadro metodologico per stimare la futura domanda di minerali in un sistema a basse emissioni di carbonio sulla base degli scenari elaborati dalla IEA.

Nel 2020 viene pubblicato un nuovo rapporto, "***Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition***" (Hund et al., 2020), in cui nella stima della domanda di minerali al 2050 viene incluso il ruolo dei miglioramenti tecnologici e del riciclaggio. Sono inoltre analizzati il potenziale di riscaldamento globale di diverse tecnologie a basse emissioni di carbonio rispetto ai sistemi energetici basati su combustibili fossili, mostrando che, anche considerando l'uso maggiore di minerali e di materiali, le tecnologie a basse emissioni di carbonio

⁸ fonte: IEA, 2023

sarebbero responsabili solo del 6% delle emissioni generate da tecnologie dei combustibili fossili.

L'analisi elaborata dalla Banca Mondiale segue un approccio diverso rispetto allo studio della Commissione Europea, in quanto la metodologia non include il rischio di fornitura globale dei singoli elementi. Vengono prese in considerazione le previsioni circa il fabbisogno dei diversi settori industriali, fino al 2050, mentre i fattori d'offerta, a cominciare dalla disponibilità delle risorse naturali, vengono lasciati in ombra. Nello studio pubblicato nel 2020 (Hund et al., 2020) vengono analizzati 17 minerali richiesti per la transizione energetica (alluminio, cromo, cobalto, rame, grafite, indio, ferro, piombo, litio, manganese, molibdeno, neodimio, nichel, argento, titanio, vanadio e zinco). Le tecnologie energetiche considerate per gli scenari al 2050 sono: generazione elettrica da rinnovabili (solare a concentrazione, idroelettrico, geotermico, nucleare, solare fotovoltaico, eolico), sistemi di accumulo (batterie per veicoli, batterie per sistemi distribuiti, accumulo "grid-scale"), generazione elettrica da fonti fossili (centrali a carbone e centrali a gas). Interessante la classificazione dei 17 minerali analizzati secondo una matrice di rischio nella domanda calcolata al 2050 (nello scenario IEA 2-degree⁹) rispetto ai due indici di produzione-domanda e di utilizzo-concentrazione rispetto al 2018. Le 4 categorie individuate sono: minerali a medio-impatto; minerali ad alto impatto; minerali ad alto impatto e *cross-cutting*; minerali *cross-cutting*. In Tabella 4 sono riportate le materie critiche analizzate secondo una matrice di rischio al 2050.

I minerali a medio-impatto sono quelli utilizzati in un numero ridotto di tecnologie e con un incremento di domanda atteso limitato. Appartengono a questo gruppo vanadio, indio, neodimio, titanio, argento e zinco. Per quest'ultimo in particolare si rileva l'impiego in un ampio numero di tecnologie, tanto da avere un indice di utilizzo-concentrazione prossimo a valori del gruppo dei minerali *cross-cutting*.

I minerali ad alto impatto sono i minerali per cui si rileva un elevato incremento della domanda seppur utilizzati in un numero limitato di tecnologie. Ricadono in questa categoria cobalto, litio e grafite, altamente richiesti nelle tecnologie degli accumulatori e a forte sviluppo della domanda mondiale. Proprio in funzione della loro specificità, i cambiamenti nelle tecnologie possono portare a maggiori amplificazioni o a riduzioni della domanda globale di questi tre elementi.

I minerali ad alto impatto e *cross-cutting* sono i minerali con un significativo incremento della domanda e utilizzati in numerose tecnologie. Rientra in questa categoria l'alluminio. Esso appare particolarmente critico, in quanto variazioni nella diffusione delle diverse tecnologie avranno molto probabilmente un impatto minimo sulla domanda complessiva.

I minerali *cross-cutting* sono quelli utilizzati in numerose tecnologie *low-carbon*. Appartengono a questa categoria manganese, cromo, piombo, molibdeno, rame e

⁹ Scenario con almeno il 50% di possibilità di limitare l'aumento della temperatura media globale a 2°C entro il 2100 elaborato da IEA (IEA, 2017)

nicel. Variazioni nella diffusione delle diverse tecnologie avranno molto probabilmente un impatto minimo sulla domanda di questi minerali.

Pur sottolineando che le emissioni di gas serra associate alle tecnologie basate su fonti rinnovabili costituiscono una piccola frazione di quelle associate alle tecnologie dei combustibili fossili, nonostante la maggiore richiesta di minerali, il report considera essenziale limitare l'impronta di carbonio dei minerali necessari per la transizione energetica, anche per contribuire a stimolare la crescita economica e ridurre i rischi ambientali nei paesi in via di sviluppo ricchi di risorse.

Tabella 4. Materie critiche analizzate dalla Banca Mondiale - matrice di rischio al 2050¹⁰

Minerali ad alto impatto	cobalto, litio, grafite
Minerali ad alto impatto e cross-cutting	alluminio
Minerali a medio impatto	argento, indio, neodimio, titanio, vanadio, zinco
Minerali cross-cutting	cromo, manganese, molibdeno, nichel, piombo, rame

La Banca Mondiale ha inoltre avviato la ***Climate-Smart Mining Initiative***, un partenariato pubblico-privato guidato dalla Banca mondiale e dall'International Finance Corporation, per supportare l'estrazione, la lavorazione e il riciclaggio sostenibili di minerali e metalli necessari per garantire l'approvvigionamento di tecnologie a basse emissioni di carbonio e altri settori critici. Gli obiettivi dell'iniziativa includono: la riduzione dell'impronta sociale, ambientale e climatica lungo tutta la catena del valore di tali materiali; l'assistenza tecnica e gli investimenti nei paesi in via di sviluppo ricchi di risorse. Tra le varie iniziative sviluppate si segnala l'applicativo interattivo ***Climate Mineral Explorer*** (<https://climateminerals.org/>) e la recente pubblicazione del Rapporto "***Sufficiency, sustainability, and circularity of critical materials for clean hydrogen***", sviluppato dal gruppo di lavoro Climate-Smart Mining congiuntamente con l'Hydrogen Council (Moreira e Laing, 2022).

3.4 Altri studi

Tra gli studi sulle materie critiche e il loro ruolo nella transizione energetica, troviamo il rapporto della Oeko-Institut (Dolega et al., 2021). Il rapporto analizza i dati disponibili circa la domanda critica di materie prime per le tecnologie della transizione energetica rispetto ad altre applicazioni e il potenziale per la loro sostituzione e riciclo.

¹⁰ fonte: Hund et al., 2020

Il documento indica che la crescente domanda di CRM è solo in parte innescata dal passaggio a tecnologie *low-carbon*, suggerendo una posizione meno allarmista sul tema ed evidenziando che, malgrado il maggior utilizzo di materie prime critiche, le tecnologie *low-carbon* portano a effetti benefici netti per l'ambiente. Il rapporto indica come prioritaria la promozione di attività minerarie che garantiscano l'applicazione di pratiche sostenibili (dal punto di vista ambientale e sociale) e l'adozione di principi di economia circolare e di efficienza nell'uso delle risorse. Nel documento vengono inoltre indicati alcuni strumenti che l'UE dovrebbe adottare per promuovere la riduzione della domanda di CRM attraverso il riciclaggio dei materiali.

Di recente pubblicazione è anche il rapporto redatto dall'Università KU Leuven per Eurometaux **"Pathways to solving Europe's raw materials challenge"** (KU Leuven, 2022). Lo studio include un'analisi della domanda, dell'offerta e della sostenibilità a livello globale ed europeo di una gamma di metalli, distinti in due diversi livelli di analisi. Alluminio, rame, zinco, silicio, nichel, litio, cobalto, elementi delle terre rare sono indicati come metalli fondamentali della transizione energetica, in termini di volumi richiesti e/o importanza per le tecnologie chiave. Per essi è presentata un'analisi completa che comprende la valutazione dei trend di domanda, offerta e aspetti di sostenibilità. Platino, palladio, iridio, scandio, oro, argento, piombo, tellurio, cadmio, molibdeno, manganese, vanadio, gallio, stagno e indio sono indicati come metalli che hanno applicazioni chiave nella transizione energetica, ma che sono utilizzati in applicazioni specializzate o per i quali non ci si aspetta un impatto significativo sul profilo della domanda complessiva. Per essi è presentata una proiezione della domanda, ma senza valutazioni sull'offerta o su elementi di sostenibilità. Tra le conclusioni del rapporto, viene indicato il rischio per la fornitura di rame, litio, nichel, cobalto ed elementi del gruppo delle terre rare nel brevissimo termine, per il raggiungimento degli obiettivi intermedi di decarbonizzazione al 2030.

Il JRC sviluppa e gestisce (in cooperazione con la Direzione generale EU del Mercato interno, dell'industria, dell'imprenditoria e delle PMI) il Sistema Informativo sulle Materie Prime della Commissione Europea (**Raw Materials Information System - RMIS**). Il JRC ha inoltre pubblicato diversi rapporti sulle materie prime e sulle CRM. Tra i principali ricordiamo European Commission, 2020b; Alves Dias et al., 2020 e Carrara et al., 2020. Il primo report in particolare esamina le catene di approvvigionamento di tecnologie utilizzate nei tre settori strategici dell'energia rinnovabile, della mobilità elettrica e della difesa e aerospaziale e fornisce indicazioni e raccomandazioni in merito alle sfide future nella competizione per le risorse.

Ricordiamo infine le analisi dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OECD) e di altri organismi, tra cui la Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE).

4. Il processo di transizione energetica e l'utilizzo di materie prime critiche.

Con il termine transizione energetica intendiamo in questa sede il processo necessario per raggiungere entro il 2050 un sistema energetico caratterizzato da basse o nulle emissioni di gas climalteranti. Tale obiettivo viene definito **Carbon Neutrality** e richiede di passare da un mix energetico basato sui combustibili fossili a uno a basse o a zero emissioni di carbonio basato sulle fonti rinnovabili (ed eventualmente nucleare), in linea con gli obiettivi stabiliti nell'Accordo di Parigi¹¹, al fine di limitare il riscaldamento globale in atto a 1,5-2°C rispetto al livello preindustriale e dal *Green Deal* europeo¹².

Termini come **carbon neutrality**, **sostenibilità** e aggettivi come **green**, **pulito**, **a basso impatto ambientale**, **low-carbon**, sono spesso utilizzati in modo intercambiabile. Essi, tuttavia, indicano obiettivi diversi¹³. Ci preme inoltre ricordare che il concetto di sostenibilità è ampio e articolato e include, oltre alla dimensione ambientale, anche quella sociale e quella economica.

*Il tema della **transizione energetica** è estremamente complesso. La produzione ed il consumo di energia sono intrinsecamente collegati agli altri settori economici, come il settore dei trasporti, l'industria e l'agricoltura, il settore residenziale e così via. Accanto all'evoluzione tecnologica e alle sfide a livello globale e locale, bisogna considerare molteplici fattori: demografici, socio-economici, ambientali e geo-politici, per citarne alcuni.*

In questa sede intendiamo fornire un quadro dei principali elementi di criticità connessi all'aumento della richiesta di materie prime dovuta all'utilizzo di tecnologie per la transizione energetica secondo gli obiettivi del **Green Deal Europeo**, sulla base

¹¹ Accordo di Parigi (https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf). L'Accordo è stato firmato dall'Unione europea il 22 aprile 2016 e ratificato il 5 ottobre 2016 (<https://eur-lex.europa.eu/content/paris-agreement/paris-agreement.html?locale=it>). Pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea disponibile su [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=IT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=IT).

¹² Il Green Deal europeo, lanciato dalla Commissione nel dicembre 2019, è un pacchetto di iniziative politiche per condurre l'UE verso una transizione verde, con l'obiettivo finale di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Il pacchetto comprende iniziative che riguardano il clima, l'ambiente, l'energia, i trasporti, l'industria, l'agricoltura e la finanza sostenibile, tutti settori fortemente interconnessi. Il testo della Comunicazione COM(2019) 640 final del 11.12.2019 è disponibile su <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>. Per maggiori informazioni sul Green Deal e le iniziative incluse: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en e https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_it.

¹³ Parlando di tecnologie, una tecnologia *carbon neutral* è una tecnologia a cui non sono associate nuove emissioni di gas a effetto climalterante (perché non prodotte o perché accompagnate da misure di compensazione/cattura e stoccaggio). I termini *green* e "pulito" sono molto poco specifici, ma suggeriscono la neutralità rispetto ad ulteriori parametri (ad esempio la qualità dell'aria). Anche il termine "a basso impatto ambientale" è spesso usato in modo generalista e improprio, se si pensa alla molteplicità di elementi da considerare e agli ambiti su cui impattano (ad esempio salute e biodiversità).

dei principali studi disponibili. Si rimanda ai testi in bibliografia per approfondimenti specifici.

Un sistema energetico a basse emissioni di carbonio differisce profondamente da uno alimentato da combustibili fossili. Non si tratta solo di una sostituzione di tecnologie e di vettori energetici, ma di un cambio di paradigma nel modo in cui si produce e si consuma l'energia, che prevede l'elettificazione dei consumi e l'adozione di sistemi di generazione distribuita, sistemi di stoccaggio, gestione della variabilità dei flussi e delle curve di domanda/produzione, e così via. Inoltre, i componenti e le tecnologie per la transizione energetica richiedono l'uso di minerali e materiali diversi rispetto ai corrispettivi basati su fonti fossili.

Le catene di approvvigionamento tra sistemi basati su rinnovabili e sistemi basati su fossili sono molto differenti, in particolare le prime necessitano di quantità molto maggiori di materiali critici. Questi includono elementi delle terre rare e altri metalli come rame, nichel, cobalto, manganese, grafite, silicio e minerali del gruppo del platino. I tipi di risorse minerarie necessarie variano a seconda della tecnologia. Le batterie fanno uso di litio, cobalto, manganese e nichel. I magneti in alcune turbine eoliche e motori elettrici richiedono elementi delle terre rare. Le reti elettriche e gli apparecchi elettrici, le attrezzature e i veicoli elettrici richiedono il rame. Gli elettrolizzatori e le celle a combustibile richiedono metalli del gruppo del nichel o del platino, a seconda del tipo di tecnologia.

Fino alla metà degli anni 2010, il settore energetico ha rappresentato una piccola quota della domanda totale per la maggior parte dei minerali critici, mentre oggi le tecnologie per l'energia pulita sono il segmento della domanda in più rapida crescita. Dal 2010 ad oggi la quantità di minerali necessari per nuova unità di capacità di generazione di energia è aumentata in media del 50%, a seguito dell'aumento della quota di nuove tecnologie e di energie rinnovabili. Dal 2016 al 2021 si stima che l'uso di CRM dovuto solo al settore delle *clean technologies* sia aumentato del 20% (IEA, 2023). La domanda di minerali negli ultimi anni è aumentata anche in altri settori industriali (ad esempio litio e cobalto per le batterie nell'elettronica, rame nelle automobili e negli edifici, nichel nelle leghe), ma sta crescendo molto più rapidamente nel settore dell'energia pulita. I dati relativi alle tendenze dei prezzi internazionali dei metalli per la transizione energetica negli ultimi dieci anni, curati dal Fondo Monetario Internazionale e riportati in dettaglio in appendice della presente pubblicazione, segnalano un aumento medio annuo che non ha eguali in nessun altro comparto di materie prime¹⁴.

¹⁴ In particolare, l'indice dei metalli per la transizione energetica (IMF, <https://data.imf.org>) ha conosciuto tra il 2013 e il 2022 - periodo storico di bassa inflazione, se si escludono gli ultimi due anni - un aumento medio annuo pari all'11,2%, contro un valore di 3,2% per le materie prime energetiche fossili e 2,7% per le materie prime alimentari. In evidenza la variazione media annua per litio (+40%), vanadio (+21%), cobalto (+19%), palladio (+15%). La tabella in appendice riporta il dato sotto forma di numero indice.

Sebbene ci possa essere spazio per ridurre la quantità di minerali critici e altri materiali attraverso l'innovazione, la domanda globale è destinata a salire con l'accelerazione dei processi di transizione energetica.

A titolo di esempio, in Figura 2 è riportato il fabbisogno medio globale di materie prime per una selezione di tecnologie energetiche tradizionali e *low-carbon*. Sono inclusi elementi delle terre rare, rame, nichel, litio, cobalto, manganese, grafite, silicio e platino, oltre ai materiali sfusi (acciaio, alluminio, cemento, plastica, vetro).

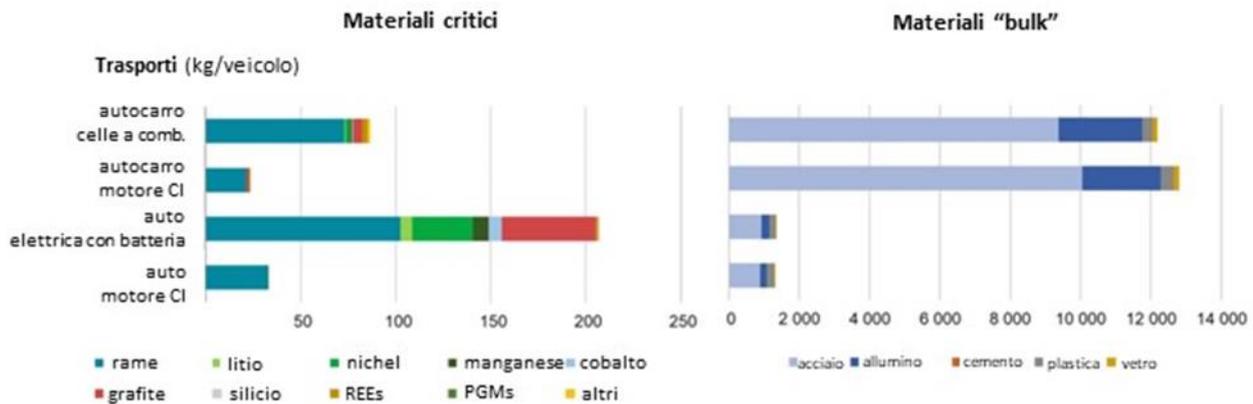


Figura 2. Fabbisogno medio globale di materie prime per una selezione di tipologie di veicoli¹⁵

Escludendo dal conteggio i quantitativi di acciaio, alluminio, plastica e vetro, si osserva che una tipica auto elettrica richiede circa sei volte¹⁶ l'apporto di minerali critici rispetto a un'auto convenzionale, in termini di kg di minerali per ogni veicolo. Oltre a una maggiore quantità di rame e manganese (elementi utilizzati per la fabbricazione delle auto convenzionali), le auto elettriche richiedono anche grafite, nichel, cobalto, litio ed elementi del gruppo delle terre rare.

Guardando agli impianti di produzione di energia elettrica, gli impianti a fonti rinnovabili generalmente richiedono più acciaio, alluminio e, in alcuni casi, cemento per unità di capacità rispetto alle tecnologie di generazione basate sui combustibili fossili (Figura 3). Considerando i materiali critici, ad esempio, la costruzione di un impianto eolico *onshore* richiede risorse nove volte superiori rispetto a un impianto a gas a parità di potenza installata. Oltre a una maggiore quantità di rame, cromo e nichel, gli impianti eolici necessitano di zinco, manganese, molibdeno e elementi del gruppo delle terre rare. Da considerare che un confronto più significativo andrebbe fatto a parità di energia prodotta e di non di potenza installata. Gli impianti alimentati

¹⁵ Fonte: IEA, 2023

¹⁶ La produzione di una batteria da 55 kWh e dei sistemi associati per un'auto elettrica di piccola taglia richiede circa oltre 200 kg di minerali critici, tra cui rame, litio, nichel, manganese, cobalto e grafite, rispetto ai soli 35 kg di rame per il gruppo propulsore di una vettura con motore a combustione interna di caratteristiche simili (IEA, 2023).

da fonti rinnovabili non programmabili generano infatti meno energia rispetto a quelli alimentati da fonti fossili, in quanto sono in funzione tipicamente per un numero di ore inferiore.

