

La vulnerabilità della “green economy”*

ORFEO SBAIZERO

Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Università di Trieste

sbaizero@units.it

ABSTRACT

The transition to a low-carbon economy is accelerating also thanks to the 2016 Paris Agreement and the Sustainable Development Goals, adopted by the United Nations General Assembly in 2015. The conditions are therefore in place for reducing by 2050 the production of energy using coal or natural gas to a minimum or to zero. Unfortunately, however, the new “clean” or “green” energy technologies depend very much on the availability and cost of certain elements called rare earths. The availability of some of these materials is at risk due to their inaccessibility, their vulnerability to supply interruptions and the lack of suitable substitutes. This work briefly examines the industrial demand for these elements, some of their applications and the geological and geopolitical difficulties for their supply.

PAROLE CHIAVE

ECONOMIA VERDE / GREEN ECONOMY; ENERGIA / ENERGY; TECNOLOGIA / TECHNOLOGY; RISORSE MINERARIE / MINERAL RESOURCES; RICICLAGGIO / RECYCLING; GEOPOLITICA / GEOPOLITICS.

1. INTRODUZIONE

Gli scienziati hanno chiarito che la *decarbonizzazione* entro il 2050 è possibile, spostando la produzione di energia da carbone, petrolio e gas a fonti di energia a zero emissioni di Carbonio (eolica, solare, geotermica, idroelettrica, oceanica, biomassa, nucleare o combustibile fossile con cattura e stoccaggio del Carbonio). Per quanto possibile, gli usi a valle dovrebbero essere elettrificati direttamente, come con i veicoli elettrici a batteria e le pompe di calore elettriche per il riscaldamento domestico. E quando l'elettrificazione diretta non fosse realizzabile, l'energia a zero emissioni di Carbonio dovrebbe essere utilizzata per creare combustibili sintetici (o “verdi”) come Idrogeno,

* Title: *The vulnerability of the “Green economy”*.

metano verde, ammoniaca verde e altri vettori di carburante che possono essere bruciati senza rilasciare CO₂ nell’atmosfera.

Però dobbiamo considerare anche qualche aspetto “non proprio” positivo.

2. LIMITI DELLE RISORSE E VULNERABILITÀ DELLE TECNOLOGIE ENERGETICHE PULITE

Nel 2010 Steven Chu, ministro per l’energia degli Stati Uniti e Premio Nobel affermava:

Molte nuove ed emergenti tecnologie energetiche “pulite”, come i componenti delle turbine eoliche e i veicoli elettrici, dipendono da materiali con proprietà uniche. La disponibilità di alcuni di questi materiali è a rischio a causa della loro posizione, della loro vulnerabilità ad interruzioni di fornitura e alla mancanza di idonei sostituti.¹

Vediamo alcuni esempi: ogni parco eolico ha alcune turbine inattive, perché i loro delicati riduttori di giri sono guasti. Possono essere riparati, ovviamente, ma ciò richiede tempo e nel frattempo l’energia eolica non viene prodotta. Attualmente si può produrre una turbina eolica più affidabile che non necessita di riduttore, ma si devono utilizzare quantità notevoli di metalli detti “Terre rare”, e semplicemente costano molto oppure non c’è la fornitura.

Allo stesso modo, potremmo tutti utilizzare lampadine fluorescenti di nuova generazione che sono due volte più efficienti rispetto allo standard attuale. Ma quando il Dipartimento dell’Energia degli Stati Uniti (DoE) ha cercato di fare questo passaggio nel 2009, aziende come la General Electric hanno protestato dicendo: non saremmo in grado di procurarci abbastanza Terre rare per produrre le nuove lampadine.

Il passaggio a tecnologie nuove e migliori - dagli *smartphone* alle *auto elettriche* - significa una domanda sempre crescente di metalli esotici che scarseggiano grazie sia alla geologia che alla politica. I *pannelli solari* sottili ed economici hanno bisogno di Tellurio, che costituisce uno scarso 0,0000001% della crosta terrestre, rendendolo tre volte più raro dell’Oro. Le *batterie* ad alte prestazioni richiedono il Litio, che può essere estratto facilmente solo dalle pozze salmastre delle Ande. Il Platino, necessario come catalizzatore nelle *celle a combustibile* che trasformano l’Idrogeno

¹ Cfr. CHU 2010.

in energia, proviene quasi esclusivamente dal Sud Africa.

Le industrie hanno subito uno shock notevole quando, nel 2011, il prezzo medio delle Terre rare - inclusi Terbio ed Europio, utilizzati nelle *lampadine fluorescenti*; e Neodimio, utilizzato nei potenti *magneti* che aiutano a guidare le turbine eoliche e i motori elettrici, sono aumentati anche del 750% in un anno. Il problema era che la Cina, che controllava il 97% della produzione mondiale di Terre rare, aveva represso il commercio. È stata mediata una soluzione e lo shock sui prezzi si è attenuato, ma la minaccia di futuri problemi di approvvigionamento per le Terre rare e altri cosiddetti “elementi critici” incombe ancora.

