



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

---

Corso di Laurea Magistrale in Economia e Management

TERRE RARE: RISORSE CRITICHE NELLA  
ECONOMIA GLOBALE MODERNA

RARE-EARTH ELEMENTS: CRITICAL RESOURCES  
IN THE MODERN GLOBAL ECONOMY

Relatore:

Prof. Roberto Esposti

Tesi di Laurea di:

Nicholas Ceccarelli

Anno Accademico 2023/2024





# INDICE

## Sommario

INDICE .....	I
INTRODUZIONE .....	2
CAPITOLO 1 – TERRE RARE: COSA SONO E PERCHÉ SONO COSÌ IMPORTANTI.....	4
1.1    Terre rare: cosa sono? .....	4
1.1.1    La definizione di terre rare.....	4
1.1.2    Caratteristiche chimico-fisiche .....	7
1.2    L'estrazione .....	10
1.2.1    La geologia delle terre rare .....	10
1.2.2    Esplorazione, estrazione e lavorazione .....	13
1.2.3    Distribuzione a livello globale.....	14
1.3    L'utilizzo delle terre rare in campo industriale.....	16
1.3.1    La convergenza delle risorse.....	16
1.3.2    I campi di utilizzo delle terre rare.....	17
CAPITOLO 2 – UN'ANALISI ECONOMICA DEL FENOMENO .....	20
2.1    Andamento di prezzi e produzione delle terre rare.....	20
2.1.1    Dati storici sulla produzione .....	20
2.1.2    Consumo apparente.....	23
2.1.3    L'evoluzione dei prezzi .....	25
2.2    Aspetti finanziari del mercato .....	28

2.2.1	Le principali aziende per capitalizzazione di mercato .....	28
2.2.2	Possibili correlazioni con il settore delle materie prime .....	30
2.3	Peculiarità e problematiche del mercato delle terre rare .....	33
2.3.1	Competizione tra modelli politico-economici .....	33
2.3.2	Nazionalizzazione delle risorse .....	34
2.3.3	Opacità del mercato .....	35
2.3.4	Mancanza di fiducia e cooperazione .....	36
2.3.5	Differenze tra approcci a breve e lungo termine .....	36
CAPITOLO 3 – IL RUOLO DELLA GEOPOLITICA .....		38
3.1	La leadership della Cina .....	40
3.1.1	La politica industriale interna .....	40
3.1.2	L’espansione cinese in Africa .....	42
3.2	La posizione dell’Europa .....	45
3.2.1	Le previsioni .....	45
3.2.2	Il Critical Raw Materials Act .....	50
CAPITOLO 4 – L’IMPATTO SOCIOECONOMICO E AMBIENTALE, OGGI E IN FUTURO .....		53
4.1	Danni ambientali ed economici dell’estrazione illegale .....	53
4.2	I costi ambientali delle terre rare nella green economy .....	55
4.3	Alternative all’estrazione: il riciclo .....	60
CONCLUSIONI .....		66
BIBLIOGRAFIA .....		68



## INTRODUZIONE

Nell'attuale contesto economico globale, le terre rare emergono come una risorsa di cruciale importanza per lo sviluppo di nuove soluzioni in una vasta gamma di settori industriali come la tecnologia, l'elettronica, l'energia e la difesa. La sempre più profonda dipendenza da queste risorse solleva importanti questioni riguardanti la sicurezza degli approvvigionamenti, la sostenibilità ambientale, la competitività economica e la stabilità geopolitica.

Le terre rare sono un gruppo di elementi chimici accomunate da alcune caratteristiche fisiche e chimiche particolarmente indicate per le produzioni ad alto livello tecnologico e innovativo. Sebbene definite "rare", esse sono in realtà distribuite in tutto il mondo ma la loro estrazione e lavorazione sono spesso costose e limitate ad alcuni paesi a causa di una presenza a bassa concentrazione diversamente da ciò che accade per altri minerali. Proprio queste difficoltà portano a una situazione di dipendenza da vari paesi chiave per l'approvvigionamento.

Negli ultimi decenni, la crescente domanda di terre rare è stata trainata dalla diffusione di dispositivi elettronici, veicoli elettrici, turbine eoliche, tecnologie mediche e molte altre applicazioni. Tuttavia, questa crescente domanda ha anche generato preoccupazioni riguardo alla sostenibilità ambientale delle attività estrattive e alla disponibilità futura di queste risorse critiche.

La geopolitica delle terre rare è diventata un elemento sempre più rilevante nelle relazioni internazionali, con alcuni paesi che detengono una posizione dominante nella produzione e nel commercio di questi materiali. Le tensioni geopolitiche, le restrizioni all'export e le politiche di sicurezza nazionale sollevano interrogativi sulla stabilità degli approvvigionamenti e sulle strategie di diversificazione delle risorse.

Questa tesi si propone di esaminare in modo approfondito l'impatto delle terre rare sull'economia globale, analizzando le dinamiche di domanda e offerta, gli impatti

economici, ambientali e sociali, le politiche nazionali e internazionali, nonché i rischi e le opportunità associate a queste risorse critiche. Attraverso un'indagine interdisciplinare, questa ricerca mira a contribuire alla comprensione di un fenomeno di interesse economico e geopolitico che tratterà la strada delle prossime leadership nello sviluppo di tecnologie avanzate.

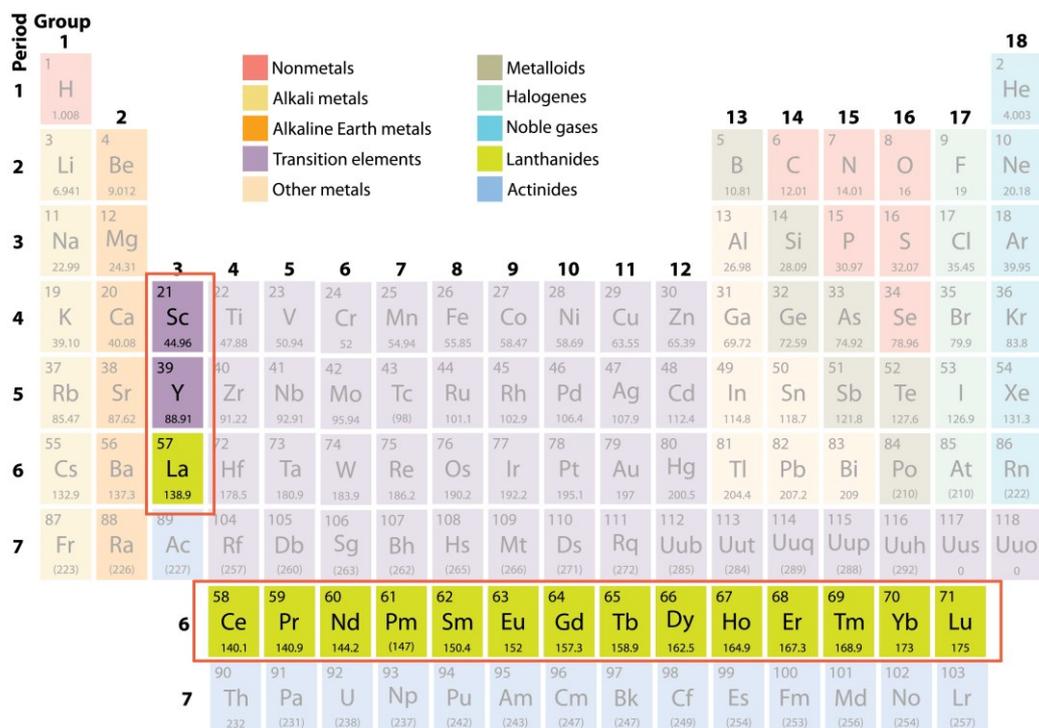
# CAPITOLO 1 – TERRE RARE: COSA SONO E PERCHÉ SONO COSÌ IMPORTANTI

## 1.1 Terre rare: cosa sono?

### 1.1.1 La definizione di terre rare

Con il termine terre rare ci si riferisce a 17 elementi chimici presenti nella tavola periodica. 15 di questi sono i lantanidi, un insieme di elementi con numero atomico che va 57 del lantanio a 71 del lutezio, a questi si aggiungono ittrio (39) e scandio (21).

Figura 1 Le terre rare sulla tavola periodica.



Questi elementi sono accomunati da caratteristiche chimiche simili dovute alla configurazione elettronica dei loro atomi che li rende molto reattivi, presentano

inoltre somiglianze per quanto riguarda i raggi ionici e lo stato di ossidazione. Tuttavia, queste somiglianze non comportano caratteristiche fisiche vicendevolmente sostituibili, essi infatti si distinguono ognuno per peculiarità che li rendono unici e fondamentali in combinazione con altri elementi.

Contrariamente a quanto il nome farebbe intuire, questi elementi non sono presenti in basse quantità nella crosta terrestre, basti pensare che il cerio, il più abbondante del gruppo è presente nella crosta terrestre in quantità maggiore rispetto al rame o al piombo, molti sono più presenti di stagno e molibdeno e tutti tranne il prometio sono più comuni dell'argento e del mercurio. La motivazione è legata a diversi fattori: sono spesso presenti in basse concentrazioni e, proprio per le caratteristiche chimiche simili, agglomerate tra loro all'interno di altri minerali; richiedono un complesso processo di lavorazione seguentemente all'estrazione.

**Tabella 1.** REE, numeri atomici, concentrazione.

Element	Symbol	Atomic Number	Upper Crust Abundance, ppm <sup>*</sup>	Chondrite Abundance, ppm <sup>†</sup>
Yttrium	Y	39	22	na <sup>‡</sup>
Lanthanum	La	57	30	0.34
Cerium	Ce	58	64	0.91
Praseodymium	Pr	59	7.1	0.121
Neodymium	Nd	60	26	0.64
Promethium	Pm	61	na	na
Samarium	Sm	62	4.5	0.195
Europium	Eu	63	0.88	0.073
Gadolinium	Gd	64	3.8	0.26
Terbium	Tb	65	0.64	0.047
Dysprosium	Dy	66	3.5	0.30
Holmium	Ho	67	0.80	0.078
Erbium	Er	68	2.3	0.20
Thulium	Tm	69	0.33	0.032
Ytterbium	Yb	70	2.2	0.22
Lutetium	Lu	71	0.32	0.034

\* Source: Taylor and McLennan 1985

† Source: Wakita, Rey, and Schmitt 1971.

‡ na = not available.

Fonte: S. B. Castor J. B. Hedrick; Industrial Minerals and Rocks, 2006

La loro distribuzione nella crosta terrestre è influenzata anche dal numero atomico. Quelli con numero atomico basso sono solitamente più abbondanti e i lantanidi con numero atomico pari sono tra le due e le sette volte più presenti rispetto all'elemento a loro adiacente con numero atomico dispari. Il numero atomico è anche la caratteristica per cui sono definite le terre rare cosiddette "leggere" (LREE) e quelle "pesanti" (HREE). Le LREE comprendono gli elementi che vanno dal lantanio (numero atomico  $Z=57$ ) all'europio ( $Z=63$ ) mentre le terre rare pesanti vanno dal gadolinio ( $Z=64$ ) al lutezio ( $Z=71$ ). I due non-lantanidi ittrio e scandio vengono classificati secondo criteri differenti. Infatti, pur essendo il numero atomico dell'ittrio il più basso, esso viene identificato come pesante per caratteristiche chimico-fisiche simili a quelle dei lantanidi pesanti mentre lo scandio non

appartiene a nessuno dei due gruppi per le peculiarità chimico-fisiche che lo contraddistinguono.

### **1.1.2 Caratteristiche chimico-fisiche**

Come anticipato, gli elementi che rientrano nella classificazione delle terre rare hanno delle similarità a livello chimico e fisico, ma ciò non ne comporta una sovrapponibilità negli usi, vediamo quindi in che modo si distinguono:

- Lantanio (La)

Numero Atomico: 57

Proprietà Chimiche: Il lantanio è reattivo e forma facilmente ossidi ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) e idrossidi. Esibisce uno stato di ossidazione +3. Reagisce lentamente con l'acqua fredda ma rapidamente con l'acqua calda per formare idrossido di lantanio.

Proprietà Fisiche: È un metallo tenero e duttile di colore argenteo. È relativamente stabile in aria secca ma si ossida rapidamente quando esposto all'umidità.

- Cerio (Ce)

Numero Atomico: 58

Proprietà Chimiche: Può esistere in due stati di ossidazione, +3 e +4, il che lo rende unico tra i lantanidi. Il cerio (IV) ossido è usato nei catalizzatori per la sua capacità di ossidare e ridurre facilmente.

Proprietà Fisiche: Metallo grigio e malleabile che ossida facilmente formando una patina protettiva.

- Praseodimio (Pr)

Numero Atomico: 59

Proprietà Chimiche: Trivalente, forma ossidi verdi ( $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ ) e reagisce rapidamente con l'acqua e l'aria. Utilizzato nelle leghe per la sua stabilità termica.

Proprietà Fisiche: Metallo tenero con una sfumatura verde, argenteo e malleabile.

- Neodimio (Nd)

Numero Atomico: 60

Proprietà Chimiche: Trivalente, reagisce con l'aria formando  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  e con l'acqua formando  $\text{Nd}(\text{OH})_3$ . È usato nei magneti permanenti di neodimio, noti per la loro forza.

Proprietà Fisiche: Metallo lucente, malleabile e duttile, di colore argenteo.

- Promezio (Pm)

Numero Atomico: 61

Proprietà Chimiche: Principalmente trivalente e radioattivo. Non ha isotopi stabili; il Pm-147 è il più comune.

Proprietà Fisiche: Metallo grigio, altamente radioattivo e non esiste in natura in quantità significative.

- Samario (Sm)

Numero Atomico: 62

Proprietà Chimiche: Trivalente, forma ossidi  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  e idrossidi. Usato nei magneti Samario-Cobalto per la loro alta resistenza e temperatura di Curie.

Proprietà Fisiche: Metallo argenteo, stabile in aria secca ma ossida in ambienti umidi.

- Europio (Eu)

Numero Atomico: 63

Proprietà Chimiche: Trivalente e bivalente, usato nei fosfori per i display. Forma  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  e  $\text{Eu}(\text{OH})_2$ .

Proprietà Fisiche: Metallo tenero, colore argenteo con una sfumatura gialla, facilmente ossidabile.

- Gadolinio (Gd)

Numero Atomico: 64

Proprietà Chimiche: Trivalente, usato nei materiali di contrasto per la risonanza magnetica e nei reattori nucleari. Forma  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo lucente e duttile con buona conducibilità termica.

- Terbio (Tb)

Numero Atomico: 65

Proprietà Chimiche: Trivalente, usato nei fosfori dei display a LED e nei dispositivi di memoria magnetica. Forma  $Tb_2O_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo duttile e argenteo, stabile in aria secca.

- Disprosio (Dy)

Numero Atomico: 66

Proprietà Chimiche: Trivalente, utilizzato nei magneti e nei laser per le sue proprietà magnetiche. Forma  $Dy_2O_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo tenero e lucente, colore argenteo, ossida lentamente in aria.

- Osmio (Os)

Numero Atomico: 67

Proprietà Chimiche: Trivalente, usato nei magneti permanenti e nelle barre di controllo dei reattori nucleari. Forma  $Os_2O_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo tenero e lucente, colore argenteo.

- Erblio (Er)

Numero Atomico: 68

Proprietà Chimiche: Trivalente, utilizzato nelle telecomunicazioni per amplificare i segnali nelle fibre ottiche. Forma  $Er_2O_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo tenero, lucente, colore argenteo con una sfumatura rosa.

- Tulio (Tm)

Numero Atomico: 69

Proprietà Chimiche: Trivalente, usato nei dispositivi a raggi X e nelle sorgenti di radiazioni. Forma  $Tm_2O_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo tenero e argenteo, relativamente raro.

- Itrio (Y)

Numero Atomico: 70

Proprietà Chimiche: Trivalente, usato nelle leghe di acciaio e nelle tecnologie di imaging medico. Forma  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo tenero, lucente, colore argenteo.

- Lutezio (Lu)

Numero Atomico: 71

Proprietà Chimiche: Trivalente, utilizzato nei catalizzatori e nella medicina nucleare. Forma  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo duro, colore argenteo, denso e raro.

- Ittrio (Y)

Numero Atomico: 39

Proprietà Chimiche: Trivalente, utilizzato nei fosfori, nei superconduttori e nei laser. Forma  $\text{Y}_2\text{O}_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo lucente, colore argenteo, duttile e relativamente resistente all'ossidazione.

- Scandio (Sc)

Numero Atomico: 21

Proprietà Chimiche: Trivalente, utilizzato nelle leghe di alluminio-scandio per migliorarne le proprietà meccaniche e la resistenza alla corrosione. Forma  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ .

Proprietà Fisiche: Metallo morbido, colore argenteo, basso punto di fusione rispetto agli altri lantanidi.

## **1.2 L'estrazione**

### ***1.2.1 La geologia delle terre rare***

In precedenza, abbiamo parlato di come le terre rare si trovino in natura associate tra loro e ad altri minerali rendendone molto più difficile l'identificazione di

giacimenti, l'estrazione e la lavorazione. Per quanto si stiano introducendo metodi alternativi di estrazione o si stiano adottando politiche di economia circolare per ridurre gli scarti, la fonte principale rimane l'estrazione mineraria. Ma dove si trovano in natura? In che tipologia di rocce?

1. Carbonatiti e rocce alcaline ignee:

Le carbonatiti sono rocce ignee rare, ricche di carbonati, che rappresentano una delle fonti principali di REE. Questi depositi si formano attraverso la cristallizzazione magmatica e spesso contengono minerali come la bastnasite, la monazite e la loparite. Le carbonatiti possono formarsi in vari ambienti geologici, ma sono tipicamente associate a intrusioni alcaline e a complessi magmatici profondi. Questi depositi sono sfruttati per l'estrazione di un'ampia gamma di elementi delle terre rare, essenziali per molte applicazioni tecnologiche moderne.