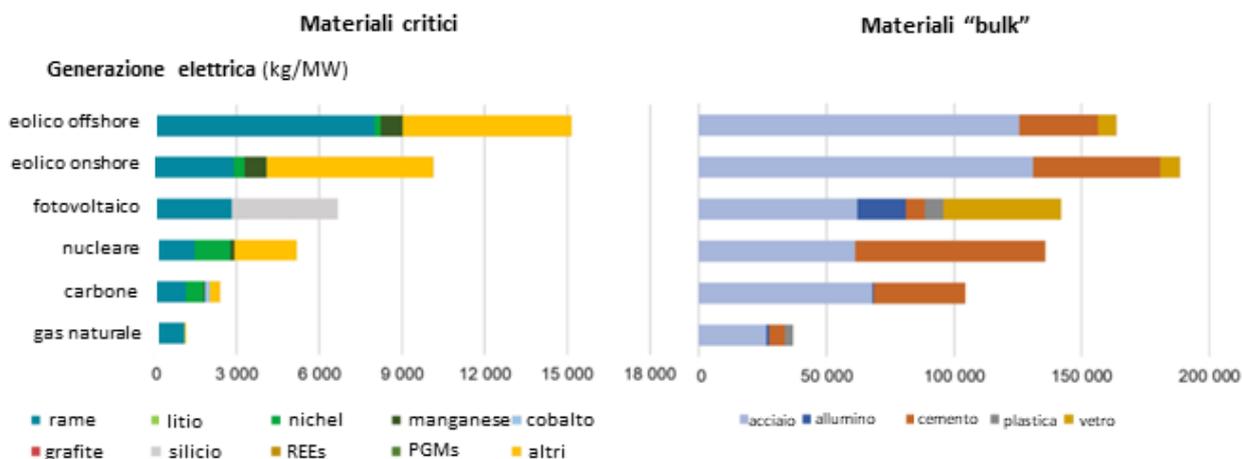


Figura 3. Fabbisogno medio globale di materie prime per selezione di tecnologie per la generazione di energia elettrica¹⁷

Nello scenario elaborato dalla IEA per il raggiungimento degli obiettivi dell'accordo di Parigi, nel 2040 le tecnologie energetiche pulite saranno responsabili di oltre il 40% della domanda totale di rame ed elementi delle terre rare, del 60-70% di nichel e cobalto e di quasi il 90% di litio. In tale scenario, le tecnologie energetiche arriveranno a quadruplicare la domanda di minerali rispetto ad oggi, mentre nello scenario di transizione ad un sistema a emissioni nulle di carbonio la domanda sarebbe sei volte maggiore rispetto a quella attuale. A seconda delle traiettorie di sviluppo tecnologico e di evoluzione delle politiche energetiche e ambientali, l'aumento della domanda dei singoli minerali mostra significative variazioni nelle stime rispetto ai valori qui riportati, confermando comunque la criticità del ruolo delle materie prime.

In Tabella 5 è rappresentato il fabbisogno di materie critiche delle principali tecnologie per la transizione energetica (fotovoltaico, eolico, idroelettrico, solare a concentrazione, bioenergie, geotermico, nucleare, reti di trasmissione, veicoli elettrici e batterie, idrogeno). Il livello di criticità secondo le valutazioni della IEA (IEA, 2021) è indicato dai simboli "+", in cui al simbolo "+++" corrisponde un livello di criticità alto, a quello "++" un livello intermedio e a "+" un livello basso.

¹⁷ Fonte: IEA, 2023

Tabella 5. Fabbisogno di materie prime critiche¹⁸ per tecnologia e livello di criticità^(*)

	FV	eolico	idro	CSP	bio	geo	nucleare	reti	EVs e batterie	H ₂
rame	+++	+++	++	++	+++	+	++	+++	+++	+
cobalto	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+
 nichel	+	++	+	++	+	+++	++	+	+++	+++
litio	+	+	+	+	+	+	+	+	+++	+
REE	+	+++	+	+	+	+	+	+	+++	++
cromo	+	++	++	+++	+	+++	++	+	+	+
zinco		+++	++	++	++	+	+	+	+	+
PMG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+++
alluminio	+++	++	++	+++	++	+	+	+++	+++	++

(*) Livello di criticità: +++ = alto; ++ = moderato; + = basso

Sulla base delle analisi riportate in letteratura e qui brevemente illustrate, si ritiene che, oltre ai diciassette minerali¹⁹ indicati come critici per la produzione di energia da fonti rinnovabili dalla Commissione Europea (Commissione Europea, 2020), ulteriori sei elementi siano da considerare critici per la transizione energetica: rame, magnesio, niobio, stronzio, tungsteno e titanio.

¹⁸ Fonte: IEA, 2021

¹⁹ afnio, bauxite, berillio, borati, carbone da coke, cobalto, gallio, germanio, grafite naturale, metalli del gruppo del platino, indio, litio, scandio, silicio metallico, tantalio, elementi delle terre rare leggere e pesante, vanadio

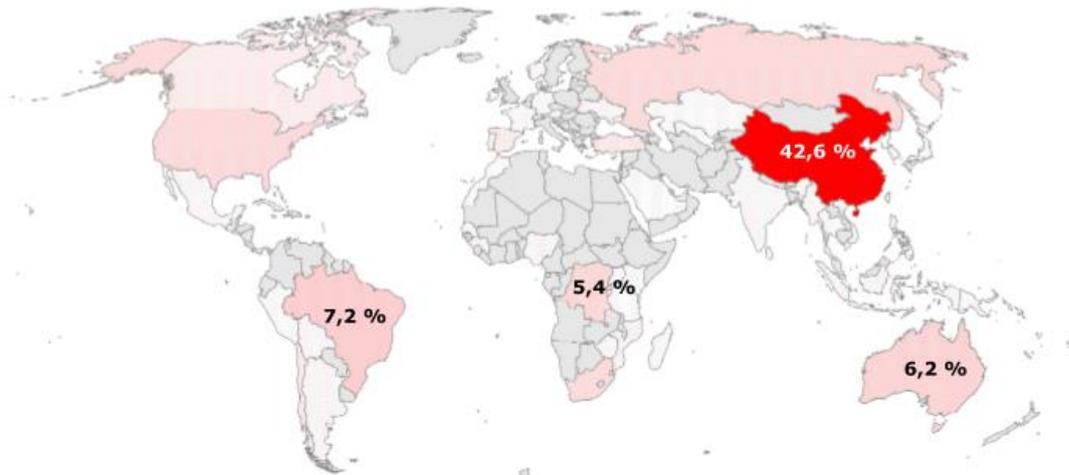
5. La distribuzione geografica mondiale delle materie prime critiche.

La mappa riportata in Figura 4 (elaborata da dati USGS 2022, relativi al 2021) restituisce una misura della concentrazione geografica per le CRM di maggior interesse. Sia che si guardi al dato della produzione nel 2021 (parte a), sia che si guardi a quello relativo alla stima delle riserve mondiali al 2021 (parte b), la concentrazione geografica della ricchezza in termini di materie prime è di tutta evidenza.

In ordine alla produzione, la Cina, con il 43% circa, si pone in netto dominio rispetto a tutti gli altri. Il dominio cinese è dato anche dall'ampiezza della gamma di CRM a disposizione: gallio, germanio, indio, magnesio, grafite naturale, scandio, silicio metallico, titanio, tungsteno, vanadio, terre rare. Il Brasile, decisamente distaccato (7,2%), occupa il secondo posto, ma con una specializzazione nella produzione di un elemento di forte rilievo sia in termini di importanza economica che di rischio d'offerta, il niobio (88% della produzione mondiale nel 2021, secondo USGS). L'Australia detiene una quota di produzione intorno al 6%, con una discreta gamma di specializzazione in terre rare, litio, bauxite, cobalto e afnio. Seguono, con una quota media intorno al 5%, Repubblica Democratica del Congo (cobalto e tantalio), Federazione Russa (al primo posto per la produzione di palladio, con una buona estrazione di scandio e vanadio, e una più modesta, pari al 5% mondiale, di cobalto), USA (terre rare e berillio, rispettivamente il 15% e il 65%), Sudafrica (posizione dominante nel campo dei metalli del gruppo del platino, ad eccezione del palladio).

Se invece si pone l'attenzione al dato relativo alle riserve stimate (Figura 4, parte b), balza all'evidenza come la diffusione geografica dei diversi elementi che compongono le CRM sia di interesse maggiore. La Cina resta ancora il primo paese, ma la quota stimata è intorno al 18%, contro il 43% circa di quella relativa alla produzione 2021. Maggior rilievo assume anche il potenziale di paesi come il Brasile e l'Australia. Se tuttavia si osservano le stime per singola materia critica, laddove la disponibilità statistica lo consenta, quasi sempre le riserve stimate mostrano un indice di concentrazione (la somma delle quote detenute dai primi quattro paesi) superiore a quello che si riferisce alla produzione corrente. Allo stato attuale, soltanto nel caso del litio e delle terre rare si potrebbe parlare di una potenziale diminuzione della concentrazione geografica resa dal possibile contributo di paesi che attualmente non occupano i primissimi posti della graduatoria della produzione.

a) Produzione al 2021



b) Riserve stimate al 2021

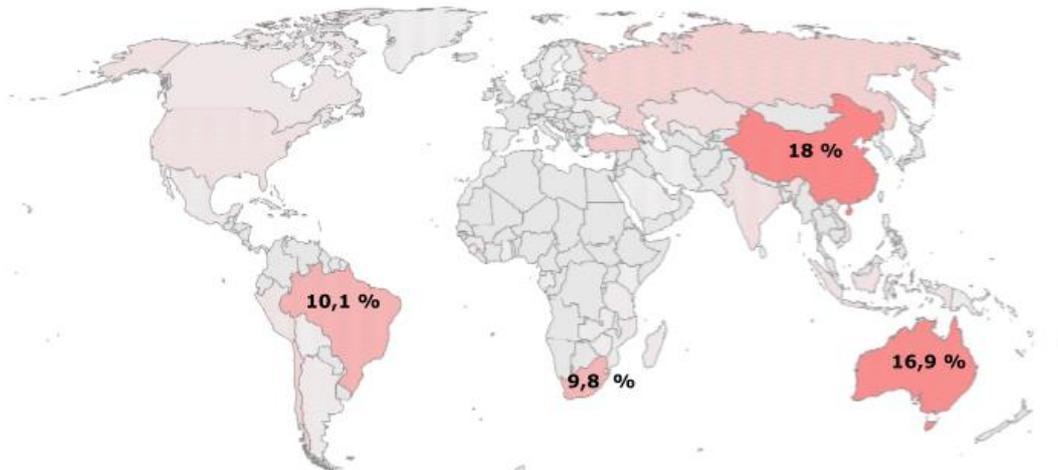


Figura 4. Media delle quote di mercato mondiali nelle CRM implicate nelle energie rinnovabili e nelle tecnologie *low-carbon*²⁰

In Tabella 6 sono indicate le quote dei materiali (in percentuale sul totale mondiale) detenute dai primi quattro paesi, rispettivamente per le riserve e la produzione al 2021. Per un dato più dettagliato sulla stima delle riserve potenziali si guardi alla Tabella 7, in cui è riportata una stima delle riserve mondiali al 2021.

²⁰ Fonte: USGS, 2022

Tabella 6. Quote mondiali detenute dai primi quattro paesi rispetto alle riserve stimate al 2021 e alla produzione nel 2021²¹

Materiale	Riserve	Produzione
Afnio	98,50%	76,70%
Bauxite	80,50%	79,50%
Borato	97,90%	89,00%
Cobalto	85,20%	70,70%
Cromo	97,60%	94,50%
Litio	94,30%	96,60%
PGM	99,40%	90,60%
Rame	62,80%	49,30%
Tantalio	99,00%	81,00%
Terre rare	86,60%	92,50%
Vanadio	99,30%	98,00%

²¹ Fonte: USGS, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf>

Tabella 7. Stima delle riserve mondiali al 2021²²

	Afnio	Bauxite	Borato	Cobalto	Cromo	Grafite	Litio	Magnesio	Manganese	Molibdeno	Nichel	Niobio	PGM	Rame	Tantalio	Terre rare	Titanio *	Tungsteno	Vanadio	Zinco
Arabia Saudita	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Argentina	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,2%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Armenia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Austria	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%
Australia	71,7%	18,1%	0,0%	19,9%	0,0%	0,0%	28,9%	0,0%	18,1%	0,0%	22,0%	0,0%	0,0%	10,6%	70,1%	3,2%	22,9%	0,0%	24,8%	27,5%
Bolivia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%
Brasile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	21,6%	0,5%	2,1%	18,1%	0,0%	16,8%	90,0%	0,0%	0,0%	29,9%	16,8%	6,1%	0,0%	0,5%	0,0%
Canada	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	2,1%	9,0%	0,4%	1,1%	0,0%	0,7%	4,4%	0,0%	0,0%	2,2%
Cina	0,7%	3,4%	1,8%	1,1%	0,0%	22,5%	7,6%	84,5%	3,6%	51,7%	2,9%	0,0%	0,0%	3,0%	0,0%	35,3%	32,9%	51,4%	39,3%	17,5%
Cile	0,0%	0,0%	2,6%	0,0%	0,0%	0,0%	46,6%	0,0%	0,0%	8,7%	0,0%	0,0%	0,0%	22,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Cuba	0,0%	0,0%	0,0%	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Corea del Nord	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%
Filippine	0,0%	0,0%	0,0%	3,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Finlandia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gabon	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Ghana	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Giamaica	0,0%	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Groenlandia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Guinea	0,0%	25,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
India	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	17,6%	2,5%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,5%	12,1%	0,0%	0,0%	3,6%
Indonesia	0,0%	4,1%	0,0%	8,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	22,0%	0,0%	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Iran	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Israele	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

²² Fonte: USGS: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf>

Tabella 7. Stima delle riserve mondiali al 2021²³ (segue)

	Afnio	Bauxite	Borato	Cobalto	Cromo	Grafite	Litio	Magnesio	Mangane se	Molibden o	Nickel	Niobio	PGM	Rame	Tantalio	Terre rare	Titanio *	Tungsten o	Vanadio	Zinco	
Kazakistan	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	40,4%	0,0%	0,0%	2,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%
Kenia	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Madagascar	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	0,0%	8,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Marocco	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Messico	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	6,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,6%
Mozambico	2,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Norvegia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Papua Nuova Guinea	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Perù	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	8,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,6%
Polonia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Portogallo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Repubblica Dem. del Congo	0,0%	0,0%	0,0%	49,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Russia	0,0%	1,7%	3,0%	3,6%	0,0%	0,0%	0,0%	6,3%	0,0%	2,7%	7,9%	0,0%	6,4%	7,1%	0,0%	16,8%	0,0%	10,8%	20,7%	8,8%	8,8%
Sierra Leone	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Sri Lanka	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Spagna	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Sudafrica	8,5%	0,0%	0,0%	0,0%	35,1%	0,0%	0,0%	0,0%	42,9%	0,0%	0,0%	0,0%	90,0%	0,0%	0,0%	0,6%	4,3%	0,0%	14,5%	0,0%	0,0%
Svezia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%
Tanzania	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Turchia	0,0%	0,0%	89,4%	0,0%	4,6%	27,7%	0,0%	1,6%	0,0%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Ucraina	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
USA	0,7%	0,1%	3,0%	1,0%	0,1%	0,0%	3,8%	0,0%	0,0%	16,8%	0,4%	1,0%	1,3%	5,5%	0,0%	1,4%	0,3%	0,0%	0,2%	0,0%	3,6%

²³ Fonte: USGS: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf>

Tabella 7. Stima delle riserve mondiali al 2021²⁴ (segue)

	Afnio	Bauxite	Borato	Cobalto	Cromo	Grafite	Litio	Magnesio	Mangane se	Molibden o	Nickel	Niobio	PGM	Rame	Tantalio	Terre rare	Titanio *	Tungsten o	Vanadio	Zinco
Uzbekistan	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	9,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Vietnam	0,0%	19,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	17,6%	0,2%	2,7%	0,0%	0,0%
Zambia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimbabwe	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Altri paesi	15,8%	17,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	21,0%	0,0%	0,1%	20,6%	0,0%	0,2%	3,7%	32,5%	0,0%	13,5%

²⁴ Fonte: USGS: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf>

I dati fin qui riportati non esprimono l'effettiva disponibilità delle risorse critiche da parte dei singoli paesi. La dominanza della Cina potrebbe essere superiore se si considera una storia decennale di politiche di investimenti diretti all'estero, come ad esempio in Congo per il cobalto, o in Australia e in America Latina per il litio, ancora in Australia, Congo, Perù e Cile per il rame, in Brasile per la grafite naturale e il manganese, in Australia, Guinea e Indonesia per la bauxite, in Brasile per il niobio (Bonnet et al., 2022). Occorre evidenziare come anche nel campo della raffinazione la Cina detenga una quota di assoluta importanza, per attività operanti sul proprio suolo, anche in ragione di politiche di salvaguardia ambientale meno stringenti che in Europa.

Tra i paesi europei, va sottolineato che il dato relativo alla Francia è probabilmente sottostimato, dal momento che la produzione di afnio, suo punto di forza (più o meno la metà di quello estratto nel mondo), nelle statistiche USGS viene accorpato nella dicitura "altri paesi". Per i transalpini, inoltre, discreta è la produzione di indio (come metallo raffinato, prodotto tuttavia da zinco e minerali di zinco provenienti dall'area extra-UE) e silicio metallico (intorno al 4% mondiale). Altri paesi europei che possono vantare una specializzazione sono Spagna (42% della quota mondiale di stronzio) e Portogallo (con una modesta quota per litio e tungsteno, rilevante tuttavia se si prende in considerazione le dimensioni ridotte del paese). Stessa considerazione per il Belgio (indio), Irlanda (modeste quantità di bauxite), Germania (4% mondiale per il borato e 8% del gallio, dato quest'ultimo stimato dalla Commissione Europea), Austria (tungsteno), Ucraina (in particolare, scandio e titanio).