Dal 2011 sono passati dieci anni, vediamo brevemente in questo contributo qual è il problema e qual è la situazione attuale.

3. LA DOMANDA INDUSTRIALE DELLE TERRE RARE

Quando parliamo di elementi con “proprietà uniche” parliamo di Litio, Cobalto, Nickel, Cromo, Tantalio, Niobio ma anche e soprattutto degli elementi delle *Terre rare* (REE), chiamati anche *Lantanidi* (sebbene anche Ittrio e Scandio siano solitamente inclusi come Terre rare).

Antimony	Hafnium	Phosphorus
Baryte	Heavy Rare Earth Elements	Scandium
Beryllium	Light Rare Earth Elements	Silicon metal
Bismuth	Indium	Tantalum
Borate	Magnesium	Tungsten
Cobalt	Graphite	Vanadium
Coking Coal	Natural Rubber	Bauxite
Fluorspar	Niobium	Lithium
Gallium	Platinum Group Metals	Titanium
Germanium	Phosphate rock	Strontium

Tabella 1. Materiali ritenuti strategici dalla Comunità Europea (2020).
(Fonte: *Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). Final Report 31.01.2020*)

Nel 2020 la Comunità Europea ha dichiarato che 30 elementi (o minerali) sono strategici per i Paesi europei (cfr. Tabella 1) e nel 2011 ad esempio ne aveva citati solo 14.

In particolare le Terre rare sono un insieme di 17 quasi indistinguibili metalli pesanti (ma morbidi) di colore bianco-argenteo brillante. Lo Scandio e l'ittrio sono considerati elementi delle Terre rare perché tendono a trovarsi negli stessi depositi di minerali dei Lantanidi e mostrano proprietà chimiche simili, ma hanno proprietà elettroniche e magnetiche diverse (cfr. Figura 1).

HEAVY Rare Earth Elements
LIGHT Rare Earth Elements
by Geology.com

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
Lanthanides																	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Actinides																	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Figura 1. Tavola periodica degli elementi con l'indicazione dei Lantanidi.

La domanda industriale di questi elementi è ridotta in termini di volume globale, ma sono elementi essenziali per una vasta gamma di applicazioni, dalle tecnologie per le energie rinnovabili, alle applicazioni biomediche e anche per quelle militari. Vediamo alcuni esempi.

3.1 BATTERIE AL LITIO PER AUTO ELETTRICHE

Queste batterie utilizzano quantitativi non trascurabili di Litio, Nickel e Cobalto. Alcuni studi molto recenti prevedono che fino al 2035 ci sarà una necessità di

crescita annuale del 7,5% per il Litio e del 3% del Cobalto per sostenere il mercato delle batterie per auto elettriche.

3.2 PANNELLI FOTOVOLTAICI

Gli elementi più utilizzati sono Argento, Cadmio, Tellurio, Indio, Gadolinio, Selenio, Germanio. Nei pannelli al Silicio cristallino, l’Argento viene utilizzato per collegare i vari pannelli, attualmente se ne usa circa 8 g/m², oltre all’Argento si usa Nickel. Per i pannelli a Silicio amorfo: Nickel, Germanio, Molibdeno. Per i pannelli di nuova generazione, quelli detti “organici”, si utilizzano leghe Osmio – Rutenio, del Platino come catalizzatore e l’Argento come in quelle al Silicio cristallino (cfr. Tabella 2). Per quanto riguarda i pannelli fotovoltaici a film sottile possiamo avere quelli al Cadmio – Tellurio, economici da produrre e quindi considerati come la tecnologia a film sottile più promettente, però la disponibilità di Tellurio è prioritaria e il suo fabbisogno è stato stimato in 6,5 g/m². Altri tipi di pannelli fotovoltaici a film sottile sono quelli CIS o CIGS (Rame – Indio – selenuro o Rame – Indio – Gallio – selenuro). L’Indio e il Gallio sono quindi critici e il loro fabbisogno è stimato essere di 2,9 g/m² (In) e 0,53 g/m² (Ga).

Material consumption of some selected raw materials in dye-sensitized solar cells [2].

Material	Needed mass/area [g/m ²]
Ruthenium	0.07
Platinum	0.03
Silver	1

Tabella 2. Elementi utilizzati in alcune celle fotovoltaiche “organiche”.

(Fonte: BLEIWAS D. I., 2010, *Byproduct mineral commodities used for the production of photovoltaic cells*: U.S. Geological Survey Circular 1365, 10 p., available at <<http://pubs.usgs.gov/circ/1365/>>)

Un altro modo per trasformare l’energia solare in elettricità è la cosiddetta “Energia solare concentrata o CSP”: in questo caso l’energia solare termica viene concentrata per ottenere vapore acqueo che fa funzionare una turbina convenzionale. In questo caso l’Argento ha la più alta riflettività ottica di tutti gli elementi e viene quindi

utilizzato sulla superficie degli specchi per ottenere un'elevata riflettanza. Il contenuto di Argento per area dello specchio è costante per tutte le tecnologie (circa 1 g/m²).

3.3. ENERGIA EOLICA

I magneti permanenti basati su elementi delle Terre rare producono campi magnetici molto intensi. Pertanto i generatori eolici possono funzionare con basse velocità di rotazione.