2. Depositati associati a rocce pegmatitiche e granitiche:

I depositi di REE possono anche essere associati a rocce ignee come le pegmatiti e i graniti. Le pegmatiti sono rocce a grana grossa che si formano nelle ultime fasi di cristallizzazione di un magma. Queste rocce possono contenere concentrazioni significative di REE, principalmente nei minerali di monazite e xenotime. I graniti peralcalini e i complessi granitici possono ospitare depositi di REE attraverso processi di differenziazione magmatica e mineralizzazione idrotermale. Questi depositi sono meno comuni rispetto alle carbonatiti, ma possono rappresentare importanti fonti di REE in alcune regioni.

3. Lateriti e depositi residui:

In climi tropicali e subtropicali, l'alterazione chimica delle rocce madri ricche di REE può portare alla formazione di depositi lateritici e residui. Questi depositi si formano attraverso processi di intemperie che concentrano

i REE nei suoli e nelle rocce superficiali. Un esempio significativo di deposito lateritico di REE è Mount Weld in Australia. Questi depositi sono sfruttati per l'estrazione di elementi come il lantanio e il cerio, utilizzati in numerose applicazioni tecnologiche e industriali.

4. Depositati sedimentari e clastici:

I REE possono essere concentrati in depositi sedimentari attraverso processi di erosione, trasporto e deposizione. I depositi placer, o depositi alluvionali, sono accumuli di minerali pesanti, inclusi i REE, che si formano nei letti fluviali e lungo le coste. Questi depositi contengono minerali come la monazite e la xenotime. Inoltre, le argille ioniche, presenti principalmente in Cina, rappresentano un'importante fonte di REE. Questi depositi si formano attraverso l'assorbimento dei REE nelle strutture cristalline delle argille durante la sedimentazione e i processi diagenetici.

5. Depositati idrotermali e di alterazione:

I fluidi idrotermali possono trasportare e concentrare i REE in vene, breccie e zone di alterazione. Questi depositi si formano attraverso l'azione di soluzioni ricche di REE che circolano attraverso le rocce fratturate. I depositi idrotermali possono essere associati a intrusioni magmatiche e a rocce metamorfiche. I minerali comuni nei depositi idrotermali di REE includono la fluocerite, la bastnasite e la monazite.

6. Depositati in ambienti marini e lacustri

I REE possono essere concentrati nei sedimenti marini e lacustri attraverso processi biogenici e chimici. I noduli polimetallici e le croste di ferro-manganese che si formano sui fondali oceanici e lacustri possono contenere concentrazioni significative di REE.

Nella tabella 2 è possibile osservare come lo stesso minerale, se estratto in giacimenti diversi, possa contenere non solo percentuali variabili di alcuni elementi ma anche elementi completamente assenti in rocce della stessa tipologia.

Rende inoltre comprensibile come alcune terre rare siano più presenti in alcuni minerali piuttosto che in altri, è il caso delle lateriti e della xenotime per quanto riguarda le terre rare pesanti. (Fernandez, 2017)

**Tabella 2** Contenuto di terre rare per minerali

Rare-earth contents of selected source minerals.

Primary source	Country	Location	Percentage of total rare-earth oxide														
			Light rare-earths							Heavy rare-earths							
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
Bastnaesite	China	Bayan Obo, Nei Mongol	23.00	50.00	6.20	18.50	0.80	0.20	0.70	0.10	0.10	-	-	-	-	-	-
		Dechang, Sichuan	35.63	43.81	4.73	13.06	1.22	0.23	0.52	0.06	0.09	0.05	0.04	0.01	0.06	-	0.40
		Maoniuping, Sichuan	29.49	47.56	4.42	15.18	1.24	0.23	0.65	0.12	0.21	0.05	0.06	0.04	0.05	0.01	0.70
	U.S	Weishan, Shandong	35.46	47.76	3.95	10.90	0.79	0.13	0.53	0.14	-	-	-	-	0.03	-	0.76
Loparite	Russia	Mountain Pass, CA	34.00	48.80	4.20	11.70	0.79	0.13	0.21	-	-	-	-	-	-	-	0.12
		Revda, Murmansk	25.00	50.50	5.00	15.00	0.70	0.09	0.60	-	0.60	0.70	0.80	0.10	0.20	0.15	1.30
Monazite	Australia	Mount Weld Central	23.88	47.55	5.16	18.13	2.44	0.53	1.09	0.09	0.25	0.03	0.06	0.01	0.03	-	0.76
		China	Nangang, Guangdong	23.00	42.70	4.10	17.00	3.00	0.10	2.00	0.70	0.80	0.12	0.30	-	2.40	0.14
Rare-earth laterite	India	Manavalakurichi	22.00	46.00	5.50	20.00	2.50	0.02	1.20	0.06	0.18	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.45
		China	Xunwu, Jiangxi	38.00	3.50	7.41	30.18	5.32	0.51	4.21	0.46	1.77	0.27	0.88	0.13	0.62	0.13
	China	Xinfeng, Jiangxi	27.26	3.23	5.62	17.55	4.54	0.93	5.96	0.68	3.71	0.74	2.48	0.27	1.13	0.21	24.26
		Longnan, Jiangxi	2.18	< 1.09	1.08	3.47	2.34	< 0.37	5.69	1.13	7.48	1.60	4.26	0.60	3.34	0.47	64.90
Xenotime	China	Southeast Guangdong	1.20	3.00	0.60	3.50	2.20	0.20	5.00	1.20	9.10	2.60	5.60	1.30	6.00	1.80	59.30

*Note:* (1) Rare earth element symbols are as follows. La: lanthanum, Ce: cerium, Pr: praseodymium, Nd: neodymium, Sm: samarium, Er: europium, Gd: Gadolinium, Tb: Terbium, Dy: dysprosium, Ho: Holmium, Er: Erbium, Tm: Thulium, Yb: Ytterbium, Lu: lutetium, Y: yttrium. (2) Loparite-(Ce) is a granular, brittle oxide mineral of the perovskite (calcium titanium oxide mineral) class. Laterite in turn is a soil and rock type rich in iron and aluminum. (3) Figures are from the USGS Minerals Yearbook 2014, [https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earths/](https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/).

Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

### 1.2.2 Esplorazione, estrazione e lavorazione

Il processo di produzione di terre rare si articola in tre fasi principali: esplorazione, estrazione e lavorazione.

L'esplorazione avviene tramite l'utilizzo di diverse tecniche, spesso combinate tra loro, il campionamento geochimico permette di rilevare comportamenti indicativi delle REE tramite strumenti come lo spettrometro di massa al plasma accoppiato induttivamente che ne rileva sia la presenza sia la concentrazione; possono essere utilizzate tecniche geofisiche come la magnetometria, l'elettromagnetismo o la

gravimetria. A queste si aggiunge la perforazione esplorativa, fondamentale per verificare la presenza e la qualità dei depositi presenti.

L'estrazione mineraria può avvenire in due situazioni: a cielo aperto o sotterranea. Tra le due quella a cielo aperto è la più conveniente per via dei minori costi di estrazione, la facilità di estrazione le rende anche le più produttive come nel caso di Bayan Obo in Cina o ad Araxà in Brasile.

Il processo di lavorazione per ricavare gli elementi desiderati è complesso e anche piuttosto rischioso, esso infatti coinvolge l'utilizzo di solventi e acidi le cui reazioni, se utilizzati con proporzioni sbagliate, possono portare a esiti pericolosi.

La prima fase del processo è la frantumazione e macinazione delle rocce estratte per separarne i minerali, successivamente la concentrazione, spesso svolta tramite flottazione o separazione magnetica, raccoglie le terre rare al fine di separare un composto in cui la concentrazione di REE è più alta. In seguito, si passa all'utilizzo di soluzioni chimiche, reagenti per dissolvere i REE e altri solventi per purificarli sfruttando le differenti solubilità degli elementi. Infine, si passa alla precipitazione e calcinazione in cui vengono trasformati negli ossidi di terre rare, ovvero i prodotti finali che poi, combinati con altri metalli, adempiranno a diverse funzioni.

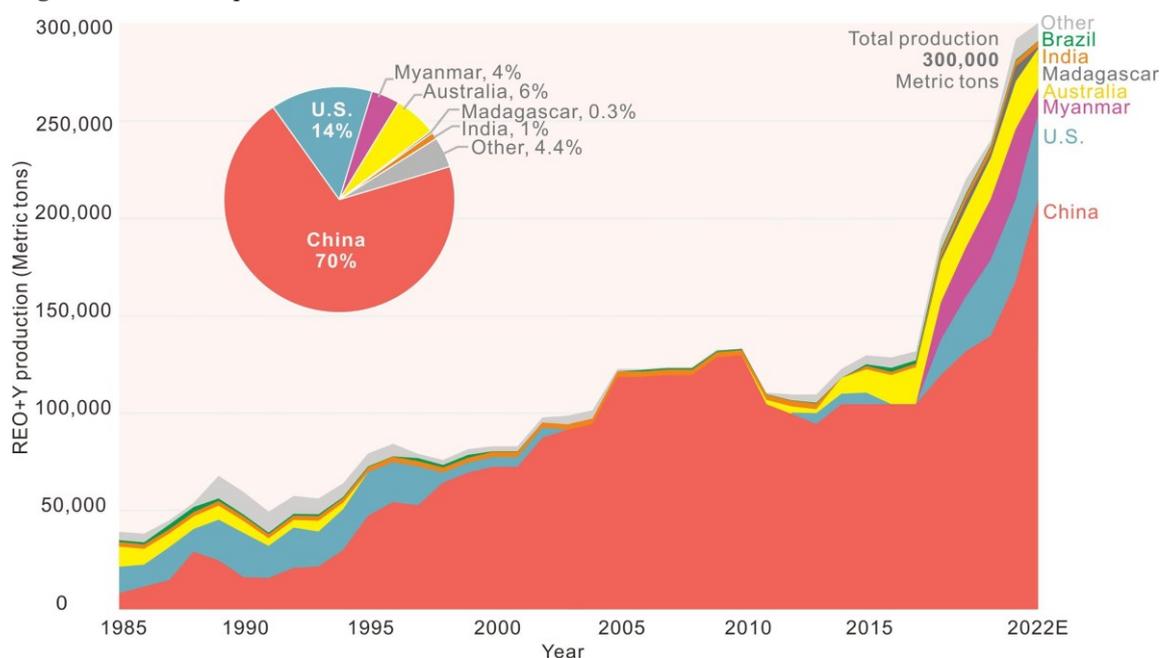
### ***1.2.3 Distribuzione a livello globale***

La distribuzione dei REE sulla terra non è uniforme e la loro produzione è concentrata in poche regioni del mondo per diversi motivi.

Come visto nei paragrafi precedenti le terre rare sono legate ad altri minerali che ne complicano l'estrazione insieme ad una bassa densità e la complessità del processo. Questo porta ad una concentrazione della produzione in pochi paesi, uno su tutti la Cina. Fin dagli anni '90 infatti la Cina ha ricoperto il ruolo di massimo produttore fino ad occupare una posizione quasi monopolistica che solo negli ultimi anni, a causa anche della grande attenzione dei governi, ha visto ridursi le quote di mercato. I principali giacimenti da cui la Cina estrae la sua quota di REE sono Bayan Obo e

il bacino di Weishan, frutto di ingenti investimenti statali al fine di garantire una posizione che potesse soddisfare la domanda interna ma anche porre il paese in una posizione di forza nei mercati internazionali.

**Figura 2** Volumi di produzione delle terre rare.



Fonte: Liu S., Fan H., Liu X., Meng J., Butcher A., Yann L., Yang K., Li X., 2023 Global rare earth elements projects: New developments and supply chains

A seguire, secondo i dati USGS gli USA che con una produzione di oltre 40 mila tonnellate sono i secondi produttori mondiali grazie anche alla miniera di Mountain Pass, riaperta e modernizzata recentemente proprio per ridurre la dipendenza dalle importazioni cinesi. È in grande crescita la produzione della Birmania (Myanmar) che ha più che triplicato la produzione nel 2023. Stabile invece il dato dell'Australia che si attesta a 18 mila tonnellate.

**Tabella 3** Produzione mondiale REE

	Mine production <sup>e</sup>	
	2022	2023
United States	42,000	43,000
Australia	18,000	18,000
Brazil	80	80
Burma	12,000	38,000
Canada	—	—
China	<sup>11</sup> 210,000	<sup>11</sup> 240,000
Greenland	—	—
India	2,900	2,900
Madagascar	960	960
Malaysia	80	80
Russia	2,600	2,600
South Africa	—	—
Tanzania	—	—
Thailand	7,100	7,100
Vietnam	1,200	600
World total (rounded)	300,000	350,000

Fonte: USGS; Mineral commodity summaries, Rare Earth, 2024

### **1.3 L'utilizzo delle terre rare in campo industriale**

Finora abbiamo trattato le terre rare sul piano descrittivo, comprendendo che cosa sono, le loro caratteristiche chimico-fisiche e dove si trovano. Tuttavia, non abbiamo ancora trattato il tema dell'importanza delle terre rare in campo industriale, per cosa vengono utilizzate e in quali prodotti si trovano.

#### **1.3.1 La convergenza delle risorse**

Osservando le nostre abitudini e confrontandole con quelle di qualche decennio fa potremo notare delle differenze sostanziali spesso legate all'utilizzo di oggetti tecnologici che non esistevano fino al secolo scorso. Usiamo giornalmente degli smartphone che fino al 2006 non erano ancora stati concepiti, guardiamo la TV su schermi piatti invece di utilizzare un vecchio televisore a tubo catodico. Queste sono le innovazioni tecnologiche più visibili, ma osservando più attentamente potremo vedere come anche oggetti di uso comune che svolgevano adeguatamente la loro funzione abbiano subito i cambiamenti della quarta rivoluzione industriale e

l'Internet of Things. Pensiamo ad un semplice spazzolino: quello che una volta era composto da un manico in plastica e delle setole ora contiene circuiti elettrici ed elementi come il neodimio, boro o disprosio provenienti dall'altra parte del mondo. Il giocattolo preferito di un bambino negli anni '90 era un'action figure del suo personaggio preferito e il suo fratello maggiore si svagava ascoltando musica dal suo walkman, ora invece entrambi giocano con la stessa console o smartphone. Anche gli elettrodomestici come un frigorifero o una lavatrice ora includono schermi touchscreen. Questa similarità tecnologica è ciò che ha portato all'aumento dei consumi delle terre rare. Esse, combinate ad altri metalli, hanno dato vita a magneti più potenti, in grado di mantenere la carica potenzialmente all'infinito (per questo detti magneti permanenti), e di conseguenza migliorare la qualità degli schermi che utilizziamo tutti i giorni, di migliorare il segnale dei nostri telefoni diminuendo la dimensione, di connetterci con i nostri amici ma soprattutto con gli oggetti. Proprio questa diffusione di tecnologie simili in ambiti molto diversi tra loro è ciò che ha portato attenzione sul tema delle terre rare, risorse complesse da estrarre e produrre ma così importanti in ogni aspetto della nostra quotidianità.

### ***1.3.2 I campi di utilizzo delle terre rare***

Come già detto è ormai diventato normale trovare le terre rare in molti oggetti di uso comune, vediamo alcuni settori in cui vengono utilizzati:

- Energetico:

In ambito energetico le terre rare sono utilizzate per la produzione di energie rinnovabili. L'utilizzo principale è quello delle turbine eoliche, già ampiamente utilizzate in Europa, che utilizzano una grande quantità di neodimio e disprosio per i magneti utilizzati per convertire la rotazione in energia elettrica. Queste turbine di ultima generazione permettono di ridurre lo stress meccanico a cui i vecchi sistemi erano sottoposti riducendo di molto i costi di manutenzione aumentando la sicurezza e la vita degli

impianti, la principale criticità sta nei volumi di utilizzo per singola turbina, si stimano tra i 250 e i 600kg di terre rare per megawatt di capacità.

- **Industria elettronica e dell'Information Technology**

In questo settore gli elementi più utilizzati sono l'eurobio, il terbio e l'ittrio che si trovano nei fosfori degli schermi a LED e LCD, permettendo di ottenere colori vividi e brillanti, migliorando la qualità visiva dei display. Cerio e lantanio sono invece utilizzati nella produzione di vetri e lenti di dispositivi fotografici e ottici.

- **Applicazioni mediche**

Anche il settore medico beneficia enormemente delle terre rare. Il gadolinio (Gd), ad esempio, è un componente chiave nei mezzi di contrasto per la risonanza magnetica (MRI), che sono essenziali per diagnosticare una vasta gamma di condizioni mediche con alta precisione. Il lantanio (La) è utilizzato in alcune forme di farmaci per il trattamento dell'insufficienza renale, dimostrando come questi elementi possano avere applicazioni vitali anche in campo sanitario.

- **Automotive**

Nel settore automobilistico, le terre rare sono utilizzate nei catalizzatori per ridurre le emissioni nocive. Il cerio (Ce) è un componente cruciale nei convertitori catalitici, che aiutano a trasformare gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio e gli idrocarburi in composti meno dannosi come il diossido di carbonio, l'azoto e l'acqua. Questo processo è essenziale per ridurre l'inquinamento atmosferico e migliorare la qualità dell'aria.

- **Industria aerospaziale e militare:**

L'utilizzo dell'ittrio nelle leghe di alluminio e magnesio rende quest'ultime più resistenti alle alte temperature, terbio e disprosio se legati ad acciaio e titanio ne riducono la corrosione. Neodimio, terbio e samario sono presenti

nei sensori e nei sistemi di guida dei droni. Sono presenti, inoltre, delle terre rare anche nei sistemi a microonde dei radar e degli strumenti di comunicazione.

## **CAPITOLO 2 – UN’ANALISI ECONOMICA DEL FENOMENO**

La scoperta delle terre rare risale al XVIII secolo ma solo negli anni '40 del secolo scorso si cominciò ad utilizzarle in leghe metalliche seppur l'uso rimase contenuto fino a che le tecniche di lavorazione non migliorarono nel decennio successivo. Proprio in questo periodo si comincia ad avere evidenza dei prezzi e dei dati di produzione che tratteremo per la nostra analisi del mercato.