A sottolineare la complessità e i paradossi del passaggio ad un'economia a zero emissioni, va osservato che il problema dell'insufficienza delle risorse potrebbe riguardare addirittura un paese come la Cina, stante l'impetuoso tasso di crescita della sua economia. L'autosufficienza cinese per quanto riguarda nichel, litio e cobalto è un obiettivo tutto ancora da raggiungere, se è vero che per coprire il fabbisogno nazionale il paese si rivolge alle importazioni rispettivamente per il 93%, il 65% e il 98%, mentre presso le autorità una certa preoccupazione serpeggia guardando alle intenzioni europee e statunitensi di costruire una catena di approvvigionamento a circuito chiuso per la produzione di veicoli elettrici, come ha dichiarato un dirigente dell'Associazione cinese dell'industria dei metalli non ferrosi (Ag. Reuters, 26 agosto 2022). La *Belt and Road Initiative* cinese, interrotta durante gli anni pandemici, a sua volta fortemente temuta da USA e UE, e l'aumento della domanda interna - a cominciare dalla crescente penetrazione dei veicoli elettrici, ancora agli inizi - e una via via maggiore attenzione al problema delle emissioni, sono tutti elementi che richiedono il costante approvvigionamento di materie prime. Il paese, che detiene tuttora la *leadership* nella produzione di catodi per le batterie dei veicoli elettrici, teme il nascente nazionalismo delle risorse e il crescente protezionismo commerciale degli stati. Emblematicamente, tali dichiarazioni riportano l'attenzione al problema del controllo delle risorse nell'immediato futuro. Si può ricordare l'azione legale presso l'Organizzazione mondiale del commercio promossa dall'UE contro il protezionismo

cinese, il blocco delle esportazioni cinese verso il Giappone come misura ritorsiva per controversie territoriali e la concreta possibilità che le CRM diventino crocevia di strategie politiche negoziali internazionali.

6. La strategia dell'Europa

L'Europa possiede una storia di dipendenza dalle altre regioni del mondo per quanto riguarda le materie prime, in particolare per i minerali e metalli, di fatto un mercato tra i meno concorrenziali che si conoscano e con un basso potere del compratore. Nel 2021 il deficit commerciale dell'UE per questo gruppo di prodotti è stato pari a quasi 28 di miliardi di euro²⁵, con un saldo normalizzato fortemente negativo (-0,39)²⁶. Del pari, la dipendenza dei paesi dell'Unione Europea dalle importazioni di prodotti estrattivi impiegati nella transizione energetica è molto alta. Particolarmente forte è relativamente a terre rare, metalli del gruppo del platino e litio (100%); tantalio (99%); cobalto (86%).

In proiezione, la domanda di terre rare utilizzate nei magneti permanenti nell'UE potrebbe decuplicare entro il 2050 (in dettaglio, disprosio, neodimio, praseodimio, samario; fonte: Commissione Europea, 2020). Nel 2030 la stessa Unione avrebbe bisogno, rispetto all'attuale fabbisogno, di una quantità di litio fino a 18 volte superiore e di una quantità di cobalto fino a 5 volte superiore. Per il 2050 si stima una quantità di litio necessaria 60 volte superiore e una di cobalto 15 volte superiore a quella attuale (Commissione Europea, 2020). Tutto questo sembrerebbe prospettare uno scenario in cui l'UE al 2030 possa non essere in grado di soddisfare la domanda di energia eolica e veicoli elettrici (Ambrosetti-ERION, 2022).

Sul piano programmatico l'Unione ha definito una proposta strategica articolata in quattro punti chiave (Commissione Europea, 2020), come di seguito elencati:

- 1) Aumento dell'approvvigionamento da paesi della stessa Unione europea.
- 2) Creazione di catene del valore resilienti per gli ecosistemi industriali dell'UE.
- 3) Approvvigionamento diversificato da paesi terzi.
- 4) Uso circolare delle risorse, prodotti sostenibili e innovazione.

Il primo punto riguarda regioni europee che "dipendono fortemente dalle industrie carbonifere o ad alta intensità di carbonio e in cui è prevista la costruzione di fabbriche di batterie". Nel documento vengono menzionate le riserve di grafite, litio, cobalto, nichel individuate in Spagna, Germania, Polonia, Austria e Repubblica Ceca. Non si fa ancora riferimento ai grandi giacimenti di litio più recentemente localizzati in Germania.

Si deve osservare che dei quattro individuati dalla CE, il primo punto, mentre può generare per l'UE, nel migliore dei casi, una mitigazione della dipendenza dal resto del

²⁵ Fonte: Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/mainxtnet.do>

²⁶ Elaborazione ricavata dal dato Eurostat sulle esportazioni e importazioni. Il saldo normalizzato è pari al rapporto tra il saldo (esportazioni - importazioni) e l'interscambio commerciale (esportazioni + importazioni). Misura la dipendenza dell'area geografica di interesse dall'estero sotto forma di numero indice adimensionale. È normalizzato tra -1 e + 1, rispettivamente per la massima dipendenza e per la massima autonomia teoricamente raggiungibile.

mondo, è quello forse meno "strategico". Puntare sulla ripresa delle attività estrattive in Europa comporta in ogni caso costi elevati e tempi di attesa non indifferenti. Nei paesi dell'UE è realisticamente bassa la probabilità che le attività estrattive possano essere finanziariamente supportate dai governi, a fronte di politiche di contenimento del debito pubblico. Dal canto loro, gli standard di qualità ambientale europei, tra i più elevati nel mondo, nonché le relative questioni connesse all'accettabilità sociale, costituiscono un limite alle stesse attività di estrazione. Per giunta, questa avverrebbe *"principalmente in regioni molto più densamente popolate rispetto ai maggiori siti estrattivi del mondo"* (Wolf, 2022).

Il secondo punto prevede attività di promozione e sviluppo di alleanze industriali *"aperte a tutti i portatori di interessi rilevanti, compresi gli attori industriali lungo la catena del valore, gli Stati membri e le regioni, i sindacati, la società civile, le organizzazioni di ricerca e tecnologia, gli investitori e le ONG"*. L'obiettivo è dapprima quello di *"aumentare la resilienza dell'UE nella catena del valore dei magneti e delle terre rare"*, per poi comprendere la maggior parte degli ecosistemi industriali dell'UE. Il riferimento alla promozione di strategie di integrazione verticale è esplicito. Centrale sembrerebbe il ruolo della Banca Europea degli Investimenti, chiamata a selezionare i piani di fattibilità da finanziare. Nonostante le migliori intenzioni, anche questo punto chiave si trova a scontare numerosi ostacoli (Wolf, 2022). Anche aumentando l'integrazione dei processi (intervento che comunque presuppone che vi sia una consistente ripresa delle attività estrattive), il vantaggio competitivo dei paesi dell'UE risiederebbe ancora negli ultimi anelli della catena del valore, quelli meno incisivi. Ad esempio, si potrebbe avere un vantaggio di costo nei trasporti, poiché la vicinanza tra i centri di produzione e quelli di consumo europei sarebbe ridotta. In altre parole, l'Europa deve fare i conti con il vantaggio competitivo di altri paesi, a cominciare dalla leadership di costo cinese, basata sul minor costo del lavoro e su una generale minore attenzione agli standard sociali e ambientali, nonché sulle economie di scala permesse dal gigantismo d'impresa, a sua volta spesso espressione di un capitalismo di stato.

In linea generale, puntare su strategie di differenziazione, anziché sul contenimento dei costi, dovrebbe essere la risposta europea quando si parla di "catene del valore", soprattutto per prodotti rispetto ai quali si sconta un ritardo tecnologico-commerciale. Per fare un esempio, le batterie per i veicoli elettrici prodotte dagli USA, dall'Europa e dalla Cina, hanno un costo di produzione medio rispettivamente di 169 €/kWh, 158 €/kWh e 127 €/kWh (BloombergNEF, 2022). Tuttavia, in questo settore, nelle strategie di integrazione verticale, la risposta dei *competitor* europei sembra piuttosto quella di far valere un maggior *know-how*, soprattutto nei processi di trasformazione. Ecco allora che le batterie prodotte in Europa vengono giudicate di maggior qualità e con maggiori possibilità di personalizzazione (BloombergNEF, 2022)²⁷.

²⁷ Attualmente impianti di produzione (c.d. gigafactory) di batterie al litio esistono in Germania, Polonia, Ungheria e, al di fuori dell'UE, nel Regno Unito, Serbia e Norvegia. Il Progetto Comune Europeo sulle batterie (IPCEI) prevede l'installazione di circa 30 stabilimenti nel continente, grazie ai quali si stima un aumento della quota di mercato al 2030.

Il terzo e il quarto punto meritano una trattazione più estesa.

Lo strumento dell'approvvigionamento diversificato da paesi terzi è volto a ridurre il rischio di fornitura semplicemente diversificando il portafoglio dei paesi produttori e attivando partenariati strategici. Nel documento si fa riferimento ad un'attività di *"previsione strategica al fine di raccogliere dati affidabili ed elaborare scenari relativi all'approvvigionamento, alla domanda e all'utilizzo delle materie prime in settori strategici"*, con espresso rimando alla situazione geopolitica mondiale. Questo rimando alla valutazione geopolitica pare tanto più necessario quanto più si guardi ad eventi come la guerra russo-ucraina, insieme con la pandemia e con il crescere delle tensioni internazionali.

Il conflitto russo-ucraino, e le conseguenze sui rapporti internazionali, interessa regioni del pianeta che rivestono una certa rilevanza nella produzione di materie prime su scala globale. In particolare, significativa risulta essere la produzione di CRM nel vasto territorio della Federazione Russa (Figura 5). La Russia risulta tra i paesi leader nella produzione di 13 tra le materie prime indicate come critiche dalle CE, con una rilevante quota, rispetto al totale mondiale, di palladio (41%), platino (12%) e rodio, che ne fanno uno dei principali produttori mondiali di metalli del gruppo del platino. Ingente anche la quota di produzione di vanadio (23%), titanio (21%), antimonio (17%), scandio (13%). Va segnalato il dato sulla produzione di nichel e rame, che collocano la nazione rispettivamente al 3° e al 4° posto della graduatoria mondiale (con l'8,6% e il 3,9%), di alluminio (con il 6% di quella mondiale) e la significativa quota di nichel di alta qualità (20%) destinato alla produzione delle batterie, settore particolarmente danneggiato dagli effetti della guerra (Unguru et al., 2022a; World Bank Group. 2022). Altre materie prime critiche prodotte nel territorio della Federazione Russa sono vanadio, antimonio, carbone da coke, fosfato, alluminio, germanio, tungsteno, gallio, niobio e cobalto. Allo stato attuale, leggermente meno consistente rispetto alla produzione, ma ancora di rilievo, appare il peso della Federazione Russa se si guarda alle riserve stimate di questi elementi.

La produzione di materie prime estratte dal territorio dell'Ucraina ha quote decisamente inferiori alla Russia. Ragguardevole è la produzione ucraina di titanio (5° produttore mondiale), mentre si segnala, con quote minori, l'estrazione di manganese, uranio e zirconio (elemento di pregio per la produzione di acciaio). Tra le materie prime non critiche si segnala la produzione del minerale di ferro, che posiziona l'Ucraina tra le prime sei nazioni produttrici del mercato globale²⁸.

La dipendenza dei paesi dell'UE dalla Federazione Russa relativamente alle CRM è sintetizzata dalla Tabella 8, che riporta le materie importate dalla Russia. Sono incluse le materie la cui quota di importazione extra-UE è superiore al 7% e il cui valore delle

²⁸ Va ricordato che l'Ucraina riveste un ruolo fondamentale nella produzione di un elemento chimico che non rientra tra le materie prime, che comprendono metalli, ma nondimeno si è imposto all'attenzione del pubblico non specialista proprio poche settimane a seguire dallo scoppio del conflitto: il neon, fondamentale nell'industria dei chip. Il paese ne detiene una quota della produzione mondiale stimata tra il 45% e il 54%, grazie all'industria dell'acciaio, di cui è un sottoprodotto.

importazioni è superiore a 40 milioni di USD. In particolare, sensibile appare l'esposizione dell'UE in ordine ad elementi come il vanadio, il nichel e il palladio. Tra i prodotti che non rientrano strettamente nel gruppo delle CRM per la transizione energetica, particolarmente pesante è la dipendenza dell'UE dalla Federazione per ghisa e acciaio. L'Ucraina invece ricopre una posizione di rilievo verso i paesi dell'UE per manganese e silicio (entrambi come ferroleghie), nonché diversi prodotti della catena del valore siderurgica – dal minerale di ferro all'acciaio (non legato, acciaio inossidabile, altre leghe). Le quote importate dalla UE dall'Ucraina sono state apprezzabili per ferro e acciaio non legato (32% delle esportazioni totali dell'Ucraina), minerale di ferro (33%), acciaio inossidabile (46%), altri acciai legati (43%), manganese (54%) (Unguru et al., 2022b).

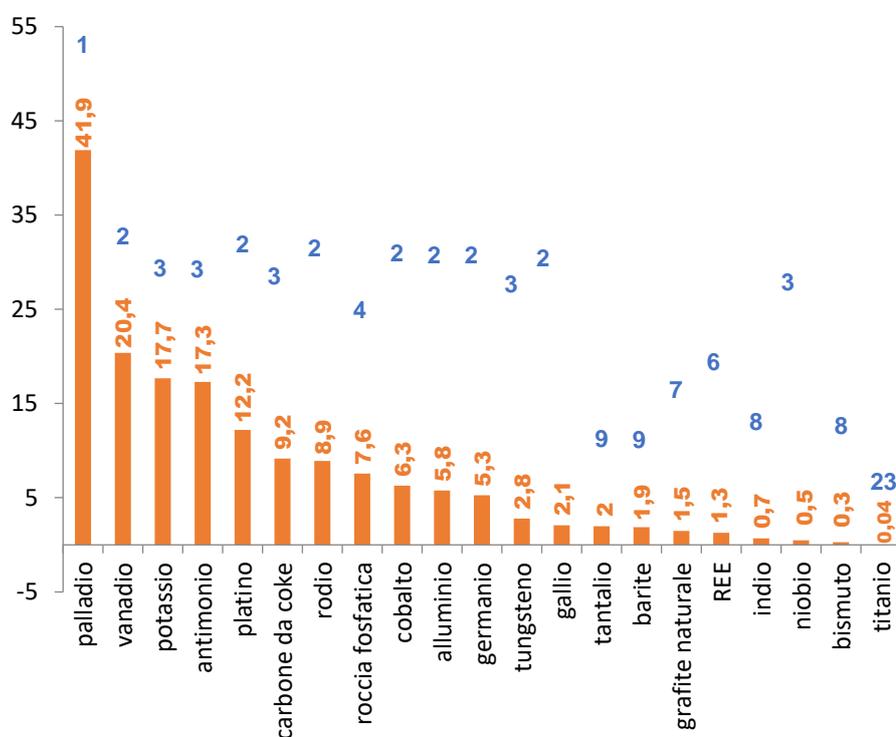


Figura 5. Materie prime critiche della Federazione Russa nel 2020: posizione nel mercato globale (in azzurro) e quota percentuale di produzione₃₀ (in arancio)

Per capire qual è nell'immediato l'impatto della guerra, si deve ricordare come diversi dei prodotti per i quali appare di spicco il contributo russo ed ucraino siano indispensabili per le catene del valore strategiche dell'UE. Ad esempio, i metalli del gruppo del platino per l'industria automobilistica, il titanio per le applicazioni aerospaziali, l'acciaio. Per quanto riguarda il nichel, utilizzato nella produzione degli accumulatori - soprattutto nella produzione delle batterie per alcuni modelli di veicoli

elettrici²⁹ - e nelle superleghe nelle turbine, il solo rischio della riduzione di un'offerta considerata di pregio, oltre che consistente, già a pochi giorni dall'inizio del conflitto sembrerebbe aver innescato una corsa al rialzo del prezzo internazionale. Se il trend al rialzo dovesse consolidarsi v'è la possibilità che le case produttrici scarichino i maggiori costi sul prezzo di vendita dei modelli di veicoli elettrici che ne fanno maggior uso, con un effetto di rallentamento del processo di transizione (Bonnet et al., 2022).

Tabella 8. Principali materie importate dall'UE dalla Russia al 2020³⁰

Materiale	import (milioni USD)	import in EU (quota %)
vanadio	56	86%
ghisa	346	54%
ferro e acciaio granulare/polvere	463	53%
nichel	1.706	36%
carbone da coke	2.111	35%
palladio	1.099	28%
potassio	261	21%
ferro e acciaio non legato	3.092	20%
titanio	428	19%
altro acciaio legato	332	18%
tungsteno	40	17%
cromo	106	15%
minerali di ferro	1.078	13%
rodio	278	11%
alluminio	2.273	11%
fosforo	197	11%

La guerra "guerreggiata" non fa che amplificare la turbolenza globale. Ciò che appare evidente in questa fase, nella quale la "storia" sembra essersi ripresa i propri spazi rispetto alla "cronaca" del mercato globale alla quale il mondo sembrava essersi adagiato, è il consolidamento di un nuovo corso nelle relazioni internazionali in cui risulta superata l'idea di un libero mercato in grado di autoregolamentarsi e di garantire l'efficienza negli scambi economici internazionali.

Da un lato - a parte le aree del conflitto - persiste la tendenza all'aumento dell'interscambio commerciale complessivo. È una constatazione che, almeno per ora,

²⁹ L'8 marzo 2022, a pochi giorni dall'inizio del conflitto, il nichel ha superato la soglia di 100.000 dollari per tonnellata, prezzo che aumenterebbe di 7.000-10.000 dollari i costi delle batterie di alcuni modelli elettrici (Tesla Model Y), Matteo Fini, Vice President, Automotive Supply Chain and Technology, S&P Global Mobility.

³⁰ Fonte: Unguru et al. 2022a

rende difficile sostenere che il modello della globalizzazione sia superato³¹. Dall'altro, quando l'oggetto delle relazioni riguardi le materie prime energetiche, sembrano aprirsi crepe nel modello globale del mercato aperto.

La tesi di Bordoff e O'Sullivan, docenti alle Università della Columbia e di Harvard, apparsa nell'agosto 2022 sul *Foreign Affairs* (Bordoff e O'Sullivan, 2022), ha avuto grande eco tra gli analisti del settore energetico. Secondo gli studiosi, dopo una lunga fase di crescita ed espansione delle reti di scambio e della finanza internazionale, è in corso una fase di inversione verso un mondo de-globalizzato, sostenuto dal ritorno all'interesse nazionale. La crisi delle istituzioni multilaterali coincide con il recupero del protagonismo dei governi, soprattutto nelle scelte economiche (spese e investimenti statali) finalizzate a garantire gli obiettivi di sicurezza nazionale. In questa fase di grande fluidità, la politica estera ha un ruolo fondamentale nell'analisi e nella valutazione degli interessi commerciali, i quali, guardando alla sicurezza nazionale, si saldano con gli interessi militari.

Nella drastica rivisitazione delle relazioni internazionali, la sicurezza energetica torna in primo piano, al centro degli interessi nazionali, come accadde durante la crisi energetica degli anni Settanta del secolo scorso. L'elemento di novità rispetto a quella fase storica è che, mentre in quell'occasione l'attivismo di alcuni governi³² creò le premesse per una revisione dei sistemi energetici, avviando la deregolamentazione in favore dei mercati, le attuali turbolenze geopolitiche, sembrerebbero proprio evidenziare l'inadeguatezza di quegli stessi meccanismi economici, riportando in auge il ruolo dei governi e il fallimento del mercato³³.

È il *New Energy Order* in cui sono al lavoro le diplomazie delle grandi potenze mondiali per disegnare gli scenari internazionali più adeguati agli interessi energetici (Bordoff e O'Sullivan, 2022). Guardando ai recenti documenti della Commissione Europea (2021a) si rileva la convergenza nell'analisi del momento attuale, di una grande incertezza in cui *"al posto della cooperazione internazionale e della governance multilaterale, vi è un crescente unilateralismo che comporta la perturbazione o l'elusione delle istituzioni multilaterali"* (Commissione Europea, 2021a). Ci si chiede se e quanto le turbolenze e i cambiamenti osservabili nei mercati dell'energia siano anticipatrici di un fenomeno destinato ad estendersi anche al mercato delle materie prime.