I REE utilizzati nei magneti permanenti, attualmente utilizzati in alcune delle nuove turbine eoliche, sono Disprosio (Dy), Neodimio (Nd), Terbio (Te) e Praseodimio (Pr). Attualmente, le Terre rare come il Neodimio e il Disprosio sono utilizzate principalmente nei magneti permanenti delle turbine eoliche offshore.

Anche le turbine eoliche *onshore* li utilizzano, come nel caso delle turbine dei parchi eolici in Francia, ma esistono delle alternative. Ad esempio, potrebbe essere possibile realizzare generatori asincroni o sincroni senza magneti permanenti, per ridurre la necessità di Terre rare. Ma senza soluzioni alternative nei prossimi dieci anni, il settore eolico potrebbe finire per rappresentare il 6% della produzione annuale di Neodimio e oltre il 30% della produzione annuale di Disprosio, dato che il settore eolico offshore globale dovrebbe raggiungere i 120 GW cumulativi. La richiesta di queste REE è di circa 160-200 Kg/MW per sistemi senza moltiplicatore di giri e 30 Kg/MW per quelli con moltiplicatore di giri.

3.4. CELLE A COMBUSTIBILE

Permettono la produzione di energia elettrica partendo da Idrogeno e Ossigeno. Il Platino è necessario come catalizzatore e il suo utilizzo è di circa 0,6-0,7 g/KW. A seconda poi del tipo di cella a combustibile si dovranno utilizzare: Cobalto, circa 8,9 mg/W (per quelle alcaline ad elettrolisi dell'acqua); Rutenio e Iridio in quelle a membrana polimerica (PEM); Lantanio (20 g/kW), Cerio (2 g/kW), Yttrio (40 g/kW) e Cobalto (30 g/kW) per quelle a ossidi ceramici (SOFC). Il sistema che converte l'energia elettrica da continua ad alternata richiede inoltre elementi quali Palladio, Oro, Germanio, Indio e Argento.

3.5. LAMPADINE LED E A FLUORESCENZA

I LED (*light emitting diode*) utilizzano in genere dei semiconduttori a base di Indio e Gallio, normalmente 0,17 mg di In e 0,53 g di Ga. Nelle lampadine a fluorescenza si usano REE quali Disprosio, Cerio, Lantanio, Yttrio, Europio e Terbio.

3.6. APPLICAZIONI IN CAMPO MILITARE

Ad esempio Lantanio per la visione notturna, Neodimio per laser, sistemi di guida, comunicazioni. Samario per sistemi di produzione del “rumore bianco” nella tecnologia *stealth*. Terbio e Disprosio, usati in tutti i magneti militari ad alta temperatura, per armi guidate, droni e F-35.

3.7. APPLICAZIONI IN CAMPO BIOMEDICO

Gli ioni REE (con poche eccezioni) sono emettitori di luce molto efficienti e sono molto usati nello sviluppo di materiali luminescenti. In campo medico, questi materiali sono fondamentali in tecniche di *imaging* importanti e ampiamente diffusi come la *tomografia computerizzata* (TC) e la *tomografia a emissione di positroni* (PET). In questi due casi, gli scintillatori impiegati convertono i raggi X (CT) o i raggi γ (PET) in luce visibile o, più raramente, UV facilmente rilevabile con dispositivi relativamente semplici. La dimensione del mercato globale per gli scintillatori inorganici è stata stimata in 337,8 milioni di dollari nel 2016. In particolare si utilizzano il Lantanio, Lutezio, Tulio, Yttrio e Itterbio nei dispositivi a raggi X o raggi γ mentre Erbio e Olmio vengono utilizzati nei laser medici.

4. LA GEOPOLITICA DELLE TERRE RARE

Con questi pochi esempi penso sia chiaro come alcuni elementi e tutte le Terre rare siano ormai diventati *molto importanti*. Ad esempio la Comunità Europea prevede di aver bisogno nel 2030 di un quantitativo di Litio 18 volte e di Cobalto 5 volte superiore a quello disponibile nel 2020. Per il 2050 prevede per gli stessi elementi un quantitativo 60 volte e 15 volte superiore. Oggi, le tecnologie energetiche “pulite”

rappresentano circa il 20% del consumo globale di REE, ma con l’aumentare della domanda, la loro quota di criticità continuerà ovviamente a salire (cfr. Figura 2).