### **2.1 Andamento di prezzi e produzione delle terre rare**

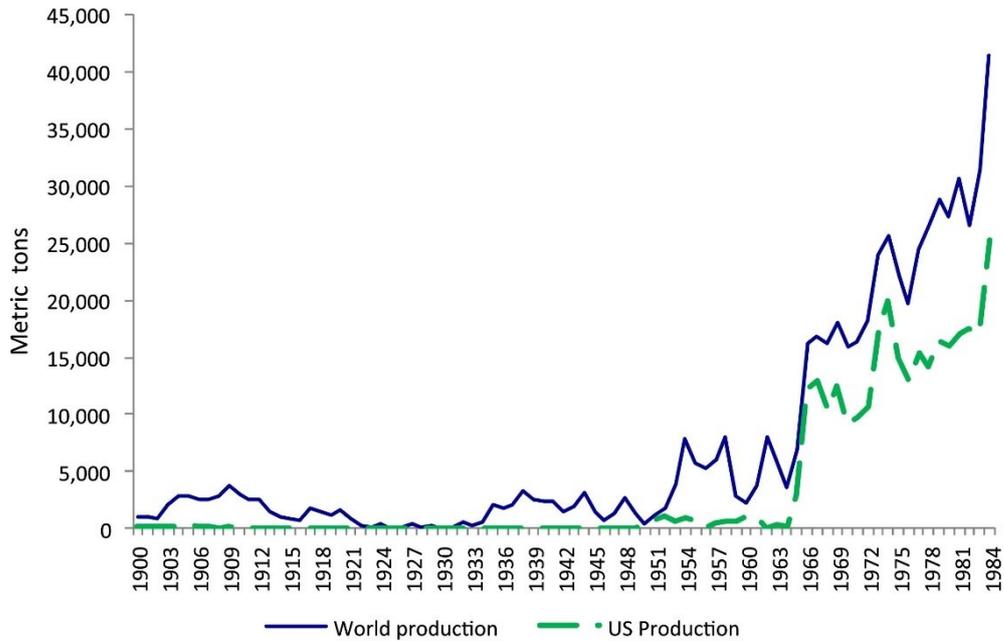
L'istituto governativo statunitense US Geological Survey (USGS) rappresenta la principale fonte a cui attingere per quanto riguarda i dati di consumo relativi agli Stati Uniti e l'andamento dei prezzi delle terre rare a partire dalla fine degli anni '50 insieme all' UN Comtrade Statistics Database. Per questo motivo i dati storici sono disponibili per il mercato statunitense che, fino agli anni '80 con l'arrivo della Cina, rappresentava il leader mondiale nell'estrazione e produzione di REE. I dati relativi agli altri paesi sono perciò basati su stime di consumo apparente calcolati come  $CA = Produzione + Importazioni - Esportazioni$  (Kelly e Matos, 2014). In questo paragrafo tratteremo quindi i dati aggregati dei paesi e di elementi e minerali.

#### **2.1.1 Dati storici sulla produzione**

Dagli anni '60 gli USA si sono imposti come il maggiore attore nel mercato delle terre rare, con un aumento considerevole tra il 1965 e il 1966 in cui si è passati da 2900 tonnellate a 12200. Come visibile in figura 3, tra il 1966 e il 1984 ha coperto oltre la metà della produzione mondiale grazie soprattutto agli investimenti in giacimenti come quello di Mountain Pass.

**Figura 3** Andamento produzione USA

(a) 1900–1984: United States versus the World



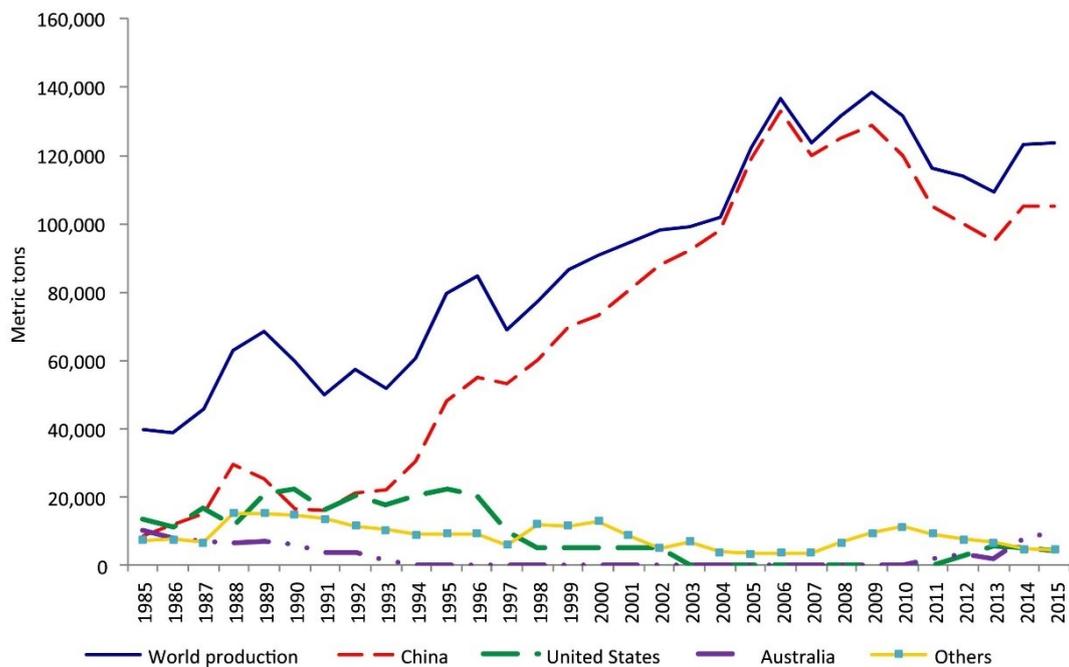
Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

A partire dagli anni '80 è però visibile una tendenza: la produzione mondiale aumenta più di quanto non faccia in relazione quella statunitense, ciò è dovuto principalmente all'ingresso della Cina. La quota americana passa dal 31% del 1985 al 6% nel 2000, contemporaneamente quella cinese aumentava passando dal 21% all'80% nello stesso periodo. La suddivisione del mercato è rimasta pressoché invariata fino al 2015.

Una inversione di tendenza, come visto nella tabella 2 del primo capitolo, si è verificata solo recentemente, con l'aumento della produzione degli USA grazie alla riapertura del sito di Mountain Pass e contestuale aumento della produzione in Birmania.

Figura 4 Quote di produzione sul totale mondiale

(b) 1985–2015: China's awakening

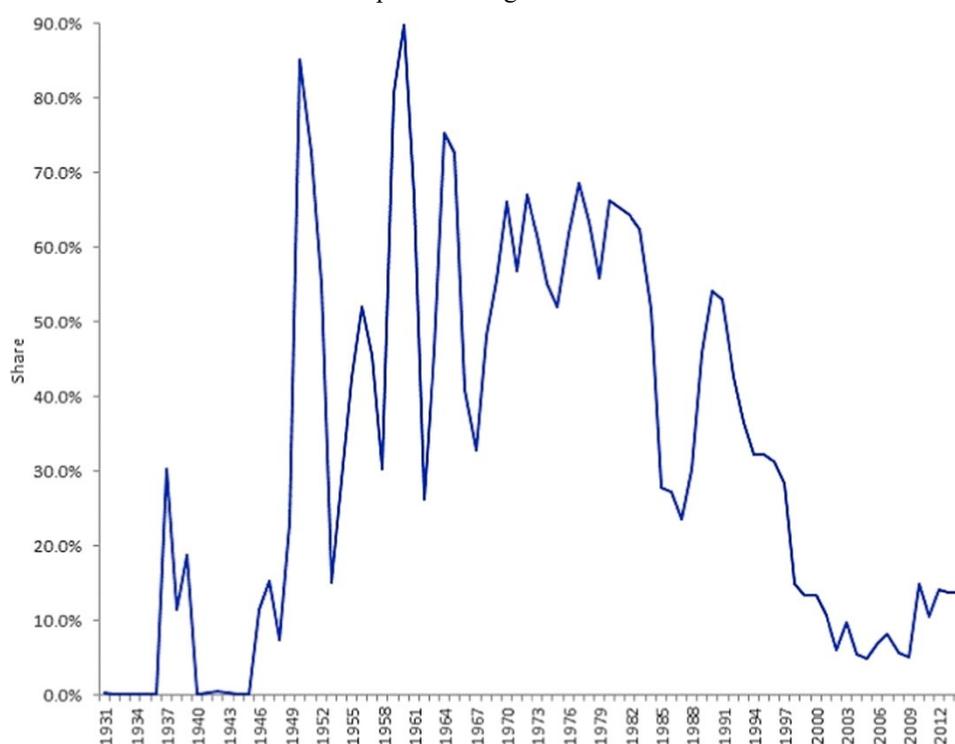


Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

### 2.1.2 Consumo apparente

Se volessimo osservare la progressiva diminuzione dell'interesse degli Stati Uniti in merito di terre rare potremmo farlo anche da un'altra prospettiva. In figura 5 viene rappresentato il consumo apparente relativo sulla produzione globale in cui si nota come il consumo medio relativo nel periodo 1960-1984 si attestasse al 59%, per poi passare al 21% del periodo 1985-2014.

**Figura 5** Consumo relativo USA sulla produzione globale



Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

Come detto in precedenza i dati relativi al consumo sono frutto di stime e, se per quelli relativi agli stati uniti si può fare riferimento a delle serie storiche più datate e affidabili, nel caso di altri paesi diventa più complesso avere dati certi, ad esempio quelli riguardanti i consumi della Cina si basano su uno studio dell'USGS nel

2011(Tse, P., 2011. China's rare-earth industry. US Geological Survey Open File Report 2011-1042, 11 pp). Proprio i dati cinesi sono tra i più difficili da ottenere rispetto ad altri paesi come Australia o Giappone per questioni legate a politiche nazionali di segretezza, inaffidabilità dei dati ufficiali e la presenza di un massiccio mercato di contrabbando.

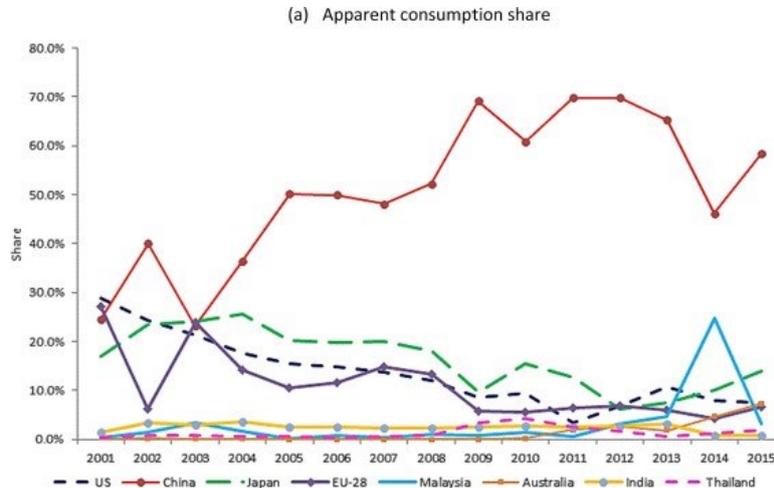
Nella tabella sottostante sono riassunti i dati visibili nella figura 6.

**Tabella 4** Quota consumi per paese

Paese	Quota 2001 (%)	Quota 2015 (%)
US	28.8	7.5
Cina	24.5	58.5
Giappone	17.0	13.9
EU-28	27.2	6.7
Malesia	0.5	3.3
Australia	0.0	7.3
India	1.6	0.9
Thailandia	0.4	2.0

Si nota come Stati Uniti, Giappone e l'Unione Europea abbiano ridotto il loro consumo di terre rare, in gran parte assorbito dalla Cina per via della centralizzazione della produzione di prodotti hi-tech e lo sviluppo di una filiera che parte dall'estrazione e termina con la produzione dei prodotti e semi-prodotti in cui le terre rare vengono impiegate. Questa tendenza è diventata ancora più evidente nelle stime più recenti secondo cui la quota di consumo da parte della Cina è calcolata intorno al 90%, superando la già significativa quota di produzione.

**Figura 6** Quota di consumi per paese



Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

### **2.1.3 L'evoluzione dei prezzi**

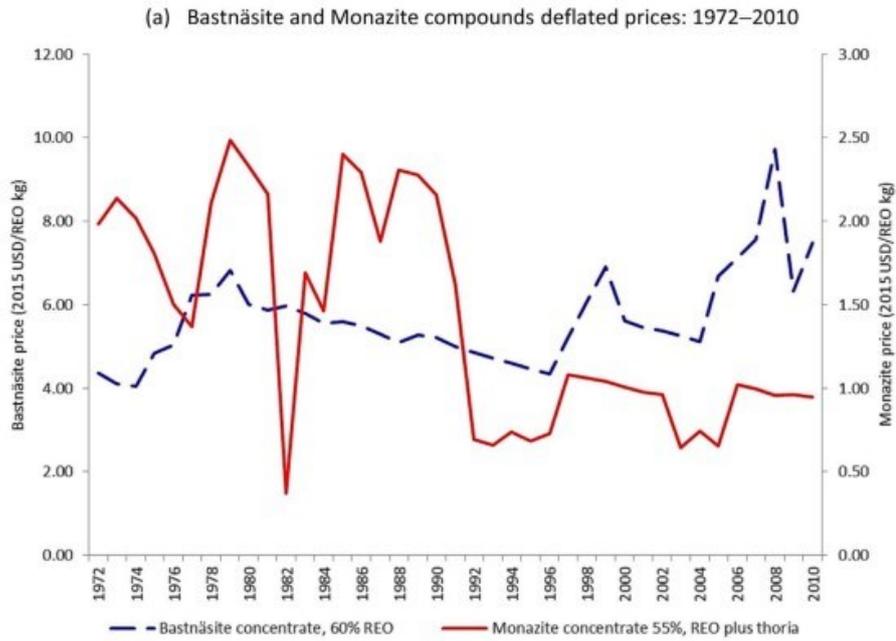
In questo paragrafo osserveremo l'evoluzione dei prezzi del corso degli anni cercando di coglierne i legami e le tendenze.

In figura 7 è mostrato l'andamento dei prezzi di bastnasite e monazite, due minerali da cui si ricavano principalmente terre rare leggere. Le due tendenze di prezzo sembrano avere pendenze contrarie con la prima che mantiene il suo prezzo stabile per poi aumentare nell'ultimo decennio di rilevazione (da 4\$ a 7\$ al kg), quest'ultimo periodo coincide anche con la fase di maggiore variabilità. Al contrario la monazite ha un trend discendente che la porta a dimezzare il suo prezzo ed è più stabile da fine anni '90.

Questi dati diventano più interessanti se messi in relazione con i prezzi e relativo andamento dei singoli elementi ricavati dai minerali precedentemente citati. La scala dei prezzi è molto diversa con prezzi iniziali che, ad esclusione di cerio e lantanio, sono compresi tra i 180\$ e i 600\$ per poi seguire una tendenza calante che

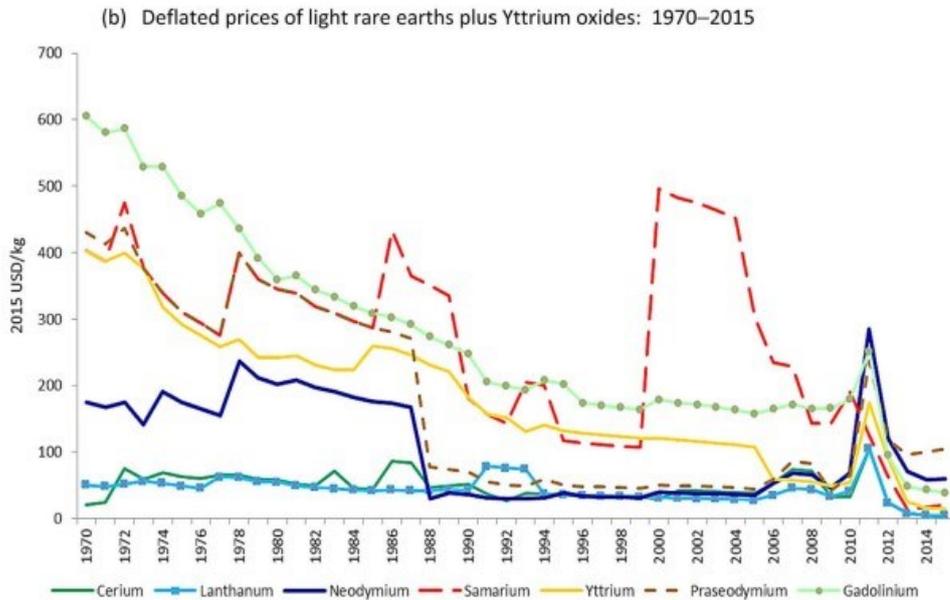
ha portato il costo per chilogrammo sotto i 100\$ per tutti i LREE ad eccezione del praseodimio.

**Figura 7** Prezzi di bastnasite e monazite



Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

**Figura 8** Prezzi delle terre rare leggere



Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

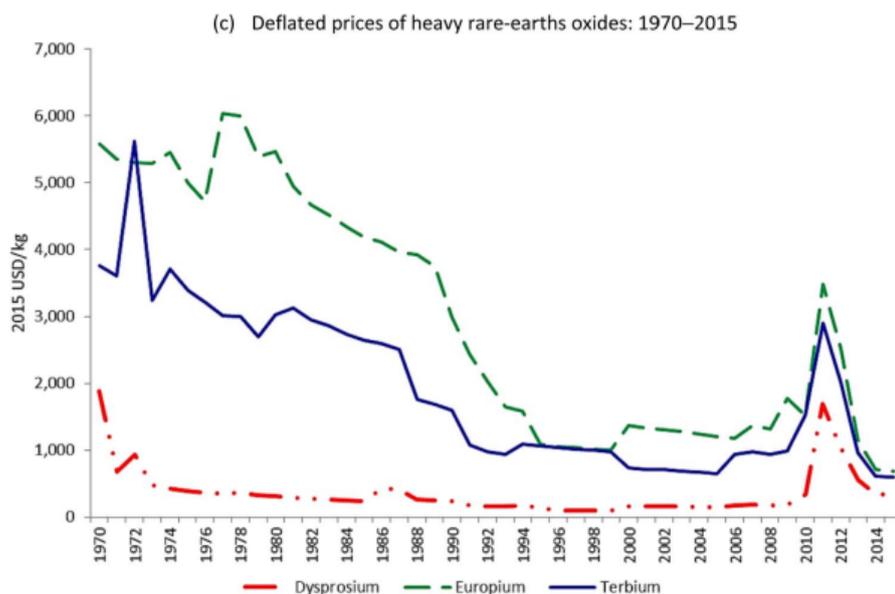
La differenza di prezzo tra gli elementi raffinati e i minerali è un segnale del valore aggiunto attribuito al processo di lavorazione che ne conferma la difficoltà e la complessità.