³¹ Sulla questione si veda ad esempio (Tajoli, 2022).

³² Durante la crisi degli anni Settanta, per tenere sotto controllo i prezzi, il governo americano con la guida del presidente Nixon impose una serie di misure regolative e di controllo sia sui prezzi che sulle quote di importazione di petrolio e gas. L'effetto di tali misure governative, invece di garantire i consumatori, determinò l'aumento della domanda e una forte salita dei prezzi. Il successivo embargo petrolifero arabo alimentò il caos in tutto il paese con acquisti dettati dal panico e code alle stazioni di servizio (Bordoff e O'Sullivan, 2022).

³³ Per Bordoff e O'Sullivan il fallimento del mercato che necessita dell'intervento dei governi dipende da alcuni limiti fondamentali che caratterizzano il settore privato soprattutto considerando il bisogno di grossi capitali necessari per costruire le infrastrutture per la sicurezza e per la transizione energetica (Bordoff e O'Sullivan, 2022).

La **Open Strategic Autonomy**, costituisce la risposta con la quale l'Unione Europea tenta di conciliare gli obiettivi di sostenibilità contenuti nel *Green Deal* con il salire delle ambizioni delle potenze mondiali e dell'aggressività dei mercati³⁴. Dalla constatazione della necessità di rivedere le catene di approvvigionamento di alcuni materiali e prodotti critici necessari alla transizione energetica deriva l'esigenza di adeguare il sistema dei rapporti commerciali e la strategia industriale alla nuova fase (Commissione Europea, 2021b). La nuova strategia contiene aspetti controversi che non possono essere ignorati nel momento in cui si fa riferimento all'apertura mediante la cooperazione globale e, al tempo stesso, alla difesa dei propri interessi³⁵. La contraddizione tra spinte cooperative e visioni unilaterali viene rilevata anche nel momento in cui, negli accordi commerciali, l'Europa intende applicare la sua regolamentazione al rispetto dei diritti umani e dell'ambiente (ISPI, 2022a). Il meritorio obiettivo di sostenere ovunque nel pianeta gli standard sociali e ambientali e di contrastare le pratiche sleali e abusive – sempre più importante nella normativa europea - rischia di condizionare il commercio globale e i partenariati, soprattutto con governi ed istituzioni che non mostrano altrettanta sensibilità alla questione dei diritti e alle conseguenze di consuetudini non sostenibili³⁶.

È così che la questione delle CRM sembra incaricarsi di complicare ulteriormente la soluzione al "trilemma energetico", che si compone di nodi come la sicurezza energetica, il sistema dei prezzi e la ripercussione sul sistema economico e la salvaguardia ambientale, ai quali va aggiunto quello del rispetto dei diritti umani e sociali.

Per Bordoff e O'Sullivan un cambiamento decisivo ha bisogno di tempo dal momento che il prossimo futuro sarà caratterizzato dal progressivo intreccio del tema della sicurezza energetica con quello dei cambiamenti climatici³⁷. In questa luce, è la posizione di questi autori, nella attuale fase storica, non si può ancora prescindere dall'utilizzo delle fonti fossili.

³⁴ Nella relazione annuale della Commissione Europea la visione comune a lungo termine dell'autonomia strategica aperta dell'UE in vista del 2050 necessita "di una chiara comprensione delle attuali megatendenze, incertezze e opportunità" (Commissione Europea, 2021c)

³⁵ Rappresenta la convinzione fondamentale dell'UE secondo cui affrontare le sfide odierne richiede una maggiore (e non minore) cooperazione globale. Significa inoltre che l'UE continua a cogliere i benefici delle opportunità internazionali, difendendo al contempo con risolutezza i propri interessi, proteggendo l'economia dell'UE da pratiche commerciali sleali e garantendo condizioni di parità. (Commissione Europea, 2021a).

³⁶ L'accusa di eurocentrismo implicita in alcuni ragionamenti viene meno se si guarda all'autonomia strategica aperta come "strumento per migliorare gli standard sociali e ambientali a livello globale" (Akgüç, 2021)

³⁷ Nel breve periodo tale incontro potrà risultare ancora difficile finché prevale l'esigenza di mantenere, nel mix energetico, una grande quantità di fonti fossili come nella fase attuale. Nel lungo periodo, con una guida sapiente dei governi sia nel finanziare i cambiamenti del mercato interno che nelle relazioni con i mercati esteri, sarà possibile realizzare le fondamentali condizioni per realizzare la transizione energetica e il passaggio al paradigma "verde" sancendo la definitiva conclusione dell'era fossile (Bordoff e O'Sullivan, 2022)

A una simile conclusione sembra giungere implicitamente anche l'Europa del *Green Deal*, più nella prassi che nell'enunciazione dei principi. Gli obiettivi climatici si trovano ad essere posposti per il prevalere delle diverse strategie energetiche rivendicate dai singoli stati membri in risposta all'attuale contesto emergenziale. Diviene prassi rivedere le politiche energetiche nazionali alla luce dei molteplici eventi intercorsi in tutti gli ambiti, economico, politico e climatico, sollecitando forme di collaborazione tra *governance* pubblica e privata, pervenendo a un equilibrio nel rapporto tra stato e mercato che fornisca garanzie economiche e politiche sulla sovranità degli stati, sul grado di autonomia decisionale e sulla libertà di azione (ISPI, 2022b).

È in questa prospettiva che vanno inquadrati gli accordi di partenariato strategico dell'UE con Canada e Ucraina, stipulati tra giugno e luglio 2021, per lo sviluppo di catene del valore comuni e per la cooperazione tecnologica. Dei due, l'accordo con l'Ucraina nell'ambito dell'ERMA³⁸ appare più estensivo, poiché prevede esplicitamente una cooperazione nelle attività di estrazione mineraria. Si tratta di un partenariato strategico per lo sviluppo di catene del valore sostenibili, responsabili e integrate, per la disponibilità di materie prime e la produzione di batterie. Il partenariato formalizza e sostanzia le iniziative già avviate dal 2014 per rafforzare la cooperazione in materia di politica industriale e delle imprese e attività minerarie e metallurgiche³⁹. Nell'accordo di partenariato l'esplicito richiamo al "significato geopolitico" da parte di Maroš Šefčovič, vicepresidente della Commissione Europea⁴⁰, sancisce la centralità delle materie prime negli accordi di cooperazione commerciale. Al tempo stesso, ne dimostra il ruolo strategico nell'orientare la geografia politica degli schieramenti internazionali. L'accordo tocca temi di interesse comune tra UE e Ucraina sull'efficienza energetica, l'idrogeno, le regioni carbonifere in transizione, le alleanze industriali europee nelle materie prime e nelle batterie e l'intera *governance* climatica. Nello specifico delle CRM, l'attenzione europea è rivolta al grande potenziale delle riserve ucraine ancora da esplorare, supportandone la modernizzazione dell'industria estrattiva.

In nuce, altri accordi di partenariato dell'UE riguardano USA, Canada (grafite, cobalto, platino e minerali di titanio), Namibia (giacimenti potenziali di terre rare, vanadio, grafite e titanio), Serbia (litio), Norvegia (grafite, titanio, terre rare e titanio), e Giappone (European Commission, 2022). Tra questi paesi il Giappone è di fatto l'unico che non possiede quantità rilevanti di materie prime, ma può essere giudicato partner di pregio per via del *know-how* e dell'abilità dimostrata giusto nella gestione del problema della scarsità.

³⁸ Cfr par. 3.1

³⁹ Per il testo dell'Accordo di Associazione tra Unione Europea e Ucraina si veda il sito <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A22014A0529%2801%29>, per il Memorandum of Understanding on a Strategic Energy Partnership between the European Union together with the European Atomic Energy Community and Ukraine:

https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-02/For%20signature_MoU%20EU-UA%20final%20-%20Eng.pdf.

⁴⁰ <https://euractiv.it/section/economia-circolare/news/batterie-luكرانيا-si-unisce-allalleanza-ue-sulle-materie-prime/>

Finora si è parlato di posizione unitaria dell'Unione Europea, ma reale è il rischio che, proprio di fronte al problema della scarsità delle materie prime, si affermino posizioni protezionistiche o isolazioniste al suo interno. È il motivo per richiamare lo spirito unitario che accompagna il discorso sull'*autonomia strategica aperta*, intesa come *"la capacità di fare le proprie scelte e plasmare il mondo che la circonda attraverso la leadership e l'impegno, riflettendo i suoi interessi e valori strategici"* (Cagnin et al., 2021).

Nel complesso, si può affermare che è nella stipula di accordi commerciali, partenariati strategici e aree di libero scambio (punto n. 3), strumenti di più rapida esecuzione, che l'Unione Europea sembra fino ad ora essersi mossa con particolare oculatezza.

Il quarto, ed ultimo, tra i punti chiave individuati dalla CE, quello relativo al **sostegno all'economia circolare**, *"mira a dissociare la crescita dall'uso delle risorse, attraverso la progettazione sostenibile dei prodotti e la mobilitazione del potenziale delle materie prime secondarie"*. Due le linee d'azione: incremento del riciclo e promozione della sostituzione dell'elemento critico con uno meno critico. Nello stesso documento (Commissione Europea, 2020) viene fotografata la situazione dell'Unione in ordine ai risultati delle politiche di riciclo. Per il tungsteno il tasso di riciclo a fine vita è decisamente elevato (42%), a seguire il cobalto (22%), i metalli del gruppo del platino (21%), il titanio (19%), il magnesio (13%). Analizzando il dato Eurostat, fermo tuttavia al 2019, il contributo del riciclo alla copertura della domanda interna è relativamente elevato per l'ittrio e lo zinco (31%), il palladio (28%), il platino (25%), il cobalto (22%), il titanio (19%), il magnesio (13%), l'alluminio (12%). Particolare sembrerebbe il caso del rame, con un tasso palesemente in calo (55% nel 2016, circa 17% nel 2019). Meno rosea la situazione del riciclo per altre CRM di più immediato impiego nelle tecnologie delle energie rinnovabili, in particolar modo per il gallio, le terre rare (eccezion fatta per il praseodimio, con un tasso di copertura intorno al 10%) e l'indio.

I dati Eurostat⁴¹, aggiornati al 2021, indicano che l'uso circolare per la generalità delle materie prime (quindi non solo per le CRM) nell'economia dell'UE è relativamente basso (inferiore al 12%) e che potrebbe essere migliorato estendendo la durata di vita dei prodotti - ad esempio attraverso la riparazione e il riutilizzo - o aumentando i tassi di riciclo di materiali e prodotti.

Ciò, in particolare, è dovuto al fatto che:

- il riciclo di molti materiali dai prodotti a fine vita e dai rifiuti non è sempre economicamente fattibile e vantaggioso;
- l'assenza, attualmente, di tecnologie idonee disponibili per il riciclo;
- la lunga durata di alcuni prodotti fonti di materie prime critiche e non (ad es. edifici, Pannelli FV, pale eoliche, ecc);

⁴¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework>

- la carenza di misure politiche mirate per rafforzare la preparazione per il riutilizzo e il riciclo di determinati flussi di rifiuti.

La Commissione Europea (Commissione Europea, 2020) ha riaffermato che nell'UE, nonostante il tasso di riciclo dei rifiuti elettronici sia tra i punti di forza in molti paesi, il recupero delle materie prime critiche da questi flussi di rifiuti è inferiore all'1%.

Seppur non in grado di soddisfare l'intera domanda UE di materie prime essenziali, lo sfruttamento di queste "miniere urbane", ovvero il recupero di materie prime dai rifiuti urbani attraverso il riciclo, potrebbe fornire un contributo notevole (Corrias et al., 2021). Mentre grandi quantitativi di risorse stanno lasciando l'Europa sotto forma di rifiuti e scarti, potenzialmente riciclabili in materie prime seconde, secondo diversi scenari, la domanda UE di alcune materie prime critiche si attende in notevole incremento dal 2030, soprattutto per alcuni metalli non ferrosi⁴².

La considerevole quantità di risorse che lascia l'Europa, non offre alcuna garanzia che i rifiuti esportati siano trattati in base alle stesse norme UE o almeno in base a norme che prevedano livelli minimi di ambiente, qualità, salute e sicurezza e non contribuisce all'aumento della circolarità dell'economia europea. A livello globale, circa l'80% dei rifiuti elettronici viene spedito, spesso illegalmente, in Paesi a basso e medio reddito in cui migliaia di lavoratori "informali", in condizioni precarie e al limite della sicurezza, spesso bambini, raccolgono, smantellano e/o bruciano i rifiuti elettronici per ottenere metalli e materiali preziosi (UNitar, 2020).

I principali attori della scena dell'economia circolare sono i consumatori e le industrie del riciclo. I primi andrebbero posti al centro delle politiche di riciclo, predisponendo incentivi al corretto smaltimento dei rifiuti e degli apparecchi elettrici, anche diffondendo le informazioni sui centri di raccolta, o predisponendo servizi ad hoc. Tra queste ultime, ad esempio, centri di riuso e di preparazione al riutilizzo finalizzati ad allungare la vita dei prodotti, che avvicinino i luoghi di produzione ai consumatori, con conseguente risparmio energetico, di materia e di emissioni⁴³. Le industrie del riciclo, dal canto loro, scontano uno strutturale problema di economie di scala, poiché l'estrazione dai prodotti esausti di minime quantità di elementi economicamente utili richiede enormi volumi di produzione per poter essere profittevole. Nella attuale situazione i costi di produzione in queste industrie rimangono generalmente elevati. Paradossalmente, l'aspetto positivo della crescita dei prezzi delle materie prime è in un progressivo probabile aumento della convenienza del sistema socio-economico a rivolgersi al mercato secondario.

⁴² in una recente dichiarazione, settembre 2022, il Commissario per il Mercato interno e i Servizi, Thierry Breton, ha affermato che l'UE si aspetta che la domanda per questi materiali quintuplichi entro il 2030.

⁴³ Secondo la direttiva 2008/98 CE si intende per riuso qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti vengano reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti. Per preparazione al riutilizzo si intende le operazioni di controllo, pulizia e riparazione attraverso cui prodotti o componenti di prodotti diventati rifiuti sono preparati in modo da poter essere reimpiegati senza altro pretrattamento

Lo strumento dell'economia circolare, tra i quattro enucleati, sembra porsi come quello a maggior compatibilità con gli obiettivi della transizione energetica. Le conseguenze probabili di un suo rafforzamento sarebbero: riduzione delle attività estrattive e di trasformazione; maggiore continuità della produzione e conseguente minore oscillazione dei prezzi; riduzione della dipendenza dall'estero; avvicinamento dei centri della produzione (le industrie del riciclo e del riuso) ai centri del consumo (le città e i loro abitanti) con conseguente riduzione dell'impatto ambientale dei trasporti

Il prossimo passo della UE, nella direzione di razionalizzare e gestire la questione materie critiche, è l'iniziativa della legge sulle materie prime critiche di cui è prevista l'adozione entro la primavera. Quattro sono i punti fondamentali della legge contraddistinti da: *focus* (definire dei criteri per l'identificazione delle materie prime che rivestono particolare rilevanza strategica per la transizione e la difesa, tra cui l'importanza economica, la concentrazione dell'offerta, le applicazioni strategiche e le previste lacune dell'offerta); *anticipate* (creare una rete europea di agenzie per le materie prime con capacità di monitoraggio e stress test per consentire all'industria di anticipare i rischi di interruzioni, aumenti dei prezzi o carenze e prendere decisioni appropriate in materia di diversificazione, stoccaggio e investimento); *strengthen* (rafforzare la filiera produttiva, individuando progetti strategici e sostenendoli attraverso l'aumento dei finanziamenti a disposizione, anche tramite l'istituzione di un nuovo Fondo sovrano); *preserve* (proporre un approccio per coniugare la competitività sul piano internazionale con la tutela dei valori e degli standard sociali e ambientali comunitari, da applicare anche nei rapporti con i paesi terzi fornitori)⁴⁴.

⁴⁴ Critical Raw Materials Act https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_5523

7. La situazione dell'Italia.

Per quanto riguarda più da vicino l'Italia, il paese non gode della disponibilità di cospicue risorse, ma non si può nemmeno affermare che ne sia completamente sprovvisto. L'uso del dubitativo è d'obbligo, poiché non esiste ufficialmente una carta mineraria aggiornata sui giacimenti di interesse economico (Fumanti, Demicheli).

Sono state stimate potenziali riserve di bauxite mentre concentrazioni interessanti di germanio sono state individuate in Sardegna e Friuli. Uno studio recente (Dini et al., 2022) prospetta un potenziale di litio di ottimo tenore ricavabile dai fluidi profondi rinvenibili nella "*fascia vulcanico-geotermica peri-tirrenica (Toscana-Lazio-Campania)*" e in quella della "*catena appenninica (da Alessandria fino a Pescara)*". Visti i lunghi tempi di attivazione dell'attività mineraria, si è tuttavia propensi a credere che nel medio periodo la dipendenza dell'Italia dall'estero difficilmente possa venir compensata dalle sue risorse potenziali. Per quanto riguarda le produzioni effettive, si ricordano, tra le altre, quella dell'acido borico attraverso le fonti geotermali e quella di indio (per una quota dello 0,67% della produzione mondiale nel 2017) (Euromines, 2019).

La disponibilità di CRM ha comunque un forte impatto sull'economia italiana. Per il paese si stima che le prime 30 materie prime, sulle 80 prese in analisi dalla Commissione Europea - quindi non soltanto quelle che hanno a che fare più direttamente con l'economia *low-carbon* - generino un valore aggiunto pari a 564 miliardi di euro, circa il 32% del PIL (Ambrosetti-ERION, 2022). Si tratta di un'incidenza che è la più alta in Europa e che può essere spiegata in buona parte dalla rilevanza delle materie prime sulla manifattura industriale e dal relativo contributo dell'export alla generazione del PIL. In particolare, essendo elementi di consolidato utilizzo in settori come la gioielleria, l'odontoiatria e l'industria automobilistica, non stupisce che il contributo alla generazione di valore aggiunto da parte delle importazioni di tre platinoidi (palladio, rodio e platino), sommato a quello relativo all'alluminio, possa essere stimato al 6,1% del PIL italiano (Ambrosetti, 2022).

Diverso è invece il quadro che si registra quando il paese sia despecializzato nella produzione di particolari manufatti, in altri termini, quando la dipendenza sia di tipo tecnologico prima ancora che di disponibilità di materie grezze. In questi casi, paradossalmente, si può assistere ad un deficit commerciale non rilevante riguardo un singolo minerale o metallo, proprio perché non esistono produzioni nazionali che ne facciano utilizzo. A questo riguardo, la Tabella 9 fotografa per l'Italia lo stato di sostanziale dipendenza dall'estero quando ci si riferisca al novero di prodotti finiti afferenti al comparto delle tecnologie *low-carbon*.