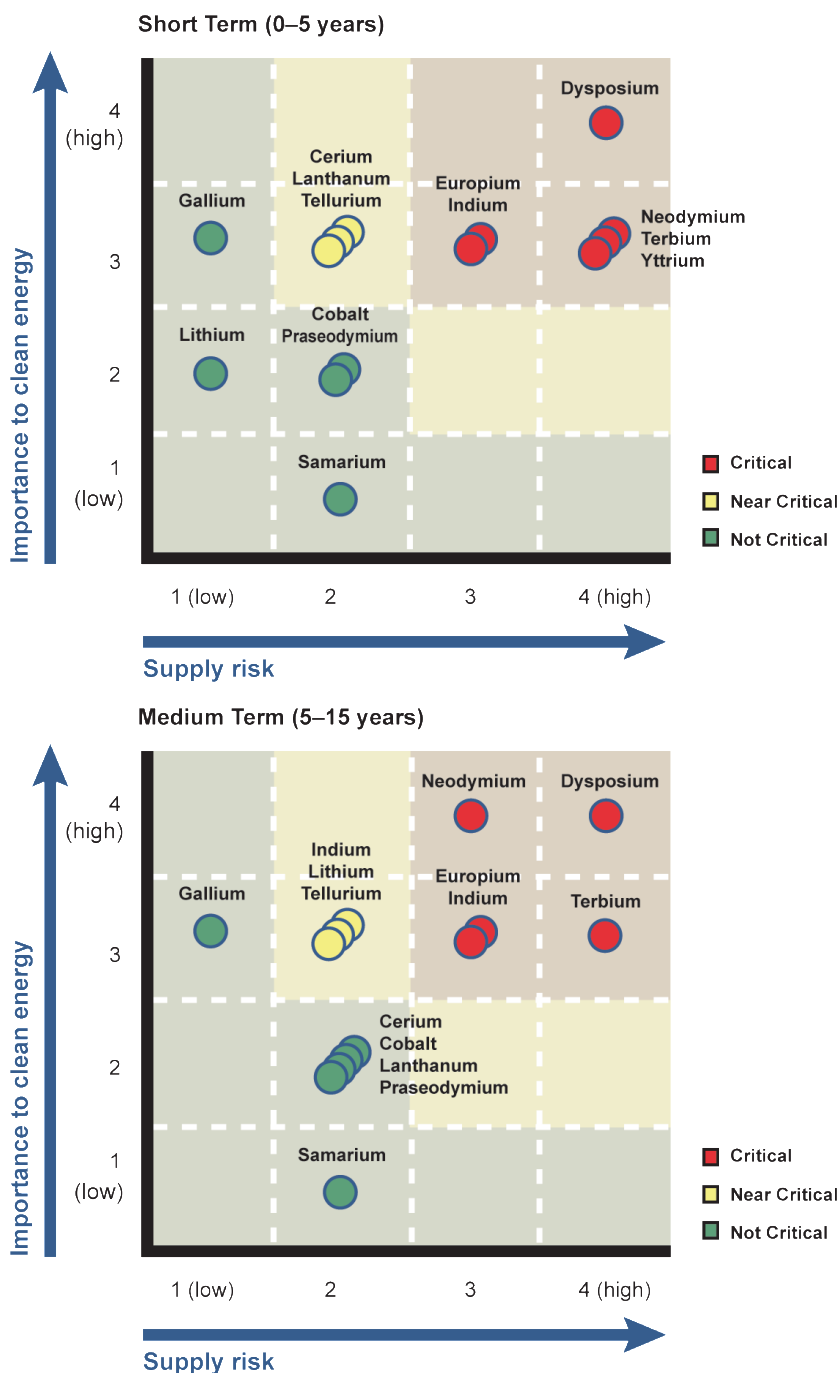


Figura 2. Grafici che riportano la possibile criticità di elementi delle Terre rare necessari per le tecnologie delle energie rinnovabili (Fonte: U.S. Department of Energy “Critical Materials Strategy” December 2011).

Nel 2010, la domanda mondiale per i *minerali critici* era di 125.000 tonnellate, cresciuta a 225.000 tonnellate nel 2015 e, ovviamente, continua a crescere. La carenza mondiale a breve termine di REE utilizzate in tecnologie rinnovabili ed efficienti dal punto di vista energetico, come turbine eoliche, celle solari, veicoli elettrici plug-in e illuminazione efficiente dal punto di vista energetico è quindi un problema emergente che potrebbe influire sullo sviluppo di tecnologie energetiche pulite e la crescita della *Green Economy*.

Qualsiasi restrizione nella produzione e fornitura di questi elementi potrebbe avere gravi conseguenze per la transizione del mondo verso una fornitura di energia pulita e influenzerebbe l'economia globale, poiché le tecnologie sono importanti per aiutare a creare posti di lavoro, promuovere la crescita economica e combattere il cambiamento climatico. Di conseguenza, Paesi come l'Argentina, l'Australia e gli Stati Uniti stanno ora valutando l'apertura o la riapertura di miniere di Terre rare. L'apertura di nuove miniere contribuirà ad alleviare il problema della carenza di Terre rare, ma richiederà investimenti significativi, soprattutto per prevenire gli importanti impatti ambientali dell'estrazione e della produzione, e probabilmente saranno necessari anni prima che le nuove fonti producano rese considerevoli.

Che implicazioni possiamo trarre? Gli elementi delle Terre rare in realtà non sono così rari, poiché si trovano in molti Paesi, incluso Argentina, Australia, Canada, India, Cina, Cile e Stati Uniti. Ma sono difficili da estrarre in volumi che siano redditizi (ecco perché sono chiamati minerali delle Terre rare), quindi la produzione si è concentrata in pochi luoghi.