Unendo all'osservazione anche i dati relativi alle terre rare pesanti possiamo constatare ancora una volta che i prezzi per chilogrammo sono ancora superiori (tra i 2000\$ e i 5500\$ nel 1970 e tra 500\$ e 1000\$ nel 2015) e che la tendenza dei prezzi a diminuire è comune anche a questa categoria.

A questo punto è necessario affrontare l'anomalia presente in questi grafici in concomitanza con il 2011. Infatti, in quell'anno, assistiamo ad un vertiginoso aumento dei prezzi di tutti gli elementi, anche i più comuni. Questi aumenti coincidono con le restrizioni alle esportazioni da parte della Cina che diminuì dell'86% i trasferimenti all'estero. (Fernandez, 2017) La crescita dei prezzi è il risultato di una diatriba geopolitica avuta con il Giappone nel settembre 2010 che

poi sfociò nelle limitazioni all'export su scala globale, questo tema verrà però trattato nei capitoli successivi insieme alle altre questioni geopolitiche.

**Figura 9** Prezzi delle terre rare pesanti



Fonte: Fernandez V.,2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective

## 2.2 Aspetti finanziari del mercato

### 2.2.1 Le principali aziende per capitalizzazione di mercato

Basata sui risultati del lavoro di Laurent (2014), Liu et al. (2016) per le aziende cinesi e i dati di MiningFeeds per quelle con sede in altri paesi, nelle tabelle 5 e 6 vengono indicati le maggiori società operanti nel settore delle terre rare, come visibile nella colonna dedicata alla descrizione le compagnie oggetto dell'analisi ricoprono ruoli diversi all'interno della filiera. Quelle cinesi sono solite ricoprire più soventi una porzione ampia della filiera produttiva includendo l'estrazione e le lavorazioni successive, per le imprese di altri paesi si assiste invece, in alcuni casi, ad una minor estensione delle attività ricoperte, dedicandosi talvolta alle fasi preliminari come esplorazione, valutazione e sviluppo dei progetti.

L'analisi delle capitalizzazioni di mercato annuali riportata in tabella 6 presenta due situazioni molto diverse tra l'inizio delle rilevazioni nel 2010 e quelle del 2016. Diverse compagnie che ricoprivano un ruolo importante nel 2010 hanno visto ridursi la loro capitalizzazione di mercato come nel caso delle australiane Arafura Resources e Lynas Corporation o le statunitensi Molycorp e Rare Elements Resources.

È altrettanto evidente la concentrazione geografica del mercato, con le aziende cinesi che nel 2016 costituivano l'89% della capitalizzazione.

**Tabella 5** Principali aziende nel mercato REE e relative attività

(a) Company description		
Country	Company	Description
AUS	Alkane Resources Ltd	Mineral exploration and evaluation, development and extraction. It operates through two segments: gold operations and rare metals
CHN	Aluminum Corp of China (CHALCO)	CHALCO Guangxi Non-Ferrous Rare Earth Development Co., Ltd. focuses on rare earth industry and mineral rights investment, products' deep processing.
AUS	Arafura Resources Ltd	Rare earths producer. Main activities consist of mining and associated infrastructure, social and environmental feasibility evaluations, and mineral exploration, definition and development.
CAN	Avalon Rare Metals	Exploration and development company. It holds a diverse metals and minerals property portfolio of lithium, tantalum, zirconium, rubidium, cesium, indium, gallium, germanium, rare earths and tin.
CHN	China Minmetals Rare Earth	Mainly engaged in the rare earth oxides, processing of aluminum products, and provision of luminescent materials and lighting equipment.
CHN	China Molybdenum Co.	Engaged in the mining, smelting, processing and trading of metals, such as molybdenum, tungsten and copper. It offers tungsten concentrates, molybdenum oxide, molybdenum rare-earth material, and rare-earth products, among others.
CHN	China Northern Rare Earth	Principally engaged in the production and sale of rare earth raw materials and rare earth functional materials. The Company's main products include rare earth oxides, rare earth metals, rare earth salt products and magnetic materials.
CAN	Critical Elements Corp	Exploration company involved in the acquisition, exploration and development of mining properties. Company's properties include, among others, British Columbia rare earth properties.
AUS	Galaxy Resources Ltd	Company's principal activities include the production of lithium carbonate and exploration for minerals. Its segments include Australian operation, Argentina operation and Canada operation.
CAN	Great Western Minerals	Engaged in the manufacture and supply of rare earth element-based metal alloys. Its specialty alloys are used in the battery, magnet and aerospace industries.
GRL	Greenland Minerals	Engaged in mineral exploration and project evaluation. Company's projects include Kvanefield-Rare earths, among others.
AUS	Iluka Resources	Engaged in mineral sands exploration, project development, operations and marketing. It is a producer of zircon and titanium dioxide products. The Company's segments include Australia, United States, and Mining Area C.
AUS	Kidman Resources	It operates in the exploration for base metal and rare earths industry within Australia.
AUS	Lynas Corporation	Engaged in integrated extraction and processing of rare earth minerals, primarily in Australia and Malaysia, and development of rare earth deposits.
USA	Molycorp Inc	Rare earths producer. The Company operates in four business segments: Resources, Chemicals and Oxides, Magnetic Materials and Alloys and Rare Metals
USA	Rare Elements Resources	Company's Bear Lodge Property consists of two projects: Bear Lodge Rare Earth Element (REE) Project and the Sundance Gold Project.
CHN	Rising Nonferrous Metals Share	Mainly engaged in mining, production, processing and distribution of nonferrous metals. Main products consist of tungsten and related products, as well as rare earth and related products.
SWE	Tasman Metals	Engaged in exploration of minerals and critical metals including rare earth elements and tungsten in Scandinavia.
USA	Ucore Rare Metals	Junior exploration and technology company engaged in the exploration and development of rare earth element properties within Canada and the United States
CHN	Xiamen Tungsten Co.	Company involves in the production of non-ferrous metal products, operation of rare earth business, provision of battery materials, and property development and management business.
CAN	Wealth Minerals Ltd	Junior mineral resource exploration company, which focuses on the acquisition, exploration and development of mineral properties primarily prospective for precious metals and lithium. 1

Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

**Tabella 6** Capitalizzazioni di mercato

(b) Market capitalization (current million USD): 2010–2016

Country	Company	Dec-10	Dec-11	Dec-12	Dec-13	Dec-14	Dec-15	Dec-16
AUS	Alkane Resources Ltd	247.3	246.4	265.1	113.8	75.2	69.0	126.2
CHN	Aluminum Corp of China (CHALCO)	18,174	11,392	9692	6732	11,507	9762	8325
AUS	Arafura Resources Ltd	538.3	136.0	83.1	30.9	17.5	19.5	18.5
CAN	Avalon Rare Metals	576.5	243.8	140.9	60.4	25.4	14.8	20.6
CHN	China Minmetals Rare Earth	724.2	–	–	3430.8	4755	3262.0	1920
CHN	China Molybdenum Co. Ltd.	4445	2068	5607	4608	6087	9699	7934
CHN	China Northern Rare Earth Gp	8674	7179	14,553	8881	10,129	7898	6449
CAN	Critical Elements Corp	30.6	15.0	25.7	20.4	22.9	17.0	55.2
AUS	Galaxy Resources Ltd	276.3	230.7	231.6	43.3	22.3	106.6	712.2
CAN	Great Western Minerals	207.5	164.6	103.7	26.3	10.4	0.2	0.4
GRL	Greenland Minerals	342.5	191.8	160.5	105.8	40.3	15.4	50.6
AUS	Iluka Resources	3800	6569	3952	3245	2057	1860	2236
AUS	Kidman Resources	–	11.4	17.0	18.3	6.6	8.8	136.9
AUS	Lynas Corporation	3400	1813	1180	519.5	189.3	250.3	188.8
USA	Molycorp Inc	4106	2012	1302	1313	215.6	6.0	8.3
USA	Rare Elements Resources	562.2	143.3	152.2	73.8	18.1	8.0	3.2
CHN	Rising Nonferrous Metals Share	2437	1498	2340	1595	2354	1610	1855
SWE	Tasman Metals	231.9	90.5	71.8	61.8	28.7	12.5	13.0
USA	Ucore Rare Metals	77.0	53.6	75.2	37.6	36.4	33.0	63.9
CHN	Xiamen Tungsten Co.	4881	3187	4265	2699	4434	3155	3445
CAN	Wealth Minerals Ltd	46.4	7.5	3.7	1.7	0.8	4.7	68.0
All firms	Total market capitalization	53,777	37,253	44,223	33,616	42,032	37,811	33,630

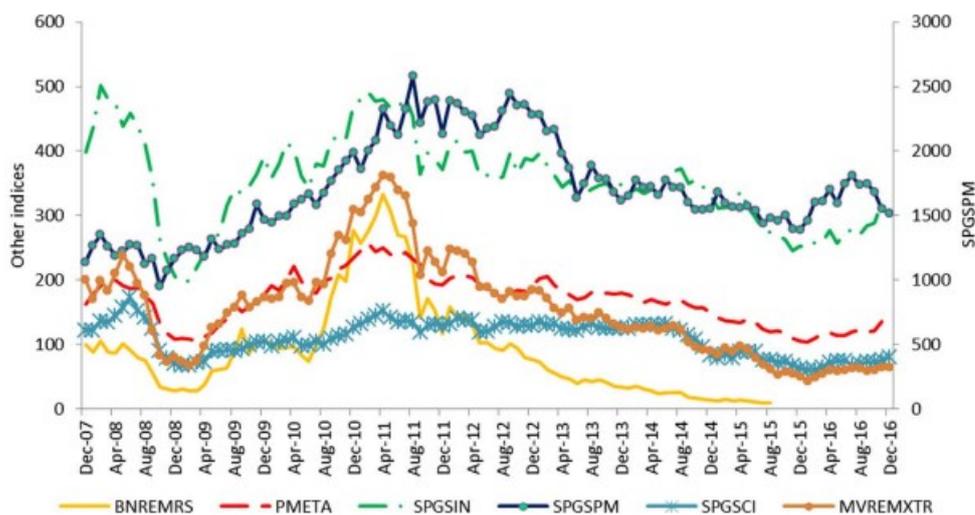
Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

### **2.2.2 Possibili correlazioni con il settore delle materie prime**

Dopo aver analizzato le capitalizzazioni di mercato delle maggiori società operanti nel campo delle terre rare ci concentreremo sulla correlazione degli indici derivati da queste ultime confrontandoli con quelli relativi alle materie prime cercando di coglierne eventuali correlazioni.

Per quanto riguarda la prima categoria saranno presi come campioni il Bloomberg Rare Earth Mineral Resources Index BNREMS (attivo fino al 2015) e il MVIS Global Rare Earth/Strategic Metals Index MVREMXTR; per quanto riguarda gli indici riferiti alle materie prime avremo l'IMF Metals Price Index PMETA che include rame, alluminio, ferro, nickel, zinco, piombo e uranio; l'S&P GSCI Industrial Metals Index SPGSIN (che include alluminio, rame, piombo, nichel e zinco), S&P GSCI Precious Metals Index SPGSPM che include oro e argento, e l'S&P GSCI Spot Index SPGSCI, utilizzato come benchmark per le materie prime come cereali, zucchero, caffè, prodotti da allevamento, petrolio e alcuni metalli.

**Figura 10** Andamento indici 2007-2016



Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

Anche solo osservando il grafico in figura 10 si nota un andamento simile per il BNREMRS e il MVREMTR, questa sensazione è confermata dalla correlazione tra i due indici pari a 0,85, considerata forte. Oltre a ciò, il MVREMTR presenta una correlazione significativa con altri due indici: SPGSIN e SPGSCI rispettivamente 0,70 e 0,67. Una ulteriore analisi potrebbe essere quella di calcolare la correlazione tra l'andamento dei vari indici e i prezzi di alcuni prodotti delle terre rare. In questo caso viene misurata la correlazione tra la performance degli indici e i prezzi delle leghe di praseodimio e neodimio visibile nel grafico in figura 11 e la correlazione tra gli stessi indici e il prezzo dell'ossido di ittrio in figura 12, l'unico indice che mantiene un livello di correlazione significativo per tutto il periodo della misurazione è il MVREMTR. Possiamo quindi considerarlo come l'indice che meglio tiene traccia dell'andamento dei prezzi. Risultato abbastanza intuitivo se pensiamo che le performance delle aziende che operano nel settore delle terre rare

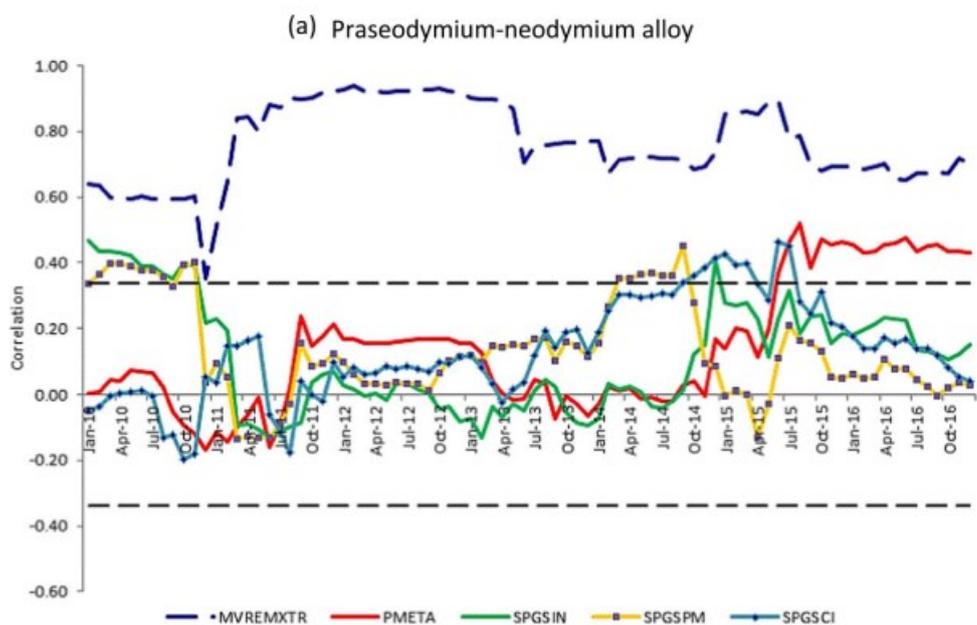
sono influenzate dall'andamento dei prezzi delle terre rare stesse. (Fernandez, 2017)

**Tabella 7** Correlazione indici

	BNREMRS	MVREMSTR
BNREMRS	1.00	
MVREMSTR	0.85*	1.00
PMETA	0.42*	0.45*
SPGSIN	0.63*	0.70*
SPGSPM	0.47*	0.34*
SPGSCI	0.59*	0.68*

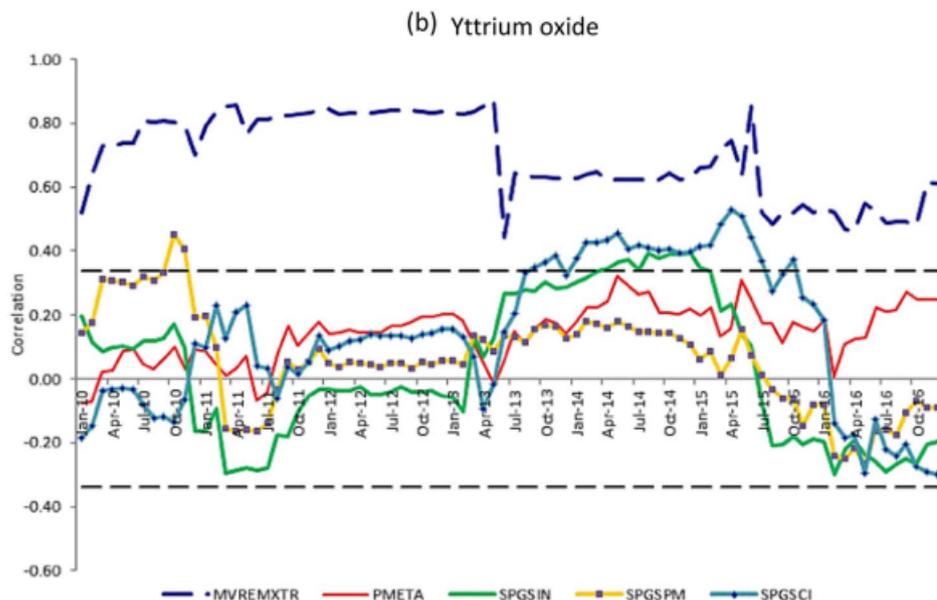
Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

**Figura 11** Correlazione tra indici e prezzi delle leghe di prasodimio e neodimio



Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

**Figura 12** Correlazione tra indici e prezzo dell'ossido di ittrio



Fonte: Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, Resource Policy, 26-45

## 2.3 Peculiarità e problematiche del mercato delle terre rare

Come visto in precedenza, l'analisi del mercato a livello macroeconomico e aggregato presenta delle difficoltà nel reperimento di dati affidabili per problematiche di diverso tipo: sistemi economici molto diversi, ingerenze geopolitiche, contrabbando. In questo paragrafo osserveremo il mercato più da vicino e cercheremo di studiarne le problematiche che rendono così difficile operare e indagare su questo mercato.

### 2.3.1 Competizione tra modelli politico-economici

Nel mercato delle terre rare concorrono due modelli economici molto diversi, da un lato le economie di mercato occidentali, dall'altro le economie stato-capitalistiche.

Questi due modelli hanno modalità di approcciarsi al mercato profondamente diversi, nelle economie di mercato il compito di fornire le materie prime è responsabilità del settore dell'industria privata e lo stato svolge un ruolo di supporto solo secondario. Tuttavia, in seguito alla crisi delle terre rare del 2010-2011 le attenzioni dei governi su questo ambito sono aumentate: hanno effettuato investimenti sostanziosi sulla ricerca di progetti, soluzioni e alternative legate alle terre rare; sono aumentate le forme di cooperazione internazionale per il supporto comune con anche richiami formali dall'organizzazione mondiale del commercio nei confronti della Cina per sollecitare il rispetto degli accordi internazionali. Questi sforzi non sono però stati sufficienti fino ad ora. In una situazione come questa, la mentalità cinese di un sistema economico a guida statale porta ad uno squilibrio di mercato che impedisce alla concorrenza di proliferare (Humphreys, 2013).