Tabella 9. Saldi commerciali per l'Italia nei settori/tecnologie low-carbon⁴⁵

	2017	2018	2019	2020	2021	2022 gen-ott
Accumulatori Lead Acid	-6.545.162	-42.666.488	-58.539.948	-70.715.162	-80.394.477	-138.565.108
Accumulatori Li-Ion	-97.246.478	-138.758.629	-174.765.844	-399.336.312	-1.091.995.287	-1.896.678.585
Accumulatori NiMH	-11.225.652	-11.569.905	-9.913.089	-9.243.525	-9.645.062	-10.048.017
Accumulatori (altri tipi)	-19.630.149	-8.286.218	-12.597.498	-8.872.462	-8.280.837	-14.970.056
BEV	-54.338.089	-107.967.751	-229.533.774	-346.438.026	-679.643.914	274.933.303
PHEV	-22.108.735	-57.762.867	-114.531.547	-373.030.551	-875.307.978	-550.773.937
Celle fotovoltaiche	5.308.558	-75.504.277	-124.486.871	15.466.542	-474.678.987	-1.006.754.345
Generatori eolici	-20.340.291	-41.073.736	-474.753	-21.947.127	-127.255.331	-90.938.236
Solare termico	56.248.770	57.093.032	53.338.346	69.902.153	71.707.069	64.321.286
Totale	-169.877.228	-426.496.839	-671.504.978	-1.144.214.470	-3.275.494.804	-3.369.473.695

Si guardi, ad esempio, agli accumulatori agli ioni di litio. Il paese ne importa per un ingente valore (circa 1,9 miliardi di euro nei primi dieci mesi del 2022, peraltro con una netta tendenza alla crescita). Invece, il valore dell'import di litio si aggira intorno a poco più di dieci milioni di euro, causando un disavanzo commerciale di ridotte proporzioni. Non è un'ipotesi azzardata immaginare che le importazioni di litio possano aumentare qualora venisse incrementata la produzione sul territorio italiano di batterie al litio e di veicoli elettrici.

Tutto ciò sembra ricondurre al tema del grado di specializzazione produttiva del paese e alle scelte di politica industriale, in particolar modo rispetto all'alternativa *make or buy*. I dati di commercio estero relativi ai prodotti delle tecnologie *low-carbon* segnalano un passivo di quasi 3,4 miliardi di euro nel solo periodo gennaio-ottobre 2022. Sembrerebbe quindi che complessivamente il sistema paese preferisca importare dall'estero il manufatto industriale piuttosto che produrlo in proprio, anche se sussistono rilevanti eccezioni (come nel solare termico) ed esempi di produzioni nazionali (ad esempio nel fotovoltaico). Eppure, alla luce dell'apparente stallo del modello di globalizzazione che si è delineato nei tempi più recenti e alla luce della intrinseca natura "critica" delle CRM, proprio l'opzione *buy* potrebbe rivelarsi problematica.

⁴⁵ elaborazione degli autori su dati di commercio estero Eurostat, sistema di classificazione Nomenclatura Combinata a 8 cifre, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/setupdimselection.do>

Nello stesso tempo, il tema del modello di specializzazione nazionale apre un'altra questione, che va letta alla luce dei sentori di chiusura nazionalistica anche all'interno dell'Unione alla quale si è sopra accennato. Si tratta della particolare posizione dell'Italia rispetto ai paesi europei, anche sul piano negoziale. Un elemento definito "critico" nella visione della Commissione Europea non è detto che sia altrettanto "centrale" per l'economia italiana, e viceversa. Un recente studio (CRIET, 2022) individua un elenco di "materie prime strategiche" nazionali, per le quali *"l'accezione di criticità si lega alla rilevanza e all'influenza esercitate sul sistema produttivo nazionale che costituisce l'ossatura del Paese"*. Nel 2020 le prime dieci materie prime importate dall'Italia sono risultate: bauxite, oro, argento, rame, nichel, zinco, metalli del gruppo del platino, titanio, cromo, carbon coke (CRIET, 2022). Alcune di queste si riconducono maggiormente all'industria della gioielleria, al settore metallurgico, alla meccanica di precisione, all'industria aerospaziale, a quella chimica e alla produzione di apparecchi elettromedicali. Di queste dieci "materie prime strategiche" solo quattro (bauxite, metalli del gruppo del platino, titanio, carbone da coke) compaiono anche nell'elenco delle "materie prime critiche" stilato dalla Commissione. Per converso, ad un metallo come l'oro, seconda materia prima per valore dell'import italiano, nello studio comunitario viene attribuito un basso rischio di disponibilità e una bassa importanza economica. Ad altri elementi come l'argento, lo zinco, il rame, il nichel e il cromo viene attribuita una certa importanza economica, ma si ritiene che per questi la disponibilità globale sia sufficiente, e pertanto vengono classificati al di sotto della soglia critica.

Per completezza, occorre sottolineare la diversità d'impostazione sottesa alla redazione del documento della Commissione più volte citato. Nella prospettiva della CE la connotazione di "criticità" di un determinato elemento procede non solo da una considerazione sulla dipendenza di tipo commerciale dell'Europa e non solo dalla valutazione del suo attuale grado di centralità in termini di creazione di ricchezza, ma è principalmente subordinata al raggiungimento prospettico di obiettivi comunitari considerati meritevoli per sé, alla stregua di principi. E tuttavia, sul piano della prassi, se l'UE non considera "critiche" alcune materie prime che appaiono altresì "strategiche" per l'economia italiana, si apre un *"ragguardevole fronte di discussione, non solo economico"* (CRIET, 2022). Le caratteristiche di specializzazione del sistema produttivo italiano, paese tradizionalmente importatore di materie prime e prodotti semi-lavorati ed esportatore di prodotti finiti, rendono l'economia del paese particolarmente esposta alle oscillazioni dei prezzi internazionali e alla congiuntura economico-politica. Una diminuzione della disponibilità e/o un aumento dei prezzi di elementi centrali per la manifattura italiana avrebbe effetti nocivi sulla propensione ad investire, soprattutto sulle piccole e medie imprese. Il suggerimento degli autori dello studio è allora quello di prestare attenzione anche a questo novero di minerali e metalli, possibilmente con iniziative sostenute a livello europeo.

Nel frattempo, a sottolineare le difficoltà di talune produzioni nazionali, si segnalano crescenti istanze da parte del mondo industriale miranti alla conservazione delle

risorse economiche nazionali, come la richiesta di regolamentazione delle esportazioni di alcune materie critiche contenute in determinati scarti e rifiuti.

Il posizionamento dell'Italia in materia di recupero/riciclo è peraltro relativamente buono, se rapportato alla media dei paesi europei. Secondo i dati Eurostat nel 2021 l'Italia ha importato 212.481 tonnellate di materie prime riciclabili per minerali e metalli (il 58% delle quali da paesi extraeuropei), mentre ne ha esportato 435.015 tonnellate. Il paese si posiziona così tra i primi esportatori di materie riciclabili in Europa.

Il **Rapporto Rifiuti Speciali di ISPRA** (ISPRA, 2022) rileva che nel 2020, dall'Italia sono stati esportati oltre 3,6 milioni di tonnellate di rifiuti speciali, a fronte di una importazione di circa 6,8 milioni di tonnellate. Tra i rifiuti speciali "non pericolosi" sono compresi i metalli non ferrosi, esportati maggiormente in Germania e in Cina.; le scaglie *di laminazione*, inviate principalmente in Ungheria e le *schiumature*, esportate maggiormente in Spagna e in Germania (entrambe le tipologie di rifiuti vengono recuperate, in massima parte, sotto forma di materia). A queste tipologie si aggiungono oltre 66 mila tonnellate di *rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche* e 97 mila tonnellate di *rifiuti da attività di costruzione e demolizione*, costituiti prevalentemente da rifiuti metallici.

Il 76,1% dei rifiuti non pericolosi esportati (il 26,4% dei rifiuti pericolosi), oltre 1,8 milioni di tonnellate, è destinato al recupero di materia. Risulta evidente la perdita di valore: dei 3,6 milioni di tonnellate di rifiuti speciali esportati dall'Italia, sono più di 2 milioni le tonnellate recuperate sotto forma di materia dai paesi importatori, perse dal nostro paese.

L'ultimo Rapporto della Fondazione Sviluppo Sostenibile, **Riciclo in Italia 2022** (Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2022), rileva che il "riciclo dei rifiuti industriali ha superato il 70%. Nel 2020 l'Italia ha riciclato il 72% di tutti i rifiuti, urbani e speciali-industriali, un primato europeo (53% la media Ue e 55% quella della Germania), alimentando la crescita dell'industria italiana del riciclo, diventata un comparto rilevante e strategico del sistema produttivo nazionale" che produce, tra le altre MPS, 12 milioni e 287 mila tonnellate di metalli, in gran parte acciaio.

Il rapporto *L'Italia che ricicla* (Assoambiente, 2022), elaborato dall'associazione di categoria Assoambiente, indica per l'Italia il tasso di riciclo stimato al 2020 ad un considerevole 83,2%, collocando il paese al "primo posto a livello europeo per tasso di avvio al riciclo dei rifiuti (sia urbani che speciali), rispetto al totale gestito".

Non mancano note dolenti per il riciclo, in particolare riguardo settori particolarmente ricchi di materie critiche ricavabili, come i RAEE e le Pile e Accumulatori. Per i RAEE, secondo i dati del Consorzio Erion WEEE (Consorzio Erion WEE, 2022), nel 2022 la raccolta è diminuita del 7% rispetto all'anno precedente, passando da 266.614 tonnellate gestite a 246.000 (da queste sono state ricavate più di 125mila tonnellate di ferro, circa 5mila tonnellate di alluminio e altre 5mila di rame, insieme a 32mila tonnellate di plastica). Si tratta di meno del 30% dell'immesso sul mercato di

tonnellate/anno di apparecchiature elettriche ed elettroniche che si raccolgono in modo differenziato, un dato molto lontano dal target europeo. Secondo il consorzio in Italia mancano all'appello quasi tre milioni di grandi elettrodomestici e più di 400 milioni di piccoli elettrodomestici, dai quali si potrebbero riciclare 380mila tonnellate di materie prime, tra cui ferro, rame, alluminio e plastica. Nel 2021 solo il 39,4% di questi è stato riciclato correttamente, a fronte di un target europeo da raggiungere del 65%. Lo stesso vale per pile e accumulatori, per cui il nostro Paese è tra gli ultimi classificati in Europa con il 43,9%.

Recuperare le materie prime critiche permetterebbe di generare un valore economico di 60 milioni di euro: attualmente il 90% di queste frazioni è esportato, generando introiti pari a soli 10 milioni di euro, per l'assenza nel nostro Paese di impianti in grado di trattare tali materiali.

L'investimento necessario, secondo il consorzio, ammonta a 50 milioni di euro, da destinare alla costruzione di 5 impianti di metallurgia leggera, che permetterebbe di mantenere in Italia 75.000 tonnellate ogni anno di componenti derivanti dai RAEE, con livelli di riciclo prossimi al 98%, e recuperare almeno 5.000 tonnellate di materie prime critiche, creando oltre 2.000 nuovi posti di lavoro.

Per le pile e accumulatori, secondo il Rapporto Riciclo in Italia, nel 2021 sono state raccolte 10.200 t di pile e accumulatori portatili esausti, dato in calo rispetto al 2020, che corrisponde al 32% dell'immesso nell'ultimo triennio, anche questo risultato lontano dal target europeo del 45% in vigore dal 2016 (Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2022).

Nel complesso, il dato maggiormente critico, non solo per l'Italia ma anche per i paesi dell'Unione, è quello relativo al tasso di utilizzo circolare dei materiali. In Italia nel 2021 ha toccato appena il 18,4% (contro l'11,7% della media UE), in calo rispetto al 20,6% del 2020. Significa che più dell'80% delle materie riciclate non viene reimmesso nel circuito economico "circolare".

8. Osservazioni conclusive.

Nella trattazione si è tentato di ricondurre a sintesi, senza velleità di completezza, alcuni aspetti delle materie prime critiche, considerate spesso uno dei colli di bottiglia del processo di transizione energetica. Il tema è di particolare attualità, vivo anche al di fuori dei circuiti tradizionali della produzione letteraria *peer-review*, e tale da alimentare un dibattito ricco di articolazioni di carattere economico, politico e sociale, talvolta – non è superfluo ricordarlo – motivato da contrapposti interessi. Pur nella evidente schematicità, si possono delineare alcune delle questioni emerse.

Una prima questione riguarda il **grado di dipendenza** della costruenda economia post-fossile dalle CRM, i timori che queste possano rappresentare il nuovo “oro nero”, e i **vincoli posti al sistema economico**. Riguardo al grado di centralità economica, le (poche) stime quantitative raccolte dalla letteratura scientifica divergono. Per alcuni, il mercato delle materie prime potrebbe valere giusto una frazione di quello petrolifero. Nel 2040 potrebbe essere pari al 3% di quello petrolifero quantificato nel 2016 (Manberger e Johansson, 2019). Per altri, il valore totale della produzione dei metalli per la transizione energetica potrebbe quadruplicare dal 2021 al 2040, arrivando ad eguagliare quello del petrolio greggio (Boer, et al. 2021). Fornire cifre sul futuro è un’impresa ardua e non esente da propagazioni dell’errore. È alta l’incertezza epistemica, poiché sono difficilmente prevedibili gli elementi di contesto: le innovazioni tecnologiche e la catena di retroazioni che ciascuna di queste crea sul sistema, la scoperta di giacimenti, l’orientamento delle politiche governative, i rapporti tra gli stati, le pratiche sociali dei cittadini-consumatori. Al di là delle stime quantitative, è fuor di dubbio che il peso delle CRM sia destinato ad aumentare. Nondimeno, la questione non andrebbe vista solo in termini di peso percentuale del valore aggiunto delle CRM, ma anche in termini dei costi per il sistema economico, diretti ed indiretti, quanto a dire guardando ai vincoli complessivi sul sistema. Alcuni elementi inducono a credere che un’economia pur caratterizzata dalla centralità delle tecnologie che fanno uso delle CRM potrebbe rivelare un livello di flessibilità gestionale maggiore rispetto ad un’economia basata sulle fonti fossili. Ad esempio, le CRM - *una volta estratte* - sono connotate da volumi fisici bassi. Ciò ha effetti sulla gestione del trasporto e dello stoccaggio, in linea teorica più semplice rispetto a quella del petrolio e del gas (Giuli, 2020). Le CRM non richiedono un flusso distributivo ininterrotto, a differenza di quello che accade in particolare per il gas. Dal canto suo, l’innovazione tecnologica – di prodotto e di processo - potrebbe restituire qualche grado di libertà alla soluzione del problema della limitatezza delle CRM, mentre nel caso delle fonti fossili sembra avere minori margini. Né bisogna dimenticare come quella del riciclo sia una possibilità che viene concessa ai metalli della transizione energetica, non alle fonti fossili. Permane in ogni caso la consapevolezza di come il passaggio ad un sistema energetico a basse emissioni di carbonio non consista semplicemente nella sostituzione di tecnologie e di vettori energetici, ma richiede un cambio di paradigma nel modo in cui si produce e si consuma l’energia, prevedendo l’elettrificazione dei

consumi e l'adozione di sistemi di generazione distribuita, sistemi di stoccaggio, gestione della variabilità dei flussi e delle curve di domanda/produzione, e così via. Ad esempio, nell'utilizzo delle CRM potrebbe essere complessa la gestione dello stoccaggio di materiali inerti e di prodotti di grandi dimensioni giunti a fine vita in attesa di essere trattati (Corrias e Felici, 2021), con le associate problematiche ambientali, per un tempo che in alcuni casi potrebbe essere lungo.

Una seconda questione è quella relativa all'esposizione della transizione energetica al **rischio di una crescita non equilibrata dei prezzi delle CRM**. Il problema è quello della necessità di garantire l'armonia tra la capacità di espansione dell'offerta e la crescita della domanda. Un tasso di crescita "garantito" dei prezzi è quello che si muove entro un determinato intervallo. Dal lato dell'offerta, l'elasticità della produzione alla variazione del prezzo di mercato delle materie prime è bassa nel breve periodo, mentre sale nel lungo periodo (si veda, ad esempio, Boer, 2021). In altre parole, perché venga aumentata la disponibilità globale, occorre che i prezzi crescano oltre un certo tasso, e che le previsioni di crescita siano consolidate al punto da attrarre le compagnie minerarie nei costosi progetti di investimento, che divengono profittevoli solo dopo svariati anni. Dal lato della domanda, l'elasticità di sostituzione delle CRM nel breve periodo (considerandone non i singoli metalli e minerali, ma l'intero complesso) è presumibilmente alta, poiché queste soffrono dell'alternativa rappresentata dalle fonti tradizionali di energia. Ciò significa che se la crescita dei prezzi è ritenuta eccessiva, ma soprattutto troppo rapida, v'è il rischio che l'intero sistema socio-tecnico – le imprese, i decisori politici, i cittadini – consideri la necessità di ridurre la domanda delle CRM, impiegando quantitativi di fonti fossili maggiori di quelli inizialmente previsti dai piani della transizione energetica. Ovvero, il rischio di privilegiare l'aspetto della sicurezza e della competitività a scapito di quello ambientale. Quest'ultimo è uno dei timori che trapelano nelle recenti analisi della IEA (IEA, 2022a, IEA, 2022b). Una rapida lettura dei dati relativi ai prezzi presentati in appendice (FMI, 2023) segnala un *trend* alla crescita per la maggior parte delle CRM, ad un tasso superiore a quello di qualunque altra categoria di *commodities*. In particolare, si ravvede un picco negli ultimi due anni, che in alcuni casi (come per il litio e il cobalto) è difficile credere riposi semplicemente sulla "rarietà" della risorsa o sugli effetti bellici. Il rischio di ondate speculative e la prospettiva che i titoli derivati sui mercati finanziari agiscano da moltiplicatori della volatilità, anziché da strumenti di assicurazione per l'investitore, è piuttosto concreto. Ricorrendo ad una nota immagine, la transizione energetica sembrerebbe camminare sulla "lama di un rasoio".

Una terza questione riguarda lo **sfruttamento delle risorse naturali**, i problemi di **accettazione sociale delle popolazioni locali** e lo **sfruttamento della manodopera**. Per poter produrre e commercializzare le tecnologie a basse emissioni di carbonio occorre scavare nel sottosuolo, quindi trasformare e raffinare i preziosi elementi estratti. I costi in termini di inquinamento, uso delle risorse idriche, il rischio che in qualche angolo del pianeta pratiche non accettabili di utilizzo della manodopera

sfuggano al controllo, possono essere elevati. I processi di estrazione e raffinazione sono a loro volta ad alta intensità energetica. Sussiste il rischio che all'aumentare dei costi delle CRM venga fatto utilizzo di materiali pericolosi, di scarsa qualità, non conformi alle norme europee (Presidenza del Consiglio dei Ministri, Relazione annuale 2022 sulla politica dell'informazione per la sicurezza). Inoltre, non ultimo, non è per nulla scontato che la crescente domanda mondiale possa venir soddisfatta dalla dotazione in natura, a dispetto di analisi che si focalizzano esclusivamente sulle previsioni di fabbisogno industriale mondiale (tale, ad esempio, sembrerebbe l'approccio della Banca Mondiale, riportato in sintesi nel testo). In Europa ciò dovrebbe sollecitare una questione di coerenza della prassi con i principi dell'emergente paradigma dell'*Industria 5.0 "umanocentrica, sostenibile e resiliente"* (Renda et al., 2022), e la conseguente necessità di valutare costi, benefici ed efficacia dei singoli progetti. In mancanza, per parafrasare il proverbio latino, per sostenere la transizione energetica si rischia di perdere le ragioni stesse della transizione energetica.