Nel suo rapporto annuale 2020, il DoE degli USA ha affermato che sebbene circa 20 Paesi in tutto il mondo stiano attualmente estraendo Terre rare, gli Stati Uniti, con la loro riserva di 1,5 milioni di tonnellate, rimangono la patria di uno dei più grandi depositi di Terre rare al mondo. Ma il rapporto dice che non è chiaro quanta parte di questa *riserva* possa essere estratta *economicamente*. Il problema è che, mentre il substrato roccioso degli Stati Uniti contiene un valore stimato di cento anni di

depositi al suo attuale tasso di consumo annuale, la Cina ospita quasi tutta la capacità di elaborazione del mondo per convertire i minerali in materiali che i produttori possono utilizzare.

Nel 2010, oltre il 97% delle Terre rare proveniva dalla Cina, che detiene il 37% delle riserve conosciute; in confronto, gli Stati Uniti detengono il 13% delle riserve mondiali, ma attualmente non contribuiscono alla produzione globale.



Figura 3. Miniera di Mountain Pass in California.
(Autore: ALICIA WALLACE | awallace@denverpost.com | The Denver Post)

L'esempio degli Stati Uniti è emblematico. Dobbiamo a questo punto fare una breve digressione storica. Prima del 1965 vi era relativamente poca richiesta di Terre rare. A quel tempo, la maggior parte dell'offerta mondiale veniva prodotta dai depositi in India, Brasile e Sudafrica, che era il principale produttore di depositi di Monazite (minerale a base di Cerio, Lantanio, Niobio e Torio).

A quel tempo, la miniera di Mountain Pass in California (scoperta nel 1949) produceva piccole quantità di ossidi di Terre rare. Improvvisamente però la “nascita” dei *televisori a colori* innescò e fece esplodere la richiesta di REE e gli USA

iniziarono a produrli massicciamente nella miniera di Mountain Pass (cfr. Figura 3) che diventa, in breve tempo, il più grande fornitore al mondo di Terre rare.

La miniera è uno dei depositi più ricchi al mondo di questi elementi, anche se questo deposito non soddisfa appieno le esigenze della tecnologia e dell'industria degli Stati Uniti, in quanto la miniera non può produrre molte delle Terre rare pesanti, ad esempio, mancano Terbio, Disprosio, Lutezio, Tulio, Itterbio, Erblio e Olmio.

La miniera è una fossa a cielo aperto di 50 acri a circa 50 miglia da Las Vegas ed è ricca di Bastnasite, un minerale ricco di Terre rare. Questa miniera però è stata chiusa nel 2004 sostanzialmente per due motivi: massiccia perdita di acque reflue (perdite mai dichiarate per circa 600.000 galloni di acque radioattive!!!) e l'arrivo di fornitori cinesi che offrivano prezzi più bassi. A quel punto la Cina ha iniziato a produrre quantità notevoli di Terre rare ed è diventata il principale produttore mondiale all'inizio degli anni Novanta.

Negli anni Novanta e nei primi anni Duemila, la Cina ha costantemente rafforzato la sua presa sul mercato mondiale delle Terre rare. Allo stesso tempo, la domanda mondiale cresceva costantemente. La Cina a questo punto ha capitalizzato la sua posizione dominante e ha iniziato a limitare le esportazioni, consentendo così ai prezzi delle REE di salire a livelli storici. Contemporaneamente la Cina ha consolidato la sua industria di produzione delle REE e ridotto le sue quote di esportazione, nel tentativo di trattenere questi minerali per uso domestico.

Ad esempio, nel 2010 Pechino ha limitato le esportazioni di Terre rare in Giappone per una disputa diplomatica e nel 2011 la Cina ha ridotto di oltre l'11% le sue esportazioni per i minerali delle Terre rare. A questo punto è iniziata a livello globale una ricerca di nuove fonti e la possibilità di un loro sfruttamento produttivo. Ad esempio nel 2011, la miniera Mount Weld a Perth in Australia ha iniziato lo sfruttamento con una produzione di circa 15.000 tonnellate di Terre rare all'anno.

Contemporaneamente negli USA, il *National Defense Authorization Act*, recentemente approvato, ha ordinato che entro cinque anni la maggior parte dei sistemi del

Pentagono dovranno utilizzare Terre rare estratte e raffinate al di fuori della Cina e stabilisce che il Governo federale dia la preferenza ai fornitori statunitensi di questi materiali nelle acquisizioni governative. Per questo motivo la miniera di Mountain Pass è stata riaperta. Nonostante questo però nessuna azienda negli Stati Uniti dispone attualmente della capacità tecnologica, o delle necessarie licenze di proprietà intellettuale, per realizzare magneti al Neodimio.

Secondo il DoE, solo dieci società, che si trovano in Germania, Giappone e Cina, sono attualmente autorizzate a produrre tali magneti. La proprietà intellettuale è di proprietà di Hitachi Metals e di Magnequench, che ora fa parte di AMR Technologies, una società con sede in Canada che è stata acquistata da un consorzio cinese nel 1995.