L'obiettivo del governo cinese è quello di imporsi come leader nel settore delle terre rare e controllarne la catena del valore in modo da non permettere la nascita di una filiera che sia indipendente dalla Cina. L'intervento della gigante asiatico è ormai uscito anche dai limiti geografici, sono infatti diversi gli episodi di acquisizioni e accordi con società di estrazione australiane (il progetto Kvanfjeld) e canadesi (Eco Ridge in Ontario). I grandi volumi di produzione di cui dispone la Cina permettono inoltre di poter controllare i prezzi al ribasso delle materie prime, rendendo poco appetibile il mercato per società di estrazione che non possano spostare la generazione di valore nelle fasi seguenti del processo di lavorazione, tali meccanismi di controllo della concorrenza non sarebbero attuabili per imprese private.

### ***2.3.2 Nazionalizzazione delle risorse***

La nazionalizzazione delle risorse avviene quando un paese ricco di una determinata risorsa la dichiara di importanza strategica e diventa controllata dal governo tramite nazionalizzazione di aziende, tassazioni, regolamentazione delle

quote di export e altre modalità di intervento statale. Pensiamo ai voluti di esportazione cinesi che nel 2005 erano di 65000 tonnellate di REE non processate e nel 2010 passarono a 30000 tonnellate (Roskill, 2014)

Queste politiche possono essere messe in atto anche in caso il paese non sia ricco di una determinata risorsa per garantirne un approvvigionamento che non dipenda da accordi con stati esteri. La principale differenza nei due casi è che nella prima situazione è possibile utilizzare la ricchezza di risorse come leva nei conflitti geopolitici, garantendo ai sistemi stato-capitalistici il controllo sui più vulnerabili sistemi a mercato libero.

### ***2.3.3 Opacità del mercato***

L'opacità del mercato è indicato da Klossek et al (2016) dei principali problemi del mercato delle terre rare. Una situazione del genere si sviluppa a causa dell'assenza di informazioni trasparenti e attendibili associate all'industria per quanto riguarda la disponibilità, i prezzi, le riserve e la produzione delle terre rare. La mancanza di trasparenza genera molta incertezza tra gli individui operanti nei mercati, il che rende difficile la pianificazione e le decisioni di investimento. L'opacità del mercato può portare a una mancanza di consapevolezza delle forze di mercato, dei rischi di approvvigionamento e delle strategie concorrenziali. Ad esempio, si consideri la metodologia di acquisto, al contrario dei metalli più noti come oro, argento o rame non esiste una quotazione di borsa che ne determini il prezzo ma le transazioni avvengono tramite accordi bilaterali. Questa mancanza di consapevolezza viene ulteriormente accentuata dal mercato eccessivamente complesso e tecnico delle terre rare, il che richiede conoscenze specialistiche per essere compreso e analizzato appieno. Questo successivo fallimento nel fornire informazioni dettagliate e trasparenti non solo ostacola l'identificazione precisa dei rischi, ma anche delle opportunità di investimento e sviluppo. A tal fine, una maggiore trasparenza di mercato è necessaria per creare una maggiore stabilità e prevedibilità nell'ambiente

aziendale, insieme ad una fiducia migliore tra i suoi interessati e al supporto di decisioni più informate.

#### ***2.3.4 Mancanza di fiducia e cooperazione***

La mancanza di fiducia è una condizione molto comune nei mercati internazionali, soprattutto quando sono coinvolti operatori culturalmente distanti e anche il mercato delle terre rare rientra in questa casistica. Ad aumentare lo scetticismo all'interno del settore c'è sicuramente la memoria storica: la crisi del 2010-2011 rappresenta ne è esempio. Inoltre, a questo si aggiunge l'incertezza degli investimenti minerari e le difficoltà che caratterizzano il settore dell'estrazione e la lavorazione, senza dimenticare le distorsioni di mercato, le ingerenze della politica e le asimmetrie informative.

Queste problematiche risultano poi uno scoglio alla cooperazione. Se possiamo comprendere che sia più complesso instaurare forme di cooperazione tra la Cina e il resto del mondo anche per motivazioni geopolitiche diventa più complesso trovare ragioni valide per la scarsa cooperazione tra operatori e paesi che dovrebbero tutelarsi dal monopolio cinese. L'approccio liberista di molti operatori scoraggia le iniziative congiunte tra investitori privati e statali, difficoltà acute anche dalla mancanza di associazioni che rappresentino le parti. Questa difficoltà permane anche nei rapporti tra stati che, come abbiamo visto, sono soliti contravvenire regolamenti internazionali o applicare dazi come misure punitive, scoraggiando forme di dialogo più costruttive.

#### ***2.3.5 Differenze tra approcci a breve e lungo termine***

La Cina, grazie al forte coinvolgimento statale nell'economia, può perseguire una prospettiva di lungo termine, al contrario, le economie occidentali si concentrano su un orizzonte temporale più ridotto. Questo approccio danneggia il potere relativo

dei paesi occidentali in quanto un cambiamento delle catene di approvvigionamento e l'istituzione di una filiera richiedono tempistiche molto lunghe, si stimano 5-10 anni per sviluppare e avviare un progetto minerario (Stegen et al, 2015). Prendendo ad esempio il caso cinese possiamo osservare come la loro politica di investimento comincia verso la fine degli anni '80 per poi diventare leader assoluto negli anni 2000.

A ciò si aggiunge la domanda delle aziende del settore tech. Essendo un campo con cicli di prodotto brevi, è difficile prevedere quote di consumo per orizzonti temporali troppo dilatati e di conseguenza la pianificazione degli approvvigionamenti si limita al breve periodo accettando il rischio di dover sostituire alcuni elementi con sostituti meno performanti o delocalizzando in Cina, a ridosso della filiera delle terre rare (Vacuumschmelze, 2015)

Il rischio delle delocalizzazioni è di portare all'eliminazione di interi rami industriali nel resto del mondo, aumentando così la dipendenza dalla produzione cinese non solo di materie prime e metalli ma anche dei prodotti intermedi e finali, accentrando il potere economico in un solo paese.

### **CAPITOLO 3 – IL RUOLO DELLA GEOPOLITICA**

Nel 1978 dei ribelli angolani occuparono la provincia del Katanga, nello Zaire. Il presidente Mobutu Sese Seko rispose dispiegando l'esercito e mentre la battaglia si protraeva le esportazioni di cobalto da parte dello Zaire si riducevano. Il paese era infatti il maggiore produttore di cobalto, di cui il Katanga era molto ricco, e principale fornitore degli USA, coprendo il 40% del loro fabbisogno. In meno di un anno il prezzo del cobalto passò da 10\$ per libbra a oltre 60\$.

Pochi mesi prima dell'assalto dei ribelli, l'Unione Sovietica acquistò grandi quantità di cobalto dal Congo al fine di soddisfare il proprio fabbisogno per scopi militari. Successivamente si scoprì che i ribelli angolani responsabili dell'assalto in Zaire erano in realtà supportati dall'URSS nel tentativo di destabilizzare la catena di approvvigionamento statunitense del cobalto e, se alcune industrie, come quella delle vernici che utilizzavano il cobalto come pigmento, riuscirono a trovare alternative facilmente, non si può dire lo stesso per il settore militare, in cui il cobalto veniva utilizzato in alcune leghe che permettevano la produzione di magneti permanenti.

Il problema creatosi venne visto come un'opportunità da un giovane ricercatore giapponese, Masato Sagawa, che stava lavorando su un magnete a base di cobalto e samario che non funzionava come dovuto. Ipotizzò quindi di utilizzare un magnete composto di ferro e neodimio, una delle terre rare più presenti. Dopo diversi tentativi riuscì a ideare un magnete in grado di garantire un magnetismo permanente e resistente ad alte temperature unendo al ferro, oltre al neodimio, anche boro e disprosio, un altro elemento della famiglia dei lantanidi, più raro di cobalto e samario. Sagawa era consapevole che la supply chain di un tale elemento avrebbe potuto causare problematiche in futuro, per questo era vista come una soluzione temporanea.

Nel frattempo, questa tipologia di magneti veniva utilizzata in un vasto campo di applicazioni, diventando lo standard per la produzione di prodotti tecnologici hi-tech in Giappone e non solo.

Circa 40 anni più tardi, il 7 settembre 2010, un'imbarcazione della guardia costiera giapponese a largo del mare cinese orientale avvista un peschereccio cinese sulle coste delle isole Senkaku, territorio che ricade sotto l'amministrazione del Giappone dal 1895 come esito della guerra sino-giapponese ma che la Cina rivendica per diritto storico e chiama Diaoyu.

Il 21 settembre il ministero dell'economia giapponese viene informato dei ritardi che le forniture cinesi di terre rare stanno subendo, nonostante ufficialmente non ci sia stato nessun bando, il Giappone è stato l'unico Paese a subire questi ritardi. Da lì il mercato delle terre rare, anche a livello internazionale, comincia a cambiare e i prezzi aumentano a dismisura, in alcuni casi anche a 20 volte quelli precrisi. A distanza di decenni divenne chiaro come il magnete ideato da Sagawa avesse solamente spostato la dipendenza dalle forniture del Congo a quelle cinesi. (Abraham, 2015)

Gli eventi del settembre 2010 innescano quella che viene indicata come crisi delle terre rare, da quel momento anche i governi meno avveduti prendono atto della situazione che caratterizza la supply chain internazionale delle terre rare e dei materiali ritenuti critici per lo sviluppo economico, tecnologico e ambientale. Diventa fondamentale riuscire a garantire un approvvigionamento stabile e in linea con il fabbisogno attuale ma anche considerando quello futuro, previsto in grande crescita.

## **3.1 La leadership della Cina**

### ***3.1.1 La politica industriale interna***

La costruzione del ruolo quasi-monopolistico della Cina nel mercato delle terre rare si basa su diversi fattori: il tempismo, investimenti statali lungo tutta la filiera, controllo delle esportazioni, basso costo del lavoro e la mancanza di regolamentazione ambientale.

Il giacimento di Bayan Obo fu il primo sito di estrazione di terre rare scoperto in Cina, l'inizio dei lavori avvenne negli anni '50, seguito da altri luoghi nel decennio successivo. Nel 1990 le terre rare vennero classificate come “minerali strategici e protetti”, ciò impediva alle società estere di estrarle in territorio cinese e permetteva di partecipare al processo di raffinazione solo tramite joint venture approvate dal governo. (Andrews-Speed, Hove, 2023)

Nel 1992, il leader politico cinese Deng Xiaoping, principale responsabile della riforma economica cinese, dichiarò “In medio oriente c'è il petrolio, in Cina le terre rare” (Abraham, 2015), a simboleggiare l'importanza strategica riconosciuta non solo per l'economia cinese ma anche per il ruolo all'interno dello scacchiere internazionale che gli avrebbe poi permesso di occupare negli anni a venire.

Negli anni 2000 il governo centrale aumentò la stretta sulle esportazioni, introdusse dei tetti all'export e tasse di esportazione, venne invece vietato il commercio verso l'estero dei concentrati di terre rare.

È il 2010 quando, in risposta a problematiche come l'inquinamento, l'eccessiva capacità di estrazione e lavorazione e la mancanza di controllo di siti illegali, il governo cinese mette in atto una serie di iniziative per regolarizzare il settore. Il numero di miniere viene ridotto da 123 a meno di 10 e gli impianti di lavorazione da 73 a 20.

Nei due anni successivi vengono varate delle riforme le cui priorità comprendevano:

- Aumentare il controllo sull'estrazione e lavorazione di terre rare, concentrandosi sulla sorveglianza dell'export
- Ridurre il numero di imprese operanti nel settore e adeguarne gli standard tecnologici tramite fusioni e acquisizioni
- Stimolare lo sviluppo tecnologico della filiera
- Migliorare la coordinazione tra il governo centrale, quelli locali e le imprese
- Definire un sistema legislativo per il settore delle terre rare

Tra il 2009 e il 2010 le esportazioni vennero ridotte del 37% e di un ulteriore 15% l'anno successivo. Se confrontiamo il volume delle esportazioni sul totale prodotto si è passati dall'90% del 2000 al 20% del 2012.

A distanza di 5 anni, nel 2016 viene presentato il nuovo piano di sviluppo dell'industria delle terre rare in occasione del quale vengono analizzati gli esiti del precedente. I 6 maggiori gruppi industriali del settore controllavano la quasi totalità delle imprese e un numero considerevole di impianti di estrazione e lavorazione illegali erano stati chiusi. Gli obiettivi del nuovo piano quinquennale furono quindi di proseguire la lotta all'illegalità, migliorare la sostenibilità ambientale della filiera e ridurre gli eccessi produttivi, corresponsabili dei bassi prezzi dei prodotti delle terre rare. I target erano quindi di aumentare la profittabilità del settore dal 5,8% al 12%, destinare il 5% (invece del 3%) dei costi operativi di ogni impresa alla ricerca e sviluppo, ridurre la capacità produttiva da 300mila a 200mila tonnellate, incentivare il recupero dei minerali di scarto e aumentare la quota di esportazione dei prodotti finali.

Secondo i dati più recenti la Cina sembra essere riuscita nel suo intento di esportare maggiormente i prodotti con il maggior valore aggiunto aumentando la percentuale di terre rare processate all'interno del paese sul totale mondiale al 90%. Il volume delle esportazioni di composti e metalli di terre rare è passato da 34832 tonnellate

del 2015 al massimo storico di 53031 tonnellate nel 2018, salvo accusare una contrazione nel 2020. (Andrews-Speed, Hove, 2023)

### **3.1.2 L'espansione cinese in Africa**

Dall'ingresso della Cina nel WTO (organizzazione mondiale del commercio) nel 2001, il suo rapporto con il continente africano è diventato progressivamente più forte creando significative linee di scambio tra i due attori.

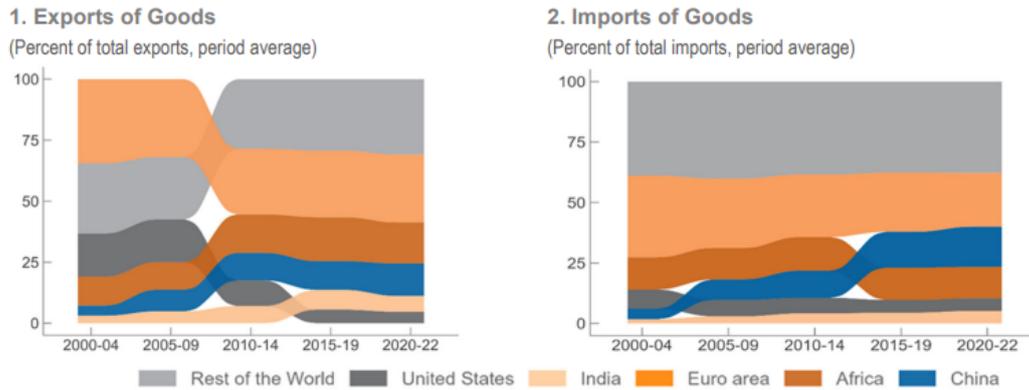
Il rapporto ha portato il gigante asiatico ad essere il primo partner commerciale dell'intero continente, il 13% delle esportazioni sono infatti destinate alla Cina (figura 13)<sup>1</sup>, allo stesso tempo il 16% delle importazioni in Africa provengono dalla Cina.

Tuttavia, l'importanza che riveste l'Africa per la Cina è molto minore (4,6% dell'export e 4.3% dell'import). Un ulteriore differenza nella relazione tra i due paesi è rappresentata dall'oggetto dei trasferimenti (figura 14). La Cina importa quasi esclusivamente materie prime e carburanti, al contrario esporta in Africa una varietà molto più ampia di beni come prodotti fabbricati e macchinari oltre alle materie prime. Oltre all'osservazione dei trasferimenti è interessante soffermarsi su un altro aspetto della relazione perché, pur rimanendo vero che la relazione tra i due soggetti si è sviluppata attraverso il commercio, gli interessi della Cina sono vasti e hanno ragioni politiche oltre che economiche.

---

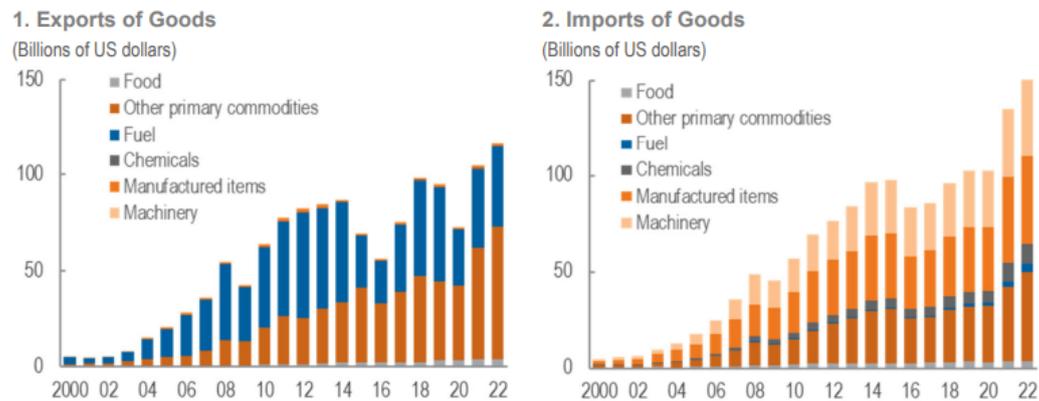
<sup>1</sup> Chen W. Fornino M. Rawlings H., 2024, Navigating the Evolving Landscape between China and Africa's Economic Engagements

**Figura 13** Quote di esportazione e importazione africane



Fonte: Chen W. Fornino M. Rawlings H., 2024, Navigating the Evolving Landscape between China and Africa's Economic Engagements

**Figura 14** Composizione import ed export



Fonte: Chen W. Fornino M. Rawlings H., 2024, Navigating the Evolving Landscape between China and Africa's Economic Engagements

Nello stesso arco di tempo in cui i due partner consolidavano il loro rapporto commerciale la Cina agiva anche da principale finanziatore laddove il prestito privato era complesso da ottenere. Gli investimenti cinesi coprono diversi settori di interesse, i più importanti sono:

- Infrastrutture: massicci sono stati gli investimenti in progetti per la viabilità come nel caso della ferrovia tra Mombasa e Nairobi in Kenya, costruita da una società cinese e finanziata da un prestito cinese, o il porto di Bagamoyo in Tanzania
- Energia: gli investimenti nel settore energetico coinvolgono sia le fonti fossili, sia le rinnovabili, è il caso della centrale idroelettrica di Karuma in Uganda, oltre agli interventi strutturali per la distribuzione
- Comunicazioni: le numerose aziende cinesi che operano nel reparto hi-tech come Huawei hanno contribuito allo sviluppo delle reti 4G e 5G
- Risorse naturali: gli accordi con Angola per il petrolio e Congo per rame e cobalto permettono ai paesi di sfruttare le loro risorse naturali e alla Cina di coprire parte del loro fabbisogno.