Un'altra questione emersa è quella degli **effetti della concentrazione della distribuzione geografica mondiale** di dette risorse, tanto in termini di produzione quanto in termini di riserve d'interesse economico (si veda i dati riportati in Tabella 7 e Figura 4). Il primo di questi è, naturalmente, la dipendenza dall'estero per i paesi che non ne possiedono a sufficienza, prevedibilmente con progressivi aumenti del deficit commerciale. Il secondo effetto è un cambiamento di rotta nelle relazioni internazionali. Vengono via via accentuate tendenze in essere da anni, almeno dal ripristino dei dazi da parte dell'amministrazione Trump e dall'inizio della guerra commerciale con la Cina. Tali sono il protezionismo, il protagonismo dei singoli governi, e più in generale, una maggiore personalizzazione dei rapporti tra le nazioni rispetto all'"impersonalità" del mercato globale. Al riguardo si parla spesso, forse con enfasi, di "fine del multilateralismo" e "crisi della globalizzazione". Il conflitto russo-ucraino ha soltanto accentuato tale tendenza. Ciò mette a rischio la sicurezza degli approvvigionamenti per i paesi importatori, soprattutto quelli che non sono in grado di negoziare da posizioni di forza. Vista dalla prospettiva europea, la questione appare come la sfida che più mette a rischio il raggiungimento degli obiettivi legati alla transizione energetica. Le prime conseguenze sono ampiamente visibili nelle attività dei mercati internazionali. Ne è una diretta conferma l'attivismo tedesco e francese verso alcuni governi sudamericani per la stipula di accordi sull'estrazione del litio - fondamentali per le industrie automobilistiche - così come la recente decisione del presidente messicano di dichiarare il litio proprietà della nazione. Resta da capire quale sarà la direzione del "nuovo ordine mondiale", se andrà verso una vera e propria de-globalizzazione e parcellizzazione degli scambi commerciali, oppure verso quella che alcuni studiosi definiscono una "riglobalizzazione selettiva", cioè una riconfigurazione dell'economia mondiale verso legami commerciali tra paesi politicamente affini (Ottaviano, 2022). Notizia recente, da qualche parte si comincia a parlare anche di un'alleanza atlantica, già definita *buyers club*, in chiave anti-cinese (Duehren, 2023).

In seno all'**Unione Europea** si è manifestata la consapevolezza della posta in gioco, espressa da una serie di indicazioni di programma, nessuna delle quali priva di difficoltà. Per citarne alcune: la sostituzione tecnologica con materie meno critiche, che tuttavia può tradursi in una minore efficienza del processo; l'avvio di un'organica politica di restituzione di robusti dati geologici, in particolare sulle riserve potenziali e il loro grado di disponibilità; il ricorso alle produzioni nazionali, che potrebbe scontrarsi con il problema dell'accettazione delle popolazioni locali, ma anche con i lunghi tempi di realizzazione; la diversificazione geografica degli approvvigionamenti e una, mai banale, "diplomazia economica ed energetica con i paesi terzi" (Commissione Europea, 2020); il rafforzamento degli strumenti di politica commerciale (ad esempio, gli accordi di libero scambio con il gruppo dei paesi nordamericani); l'uso degli strumenti consortili europei; gli investimenti diretti all'estero, che potrebbero richiedere una politica di finanziamenti ad hoc (ad esempio, con un ruolo esercitato dalla Banca Europea degli Investimenti); il risparmio energetico; le politiche strutturali di riciclo e riuso.

Nel corso della trattazione si è sottolineato come le politiche di ottimizzazione della catena del valore del riciclo costituiscano lo strumento ragionevolmente maggiormente deputato a perseguire l'obiettivo dell'autosufficienza dell'Unione. Tuttavia, anche per via della durata di vita di molti dei prodotti finiti interessati, il riciclo richiede tempi lunghi perché possa fornire risultati significativi. Nel caso di terre rare, silicio metallico e metalli che vengono impiegati negli accumulatori, addirittura bisognerebbe attendere il 2040 (Ku Leuven, 2022). **I prossimi 15-20 anni potrebbero quindi costituire il periodo più critico.** Anche per questo, lo strumento dell'Unione Europea al momento apparentemente più praticato è quello a maggior esecutività: gli accordi commerciali, i partenariati strategici e la spinta alla creazione di aree di libero scambio.

Un esempio concreto di gestione politica della "crisi della globalizzazione" al livello dell'Unione Europea è nella proposta di adozione dell'*Anti-Coercion Instrument (ACI*, 8 dicembre 2021). In base ad esso, in caso di "coercizione economica" nei confronti di un paese membro da parte di un paese terzo, vengono sostanzialmente previste risposte collegiali proporzionali e commisurate al danno diretto (European Commission, 2021).

Alla luce delle recenti iniziative prese dai singoli stati membri, ci si chiede quale sarà il futuro dell'Europa e della sua strategia sulle CRM, se sarà in grado di mantenere una posizione unitaria sugli accordi commerciali, quali l'Alleanza Europea sulle Materie Prime (ERMA), nata per proporre azioni per ridurre la dipendenza dell'Europa dalle materie prime, o se prevarranno le spinte nazionalistiche.

Quanto detto a proposito dell'Unione Europea vale ancor più per l'**Italia**: verosimilmente il periodo nel quale si manifesteranno maggiormente le criticità legate al processo di transizione sarà quello dei prossimi 15-20 anni. Al riguardo nel gennaio 2021 è stato istituito il **Tavolo Nazionale di Lavoro Materie Prime Critiche** presso

il Ministero delle imprese e del made in Italy (Mimit) e il Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica (Mase). Il Tavolo⁴⁶ ha *"l'obiettivo di riunire i diversi stakeholder nazionali lungo l'intera catena del valore delle CRM. Al tavolo partecipano attori appartenenti al mondo dell'Università e della ricerca, nonché PMI, consorzi e associazioni di categoria: ne fanno parte ENEA, ISPRA, ISTAT, ERION, Cobat, Confindustria"*.

Allo stato attuale, **la dipendenza del paese dall'estero per le CRM è per lo più di tipo implicito**, nel senso che queste ultime entrano a far parte degli input di produzione di pannelli fotovoltaici, accumulatori, veicoli elettrici e generatori eolici, per lo più acquistati dai nostri concittadini "chiavi in mano" al di fuori dei confini nazionali. La stima del valore del deficit commerciale relativo ad un paniere di beni di dette tecnologie si attesta intorno a 3,4 miliardi di euro, soltanto per i primi dieci mesi del 2022⁴⁷. Se non ci si limita ad osservare qualche esempio virtuoso di imprese che operano in questi settori, ma si guarda ai numeri nel complesso, è il segnale di come il paese sconti un ritardo tecnologico che non lo pone nella condizione di soddisfare la domanda interna. Da altro lato, qualora dovesse prendere piede questo tipo di produzioni sul suolo nazionale, non è un azzardo prevedere che le importazioni di CRM aumentino, rendendone la dipendenza dall'estero "esplicita". Il primo banco di prova potrebbe essere quello delle importazioni di litio, dietro alle installazioni delle prime *gigafactory* in Italia e ad un recente slancio delle esportazioni di veicoli elettrici.

Per il nostro paese sussistono criticità di varia natura per la semplice trasposizione in scala nazionale delle soluzioni concepite da e per l'Unione Europea. In tema di **sicurezza degli approvvigionamenti delle CRM**, al momento - e quindi anche di strategie di partenariati e accordi commerciali - il peso politico ed economico delle controparti esercita un ruolo di rilievo, e lascia intendere che la capacità negoziale del *player* comunitario europeo possa ottenere maggiori risultati. In ogni caso, la diversificazione delle origini geografiche dei flussi di importazione rimane un'opzione obbligata anche per le politiche nazionali.

In tema di **ripresa delle attività di estrazione mineraria nazionale**, la libertà d'azione di una politica nazionale italiana pare realisticamente limitata. L'Italia sconta un ritardo nella ricognizione tecnico-scientifica dei giacimenti, ed uno degli impegni raccolti intorno al tavolo per le materie prime è proprio di aggiornare le mappe minerarie. Un altro problema al quale fare fronte è quello di possibili dinamiche oligopolistiche legate al basso numero di imprese che operano nel settore estrattivo. Altro ostacolo, ancora più consistente, è il limitato margine di manovra per eventuali iniziative di sostegno pubblico, stante il problema del debito. Dal canto loro, Francia e Germania, hanno gettato sul piatto, o stanno per farlo, finanziamenti pubblici consistenti per l'istituzione di fondi nazionali dedicati alle attività estrattive

⁴⁶ per maggiori dettagli cfr. l'articolo di Claudia Brunori

<https://www.eai.enea.it/archivio/l-italia-alla-sfida-del-pnrr/urban-mining-e-materie-prime-critiche.html>

⁴⁷ elaborazione degli autori a partire da dati di commercio Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/mainxtnet.do>

(Lanzavecchia, 2023), fornendo un chiaro indizio di come alla strategia collegiale europea i paesi economicamente più forti affianchino iniziative individuali. Anche in questo caso, l'Italia trarrebbe giovamento da una eventuale strategia europea solidale di attivazione delle attività estrattive. Infine, non bisogna dimenticare i problemi di accettazione sociale e di sostenibilità ambientale legati alla ripresa delle attività estrattive sul suolo nazionale, che sembrerebbero rendere tale punto-chiave poco promettente. In ogni caso è probabile che sarebbe richiesto un cambiamento normativo.

Stessa considerazione andrebbe fatta per il nodo della **“creazione di catene del valore resilienti per gli ecosistemi industriali”**. Il modello produttivo italiano è notoriamente connotato da economie di specializzazione (con aziende manifatturiere generalmente di dimensioni piccole o medie, ciascuna delle quali si concentra in una particolare fase del processo produttivo), più che da economie di integrazione verticale (imprese di dimensioni elevate che inglobano tutta, o buona parte, della creazione del valore aggiunto). L'integrazione potrebbe essere raggiunta forse ripetendo un modello di successo come quello dei distretti industriali, ma in tempi brevi sembra ben più realistico pensare che il paese possa avvicinarsi all'obiettivo della creazione di catene del valore a circuito chiuso attraverso la capacità di attrarre investimenti esteri. Primi segnali in tal senso sembrerebbero ravvisarsi per i veicoli elettrici e il fotovoltaico, anche per effetto dell'azione di imprese multinazionali. Peraltro, un'importante contesa tra gli stati europei si sta giocando sul tavolo delle trattative per attrarre l'imponente mole di investimenti prevista per la realizzazione di *gigafactory*. Se ne prevedono 40, di cui 3 in Italia.

Tutto ciò considerato, sul piano delle politiche nazionali, lo **strumento del recupero/riciclo, parte fondante dell'economia circolare**, è forse quello che lascia prevedere le maggiori prospettive di crescita nel lungo termine, e potrebbe rivelarsi utile sia nell'ipotesi dello sviluppo industriale prossimo futuro, sia nell'ipotesi di fare dell'Italia un centro di esportazione di materie prime seconde, compensando alcuni deficit che la caratterizzano. Guardando alla storia, un esempio virtuoso è quello dell'acciaio in Italia, paese che, pur non senza problemi, sopperisce in buona parte alla carenza di ferro e carbone con il riciclo da rottami per la copertura del suo fabbisogno. Nel caso delle CRM, ampi margini di sviluppo sussistono per il comparto delle batterie, soprattutto nei processi di ricondizionamento finalizzati alla realizzazione di sistemi di accumulo domestici, oltre che nel riciclo vero e proprio e nell'estrazione degli elementi chimici. Una nicchia nella quale in linea teorica l'Italia potrebbe mettere a frutto le capacità ingegneristiche e porsi in posizione di vantaggio competitivo mondiale (Motus-E Strategy e Politecnico di Milano, 2023). Nell'industria del riciclo uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo è nelle sottostanti economie di scala e nell'intensità di capitale richiesta, ma proprio una prospettiva di crescita dei prezzi delle CRM farebbe aumentare la concorrenzialità delle materie prime seconde. La creazione di una vera e propria “catena del valore integrata”, ma applicata all'industria del riciclo – che comprenda raccolta, trasporto, riciclo e raccolta delle materie prime

seconde - potrebbe essere quindi uno degli strumenti praticabili con successo. Una parte significativa del processo potrà essere espressa dall'*ecodesign*.

A proposito dell'Italia, un'altra questione emersa è quella legata alla necessità di distinguere **materie prime critiche** per la transizione e **materie prime strategiche** (CRIET, 2022). Si tratta di una distinzione abbastanza naturale: le prime servono a raggiungere obiettivi meritori e di medio-lungo periodo, le seconde sono centrali per l'economia e la crescita del paese, stante il suo modello di specializzazione produttiva. Quello che talvolta sembra meno ovvio è che la non sovrapposibilità delle due classificazioni è potenzialmente in grado di sollevare un fronte di discussione dal momento che concentrare l'attenzione sulle CRM potrebbe effettuare uno "spiazzamento" dell'interesse comunitario in danno delle seconde.

Ci sia consentita infine una precisazione semantica, dalla quale discendono implicazioni nell'agire comune. Trattando della questione delle CRM in questa sede si è fatto più volte uso dell'espressione "sistema socio-tecnico". Il riferimento corre alla **dimensione extra-tecnologica** dell'argomento, nella convinzione che il processo di transizione energetica non si concluda nella realizzazione e nell'uso del pannello fotovoltaico o del veicolo elettrico, ma chiami in causa un assetto più ampio e complesso, legato alla dimensione delle responsabilità, individuali ed istituzionali. Tra le prime sono le pratiche sociali e le abitudini di comportamento dei cittadini nel consumo di energia, come pure il livello di responsabilità delle imprese. Ad esempio, l'intensità del ricorso al mezzo privato per gli spostamenti. Il settore dei trasporti nel 2050 potrebbe valere il 60% dell'intero fabbisogno di metalli critici per la transizione energetica (KU Leuven, 2022) e anche piccoli cambiamenti comportamentali potrebbero avere effetti di ampia portata. Tra le responsabilità istituzionali sono quelle inerenti all'organizzazione dei luoghi della produzione e del consumo di energia, che possono indurre a loro volta comportamenti soggettivi "non virtuosi". Ad esempio, le due polarità nelle quali sembra incanalarsi lo sviluppo abitativo e demografico - da un lato, quella delle congestionate metropoli, dall'altro, quella dei piccoli centri interni e dello *urban sprawl*. Si tratta solo di esempi, tra i diversi possibili, per richiamare l'importanza di una visione d'insieme che configuri la transizione energetica come un processo complesso, che non si esaurisce nella sfida per il possesso della materia prima e nello sviluppo del *know-how* tecnologico, ma riceve giovamento anche da azioni e comportamenti indirizzati a un maggiore equilibrio tra i sistemi sociali e naturali.

Acronimi e abbreviazioni

CE	Commissione Europea
CRM	Materia prima critica (Critical Raw Material)
CSP	Solare a concentrazione
EI	Indice di importanza economica
ERMA	European Raw Material Alliance
HREE	Elementi del gruppo delle terre rare pesanti
ICT	Tecnologia dell'Informazione e della Comunicazione
IEA	International Energy Agency
ISPI	Istituto per gli Studi di Politica Internazionale
LREE	Elementi del gruppo delle terre rare leggeri
PGM	Metalli del gruppo del platino
REE	Elementi del gruppo delle terre rare
RES	Energie rinnovabili
SR	Indice di rischio nell'offerta
UE	Unione Europea
USD	Dollari americani
USGS	U.S. Geological Survey

Riferimenti bibliografici

Akgüç M., 2021, Europe's open strategic autonomy Striking a balance between geopolitical, socioeconomic and environmental dimensions, ETUI Policy Brief 2021.09

Alves Dias P., Bobba S., Carrara S., Plazzotta B., 2020, The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility, EUR 30488 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-27016-4, doi:10.2760/303258, JRC122671.

Ambrosetti-ERION, 2022, Gli scenari evolutivi delle materie prime critiche e il riciclo dei prodotti tecnologici come leva strategica per ridurre i rischi di approvvigionamento per l'Italia. Position Paper, giugno 2022.

Assoambiente, 2022, L'Italia che ricicla, Report 2022 <https://assoambiente.org/files/report-italia-che-ricicla.pdf>

Arrobas D., Hund K., McCormick M. S., Ningthoujam J., Drexhage J. R., 2017, The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future, Washington, D.C., World Bank Group, <http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/The-Growing-Role-of-Minerals-and-Metals-for-a-Low-Carbon-Future>

BMNT, 2019, Federal Ministry for Sustainability and Tourism (BMNT) of Austria, *World Mining Data 2019*, ISBN 978-3-901074-46-2, Vienna, Aprile 2019

BloombergNEF, 2022, Electric Vehicle Outlook 2022, <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

Bonnet T., Grekou C., Hache E., Mignon V. , 2022, *Metalli strategici: il dominio cinese*. Energia 3/2022 (pp. 40-44)

Boer L., Pescatori A., Stuermer M., 2021, Energy Transition Metals. IMF Working Paper, WP/21/243, 2021.

Bordoff J. e O'Sullivan M. L., 2022, The New Energy Order: How Governments Will Transform Energy Markets, Foreign Affairs (luglio/agosto 2022), <https://www.foreignaffairs.com/articles/energy/2022-06-07/markets-new-energy-order>. Ultimo accesso: febbraio 2023.

Brussato G., 2021, Il nazionalismo delle risorse può far deragliare il treno della transizione, <https://www.rivistaenergia.it/2021/10/cresce-il-nazionalismo-delle-risorse-e-rischia-di-far-deragliare-il-treno-della-transizione/>.

Cagnin, C., Muench, S., Scapolo, F., Störmer, E., Vesnic-Alujevic, 2021, L. Shaping and securing the EU's open strategic autonomy by 2040 and beyond. Publications

Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-41020-1, doi:10.2760/414963, EUR 30802 EN, JRC125994

Carrara, S.; Alves Dias, P.; Plazzotta, B.; Pavel C., 2020, Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, Joint Research Centre, JRC119941, <http://dx.doi.org/10.2760/160859>

Commissione Europea, 2011, COM(2011) 25 final, Affrontare le sfide relative ai mercati dei prodotti di base e alle materie prime, Bruxelles 02/02/2011.

Commissione Europea, 2014, COM(2014) 297 final, Revisione dell'elenco delle materie prime essenziali per l'UE e attuazione dell'iniziativa "materie prime", Bruxelles 26/05/2014

Commissione Europea, 2017a, Regolamento (UE) 2017/821 del Parlamento europeo e del Consiglio, che stabilisce obblighi in materia di dovere di diligenza nella catena di approvvigionamento per gli importatori dell'Unione di stagno, tantalio e tungsteno, dei loro minerali, e di oro, originari di zone di conflitto o ad alto rischio (GU L 130 del 19.5.2017).

Commissione Europea, 2017b, COM(2017) 490 final, Elenco 2017 delle materie prime essenziali per l'UE, Bruxelles 13/09/2017

Commissione Europea, 2020, COM(2020) 474 final, Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità, Bruxelles 03/09/2020.