Poiché gli Stati Uniti hanno perso quasi tutta la loro capacità di lavorazione a favore della Cina, il minerale estratto in California deve essere inviato in Cina per la lavorazione, rendendo la miniera essenzialmente un fornitore per l'industria cinese delle Terre rare. Non solo, nell'ultimo decennio la Cina ha puntato moltissimo sulla sua diplomazia economica nella regione asiatica e africana, sede di molti nuovi progetti minerari asiatici e africani a basso costo.

E per quanto riguarda l'Europa? In Europa, ci sono depositi di REE di ottima qualità in Svezia, Groenlandia, Finlandia e Spagna (cfr. Figura 4). Inoltre, le REE possono venir estratte come sottoprodotto della produzione di fosfati (ad esempio in Finlandia) o recuperate dai prodotti a fine vita attraverso vari schemi di riciclaggio. La Figura 4 mette in rilievo come molti di questi siti si trovino in regioni che dipendono fortemente dalle miniere di carbone o dalle industrie ad alta intensità di Carbonio e dove sono previste fabbriche di batterie. Inoltre, molti di questi rifiuti minerari sono ricchi di materie prime critiche e potrebbero essere rivisitati per creare nuova attività economica su siti di estrazione del carbone esistenti o precedentemente dismessi, migliorando nel contempo la qualità dell'ambiente.

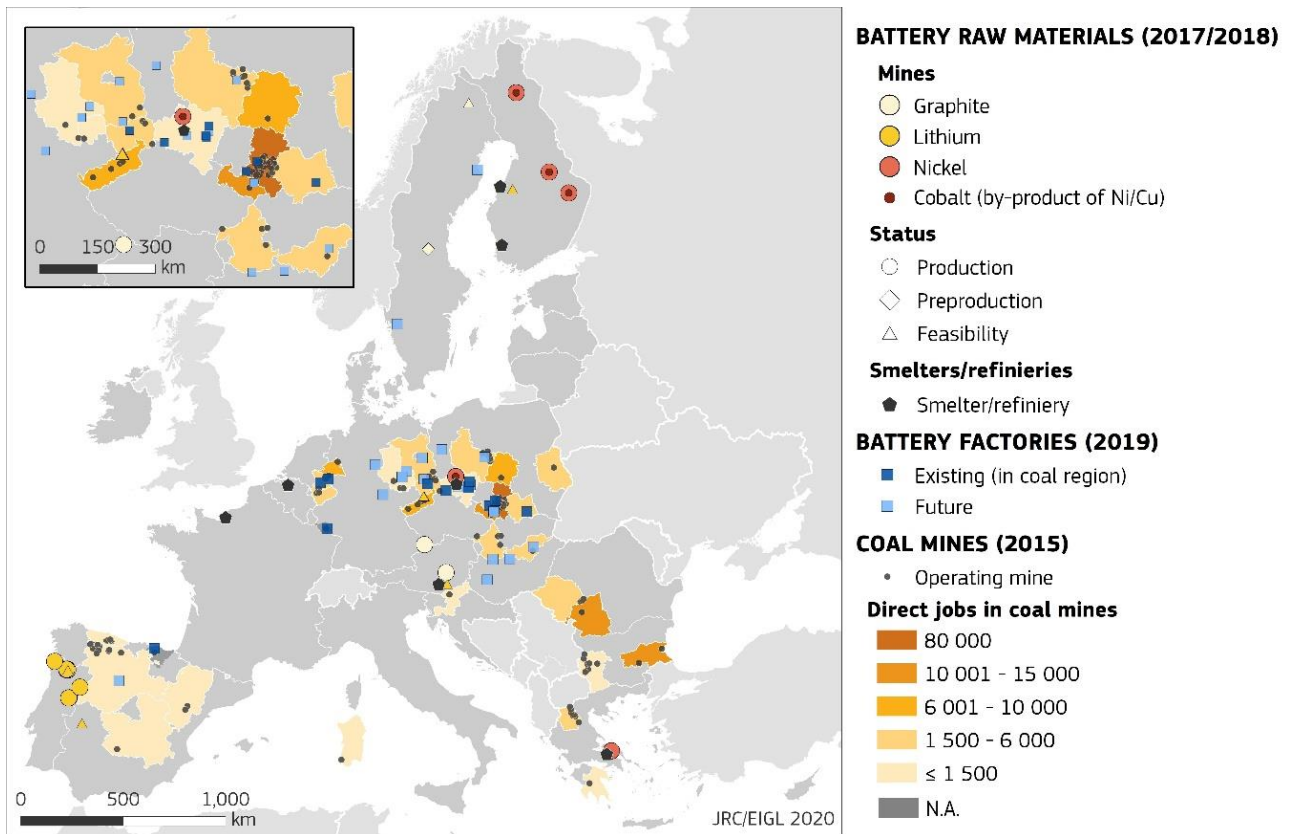


Figura 4. Possibili siti per l'estrazione di materiali critici in Europa.
(Fonte: Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Final Report 31.01.2020)

Questo meccanismo potrebbe contribuire ad alleviare l'impatto socioeconomico della transizione verso la neutralità climatica nelle regioni ad alta intensità di carbone e di Carbonio. Può inoltre supportare la diversificazione economica delle regioni anche attraverso investimenti in economia circolare. Lo sviluppo di piani territoriali per una transizione “morbida” verso le energie rinnovabili offrirà agli Stati membri della Comunità Europea una prima opportunità per valutare il potenziale delle materie prime essenziali come uno dei modelli di business alternativi e di fonti di occupazione regionale. Molte delle competenze minerarie e ingegneristiche sono infatti trasferibili allo sfruttamento di metalli e minerali, spesso nelle stesse regioni.