La forma del prestito è stata quella che ha definito maggiormente il rapporto tra i due paesi negli ultimi due decenni ma i volumi sono cambiati notevolmente in poco tempo: il credito offerto nel 2016 ammontava a 28,4 miliardi di dollari, nel 2020 ne sono stati erogati solo 1,9. Questa situazione è stata causata sia da decisioni interne alla Cina di inasprire le condizioni di accesso al credito sia dall'avvento della pandemia che ha colpito duramente alcuni paesi africani rendendo i prestiti insoluti. Durante l'edizione del 2021 del Forum of China-Africa Cooperation è stata rilasciata una dichiarazione congiunta sui temi energetico-climatici in cui Pechino afferma di impegnarsi in progetti di sviluppo energetico sostenibile.

Quello dello sviluppo energetico sostenibile è uno dei grandi temi che guidano le politiche internazionali cinesi, soprattutto in Africa. Esso, infatti, si ricollega direttamente al tema delle terre rare.

Come già trattato in precedenza, le terre rare hanno la peculiarità di essere fondamentali per la green economy, vengono utilizzate in grandi quantità all'interno delle turbine eoliche, nei pannelli solari, nelle batterie delle auto

elettriche migliorandone l'efficienza e la durabilità e il progressivo interesse della Cina di mantenere al suo interno più fasi possibili della produzione. Le limitazioni alle esportazioni dei prodotti intermedi hanno lo scopo di mantenere la catena di creazione del valore all'interno del paese in modo da porsi in una posizione di leadership e controllo per quanto riguarda la supply chain dei sistemi utilizzati nel settore energetico. La volontà di imporsi in questo mercato è dettata anche dagli accordi con i paesi africani come il Congo, il cui cobalto è considerato una risorsa critica per quanto riguarda la green economy, in cui la Cina ha ottenuto i diritti di estrazione per le sue aziende in cambio di interventi strutturali.

## **3.2 La posizione dell'Europa**

Nel settembre 2022 la presidente della commissione Europea Ursula von der Leyen ha annunciato l'arrivo di un programma volto a garantire stabilità nell'approvvigionamento delle materie prime ritenute critiche. Il documento, pubblicato il 16 marzo 2023, è intitolato Critical Raw Materials Act e analizza e offre soluzioni per la problematica delle risorse critiche, tra cui le terre rare. Insieme al Green Deal europeo e il Net-Zero Industry Act costituisce l'insieme di proposte per garantire la sostenibilità ambientale e l'indipendenza energetica dell'unione europea negli anni a venire.

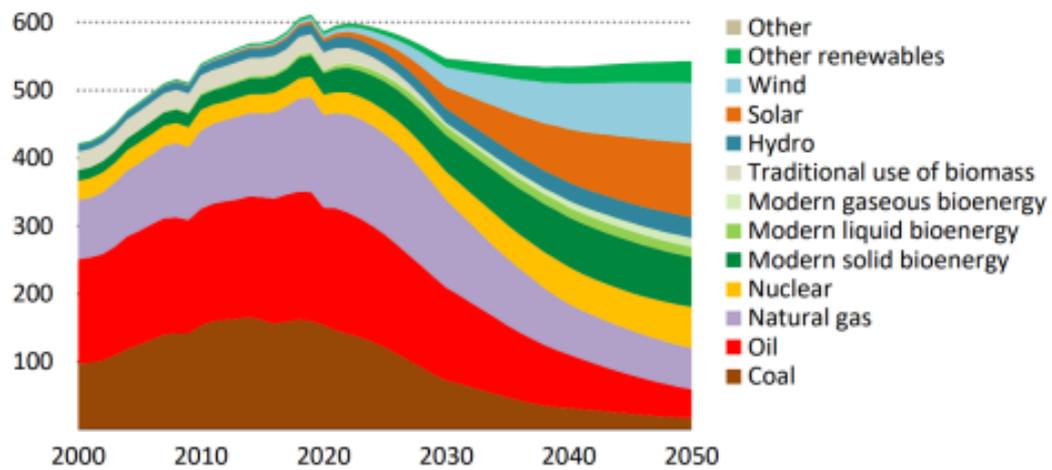
### ***3.2.1 Le previsioni***

La transizione ecologica unita a quella digitale sta trasformando il mercato dell'energia, e le fonti energetiche preponderanti in questo momento non saranno le stesse a distanza di 10 anni. Il grafico dell'International Energy Agency in figura 15 mostra in che modo si prevede possa mutare la proporzione delle fonti energetiche fino al 2050. Attualmente oltre il 70% delle forniture provengono da fonti fossili quali petrolio, carbone e gas naturale, la tendenza tuttavia sta invertendo

il rapporto e le fonti rinnovabili sono destinate a superare in percentuale le fonti fossili già nel prossimo decennio.

Questo mutamento porterà all'aumento della produzione di sistemi in grado di produrre energia pulita come nel caso di pale eoliche, pannelli fotovoltaici ecc...

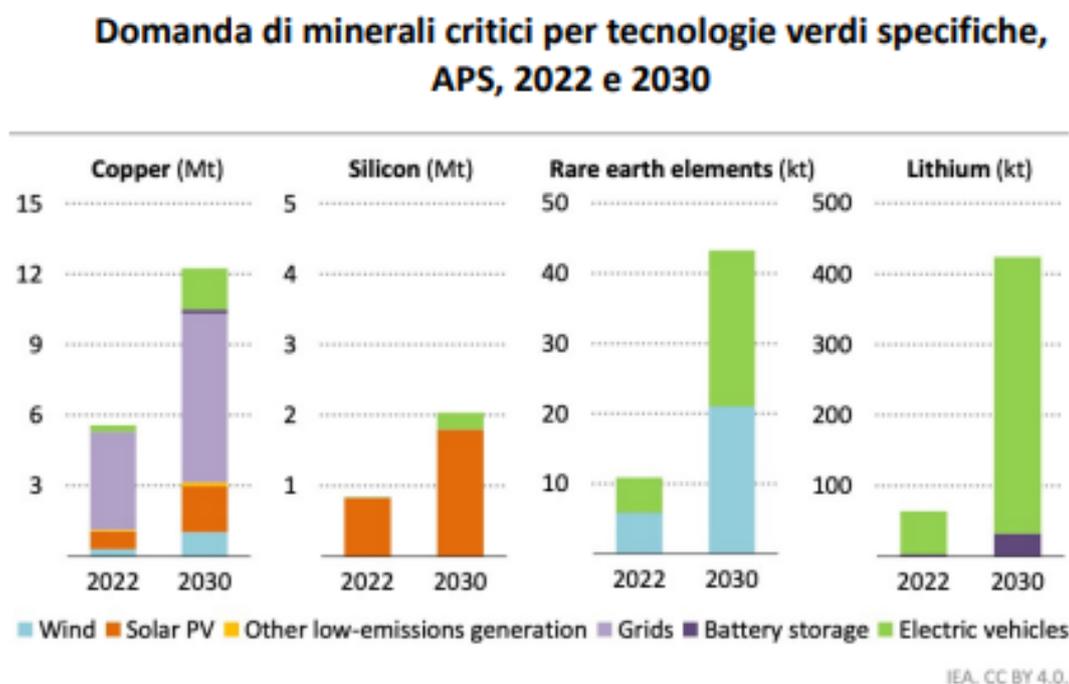
**Figura 15** Forniture energetiche 2000-2050



IEA. All rights reserved.

Fonte: International Energy Agency

Figura 16 Domanda di minerali critici



Fonte: International Energy Agency

Come abbiamo già visto in precedenza questi impianti hanno standard tecnologici molto elevati e richiedono l'utilizzo di materiali con caratteristiche precise, che possano garantire efficienza e durabilità per mantenere l'impronta ecologica la minore possibile. Alcuni minerali sono mostrati in figura 16, dove possiamo la domanda attuale e quella prevista per il 2030. Tra questi minerali sono presenti le terre rare la cui domanda per il 2030 è prevista essere 4 volte quella attuale.

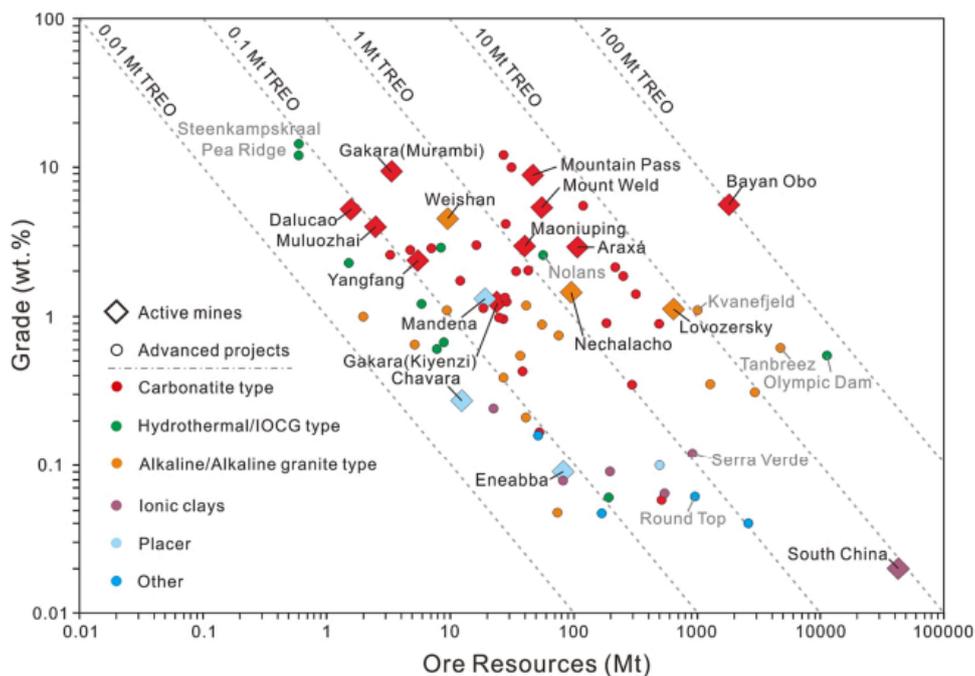
Le terre rare la cui domanda europea è destinata ad aumentare maggiormente nei prossimi decenni sono: il disprosio, il neodimio e il praseodimio.

Al momento non esistono siti minerari di terre rare in Europa, ciò rende l'Unione totalmente dipendente dalle forniture cinesi. Le notizie più recenti sono però positive. Nel 2023 la Svezia ha annunciato la scoperta di un giacimento nella

miniera di Kiruna che contiene, secondo le stime, un milione di tonnellate. La scoperta più recente è però quella norvegese di Fensfeltet, la cui disponibilità di terre rare ammonterebbe secondo le prime stime, a 8,8 milioni. Il giacimento più promettente in Europa è però quello di Kvanefjeld, in Groenlandia. Seppur scoperto nel 1950 e acquisito dalla Greenland Minerals Ltd, società australiana, il progetto non è mai partito per via delle preoccupazioni dei locali, legate soprattutto alla presenza di uranio, di cui è uno dei primi giacimenti al mondo.

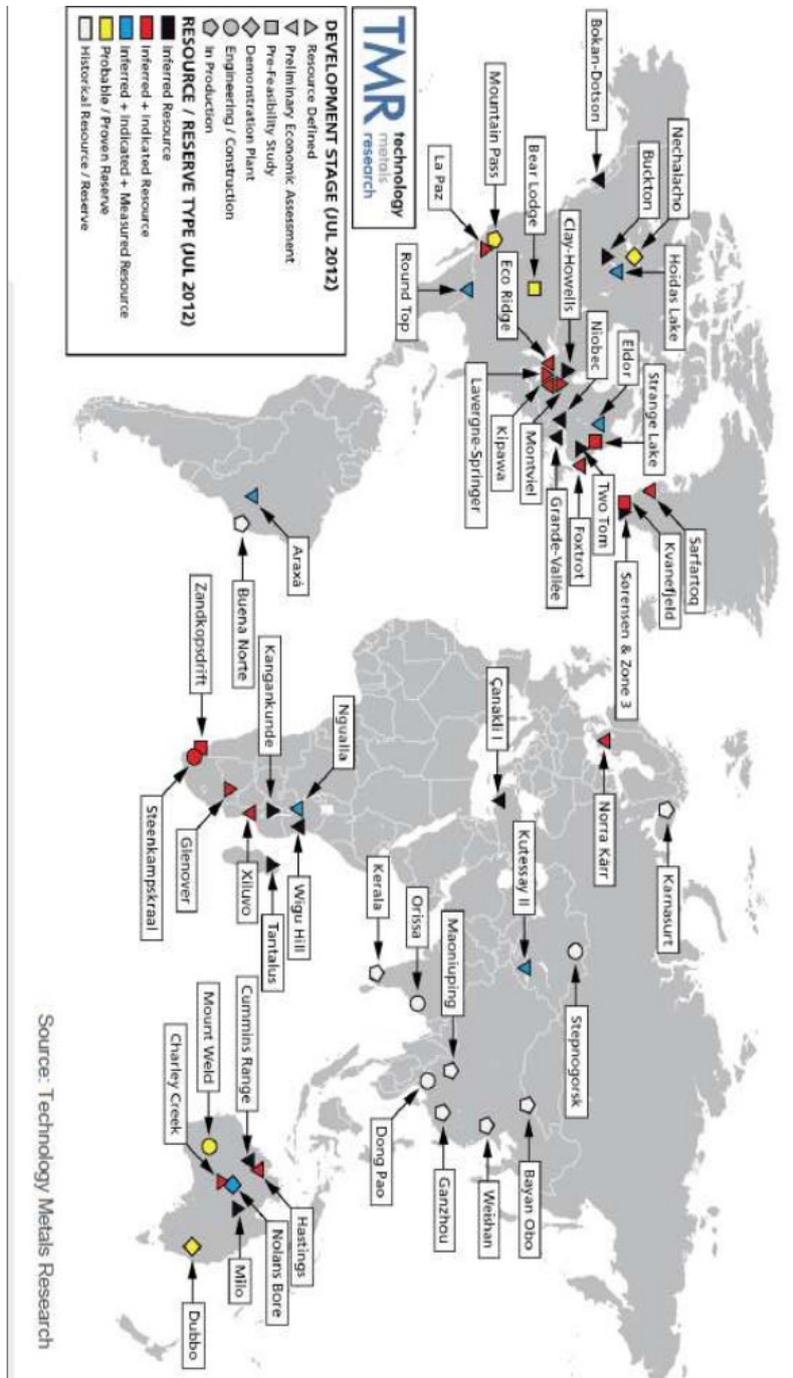
Come visibile in figura 17, Kvanefjeld è uno dei giacimenti con la più alta presenza di terre rare al mondo, da solo riuscirebbe a soddisfare il fabbisogno europeo.

**Figura 17** Giacimenti attivi e progetti in stato avanzato



Fonte: Liu S., Fan H., Liu X., Meng J., Butcher A., Yann L., Yang K., Li X., 2023 Global rare earth elements projects: New developments and supply chains

Figura 18 Distribuzione globale dei progetti di terre rare pesanti



Fonte: Jack Lifton, 2013, Recent Dynamics in the Global Critical Rare-Earths Market and the Regionalization/Globalization of the Metals Markets

### **3.2.2 Il Critical Raw Materials Act**

Il Critical Raw Materials Act stabilisce quattro obiettivi da raggiungere entro il 2030

- Produrre il 10% del fabbisogno di risorse critiche da attività di estrazione da miniere europee
- Raffinare almeno il 40% del fabbisogno di risorse critiche in Europa
- Recuperare il 15% del fabbisogno da attività di riciclo
- Ridurre la dipendenza dai singoli paesi per singolo materiale a meno del 65%

Il documento è redatto per capi:

- 1) Il capo 1 definisce gli obiettivi fondamentali del regolamento che dovrebbe garantire l'accesso a delle catene di approvvigionamento che siano sicure e sostenibili. Gli obiettivi prefissati sono: rafforzare la presenza dell'UE nelle varie fasi della catena del valore dei materiali critici ovvero estrazione, lavorazione e riciclo; diversificare le fonti di approvvigionamento e ridurre la dipendenza; migliorare il monitoraggio del mercato e dei rischi del mercato stesso; promuovere un approccio sostenibile al problema.
- 2) Il capo 2 è relativo all'identificazione delle materie prime critiche e strategiche. La loro identificazione si basa sull'importanza economica, ovvero la rilevanza per i settori industriali chiave dell'UE, e sul rischio di approvvigionamento, valutato secondo criteri di concentrazione della produzione e la stabilità dei fornitori. Queste materie prime sono soggette a revisione periodica e possono essere aggiunte di nuove qualora rispettassero i criteri.
- 3) Il capo 3 regola i progetti strategici attraverso i quali raggiungere gli obiettivi. Questi progetti devono riguardare le fasi precedentemente indicate: estrazione; trasformazione; riciclo. È la commissione stessa a

selezionare i progetti secondo criteri come la riduzione delle dipendenze, l'innovazione tecnologica e la sostenibilità ambientale. Agli stati membri è chiesto di agevolare tali progetti o se necessario finanziarli tramite prestiti o acquisizioni azionarie, si incentivano inoltre le operazioni in partenariato tra paesi dell'UE.