Commissione Europea, 2021a, COM(2021) 66 final, Riesame della politica commerciale - Una politica commerciale aperta, sostenibile e assertiva, Bruxelles, 18/2/2021

Commissione Europea, 2021b, COM(2021) 350 final, Aggiornamento della nuova strategia industriale 2020: costruire un mercato unico più forte per la ripresa dell'Europa, Brussels, 5.5.2021

Commissione Europea, 2021c, COM(2021) 750 final, *Capacità e libertà di azione dell'UE*, Bruxelles, 8/9/2021

Consorzio Erion WEEE, 2022, *Gli scenari evolutivi delle materie prime critiche*. Studio realizzato in esclusiva per Erion da The European House - Ambrosetti, <https://erion.it/it/studi-e-proposte/materie-prime-critiche-raee/>

Corrias P., Ciorba U., Felici B., 2021, Il fine vita del fotovoltaico: implicazioni socio-economiche ed ambientali, 2021 ENEA ISBN: 978-88-8286-402-6

Dini A., Lattanzi P., Ruggieri G., Trumpy E., 2022, *Lithium Occurrence in Italy - An Overview*. Minerals 2022, 12, 945. <https://doi.org/10.3390/min12080945>

Dolega P., Bulach W., Betz, J., Degreif S. e Buchert M., 2021, *Green technologies and critical raw materials*, Öko-Institut e.V., Policy Brief, 14/06/2021, disponibile su <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Green-technologies-and-critical-raw-materials.pdf>

Duehren, A., U.S. and EU Advance Buyers' Club for EV Battery Minerals West aims to rely less on China and promote clean-energy technology, The Wall Street Journal, <https://www.wsj.com/articles/u-s-and-eu-advance-buyers-club-for-ev-battery-minerals-5288287e>

Euromines, 2019, The raw materials contribution to the implementation of the EU Sustainable Finance Action Plan. Federal Ministry Republic of Austria, Sustainability and Tourism

European Commission, 2008, COM(2008) 699 final, The raw materials initiative — meeting our critical needs for growth and jobs in Europe, Bruxelles 04/11/2008

European Commission, 2020a, Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report (2020), ISBN 978-92-76-21049-8, doi: 10.2873/11619

European Commission, 2020b, Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study, 2020, ISBN 978-92-76-15336-8, doi: 10.2873/58081

European Commission, 2020c, Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Critical Raw Materials Factsheets (Final), ISBN 978-92-76-21053-5, doi: 10.2873/92480.

European Commission, 2021, Regulation of the European Parliament and of the Council on the protection of the Union and its Member States from economic coercion by third countries, COM(2021), 775 final, 2021/0406 (COD), Brussels, 8.12.2021

European Commission, 2022, Council "Competitiveness", 9 June 2022 - Public session. Statements by EU Internal Market Commissioner Thierry Breton.

FMI, 2023, Fondo Monetario Internazionale, <https://data.imf.org>

Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2022, *Riciclo in Italia 2022* <https://www.fondazionevilupposostenibile.org/pubblicazioni/documenti-rifiuti-circular-economy/>

Fumanti F., Demicheli L., 2021, *I giacimenti di CRM in Italia e in Europa*, ISPRA, Servizio geologico nazionale. Presentazione all'evento organizzato dal Ministero dello Sviluppo Economico, dall'ENEA e dal Tavolo Nazionale Materie Prime Critiche nell'ambito dell'edizione 2021 di Ecomondo - 29 ottobre 2021.

Giuli M., 2020, *Cinquanta sfumature di verde*, in Limes, 12/2020.

Hagelüken C., 2012, Recycling the Platinum Group Metals: A European Perspective, *Platinum Metals Rev.*, 2012, 56, (1), 29–35, <https://doi.org/10.1595/147106712X611733>

Hund K., La Porta D., Fabregas T. P., Laing T., Drexhage J., (World Bank Group), 2020, *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*, 2020.

IEA, 2017, *Energy Technology Perspectives 2017*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>, License: CC BY 4.0

IEA, 2021, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, 2021, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, License: CC BY 4.0

IEA, 2022a, *Critical Minerals Policy Tracker*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-policy-tracker>, License: CC BY 4.0

IEA, 2022b, *World Energy Investment 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>, License: CC BY 4.0

IEA, 2022c, *World Energy Outlook 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>, License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

IEA, 2023, *Energy Technology Perspectives 2023*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>, License: CC BY 4.0

ISPI, 2022a, *The EU Stuck Between Trade Openness and Strategic Autonomy*, <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/eu-stuck-between-trade-openness-and-strategic-autonomy-36534>.

ISPI, 2022b, *Focus Sicurezza energetica n. 5, Agosto/Ottobre 2022*

ISPRA, 2022, *Rapporto Rifiuti Speciali. Edizione 2022* <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione-2022>

IUPAC, 2005, *Nomenclature of Inorganic Chemistry, IUPAC Recommendations 2005*, https://iupac.org/wp-content/uploads/2016/07/Red_Book_2005.pdf

Joint Research Centre (JRC), 2022, *RMIS Newsletter special edition: focus on the Ukraine – Russia crisis, April 2022*, https://materiali.sostenibilita.enea.it/sites/default/files/allegati/news-eventi/promas_sspt/rmis_newsletter_special_edition_-_ukraine_crises_final.pdf

KU Leuven, 2022, Metals for Clean Energy - Pathways to solving Europe's raw materials challenge, <https://eurometaux.eu/media/jmxf2qm0/metals-for-clean-energy.pdf>

Lanzavecchia, O., La strategia italiana per le materie prime critiche, Parla Vigna, (Mimit), <https://formiche.net/2023/03/materie-prime-italia-vigna-mimit>

Leonardi, M., Novati, G., 2021, Taranto e acciaio primario in Italia, <https://eccoclimate.org/wp-content/uploads/2021/11/Taranto-e-acciaio-primario-in-italia.pdf>.

Manberger A., Johansson B., 2019, The geopolitics of metals and metalloids used for the renewable energy transition, Energy Strategy Review, n. 26, 2019.

Moreira S., Laing T., 2022, Sufficiency, sustainability, and circularity of critical materials for clean hydrogen, Climate-Smart Mining Facility, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank

Motus-E Strategy & e Politecnico di Milano, 2023, Il riciclo delle batterie dei veicoli elettrici @2050: scenari evolutivi e tecnologie abilitanti

Ottaviano G. 2022, Riglobalizzazione. Dall'interdipendenza tra Paesi a nuove coalizioni economiche, EGEA

Presidenza del Consiglio dei Ministri, Relazione annuale 2022 sulla politica dell'informazione per la sicurezza

Renda, A., Schwaag Serger, S., Tataj, D., 2022, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, *Industry 5.0, a transformative vision for Europe: governing systemic transformations towards a sustainable industry*, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322>

S&P Global, 2022, The Future of Copper: Will the looming supply gap short-circuit the energy transition?, July 2022

Tajoli L., Tentori D., (ISPI), 2022, *La globalizzazione (non) è morta*. 23/05/2022, <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/la-globalizzazione-non-e-morta-35079>

Unguru, M., Georgitzikis, K., Ciupagea, C. and Garbossa, E., 2022a, Russian trade in non-food raw materials, EUR 31108 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-53303-0 (online), doi:10.2760/837284 (online), JRC129611.

Unguru, M., Georgitzikis, K., Ciupagea, C., and Garbossa, E., 2022b, Ukraine's trade in non-food raw materials - Focus on EU-Ukraine trade relations, EUR 31179 EN,

Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-55630-5, doi:10.2760/816082, JRC130392.

UNITAR, 2020, Ukhosed SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam, 2020

USGS, 2022, US Geological Survey Releases 2022. List of Critical Minerals. <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>

Wolf. A., 2022, La posizione europea sulle materie prime del futuro. Rischi, potenzialità e orientamenti. Centres for European Policy Network, n. 11/2022

World Bank Group, 2022, Commodity Markets Outlook: The Impact of the War in Ukraine on Commodity Markets, April 2022. World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0

APPENDICE

Andamento dei prezzi dei metalli critici per la transizione energetica

I metalli critici per la transizione energetica, così denominati dal Fondo Monetario Internazionale, sono contrassegnati da un tasso di crescita dei prezzi dal 2013 al 2022 superiore a quello di altre categorie di materie prime, come quelle energetiche, quelle alimentari, quelle dei metalli preziosi, e quelle dei metalli in generale. Fatto 100 il valore di partenza di ciascuna commodity nel 2013, il litio tocca il valore 633 nel 2022, il palladio 290, il cobalto 235, le terre rare 217. Nel complesso dal 2013 ad oggi il prezzo dei metalli della transizione energetica è aumentato del 36%, quello delle materie prime energetiche del 33% circa. In particolare, l'aumento è concentrato negli ultimi due anni.

Tabella 10. Prezzi(*) dei metalli della transizione energetica e di altre materie prime⁴⁸

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Litio	100	97,0	99,1	148,4	183,5	206,7	156,8	113,9	168,9	633,0
Palladio	100	110,7	95,3	84,5	120,0	142,1	212,2	302,3	330,6	290,6
Cobalto	100	113,6	105,0	94,0	206,1	269,1	122,5	116,1	189,1	235,4
Terre rare	100	86,4	83,6	73,6	73,3	75,6	72,9	66,7	136,5	217,5
Manganese	100	96,5	86,8	76,6	85,3	102,6	82,0	73,9	174,9	194,2
Zinco	100	113,1	101,1	109,4	151,3	153,0	133,5	118,7	157,2	182,4
Vanadio	100	89,4	66,6	57,8	114,6	292,5	221,4	103,9	131,5	176,4
Molibdeno	100	111,4	64,5	62,3	69,1	101,7	113,7	87,3	155,0	174,1
Nickel	100	112,4	78,9	63,8	69,3	87,3	92,6	91,8	122,9	172,1
Silicio metallico	100	94,6	94,8	74,0	85,5	94,6	78,8	75,8	115,0	160,3
Alluminio	100	101,1	90,1	86,9	106,6	114,2	97,2	92,3	133,9	146,6
Cromo	100	99,1	98,9	91,9	99,8	122,0	105,3	77,5	101,8	121,1
Rame	100	93,6	75,2	66,4	84,2	89,1	82,0	84,2	127,1	120,4
Piombo	100	97,9	83,6	87,2	108,2	104,7	93,3	85,3	102,8	100,6
Argento	100	80,1	65,9	71,8	71,6	65,9	68,0	86,1	105,6	91,4
Platino	100	93,1	70,9	66,4	63,8	59,1	58,1	59,4	73,4	64,6
Materie prime energetiche	100	94,0	52,7	44,3	54,6	69,3	57,2	40,6	81,1	132,6
Metalli preziosi	100	89,8	80,9	86,1	87,5	88,1	97,5	124,1	128,7	126,3
Materie prime alimentari	100	99,8	83,6	84,5	87,2	85,7	82,9	84,3	105,9	120,9
Metalli, nel complesso	100	87,8	63,8	60,5	73,9	78,8	81,8	84,6	124,2	117,2

(*) Numero indice dei prezzi delle materie prime (2013 = 100)

⁴⁸ fonte: FMI, 2023

Caratteristiche e impieghi di una selezione di materie prime critiche rilevanti per il processo di transizione energetica

Di seguito sono riportate informazioni di sintesi su alcune tra le materie prime indicate come critiche per la transizione energetica negli studi presentati nel Capitolo 3, in termini di applicazioni e principali criticità.

Elementi del gruppo delle terre rare

Dall'analisi della Commissione Europea (European Commission, 2020a) spicca in primo luogo il gruppo delle *terre rare*, che si caratterizza per un valore di *Supply Risk* molto alto, oltretutto stimato in aumento nelle valutazioni della Commissione tra il 2017 e il 2020. Il SR viene valutato nel 2020 pari a 5,6 per il gruppo di elementi delle terre rare pesanti, e 6,0 per il gruppo delle terre rare leggere. I valori di EI sono pari a 3,9 e 4,3 rispettivamente. Allo stato attuale, le terre rare paiono fondamentali per la realizzazione delle ambizioni dell'UE sulla neutralità climatica al 2050.

Gli elementi del gruppo delle terre rare (REE) sono una famiglia di 17 elementi comprendenti 15 elementi nel gruppo dei lantanidi, più scandio e ittrio (IUPAC, 2005). Sulla base del peso atomico, nel gruppo dei lantanidi i sei elementi più leggeri sono classificati come elementi delle terre rare leggere⁴⁹ (LREE) e gli altri nove elementi come elementi delle terre rare pesanti⁵⁰ (HREE) (IUPAC, 2005).

Le terre rare comprendono elementi chimici utilizzati in una vasta gamma di applicazioni high-tech. All'interno di questo gruppo, gli elementi chiave per le tecnologie energetiche pulite sono: neodimio, praseodimio, disprosio e terbio. Si prevede un forte incremento nell'uso di queste quattro terre rare specifiche sia nelle tecnologie *low-carbon* sia per altre applicazioni (Alves Dias et al., 2020). Esse vengono impiegate per produrre magneti permanenti per motori elettrici e generatori di elettricità, materiali ceramici e catalizzatori per il controllo dell'inquinamento atmosferico, batterie e in numerose altre applicazioni non nel settore energetico (tra cui vetri speciali, lucidanti per particolari tipi di vetro, lampade fluorescenti e schermi LED per i televisori). I magneti permanenti vengono utilizzati in un gran numero di applicazioni: nei motori di veicoli elettrici e nei generatori eolici; ma anche in apparecchiature ICT (laptop, telefoni cellulari e fotocamere); apparecchi elettrici e utensili elettrici senza filo; sistemi di guida missilistica; robot e droni; apparecchiature mediche di imaging a risonanza; etc.

Sebbene non siano scarsi, questi elementi tendono ad essere scarsamente concentrati e quindi la loro estrazione non è sempre redditizia. Ciò ha portato a una scarsa diversificazione del mercato, con la maggior parte delle miniere situate in Cina. Con

⁴⁹ cerio, lantanio, neodimio, praseodimio e samario

⁵⁰ disprosio, erbio, europio, gadolinio, olmio, lutezio, terbio, tulio, itterbio

una quota superiore all'85%, la Cina è infatti il principale produttore mondiale di terre rare.

Sull'alto valore di SR delle terre rare incide anche l'incertezza statistica sulle stime - relativa alla produzione, alle riserve mondiali e alla qualità delle estrazioni - la forte volatilità dei prezzi e l'estrema concentrazione geografica. Il tasso di riciclo a fine vita è stimato all'8% per le terre rare pesanti e al 3% per quelle leggere. In Italia esiste un impianto per il riciclo di ittrio e altre terre rare da polveri fluorescenti da lampade e televisori a Rho (Milano).

Metalli del gruppo del platino

I metalli del gruppo del platino (PGM) comprendono platino, palladio, rodio - i più preziosi del gruppo - e iridio, osmio e rutenio. Per essi è stimato nel 2020 un SR di 2,4 e un valore di importanza economica decisamente elevato, pari a 5,7 (European Commission, 2020a). A differenza di altre CRM, per il platino esiste un mercato caratterizzato da una buona liquidità, determinato dal suo storico impiego nelle industrie della gioielleria. La "preziosità" di questo gruppo è dovuta non solo alla scarsità ma anche alla difficoltà di soluzioni applicative sostitutive. Le caratteristiche chimico-fisiche di efficienza nell'attività catalitica, di resistenza alla corrosione e all'ossidazione, l'alto punto di fusione, l'alta densità, un'eccellente conduttività elettrica, ne fanno elementi fondamentali, oltre che nelle aree della catalisi dei processi chimici e del controllo delle emissioni automobilistiche, anche nell'ambito delle tecnologie dell'informazione, delle applicazioni elettroniche e delle tecnologie per la produzione di energia (fotovoltaico, celle a combustibile, tecnologie dell'idrogeno). Le aree di applicazione includono anche la produzione di vetro, materiali ceramici e pigmenti, il settore medico/dentistico, il settore farmaceutico e la produzione di superleghe.

Il platino è un componente importante non solo delle celle a combustibile ma anche nella produzione di elettrolisi dell'idrogeno. Se l'idrogeno dovesse crescere come vettore energetico per usi che vanno oltre le celle a combustibile, come il riscaldamento degli ambienti, la domanda di platino potrebbe aumentare notevolmente. Il potenziale di risparmio e un calo delle applicazioni attuali (domanda nei veicoli con motore a combustione interna come convertitore catalitico) potrebbero tuttavia attenuare l'impatto della crescita nella domanda. Anche il riciclaggio svolgerà un ruolo importante nella domanda di platino per le applicazioni nelle tecnologie per la transizione energetica. I minerali del gruppo del platino sono altamente riciclabili, con tassi di recupero potenziali variabili a seconda delle applicazioni (da 80-90% in applicazioni per la produzione di chimica fine, a 50-60% nelle applicazioni automobilistiche fino a tassi inferiori al 10% nel riciclaggio delle applicazioni elettriche (Hagelüken, 2012). Particolare è il trend al rialzo del prezzo del palladio, in costante ascesa dal 2016. Dai 15 euro per grammo di marzo 2016, e dai 25 dell'agosto 2018, si è passati ai 60 di novembre 2021, con un'impennata a 79 euro per grammo nel

mezzo di marzo 2022, in corrispondenza della vicenda bellica russa⁵¹. Il principale produttore mondiale è il Sudafrica (con quote tra il 70% e il 90% circa) e, per quanto riguarda il palladio, la Russia (con una quota del 40% circa, ma con una quota stimata di riserve mondiali pari al 76%) (fonte USGS, 2022). Per i PGM piuttosto alta è la percentuale di riutilizzo a fine vita, data intorno al 21%.

Cobalto

Un altro elemento di spicco tra le CRM coinvolte maggiormente nella transizione energetica è il *cobalto*. Il cobalto viene utilizzato soprattutto nelle batterie, ma anche nelle tecnologie di cattura e stoccaggio di carbonio, nei catalizzatori, nelle superleghe e nei magneti, ed è ricavato in larga parte come sottoprodotto della produzione di nichel e rame. E' soprattutto l'espansione del mercato dei veicoli elettrici che ne decreta l'aumento della domanda internazionale, dal momento che questo elemento, utilizzato nella fabbricazione del catodo delle batterie, contribuisce notevolmente alla loro densità energetica e ha la caratteristica di aumentarne la durata. È prodotto in larga parte nella Repubblica Democratica del Congo (con una quota del 59%), ma il principale importatore è la Cina, che nel corso degli anni ha realizzato imponenti investimenti diretti all'estero e si è specializzata nella sua raffinazione, nonché nella manifattura del prodotto finito di maggior pertinenza, cioè le batterie per i veicoli elettrici, sintetizzando una vicenda esemplare di integrazione verticale. Secondo il rapporto della Commissione Europea del 2020 il rischio di approvvigionamento globale per il cobalto è in aumento, soprattutto a partire dal 2025, per via della domanda crescente, del grado di concentrazione geografica, della lentezza nell'apertura di nuove attività minerarie e, non ultimo, dell'emersione di pratiche estrattive in Congo considerate non etiche e lontane dagli standard di accettabilità sociale (European Commission, 2020c). Tra queste ultime si ricorda il ricorso a pratiche artigianali, con conseguente rilascio nelle falde idriche di sostanze tossiche a danno delle popolazioni locali, e lo sfruttamento della manodopera, spesso fino al ricorso a sistemi illegali, rispetto ai quali Unione Europea e Stati Uniti mostrano negli ultimi anni una sensibilità maggiore. Per il cobalto anche la dipendenza dalle estrazioni di nichel e rame potrebbe avere un effetto di amplificazione dell'incertezza. Eppure, il quadro sembra stia rapidamente cambiando, più di quanto fotografi il rapporto della Commissione Europea del 2020. In primo luogo, la produzione di cobalto nelle miniere del Congo gestita dalla multinazionale anglo-svizzera Glencore è notevolmente aumentata nel 2022, con l'effetto di una considerevole diminuzione di prezzo. In secondo luogo, non meno importante, innovazioni di processo e di prodotto si sono inoltre prodotte negli ultimi anni. Il contenuto di cobalto utilizzato nelle batterie dei veicoli elettrici Li-NMC (litio-nichel-manganese-cobalto) si mostra in diminuzione, come attesta la denominazione convenzionale⁵². Di più, un'innovazione a maggiore impatto si

⁵¹ Fonte: <https://www.coininvest.com>. Gli analisti finanziari considerano il palladio un bene rifugio.