5. LA PRATICA DEL RICICLAGGIO

Ovviamente per alleviare il problema del fabbisogno di materiali critici si può puntare sul *riciclo*. Ogni anno vengono prodotti circa 49 milioni di tonnellate di

rifiuti elettronici, dai telefoni cellulari ai frigoriferi. Di questo, forse il 10% viene riciclato. È ridicolo buttare via così tanto materiale prezioso, ci sono qualcosa come 32 tonnellate d’Oro in tutti i telefoni cellulari del mondo. C’è un’enorme miniera d’oro nelle nostre discariche urbane.

Però estrarre i metalli dai prodotti tecnologici “moderni” non è facile, dal momento che sono incorporati in piccole quantità in dispositivi sempre più complessi. Un telefono cellulare del 2000 utilizzava circa due dozzine di elementi; uno smartphone moderno ne utilizza più di 60. Nonostante le concentrazioni relativamente elevate di REE nelle nuove tecnologie, in realtà è chimicamente più facile separarle dalle rocce che dai telefoni. Ma è possibile.

L’azienda Umicore è in prima linea nelle tecnologie di riciclaggio per metalli critici. Nella sua sede di Hoboken, in Belgio, la società ricicla ogni anno circa 350.000 tonnellate di rifiuti elettronici, comprese pannelli fotovoltaici e circuiti stampati, per recuperare metalli compreso il Tellurio. Nel 2011, nel suo sito di Anversa, Umicore ha avviato un’impresa per riciclare REE da batterie a idruro metallico ricaricabili (c’è circa un grammo di Terre rare in una batteria AAA). Quando si tratta di riciclaggio, tutto è possibile, il problema è se sia economico.

Uno dei passaggi più difficili nel riciclaggio dei rifiuti elettronici è semplicemente estrarre la batteria o altri componenti ricchi di metalli critici dal dispositivo o dall’auto. Questo è un compito umile ma complesso, che viene spesso affidato a lavoratori a bassa retribuzione, in luoghi come la Cina o la Nigeria.

Nell’area di Guiyu, nel sud della Cina, ad esempio, più di 100.000 persone lavorano per smontare i rifiuti elettronici, facendo bollire i circuiti stampati per rimuovere la plastica e quindi lisciviando i metalli con acido, con grande rischio per l’ambiente e se stessi (cfr. Figura 5). La combustione incontrollata porta a acque sotterranee contaminate e uno studio ha rilevato livelli elevati di Piombo nei bambini che vivono a Guiyu. Il Giappone è in prima linea negli sforzi per automatizzare questi processi, in modo che possano essere eseguiti in modo economico e sicuro da dei robot.



Figura 5. Esempio “low tech” di riciclo di metalli nobili e REE.

(Fonte: *Critical metals for future sustainable technologies and their recycling potential*, March 2009 - *Executive Summary and Final Report*, Issued by United Nations Environment Programme (UNEP DTIE). Funded by EU)

Ancora più importanti della tecnologia del riciclaggio però sono la politica e l’istruzione. In uno studio sui tassi di riciclaggio degli Stati Uniti di circa venti prodotti, dalla plastica al metallo, quello con il più alto tasso di recupero sono le batterie al Piombo-acido, utilizzate principalmente nelle automobili. Il loro tasso di recupero è del 98%, rispetto a circa il 50% delle lattine di Alluminio. Il motivo dipende dal fatto che il Governo, preoccupato per il Piombo, offre alle case automobilistiche un incentivo finanziario per riciclare le batterie stesse.

Il *riciclaggio* è forse la via migliore per gli elementi in cui si prevede che la domanda si stabilizzerà nel lungo periodo. La domanda di Terbio ed Europio, ad esempio, probabilmente svanirà quando le lampadine fluorescenti verranno sostituite con LED molto più piccoli. Ma per altri elementi, come il Neodimio, questa non può essere l’unica soluzione. Attualmente si usano piccole quantità di Neodimio, per gli auricolari (smartphone o cuffie), ma per una turbina eolica ad alte prestazioni sono necessarie circa due tonnellate.

In generale un problema da non sottovalutare sono le *economie di scala* quando si tratta di materiali utilizzati solo in piccole quantità. La domanda globale di Tellurio

nel 2009, ad esempio, era di appena 200 tonnellate. Sebbene il Tellurio sia estremamente prezioso a \$ 145 per Kg, le piccole quantità difficilmente sono interessanti per le società minerarie. Ovviamente si potrebbero rendere i processi di *mining* più efficienti.