- 4) Il capo 4 è relativo al monitoraggio delle supply chain. Esso avviene tramite la raccolta e l'analisi di dati di mercato e l'utilizzo di sistemi di valutazione del rischio. Si chiede agli stati membri e alla Commissione Europea di collaborare nello sviluppo di piani di emergenza e preventivi.
- 5) Il capo 5 è dedicato alla promozione dell'economia circolare e la sostenibilità degli approvvigionamenti di materie prime critiche. Gli stati membri dovranno attuare misure che migliorino il recupero e il riciclo, viene introdotto un sistema di certificazione che garantisca il rispetto degli standard ambientali e sociali.
- 6) Il capo sei prevede un quadro per cooperazione internazionale con paesi terzi. La Commissione stessa è incaricata di negoziare e stabilire gli accordi multilaterali con i paesi che possiedono riserve significative. Anche per questi accordi devono valere i principi di sostenibilità sociale e ambientale e trasparenza. Oltre agli accordi commerciali si incentivano i trasferimenti tecnologici e di know how.
- 7) Il capo sette istituisce il sistema di governance rappresentato dal Comitato europeo per le materie prime critiche, composto dagli stati membri e dalla Commissione Europea. Il ruolo è di coordinatore, allo scopo di facilitare la cooperazione tra gli stati membri. Possono essere istituiti sottogruppi per trattare tematiche specifiche. Si prevede inoltre la creazione di un gruppo consultivo composto da tecnici per fornire consulenze tecnico scientifiche.
- 8) Il capo 8 regola il potere di delega della Commissione

- 9) Il capo 9 indica le modifiche ad altre normative comunitarie per allinearle alle disposizioni del documento
- 10) Il capo 10 tratta le sanzioni, il monitoraggio del programma e la revisione dello stesso.

Nel complesso il CRMA rappresenta uno strumento di politica comunitaria molto ambizioso per valori richiesti e obiettivi prefissati. Saranno necessari gli sforzi non solo delle istituzioni europee ma soprattutto da quelle nazionali e locali oltre all'imprescindibile coinvolgimento dei cittadini stessi per quanto riguarda i progetti che dovranno nascere sul suolo europeo. I progetti dovranno essere accompagnati da un rapido adeguamento legislativo nei singoli paesi in quanto i rami di industria incentivati sono al momento non presenti sul territorio europeo.

Il piano è stato accolto con fiducia dai governi degli stati membri tanto da portare il Consiglio dell'Unione a proporre un innalzamento dei benchmark.

## **CAPITOLO 4 – L’IMPATTO SOCIOECONOMICO E AMBIENTALE, OGGI E IN FUTURO**

L’importanza delle terre rare è già molto elevata, tuttavia sono ancora molte le applicazioni inesplorate e le conseguenze legate al loro utilizzo che non sono state approfondite adeguatamente. In questo capitolo analizzeremo delle questioni collegate al tema come l’impatto ambientale della filiera dei REE e potenziali sviluppi futuri nei settori con considerevoli margini di impiego.

### **4.1 Danni ambientali ed economici dell’estrazione illegale**

Gran parte degli sforzi della Cina per regolare il settore dell’estrazione e della lavorazione avevano, e hanno tuttora, l’obiettivo di ridurre le attività illegali.

Le cause che portano alla nascita del fenomeno sono principalmente economiche. Una attività illegale non deve pagare per i diritti di estrazione, permettendo di avere un margine maggiore sui prezzi già bassi dei concentrati di terre rare, non rispetta i diritti dei lavoratori e gli standard sull’impatto ambientale. I lavoratori sono spesso costretti a lavorare di notte e vengono pagati circa 300 yuan al giorno, permettendo di ridurre drasticamente i costi del personale. Queste attività vedono spesso il beneplacito delle amministrazioni locali in quanto portano impiego oltre al pagamento di tasse (Wubbeke, 2013).

Il volume del fenomeno può essere osservato in maniera indicativa mettendo a confronto i dati dell’export cinesi e quelli dell’import dei partner commerciali, la cui differenza si attestava nel 2014 intorno alle 40000 tonnellate (Stanway, 2015). Gran parte delle operazioni di estrazione illegali avvengono nella provincia cinese dello Jiangxi, caratterizzata da un terreno argilloso detto ionizzato, in cui le operazioni di estrazione avvengono a fianco delle case tramite un metodo particolare. Vengono scavate delle buche nel terreno di profondità di circa 2 metri e a qualche metro di distanza l’una dall’altra, successivamente si cosparge il terreno

con solfato d'ammonio. Qui entra in gioco la peculiarità del terreno, esso infatti, non essendo roccioso ma di una consistenza più simile alla sabbia, permette alla soluzione di infiltrarsi al suo interno e sciogliere i deboli legami che vincolano le terre rare presenti nel terreno all'argilla. L'estratto è un concentrato di terre rare che si deposita all'interno delle buche, dove poi viene raccolto in sacchi trasportati a mano in una nuova fase del processo che coinvolge ulteriori bagni acidi per separare ulteriormente le terre rare da altri materiali indesiderati. Questa metodologia di estrazione è la più facile e la meno costosa, per questi motivi si presta facilmente alle attività illegali. Tuttavia, la semplicità di estrazione comporta una bassa densità, solo lo 0,2% dell'argilla lavorata contiene terre rare, lasciando da smaltire il 99,8% di scarto di produzione. Lo smaltimento non segue delle leggi di tutela ambientale portando a danni ingenti, gli scarti di produzione vengono infatti scaricati sulle colline, che riempite di argilla diventa soggette a frane, o riversati nei corsi d'acqua inquinandoli e distruggendo flora e fauna di intere aree. Le stime del governo cinese per la bonifica del territorio sono di sei miliardi di dollari, ma è probabile che la presenza di attività illegali e relativi danni sia stata sottostimata (Abraham, 2015). La politica intrapresa dalla Cina negli ultimi anni è quella di mantenere all'interno del paese la materia prima al fine di processarla e utilizzarla all'interno dei prodotti e sistemi destinati all'esportazione, incentivando le attività ad alto valore aggiunto che occupano solitamente le ultime fasi della catena del valore. Questa politica si scontra tuttavia con le attività illegali di estrazione, considerate il maggior competitor che le società cinesi legali devono affrontare. I minatori che operano nel mercato nero producono a costi ridotti abbassando il prezzo di mercato e aumentano i volumi di esportazione illegalmente contravvenendo le indicazioni del governo centrale. A meta strada si pongono i cosiddetti "grey miners", definiti tali in quanto si trovano a metà strada tra i "white miners" (operatori legali) e i "black miners" (operatori illegali). I grey miners sono anch'essi soggetti impegnati in attività di

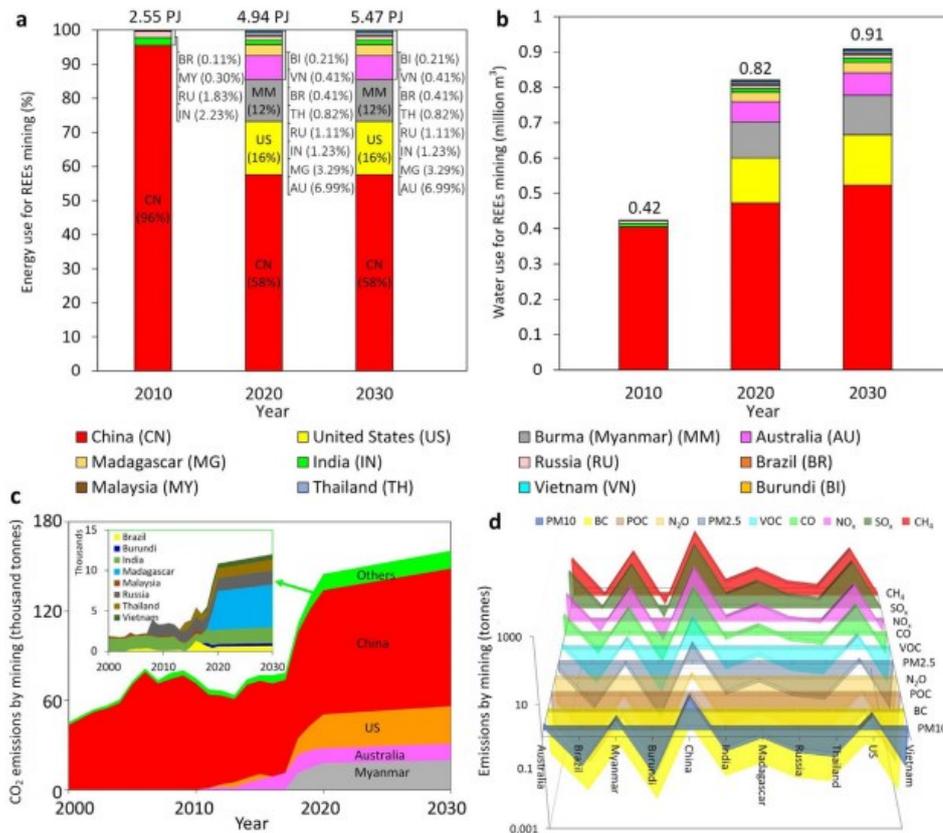
estrazione illegali che però forniscono risorse essenziali per gli operatori a valle della catena del valore, e che quindi non sono dediti all'esportazione, riuscendo a soddisfare quella parte di fabbisogno rimasta scoperta facendo affidamento al solo mercato legale (Packey et al. 2016).

## **4.2 I costi ambientali delle terre rare nella green economy**

Il tema della decarbonizzazione si è imposto come una delle misure più importanti per mantenere fede agli obiettivi prefissati dagli accordi di Parigi di contenere l'aumento medio delle temperature globali sotto il 2% dei livelli preindustriali.

In quest'ottica, hanno guadagnato sempre più spazio le fonti di energia rinnovabili che hanno visto il loro utilizzo aumentare del 16,4% annuo nel periodo compreso tra il 2007 e il 2017. Il progressivo aumento di utilizzo di fonti rinnovabili ha però anche richiesto un differente tipo di approvvigionamento di materie prime, tra le quali troviamo le terre rare. Secondo i dati del Global Wind Energy Council, dal 2014 al 2019 la capacità energetica totale ricavata dall'eolico è aumentata di oltre 50 gigawatt all'anno, fino ad arrivare a 651 gigawatt totali nell'ultimo anno di rilevazione, se consideriamo che una singola turbina utilizza, nell'ipotesi più conservativa, circa 300 chilogrammi di terre rare per megawatt di capacità la scala del problema diventa considerevole. Inoltre, la distribuzione dei sistemi eolici vede l'Europa al secondo posto, con il 22.4% della capacità energetica mondiale, dietro la Cina che possiede il 28.4% e davanti agli Stati Uniti (21.2%). Un altro settore che richiede un elevato consumo di terre rare è quello automobilistico, in particolare il settore dei veicoli elettrici, in cui sono utilizzati elementi quali cerio, lantanio, neodimio, ittrio, praseodimio, disprosio e terbio. Il volume di utilizzo è tra i 3 e i 5 chilogrammi per veicolo, la maggior parte destinata alle batterie.

**Figura 19** Consumi ed emissioni relativi all'estrazione di REE a) Consumo energetico globale b) consumo idrico c) emissioni di CO2 d) Emissioni per paese nel 2020 di: metano CH4, ossidi di zolfo SOx, ossidi di azoto NOx, monossido di carbonio CO, composti organici volatili VOC, particolato PM2,5, ossido di diazoto N2O, carbonio organico particolato POC, nero di carbonio BC e PM10



Fonte: Golroudbary S., Makarava I., Kraslawski A., Repo E., 2022, Global environmental cost of using rare earth elements in green energy technologies, Science of Total Environment

Il grafico a) in figura 19 mostra il consumo energetico legato alle attività di estrazione e lavorazione delle terre rare. Nell'arco di 10 anni è praticamente raddoppiato anche se la sua crescita stimata per il 2030 è prevista rallentare. Esito simile per i consumi idrici che sono passati 0,42 milioni di metri cubi a 0,82 tra il 2010 e il 2020 e nel 2030, si ipotizza, dovrebbero assestarsi a 0,91 milioni. I due

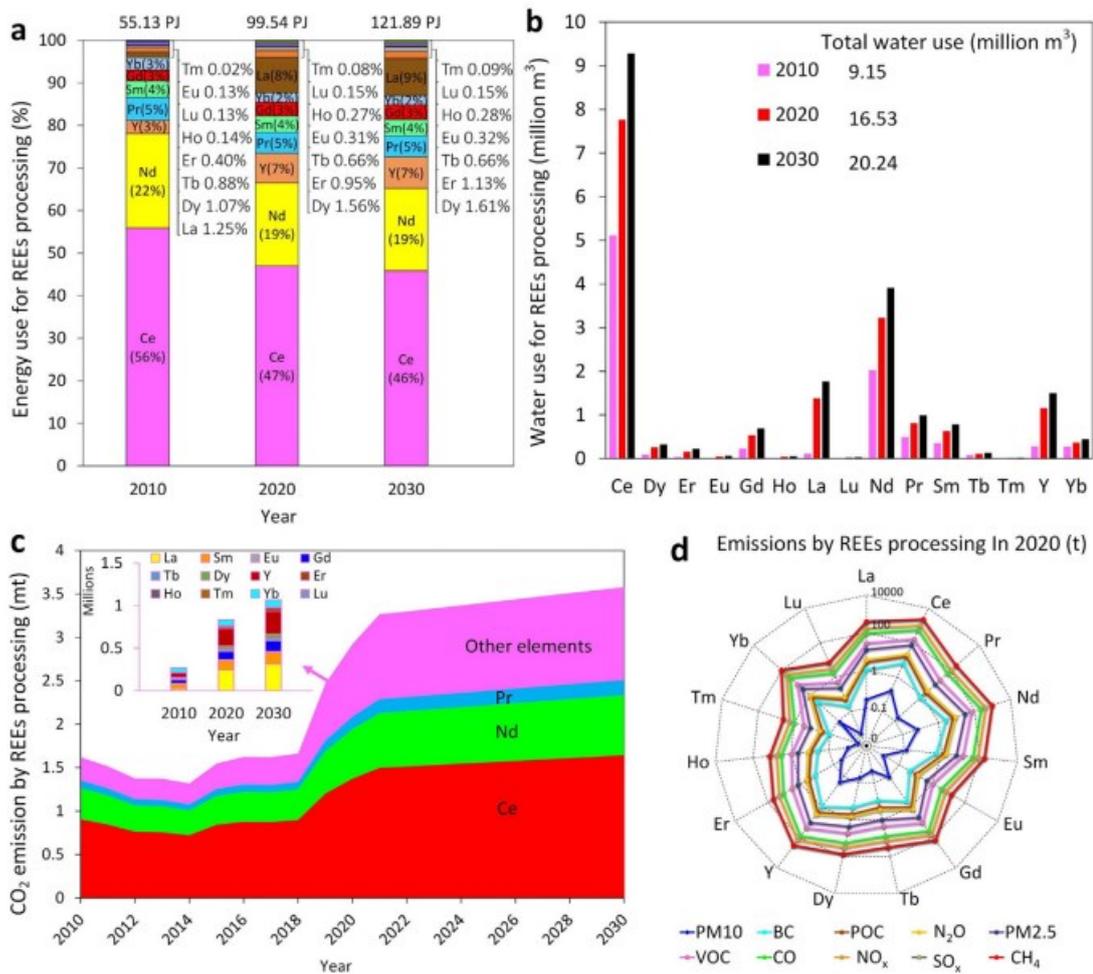
grafici hanno andamenti molto simili per quello che riguarda sia la crescita percentuale dei consumi che la distribuzione mondiale degli stessi; infatti, in entrambi i casi assistiamo ad una redistribuzione su scala globale grazie all'interessamento nel settore di diversi produttori in cerca di una propria produzione nazionale come Stati Uniti, Australia e Birmania. Tuttavia, seppur la distribuzione cambia, i consumi sono aumentati per tutti i paesi: la Cina è passata da 2,4 nel 2010 a 2,8 nel 2020 e si prevede raggiunga i 3,2 GJ nel 2030; hanno avuto una tendenza ancora più crescente gli Stati Uniti (da 60,9 MJ a 771 MJ), Australia e Birmania. Un comportamento simile è osservabile anche per quanto riguarda i consumi di acqua, in cui tutti i soggetti hanno aumentato l'utilizzo pur assistendo ad una redistribuzione delle quote.

I grafici c) e d) raccolgono i dati delle emissioni causate dalle attività sulle terre rare. Il confronto tra il 2010 e il 2020 per quanto riguarda la produzione di CO<sub>2</sub> ha andamento pressoché identico ai due grafici osservati in precedenza. Tra il 2010 e il 2020 ha avuto un aumento del 94% passando 79mila tonnellate a 152970 tonnellate e anche in questo caso vi è stata una redistribuzione delle quote globali per l'inserimento di USA, Birmania e Australia.

Oltre ai consumi e le emissioni dovute all'estrazione, dobbiamo considerare anche l'impronta ambientale causata dal processo di lavorazione delle singole terre rare. Le numerose fasi di lavorazione che attraversano sono altamente energivore e i consumi, energetici e idrici, sono di oltre 20 volte superiori a quelli causati dalle attività minerarie. Gli elementi a cui sono corrisposte le percentuali maggiori dei consumi totali sono anche quelli la cui quantità di produzione è maggiore ovvero cerio e neodimio, il quantitativo energetico per la loro lavorazione è di 42,9PJ nel 2010 e di 65PJ nel 2020, destinato ad aumentare ulteriormente nei prossimi anni. (Golroudbary et al, 2022)

La transizione ecologica sta trasformando le fonti energetiche e i mezzi di trasporto, pubblici e privati, favorendo le innovazioni che abbiano un ridotto impatto sull'ambiente. L'eolico non causa emissioni inquinanti, non produce scarti complessi da gestire, non richiede la distruzione di suolo o sottosuolo direttamente ed è utilizzabile in diverse aree geografiche. Ma, come abbiamo visto, anche le tecnologie più promettenti richiedono dei costi produttivi ambientali che vengono spesso trascurati nel calcolo ecologico considerando soprattutto che sfruttano le vecchie infrastrutture basate su carburanti fossili, indicando che il rapporto tra energia pulita e costo ambientale sostenuto dai paesi produttori sia destinato a migliorare solo in futuro.