⁵² Il suffisso numerico della denominazione esprime, nell'ordine individuato dai simboli chimici che costituiscono il prefisso, la proporzione degli elementi coinvolti. Da NMC111 si è passati negli anni a

prospetta all'orizzonte, che consente di non ricorrere al cobalto, quella degli accumulatori a tecnologia litio-ferro-fosfato (LFP), in rapida ascesa negli ultimi due anni (BloombergNEF, 2022; KU Leuven, 2022).

Litio

La classificazione del litio quale emerge nel rapporto della Commissione Europea (European Commission, 2020a) potrebbe stupire, per via dell'attribuzione ad esso di un grado di SR relativamente basso, se posto a confronto con altre CRM, e alla luce del dato relativo al prezzo internazionale, che nel 2022 è quasi quadruplicato in soli dodici mesi (dati FMI, <https://data.imf.org>). Probabilmente il punteggio espresso dai valutatori è in ragione di alcune previsioni relativamente ottimistiche riguardo all'incremento della produzione mondiale, a copertura della pur imponente espansione della domanda internazionale. Tra il 2000 e il 2017 la produzione mondiale è cresciuta di quasi quattro volte (Federal Ministry for Sustainability and Tourism, 2019). Dal 2017 contribuisce peraltro notevolmente ad una maggior produzione l'Australia. Anche le stime relative alle riserve mondiali del litio (con il Cile in posizione di primissimo piano), date in aumento da USGS negli ultimi due anni, possono aver influito sull'abbassamento del valore di rischio. La Banca Europea degli Investimenti ha inoltre finanziato l'apertura di nuove miniere in paesi europei (Spagna, Portogallo, Francia e Repubblica Ceca), puntando esplicitamente ad un obiettivo di autosufficienza dell'UE all'80% (Giuli, 2020). Le nuove tecnologie sembrerebbero dal canto loro contribuire, come quella dell'estrazione del carbonato di litio dal mare, con un costo marginale in rilevante diminuzione. Sul relativamente basso valore del rischio di disponibilità ascritto al litio potrebbero aver agito anche i sentori relativi allo sviluppo di nuovi tipi di batterie nei prossimi 10-15 anni, che non ne prevedono l'impiego. Da segnalare, soprattutto, la recente scoperta di giacimenti di litio in Germania, potenzialmente in grado di riscrivere i numeri mondiali del prezioso elemento. La scoperta è stata ufficializzata nel 2021 e nel rapporto della Commissione Europea del 2020 non se ne fa esplicito riferimento. Ad onor del vero, non è dato di sapere se il *foresight* dei tecnici che stanno dietro al rapporto si sia basato anche su questa cognizione. Si tratterebbe del giacimento di litio più grande al mondo, situato nell'Alta Valle del Reno. Una multinazionale australiana (Vulcan Energy Resources), con partecipazioni tedesche, ha già presentato un progetto, giunto allo stadio operativo. Il Karlsruhe Institute of Technology (KIT) fornirà un contributo fondamentale, sperimentando sul campo un metodo a basso impatto ambientale per l'estrazione dalle acque del bacino. Il motore immobile di questa operazione è stata l'industria automobilistica tedesca. Nel complesso, un esempio di tessitura di sinergie e di politica industriale attiva, anche se non mancano segni di opposizione da parte delle popolazioni locali.

NMC811, ovvero 8 parti di nichel per 1 di cobalto, quindi ad accumulatori con una densità di cobalto notevolmente inferiore.

Rame

Un'attenzione speciale merita il rame, "metallo dell'elettrificazione", elemento tipicamente *cross-cutting* nei settori dell'economia. Nel rapporto della Commissione Europea (European Commission, 2020a) il rame è incluso negli 83 elementi analizzati, ma non viene annoverato tra le CRM, poiché ad esso viene assegnato un punteggio in termini di rischio di disponibilità basso, forse in ragione della minore concentrazione geografica della produzione mondiale (il primo paese, il Cile, ne detiene il 23%, mentre la somma dei primi quattro è poco meno del 50%). Nello specifico al rame viene attribuito un valore SR pari a 0,3 e un valore EI 5,3. Lo studio della Banca Mondiale (Hund et al., 2020) conferma una valutazione non critica in riferimento all'aumento di richiesta. Esso, tuttavia, assegna al rame un valore dell'indice che valuta il numero e la varietà delle tecnologie *low-carbon* in cui un materiale è impiegato più alto rispetto a quello degli altri 16 minerali analizzati. Altri studi invece (IEA 2023, S&P Global 2022, KU Leuven, 2022), indicano il rame tra gli elementi ad alta criticità

Per quanto riguarda le tecnologie *low-carbon*, si stima che nel 2035 il 43% della domanda globale di rame sia destinata ai mercati finali della transizione energetica (S&P Global, 2022). Oltre che per le reti elettriche di trasmissione e nella mobilità elettrica (veicoli, infrastrutture e sistemi di ricarica e di accumulo), il rame è ampiamente impiegato negli scambiatori di calore e negli impianti solari a concentrazione, nelle turbine eoliche, nelle tecnologie a idrogeno e nelle batterie. Le stime della disponibilità globale del rame sarebbero da rivedere al ribasso. Secondo USGS (riportato in S&P Global 2022) la disponibilità *effettiva* a livello mondiale del rame (880 milioni di tonnellate) non è sufficiente a coprire l'espansione della domanda globale, attualmente stimata intorno ai 25 milioni all'anno, ma prevista al raddoppio nel 2035, secondo S&P Global 2022. Esiste altresì una enorme riserva planetaria secondaria di rame, quale quella delle rocce comuni, ma in questo caso il dispendio economico, energetico ed ambientale richiesto per estrarne il prezioso elemento ne riduce a zero la disponibilità effettiva. Il riciclo del rame raggiunge un livello non trascurabile (il tasso di riciclo medio è stimato intorno al 17% dal Rapporto della Commissione Europea (European Commission, 2020a), ma non ancora sufficiente a garantire una certa tranquillità sulla copertura della domanda potenziale. Secondo S&P Global 2022 già dal 2025 dovrebbe manifestarsi un divario tra domanda ed offerta mondiale nell'ordine di 1 milione di tonnellate. A contesto invariato di pratiche di riciclo, nel 2035 il divario raggiungerebbe i 10 milioni di tonnellate, mentre nello scenario più ambizioso raggiungerebbe un valore di poco meno di 2 milioni di tonnellate.

I segni non tardano a manifestarsi sul mercato internazionale. Nonostante nel corso dei primi 10 mesi del 2022 sia diminuito del 30%, gli operatori ritengono probabile una prossima e strutturale risalita del prezzo internazionale, come lasciano intendere la forte riduzione delle scorte e le frequenti richieste dei compratori di allungare la durata contrattuale fino a tre o a cinque anni.

Più in generale, l'elettrificazione dell'economia, vista nelle aree più sviluppate del pianeta tra le tendenze auspiccate nel quadro della transizione energetica, unitamente all'aumento della domanda mondiale in quelle aree geografiche dove l'energia elettrica non è ancora pienamente penetrata nelle case delle famiglie, non consentirebbe di sottovalutare il problema di una carenza nell'offerta globale del rame.

Scandio

Tra gli elementi del gruppo delle terre rare, ad elevato rischio d'offerta appare lo scandio (SR pari a 3,1). Insieme al platino, è un minerale chiave per gli elettrolizzatori per la produzione di idrogeno. Il suo impiego prevalente nell'UE avviene come elettrolita ad alta efficienza nelle celle a combustibile a ossidi solidi. L'elemento è apprezzato anche per la sua capacità di migliorare la resistenza alla corrosione e alla trazione, e di limitare la crescita di granuli nelle saldature e nella costruzione di leghe leggere in combinazione con l'alluminio. Un telaio più leggero, quando si tratti di un'automobile o di un aereo, incide sul rendimento e, quindi, è di interesse anche dal punto di vista dei consumi energetici richiesti. Il costo elevato e le ampie oscillazioni ne limitano ancora l'impiego. Due terzi della produzione mondiale attualmente si concentra in Cina.

Germanio

Altro elemento ad elevato SR è il germanio, con un valore pari a 3,9 indicato nel 2020 (European Commission, 2020a). La gamma di applicazioni di questo elemento è ampia (fibre ottiche, apparecchiature ottiche a infrarossi, catalizzatori di polimerizzazione) e per questo incontra una notevole domanda nell'industria delle telecomunicazioni e della difesa, nei sensori di immagine e nella diagnostica medica. Nel campo delle energie alternative il suo utilizzo riguarda soprattutto le tecnologie solari satellitari. Il costo elevato del germanio, e la volatilità del prezzo, è dovuto alla sua rarità in natura, al fatto di essere un sottoprodotto dell'estrazione dello zinco e delle ceneri del carbone e di essere per lo più scambiato internazionalmente sulla base di contratti annuali, più che su un mercato aperto. La Cina si pone in luce per una quota di produzione mondiale prossima all'80%.

Berillio

Il *berillio* è utilizzato per conferire elasticità in combinazione con altri metalli. Le leghe di rame e berillio vengono impiegate in particolare nell'industria aerospaziale e della difesa (per via della loro resistenza meccanica), nell'elettronica e telecomunicazioni (per via della loro conduttività elettrica), nella componentistica delle automobili, e nell'estrazione e raffinazione delle materie prime energetiche (per la loro proprietà anti-scintilla). Il berillio puro viene usato nella produzione di energia nucleare da fissione e nella ricerca sulla fusione. Le leghe contenenti berillio vengono utilizzate nei

terminali elettrici che uniscono i componenti dei pannelli solari a film sottile. Le proprietà termiche superiori della ceramica al berillio consentono alle celle fotovoltaiche a concentrazione di funzionare a concentrazioni solari molto elevate. Grandi produttori sono gli USA, mentre si stima che l'Italia ne possieda riserve, di entità incerta.

Vanadio

Il vanadio viene utilizzato per produrre acciaio microlegato ad alto snervamento, ad es. per i settori dell'aeronautica, dell'industria aerospaziale e per i reattori nucleari, e per produrre catalizzatori chimici. Il vanadio, apprezzato per la sua capacità di migliorare la durezza e la resistenza alla corrosione delle leghe di acciaio, trova impiego anche nei sistemi eolici. In questi impieghi il vanadio non è considerato tecnicamente insostituibile, poiché potrebbe essere rimpiazzato da un maggior utilizzo di altri elementi, come ad esempio il titanio. Tuttavia, ciò richiederebbe importanti modifiche nel processo produttivo, ragione per la quale nel breve periodo è da considerarsi di fatto irrinunciabile. Secondo il rapporto della Commissione Europea, il maggior produttore mondiale è la Cina, con una quota del 39%, ma le stime USGS per il 2021 le attribuiscono un valore del 66%.

Grafite naturale

La grafite naturale possiede caratteristiche di conduttività termica ed elettrica, ha un alto punto di fusione, è resistente alla corrosione. Tutte caratteristiche che ne giustificano l'ampia varietà degli impieghi industriali.

L'utilizzo in materiali refrattari per la produzione dell'acciaio attualmente ne costituisce la fetta prevalente, ma il suo utilizzo nella produzione di sistemi di accumulo ne sembra anticipare un ulteriore incremento per i prossimi anni. Nel campo degli accumulatori è un componente di pregio nella fabbricazione del catodo delle batterie alcaline come additivo, nella produzione dell'anodo e del catodo delle batterie al piombo come additivo, ma soprattutto come materiale primario per l'anodo delle batterie al litio. La produzione è fortemente concentrata in Cina (69% secondo il rapporto della Commissione Europea, ma ben l'82% secondo la stima USGS per il 2021). Un sito produttivo esiste in Italia, a Verdello (Bergamo).

Bauxite (per la produzione di alluminio)

La bauxite, viene inserita nell'elenco delle CRM dal momento che si tratta della roccia utilizzata come principale fonte di alluminio, del quale si ricordano le proprietà di resistenza alla corrosione, la leggerezza e la resistenza, con impiego amplissimo nell'industria, con implicazioni anche sul rendimento energetico dei manufatti. La

Banca Mondiale (Hund et al., 2020) stima che attualmente solo il 10% degli impieghi di alluminio coinvolga le energie alternative, ma prevede un forte sviluppo della domanda globale, in particolare nel campo del solare fotovoltaico. Inoltre, l'impiego dell'alluminio in molti manufatti industriali, anche se non direttamente nel settore energetico, può avere interesse dal punto di vista del contributo al miglioramento di efficienza e rendimenti nelle varie applicazioni e, di conseguenza, di risparmio nei consumi di energia. Le riserve mondiali sono considerate ampie, ma la concentrazione geografica è alta, con Cina, Australia e Guinea che fanno più del 70% della produzione mondiale (USGS 2022, stima per l'anno 2021).

Silicio metallico, indio e gallio

Su una posizione di criticità minore si pongono elementi a grande utilizzo nel settore fotovoltaico, come il silicio metallico, l'indio e il gallio, la cui produzione si trova fortemente concentrata in Cina. Il silicio viene sfruttato anche nei generatori eolici e come anodo delle batterie Li-Ion. L'indio, tra le altre cose, viene utilizzato anche come sostituto del mercurio nelle batterie alcaline per ritardare la corrosione dell'anodo. Una produzione di indio inferiore all'1% mondiale viene attribuita all'Italia. Il gallio viene ricavato come sottoprodotto del processamento di zinco e alluminio. Si tratta dell'elemento, tra tutti i minerali e metalli, che ha conosciuto il maggior tasso di crescita della produzione negli ultimi anni (tra il 2000 e il 2017 è cresciuto di circa 6 volte, World Mining 2019). Con l'esistenza di possibili giacimenti di bauxite l'Italia potrebbe anche ricavare una frazione di gallio come sottoprodotto. Viene utilizzato nella tecnologia rame-indio-gallio-selenio del film dei pannelli fotovoltaici. Quest'ultima tecnologia per il fotovoltaico sembra tuttavia lasciare il passo a quella che utilizza i già citati silicio, itterbio (una terra rara) e vanadio.

Tantalio

Il tantalio, per le sue caratteristiche di conduttività elettrica e di forte resistenza agli agenti corrosivi e alle alte temperature, conosce largo impiego nella costruzione di condensatori di ridotte dimensioni ed elevata stabilità termica, particolarmente apprezzati nella fabbricazione di computer e smartphone. Altro impiego del tantalio è nelle superleghe, per via della sua durezza e, a questo riguardo, occorre notare come l'intera industria delle macchine utensili, in ordine alla quale l'Italia vanta un certo grado di specializzazione, non potrebbe farne a meno. Ancora, altri impieghi avvengono nei reattori e scambiatori di calore e nell'industria nucleare. In prospettiva, l'importanza del tantalio potrebbe crescere, essendo una materia prima della quale potrebbero far uso le tecnologie del futuro più prossimo. La maggior parte del tantalio utilizzato è dovuta al riciclo, mentre il suo consumo viene limitato alle applicazioni nelle quali non può essere sostituito a pena di rilevanti perdite di qualità. Repubblica Democratica del Congo, Brasile, Ruanda e Nigeria sono i principali produttori (USGS 2022, stima per il 2021), mentre delle riserve vengono stimate per Australia, Brasile e

Canada, ma non per l'Europa (fatto salvo imprecisate riserve potenziali in Finlandia, Francia, Portogallo, Norvegia, Svezia e Germania).

Borati, afnio, niobio, magnesio e tungsteno

I borati trovano largo impiego in industria per la produzione di vetro ad alte prestazioni, di concime e di magneti permanenti. Ai fini della realizzazione della strategia per il raggiungimento della neutralità climatica della Commissione Europea, il loro utilizzo è nella costruzione di magneti per le turbine eoliche e per isolanti in fibra di vetro. Il grado elevato di *SR* è imputabile anche alla loro bassa riciclabilità. Il maggior produttore mondiale è la Turchia, con una quota del 42%.

Per quanto riguarda l'afnio, il principale driver della domanda è l'industria nucleare e l'industria aerospaziale, ed è caratterizzato sia da una forte concentrazione geografica (Francia e USA) che da una concentrazione nelle mani di poche compagnie.

Il niobio, dalle caratteristiche fisiche e chimiche abbastanza simili al tantalio, viene impiegato nell'eolico. Il magnesio trova impiego nelle batterie e, per la sua leggerezza e resistenza, nella realizzazione di leghe speciali. Il tungsteno si stacca da tutti gli altri elementi in ragione della sua importanza economica, essendo tra i metalli quello con il più alto punto di fusione, e perciò utilizzato in numerose applicazioni, come nelle celle a combustibile e nella realizzazione di superleghe.

Il testo si propone come rassegna ragionata, corredata delle informazioni statistiche disponibili, circa il tema delle “materie prime critiche” (Critical Raw Materials, CRM), con particolare riferimento alla dimensione della transizione energetica.

Si tratta di un gruppo di commodities che sono particolarmente richieste nell’ambito delle tecnologie energetiche a basse emissioni di carbonio, o sembrano in grado di contribuire a diminuire i consumi energetici nell’attuale, o nel più prossimo, assetto tecnologico, produttivo e commerciale.

La scommessa dell’attuale fase storica sta anche nel garantire un adeguato sistema di approvvigionamento di metalli e minerali che in alcuni casi potrebbero rivelarsi disponibili in quantità minori rispetto alla potenziale domanda mondiale.

La loro concentrazione geografica pone peraltro nuove questioni alla gestione delle negoziazioni politiche e commerciali tra i paesi, mentre laddove si esprime in aree geografiche turbolente, o caratterizzate dall’assenza di sistemi di tutela - dell’ambiente, della salute e della sicurezza dei lavoratori - richiede l’attenzione al rispetto degli standard minimi di accettabilità etica e sociale.

Il volume intende quindi toccare alcuni aspetti di metodo del problema, quali la definizione stessa di “materia prima critica” e il confronto tra le diverse angolazioni - come espresse nelle analisi e classificazioni prodotte da alcuni organismi internazionali - per poi passare alla disamina della concentrazione geografica mondiale dei metalli e minerali e delle nuove politiche europee in risposta alle difficoltà riscontrate in tema di approvvigionamenti, relazioni industriali e scambi commerciali, senza trascurare alcune problematiche strettamente legate alla realtà italiana.

ENEA.IT



ISBN: 978-88-8286-443-9