Per le Terre rare, le compagnie minerarie fundamentalmente macinano la roccia, la gettano in acqua e fanno gorgogliare bolle d'aria: i minerali che contengono Terre rare tendono a galleggiare e possono essere estratti dalla cima. Ma questo metodo cattura solo circa il 65% delle Terre rare in un minerale.

Un approccio finale è trovare materiali alternativi che non necessitano di tanti elementi critici, in primo luogo, ma questo è un compito non facile. Le Terre rare sono molto “speciali” in termini di proprietà. Sono un ingrediente fondamentale nei magneti, in quanto riescono a “calmare” le proprietà magnetiche forti ma indisciplinate del Ferro, un compito che nessun altro elemento sembra in grado di svolgere. Gli sforzi di ricerca che tentano di creare magneti ancora più potenti senza Terre rare sono considerati un tentativo a lungo termine. Ma dobbiamo essere ottimisti, in fin dei conti l'Età del Bronzo fece esaurire le scorte di Rame. In risposta, gli antichi riciclarono il Bronzo, cercarono nuove miniere e trascorsero duecento anni a ottimizzare l'alternativa più disponibile ma meno ideale - il Ferro - per fare lo stesso lavoro.

6. CONCLUSIONI

Per concludere vorrei anche portare un ulteriore esempio di “geopolitica”.

La maggiore domanda di materiali critici dovrebbe essere un vantaggio economico per quei Paesi che ospitano le principali riserve di minerali; portare allo Stato maggiori entrate derivanti da tasse e royalties, migliori infrastrutture, più posti di lavoro e maggiori spese per le imprese locali, la sanità e l'istruzione. Sfortunatamente, non tutte le riserve strategiche di questi minerali si trovano in Paesi che applicano le migliori pratiche internazionali alla gestione del settore minerario. Nei Paesi alle prese con l'instabilità politica, dove la *governance* per il settore minerario è debole,

l'estrazione di questi minerali può essere collegata a violenze, conflitti e violazioni dei diritti umani.

Ad esempio, nella Repubblica Popolare del Congo² c'è uno dei più vasti depositi di COLTAN. Il nome COLTAN deriva da **C**olumbite (in realtà l'elemento Niobio) e **T**antalio (Niobio e Tantalio si trovano vicinissimi nella Tavola periodica degli elementi, infatti Niobe era, nella mitologia greca, la figlia di Tantalos). Comunque, questo minerale fornisce una grande quantità di questi due metalli, estremamente importanti per molte applicazioni industriali. Nel caso della Repubblica Popolare del Congo, la crescente importanza industriale del COLTAN ha fatto sì che i signori della guerra e gli eserciti nel Congo orientale abbiano convertito le operazioni minerarie artigianali in regimi di lavoro basato sullo schiavismo per guadagnare valuta forte per finanziare le loro milizie.

I proventi del contrabbando del COLTAN finanziarono probabilmente l'occupazione militare del Congo, e successivamente prolungarono il conflitto civile, quella che è stata chiamata la “guerra mondiale in Africa”, o seconda guerra del Congo, dal 1998 al 2003. E purtroppo, i retaggi di abusi dei diritti umani, *governance* debole e pratiche di sfruttamento permeano ancora la vita di molti cittadini congolese.

Uno studio delle Nazioni Unite ha condannato l'occupazione militare in corso del Congo orientale da parte di forze militari dei Paesi limitrofi, nonché delle numerose bande di ribelli congolese che combattono tra loro. Il rapporto delle Nazioni Unite accusava i combattenti di saccheggiare massicciamente le risorse naturali congolese, e sottolineava come la guerra persistesse perché i combattenti si stavano arricchendo estraendo e contrabbandando COLTAN, legname, oro e diamanti. L'estrazione del Cobalto nella Repubblica Democratica del Congo è stata così spesso collegata alla violenza che il minerale è stato soprannominato il “diamante del sangue di questo decennio” da vari organi di stampa.

² Per “vedere” qualche cosa sulla situazione della Repubblica Popolare del Congo e il problema del COLTAN, consiglio anche la visione del film “Il quaderno di Sara” basato su una storia vera.

BIBLIOGRAFIA

CHU S.

2010, *In Critical Materials Strategy*, Washington (DC, US), U.S. Department of Energy, scaricabile all'indirizzo web: <<http://www.energy.gov/news/documents/criticalmaterialsstrategy.pdf>>.

GRIER P.

2017, «Rare-Earth Uncertainty», *Air Force Magazine*, 21 December 2017, scaricabile all'indirizzo web <<https://www.airforcemag.com/article/rare-earth-uncertainty/>>.

HAFNER M., TAGLIAPIETRA S., (Editors)

2020, *The Geopolitics of the Global Energy Transition*, «Lecture Notes in Energy», 73, Springer Open, ISBN 978-3-030-39065-5, <<https://doi.org/10.1007/978-3-030-39066-2>>.

PARTHEMORE C.

2011, «Rare Earth Woes Could Mean Trouble For U.S. Stealth Fleet», *CNAS*, May 11, scaricabile all'indirizzo web: <<https://www.wired.com/2011/05/rare-earth-woes-could-mean-trouble-for-u-s-stealth-fleet/>>.