**Figura 20** Consumi ed emissioni nel processo di lavorazione di REE a) Consumo energetico per singolo elemento b) Consumo idrico c) Emissioni di anidride carbonica d) Emissioni per elemento di metano CH<sub>4</sub>, ossidi di zolfo SO<sub>x</sub>, ossidi di azoto NO<sub>x</sub>, monossido di carbonio CO, composti organici volatili VOC, particolato PM<sub>2,5</sub>, ossido di diazoto N<sub>2</sub>O, carbonio organico particolato POC, nero di carbonio BC e PM<sub>10</sub>.



Fonte: Golroudbary S., Makarava I., Kraslawski A., Repo E., 2022, Global environmental cost of using rare earth elements in green energy technologies, Science of Total Environment

### **4.3 Alternative all'estrazione: il riciclo**

Abbiamo appurato che quello che fino ad ora è il principale se non unico metodo di assicurarsi le terre rare è quello dell'estrazione mineraria e conseguente processo di lavorazione, con annessi costi e danni ambientali. Negli ultimi anni, tuttavia, si è cercato di trovare alternative che potessero ridurre l'impatto ambientale in linea con i principi dell'economia green e circolare come il riciclo.

Allo stato attuale, il riciclo, non rappresenta una fetta sufficientemente grande degli approvvigionamenti di terre rare, si stima infatti che solo l'1% venga recuperato dai prodotti finali. L'aumento continuo della domanda di questi elementi e i prezzi bassi indicano che per la maggior parte dei REE vi è una sovrapproduzione mentre per altri, la cui produzione è più ridotta, potremmo trovarci in una situazione in cui la domanda non trova risposta nell'offerta. Le principali problematiche indicate Jowitt, Werner, Weng e Mudd (2018) per cui il riciclo è così poco diffuso sono: la distribuzione variabile delle quantità per prodotto finale, che possono variare da milligrammi a chilogrammi; la complessità e la diversità tecnologica dei prodotti; la difficoltà del processo di separazione dei singoli elementi, la vita estesa di alcuni prodotti e la profittabilità.

Esistono 3 tipologie di riciclo e sono:

1. Il riciclo diretto di scarti o residui di produzione
2. Urban mining, una pratica che consiste nel riciclare rifiuti urbani, tra i quali i RAEE ovvero i rifiuti tecnologici e dell'elettronica di consumo
3. Riciclo di rifiuti industriali allo stato solido o liquido, è anche detta simbiosi industriale

Il riciclo inteso in senso classico è quello che coinvolge i prodotti finali e le modalità con cui avviene dipende dall'oggetto.

La quota maggiore di REE riciclati deriva dai magneti permanenti e può avvenire in tre modi:

- Con tecniche tradizionali di recupero idrometallurgico, dissolvendo i magneti in acidi per far precipitare le terre rare
- Tramite la pirometallurgia, in cui le leghe vengono sciolte ad alte temperature al fine di sfruttare le diverse caratteristiche fisiche delle terre rare
- Utilizzando l'estrazione in fase gassosa differenziandole per volatilità

Altro oggetto di uso comune soggetto a riciclo sono le lampade fluorescenti che contengono fosfori il cui contenuto di terre rare è variabile. Le possibili soluzioni sono il riutilizzo diretto, la separazione dei fosfori e l'estrazione chimica, potenzialmente la più redditizia ma anche complessa.

Le batterie Ni-MH (nichel-metallo idruro) rappresentano uno dei rami più appetibili per il riciclo. Contengono infatti diverse terre rare leggere, circa il 10% del proprio peso, ma incontrano una problematica fondamentale: sono spesso gettate senza essere separate dai dispositivi rendendo complesso il recupero delle batterie stesse. Lo studio di Gaustad, Williams e Leader (2021) amplia l'osservazione a diverse tipologie di riciclo e concentrandosi sul tema della profittabilità economica.

Viene proposta una analisi sviluppata seguendo un approccio in due dimensioni: qualitativa e quantitativa. La qualità osserva la concentrazione delle terre rare nelle fonti primarie (estrazione mineraria) e secondarie (riciclo) mentre la quantità fa riferimento al volume disponibile di un certo minerale, prodotto di scarto o rifiuto. L'estrazione mineraria avviene privilegiando quei giacimenti che sono ricchi di terre rare, in particolare, i minerali più ricercati sono la bastnasite e la monazite per la loro alta concentrazione di REE, allo stesso modo sarà economicamente sostenibile riciclare ciò che è in grado di garantire il maggior ritorno di terre rare.

La figura 21 mostra la presenza in milligrammi di terre rare per kilogrammo di rifiuto, divisi in 3 categorie: la prima divisione rappresenta la concentrazione in natura nella crosta terrestre e nei minerali come bastansite e monazite, la seconda i

sottoprodotti industriali in cui troviamo, tra i più interessanti, il fango rosso (uno scarto di produzione dell'alluminio altamente alcalino che viene conservato in bacini fino all'essiccazione), il fosfogesso (indicato con PG, è un minerale sottoprodotto dall'industria dei fertilizzanti e contiene diversi elementi tra cui torio e uranio che ne caratterizzano la radioattività) e le polveri abrasive; la terza classificazione è quella dei rifiuti tecnologici in cui troviamo le lampade a fluorescenza (LFL e CFL), laptop, smartphone e batterie Ni-MH.

Da questa immagine possiamo già vedere come alcuni scarti sono molto interessanti per quanto riguarda la concentrazione di terre rare, su tutti il fosfogesso, le polveri abrasive e le batterie Ni-MH.

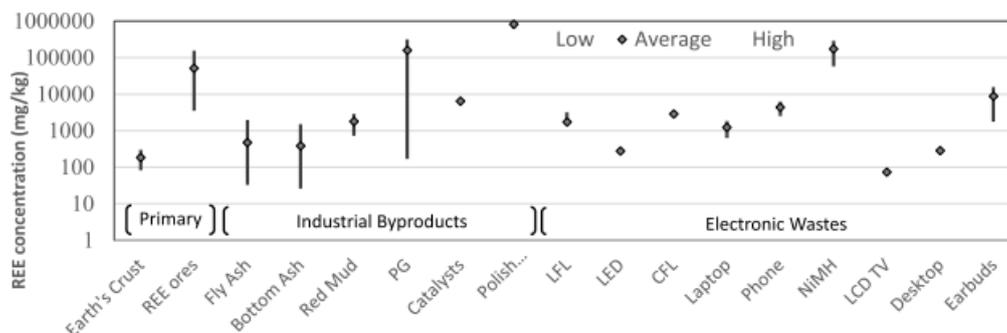
La tabella 8 rappresenta il rapporto tra la concentrazione di ogni singolo elemento in un sottoprodotto o rifiuto e la concentrazione media globale per minerale. Questa tabella approfondisce quanto visto in figura 21 offrendoci una visione per singolo elemento, questo è importante in quanto le terre rare non rispondono ad una unica domanda ma ogni singolo elemento è più o meno raro a seconda dell'uso e della disponibilità. Prendiamo come esempio il caso del fango rosso, ha una concentrazione di terre rare minore di quella dei minerali ma la concentrazione di scandio e tulio è di molto maggiore rispetto a quella dei minerali rispettivamente di 11,6 e 4,2 volte, discorso simili per il fosfogesso e per le polveri abrasive esauste.

**Tabella 8** Presenza di terre rare a confronto tra minerali e oggetti di riciclo

Fraction to Ore	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Sc	Tb	Tm	Y	Yb	TREE
Fly Ash	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0
Bottom Ash	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0
Red Mud	0.0	0.2	0.2	0.6	0.1	0.4	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	11.6	1.1	4.2	0.3	0.1	0.0
PG	0.0	0.1	0.2	0.6	0.1	0.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	8.6	1.1	3.9	0.3	0.1	0.0
Catalyst	3.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	3.4	0.0	3.2	3.4	0.1	0.5	0.1	0.5	0.2	0.0	3.1
Polishing	3.3	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	3.6	0.0	6.4	6.8	0.3	0.8	0.1	0.7	0.3	0.0	3.2
LFL	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-	3.4	-	0.0
LED	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.0
CFL	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	-	3.9	-	0.1
Laptops	-	0.1	-	-	-	-	-	-	0.1	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0
Smart phones	0.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.4	-	-	0.4	-	-	-	0.1
NiMH batteries	2.8	-	-	-	-	-	5.9	-	2.5	2.2	-	-	-	-	0.3	-	3.4
LCD	0.0	-	-	0.0	-	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	0.1	-	0.0
Desktop	0.0	0.1	-	0.0	-	-	0.0	-	0.0	0.0	-	-	0.0	-	0.0	-	0.0
Earbuds	-	3.5	-	-	-	-	-	-	0.8	0.6	-	-	-	-	-	-	0.2
Less than 50%	< 1X		1X to 3X			3X to 6X			6X to 12X								

Fonte: Gaustad G., Williams E., Leader A., 2021, Rare earth metals from secondary sources: Review of potential supply from waste and byproducts, Resources, Conservation & Recycling

**Figura 21** Concentrazione di terre rare per oggetto di riciclo



Fonte: Gaustad G., Williams E., Leader A., 2021, Rare earth metals from secondary sources: Review of potential supply from waste and byproducts, Resources, Conservation & Recycling

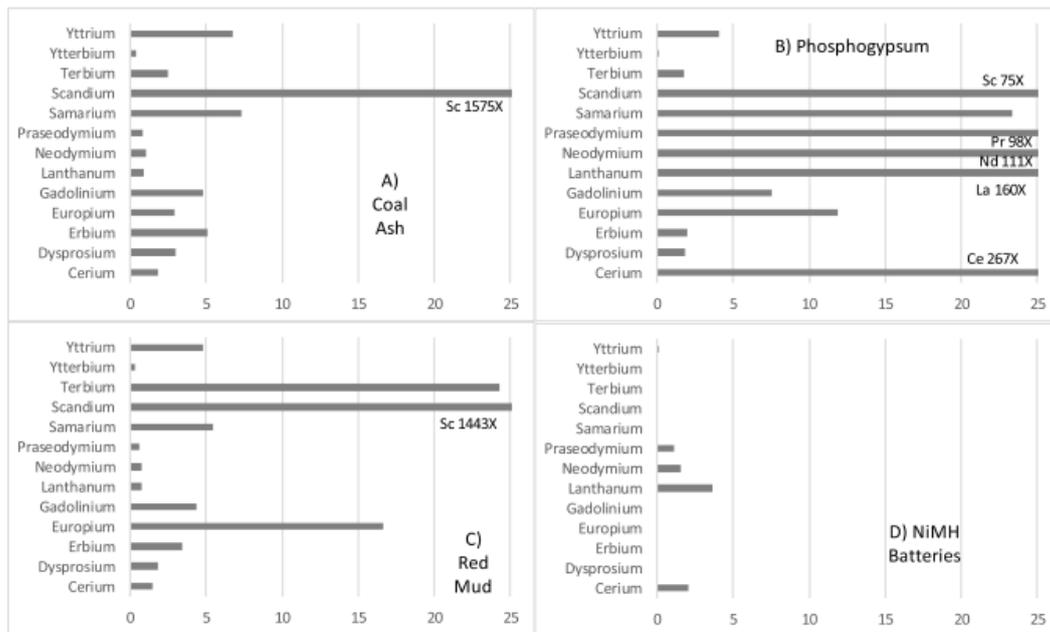
Il secondo livello di analisi è quello relativo alla quantità. Abbiamo visto precedentemente come le tecniche di riciclo per prodotti finali fossero diverse tra loro, lo stesso accade se le confrontiamo con quelle dei rifiuti industriali. Per essere

economicamente sostenibile è necessario che una risorsa sia presente in abbondanza in modo da poter sostenere i costi fissi delle operazioni di riciclaggio e coprire una quota significativa degli approvvigionamenti richiesti.

La simulazione effettuata da Gaustad et al (2021) rappresenta una situazione ideale in cui tutta la produzione dei rifiuti presi in esame venga riciclata. Sull'asse orizzontale troviamo la copertura del fabbisogno che garantirebbe per il singolo elemento indicato nell'asse verticale, un valore pari a 1 corrisponde alla copertura totale del fabbisogno. Ovviamente questa situazione è impossibile si verifichi in quanto non tiene conto della fallibilità del sistema, della distribuzione geografica dei sottoprodotti e tante altre variabili, rimane valido il senso di tale simulazione, potenzialmente potremmo soddisfare la domanda di terre rare solo riciclando scarti di altre industrie.

Per migliorare l'efficacia del riciclo e il suo impatto sugli approvvigionamenti Jowitt et al (2018) suggeriscono di migliorare le infrastrutture di raccolta e di smontaggio per rendere sfruttabili i grandi volumi di rifiuti attualmente prodotti e di investire nella ricerca di metodologie che possano semplificare il processo smaltimento e recupero. Il volume delle materie di scarto di cui disponiamo è già molto elevato e sarebbe utile, insieme ad altre iniziative, a garantire all'Europa ma anche a tutti gli altri paesi non produttori di ridurre la dipendenza dalla Cina.

**Figura 22** Potenziale copertura del fabbisoggo per alcuni rifiuti industriali A) cenere di carbone B) fosfogesso C) fango rosso D) batterie Ni-MH



Fonte: Gaustad G., Williams E., Leader A., 2021, Rare earth metals from secondary sources: Review of potential supply from waste and byproducts, Resources, Conservation & Recycling

## CONCLUSIONI

Negli ultimi decenni le terre rare si sono imposte come un pilastro fondamentale per lo sviluppo tecnologico e industriale contemporaneo. Lungo questa tesi abbiamo esplorato vari aspetti del tema: economici, geopolitici e ambientali.

È emersa chiaramente l'importanza strategica delle terre rare, esse sono essenziali per numerose tecnologie avanzate: i dispositivi elettronici di uso quotidiano, le energie rinnovabili, i sistemi di difesa. Averne piena disponibilità e accesso diventa cruciale per poter sostenere le economie moderne e le sfide tecnologiche che il nostro tempo presenta.

Ne abbiamo analizzato le dinamiche di mercato e in che modo le influenze geopolitiche lo condizionano, su tutte quella cinese. La Cina, sfruttando la sua posizione quasi-monopolistica nell'estrazione e nella raffinazione ha più volte dimostrato di poter controllare le catene di approvvigionamento di partner commerciali ma soprattutto di avversari politici, come nel caso della crisi del 2010. In risposta a questo strapotere nasce la proposta europea del Critical Raw Materials Act, volta a ridurre la dipendenza del vecchio continente dalle decisioni del governo cinese.

Una ulteriore sfida dell'epoca moderna è quella ambientale. In questo campo le terre rare ricoprono un ruolo fondamentale, esse sono presenti nei magneti permanenti utilizzati nelle turbine eoliche, nei veicoli elettrici, nei pannelli fotovoltaici, permettono di ridurre le dimensioni dei dispositivi aumentandone l'efficienza e prolungandone la vita. L'altro lato della medaglia è però rappresentato dagli effetti collaterali legati all'estrazione e alla lavorazione che, come abbiamo visto in Cina, sono responsabili di enormi danni ambientali a discapito delle popolazioni che abitano le zone di estrazione. In questo senso abbiamo analizzato gli effetti delle attività illegali e come vengono combattute.

Nel prossimo futuro le terre rare continueranno ad essere vitali per lo sviluppo economico e la strada da perseguire sarà quella della cooperazione globale al fine di portare avanti la ricerca e lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche che possano rispondere alle esigenze geopolitiche e ambientali già in essere.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrews-Speed P. Hove A., 2023 China's rare earths dominance and policy responses, Oxford Institute for Energy Studies
- ERECON (European Rare Earths Competency Network) (2015). Strengthening the European rare earths supply chain: Challenges and policy options. A Report by the European Rare Earths Competency Network
- Fernandez V., 2017, Rare-earth elements market: A historical and financial perspective, *Resource Policy*, 26-45
- Gaustad G., Williams E., Leader A., 2021, Rare earth metals from secondary sources: Review of potential supply from waste and byproducts, *Resources, Conservation & Recycling*
- Golroudbary S., Makarava I., Kraslawski A., Repo E., 2022, Global environmental cost of using rare earth elements in green energy technologies, *Science of Total Environment*
- Humphreys, D., 2013. New mercantilism: a perspective on how politics is shaping world metal supply. *Resour. Policy* 38, 341–349.
- Kelly, T., Matos, G., 2014. Historical statistics for mineral and material commodities in the United States (2016 version): U.S. Geological Survey Data Series 140
- Klossek P., Kullik J., van den Boogart K., 2016, A systemic approach to the problems of the rare earth market, *Resources Policy* (V50) pp131-140
- Laurent, A., 2014. Commodities at a glance: Special issue on rare earths (N°5)
- Lifton, 2013, Recent Dynamics in the Global Critical Rare-Earths Market and the Regionalization/Globalization of the Metals Markets
- Liu S., Fan H., Liu X., Meng J., Butcher A., Yann L., Yang K., Li X., 2023 Global rare earth elements projects: New developments and supply chains

Liu, H., Tan, D., Hu, F., 2016. Rare earths: shade of gray. Can China continue to fuel our global clean & smart future? China Water Risk (CWR) Report, June (D. McGregor, editor)

Packey D., Kingsnorth D., 2016, The impact of unregulated ionic clay rare earth mining in China, Resource Policy 48, 112-116

Raimondi P., 2023, Istituto Affari Internazionali, Audizione commissione esteri, Camera dei deputati

Roskill (2014). Critical thinking about critical raw materials in the EU. Roskill Briefing Paper

S. B. Castor J. B. Hedrick; Industrial Minerals and Rocks, 2006

Stanway D., 2015. The fate of global rare earth miners rests on China smuggling crackdown

Stegen, K.S., 2015. Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: An imminent crisis. Energy Policy 79, 1–8.

Tse, P., 2011. China's rare-earth industry. US Geological Survey Open File Report 2011-1042, 11 pp

USGS; Mineral commodity summaries, Rare Earth, 2024

Vacuumschmelze (2015). Neupositionierung der VACUUMSCHMELZE, Presseinformation

Wubbeke J., 2013. Rare earth elements in China: policies and narratives of reinventing an industry. Resour. Policy 38, 384–394